

2014

# Πτυχιακή Εργασία

Προγραμματισμός Ηλεκτρονικής Μονάδας Ελέγχου  
Megasquirt

Σπουδαστές: Αστέρος Κωνσταντίνος, Γαμβρίλης Δημήτριος-Διονύσιος



Επιβλέπων Καθηγητής: Κοσμάνης Θεόδωρος



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 Πρόλογος.....	4
1.2 Εισαγωγή.....	5
1.3.1 Ηλεκτρονική Μονάδα ελέγχου.....	6
1.3.2 Υλικό Ηλεκτρονικής Μονάδας Ελέγχου.....	7

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2.1 Παρουσίαση Ηλεκτρονικής Μονάδας Ελέγχου Megasquirt.....	10
2.2 Δυνατότητες του Megasquirt.....	11
2.3 Σήματα Αισθητήρων (είσοδοι του Megasquirt).....	13
2.3.1 Αισθητήρας Απόλυτης Πίεσης στην Εισαγωγή (Manifold Air Pressure Sensor).....	13
2.3.2 Αισθητήρας Μάζας Αέρος ( Mass Airflow Sensor).....	15
2.3.3 Αισθητήρας Θέσεως Πεταλούδας Γκαζιού (Throttle Position Sensor).....	16
2.3.4 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εισερχόμενου Αέρα (Intake Air Temperature Sensor).....	17
2.3.5 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού (Coolant Temperature Sensor).....	18
2.3.6 Αισθητήρας Θέσεως Κινητήρα (Cam/Crank Position Sensor).....	19
2.3.7 Αισθητήρας Λάμδα (Exhaust Gas Oxygen Sensor).....	20
2.3.8 Αισθητήρας Κρουστικής Καύσης (Knock Sensor).....	21
2.4 Ενεργοποιητές ( έξοδοι του Megasquirt).....	22
2.4.1 Μπεκ Ψεκασμού.....	23
2.4.2 Πολλαπλασιαστές και Αναφλεκτήρες.....	24
2.4.3 Βαλβίδα Ελέγχου Ρελαντί.....	26
2.4.4 Αντλία Καυσίμου.....	27

2.4.5 Φτερωτές Ψυγείου.....	27
2.5 Βασική Συνάρτηση Ψεκασμού.....	29
2.5.1 Μέγιστο Πλάτος Παλμού (REQ_FUEL).....	30
2.5.2 Διόρθωση Ογκομετρικού Βαθμού Απόδοσης (VE(MAP,RPM)).....	31
2.5.3 Διόρθωση Πυκνότητας Εισερχόμενου Αέρα (MAP+AirCorr) .....	33
2.5.4 Βαρομετρική Διόρθωση (BarometricCorrection).....	34
2.5.5 Εμπλουτισμός Θέρμανσης (WarmupEnrichment, AfterstartEnrichment).....	35
2.5.6 Εμπλουτισμός Επιτάχυνσης (γAccel).....	37
2.5.7 Λειτουργία Κλειστού Βρόχου.....	37
2.5.8 Χρόνος Ενεργοποίησης Μπεκ (InjOpen).....	39
2.6 Παρουσίαση και Δυνατότητες του Προσομοιωτή (Stimulattor).....	40

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

3.1 Αρχικές Ρυθμίσεις.....	41
3.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Κινητήρα και Τρόπος Ψεκασμού.....	42
3.1.2 Γενικές Ρυθμίσεις Πινάκων.....	43
3.1.3 Γενικές Ρυθμίσεις Ανάφλεξης.....	44
3.2 Προγραμματισμός Ψεκασμού.....	44
3.2.1 Πίνακας Ογκομετρικού Βαθμού Απόδοσης.....	45
3.2.2 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει της Θερμοκρασίας Αέρα Εισαγωγής.....	49
3.2.3 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει του Αισθητήρα Λάμδα (ClosedLoopOperation).....	50
3.2.4 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει της Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού.....	53
3.2.5 Εμπλουτισμός Επιτάχυνσης Κινητήρα.....	58
3.2.6 Χρόνος Αναμονής Μπεκ Ψεκασμού.....	59
3.3 Ρύθμιση Προπορείας Έναυσης.....	60

3.3.1 Πίνακας Προπορείας Έναυσης.....	60
3.3.2 Διόρθωση Προπορείας Βάσει της Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού.....	63
3.3.3 Διόρθωση Προπορείας Βάσει της Θερμοκρασίας Εισαγωγής Αέρα.....	64
3.3.4 Διόρθωση Γωνίας Dwell Βάσει της Τάσης Μπαταρίας.....	65
3.4 Ρύθμιση Άλλων Λειτουργιών.....	66
3.4.1 Κόφτης Στροφών.....	66
3.4.2 Διακοπή Καυσίμου.....	67
3.4.3 Έλεγχος Ρελαντί.....	68
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></u></b>	
4.1 Εκκίνηση Κινητήρα.....	70
4.2 Φάση Ρελαντί .....	71
4.3 Ελαφρά Πορεία.....	74
4.4 Κανονική Πορεία.....	75
4.5 Κατάσταση Μέγιστης Ισχύος.....	77
4.6 Εμπλουτισμός επιτάχυνσης κινητήρα.....	78
4.7 Λειτουργία κλειστού βρόχου.....	80
4.8 Έλεγχος ρελαντί.....	84
4.9 Διακοπή καυσίμου.....	87
4.10 Κόφτης στροφών.....	88
ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

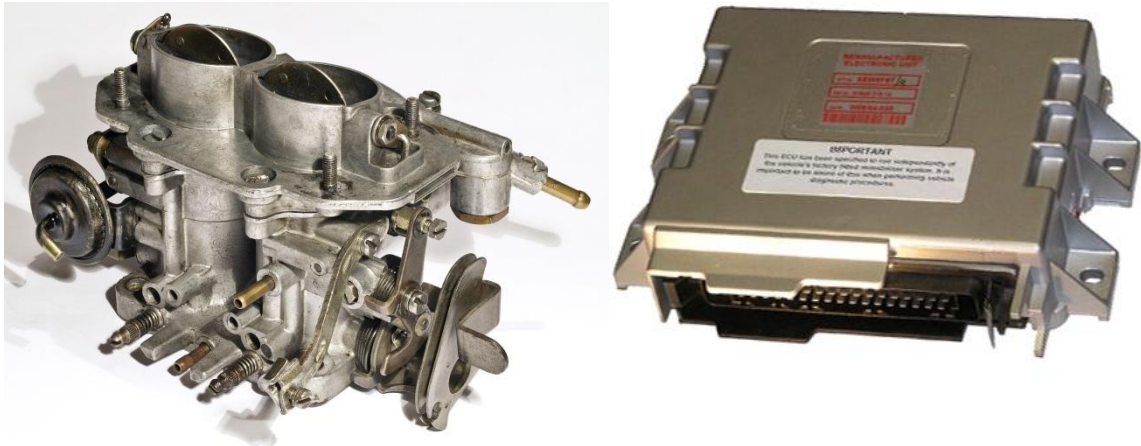
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **1.1 Πρόλογος**

Από την κατασκευή των πρώτων μηχανών εσωτερικής καύσης μέχρι και σήμερα, η ανθρωπότητα καταβάλει μια διαρκή προσπάθεια να βελτιώσει το βαθμό απόδοσής τους. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα υπήρξαν φορές που πολλοί νόμιζαν ότι η βελτιστοποίηση των ΜΕΚ είχε φτάσει στο όριό της. Ωστόσο η συνολική εξέλιξη της τεχνολογίας απέδειξε το αντίθετο. Για αρκετά χρόνια, η χρήση εξαερωτήρων και μηχανικών συστημάτων διανομής τάσης κάλυπτε τις ανάγκες των ΜΕΚ.

Το χαμηλό κόστος καυσίμων καθώς και η άγνοια για την ρύπανση του περιβάλλοντος δεν έδιναν κίνητρα για βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους και για την παραγωγή περισσότερης ισχύος οι άνθρωποι απλά κατέφευγαν σε κινητήρες μεγαλύτερου κυβισμού. Το ξέσπασμα πετρελαϊκών κρίσεων καθώς και η αναγνώριση του προβλήματος ρύπανσης της ατμόσφαιρας οδήγησε σε δραστικές αλλαγές την αυτοκινητοβιομηχανία. Στόχος πλέον ήταν η αποδοτικότερη παραγωγή ισχύος και ο έλεγχος των εκπομπών ρύπων. Οι δυνατότητες όμως των κλασικών συστημάτων διανομής καυσίμου και τάσης ήταν περιορισμένες παρόλα αυτά η πρόοδος της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών έφερε την επανάσταση στις ΜΕΚ, την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ElectronicControlUnit ή ECU).

Η ECU έδωσε τη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της παροχής καυσίμου και σπινθηρισμού σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα καθώς και προσαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο αναλόγως των συνθηκών, κάτι που ήταν αδύνατο για τα προηγούμενα συστήματα. Η συνεχής βελτίωση των ECU μέχρι και σήμερα έχει αποφέρει φοβέρα αποτελέσματα σχετικά με τις εκπομπές ρύπων, την παραγωγή ισχύος, την εξοικονόμηση καυσίμου αλλά και γενικότερα με τον έλεγχο του αυτοκίνητου.



*Εικόνα 1.1 Τα πρώτα οχήματα χρησιμοποιούσαν τον εξαερωτήρα (αριστερά) για την δημιουργία του μίγματος. Την δουλειά αυτή την ανέλαβε αργότερα ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (δεξιά) με τη βοήθεια αισθητήρων και ενεργοποιητών.*

## **1.2 Εισαγωγή**

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση μιας ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (ECU), δηλαδή η βαθύτερη κατανόηση της αρχής και του τρόπου λειτουργίας της καθώς και η πειραματική απεικόνιση του προγραμματισμού και της λειτουργίας της με τη βοήθεια προσομοιωτή (stimulator). Για την επίτευξη του σκοπού της, η εργασία χωρίζεται το περιεχόμενο της σε δύο μέρη, το θεωρητικό μέρος και το πειραματικό.

- **Το θεωρητικό μέρος**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της ECU, των τεχνικών χαρακτηριστικών της και των δυνατοτήτων της. Έπειτα γίνεται μια σύντομη αναφορά στην δομή και τον τρόπο λειτουργίας των αισθητήρων και των ενεργοποιητών της, που δρουν ως είσοδοι και έξοδοι της, παρέχοντας έτσι ένα βασικό θεωρητικό υπόβαθρο. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχή

λειτουργίας της ECU μέσω της εξίσωσης ψεκασμού, η ανάλυση όλων των σταθερών και μεταβλητών της και πως αυτές επηρεάζουν τον ψεκασμό.

- **Το πειραματικό μέρος**

Σε αυτό το κεφάλαιο εφαρμόζοντας τις γνώσεις του θεωρητικού μέρους, πραγματοποιείται ρύθμιση των παραμέτρων της εξίσωσης καυσίμου, της ανάφλεξης καθώς και άλλων λειτουργιών της ECU. Με την τροποποίηση των σημάτων εισόδου της μονάδας, παρουσιάζονται οι αλλαγές που επέρχονται στην λειτουργία της και γίνεται έλεγχος ορθότητας των ρυθμίσεων που τέθηκαν, όπου αυτό είναι δυνατό. Για το πειραματικό μέρος ήταν απαραίτητος ο εξής εξοπλισμός:

- Μια προγραμματιζόμενη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) η οποία να παρέχει τη δυνατότητα πλήρους ελέγχου ενός κινητήρα.
- Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με εγκατεστημένο λογισμικό (software) που να δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης των παραμέτρων της ECU, καθώς και καλώδιο DB9-USB για σύνδεση του υπολογιστή με αυτήν.
- Ένας συμβατός προσομοιωτής σημάτων εισόδου και εξόδου (stimulator) ο οποίος συνδεόμενος με την ECU να δίνει την δυνατότητα τροποποίησης των σημάτων εισόδου και παρατήρησης/καταγραφής των σημάτων εξόδου, σε πραγματικό χρόνο.

### **1.3.1 Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου**

Μια τυπική ECU έχει την δυνατότητα να υπολογίζει το απαραίτητο πλάτος παλμού με το οποίο πρέπει να τροφοδοτηθούν τα μπέκ ψεκασμού έτσι ώστε αυτά να ψεκάσουν την κατάλληλη ποσότητα καυσίμου με βάση τον εκάστοτε ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αποθηκευμένων προγραμμάτων και δεδομένων μέσα στην ECU τα οποία με την είσοδο επιπλέον δεδομένων από τους αισθητήρες που διαθέτει ο κινητήρας μπορούν να εμπλουτίσουν ή να πτωχεύσουν το μίγμα σε πραγματικό χρόνο αναλόγως με τις εκάστοτε φάσεις λειτουργίας μιας ΜΕΚ. Οι όροι εμπλουτισμός και πτώχευση αφορούν τις διορθώσεις που γίνονται επάνω στο βασικό πλάτος παλμού, ώστε αυτό να παραμένει ιδανικό συνεχώς. Οι διορθώσεις αυτές είναι συνήθως ποσοστιαίες αυξήσεις ή μειώσεις του πλάτους και σπανιότερα εφαρμόζονται ως προστιθέμενες τιμές. Χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση του κινητήρα, την ομαλή αρχική λειτουργία του καθώς και την θέρμανσή του ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας. Πέραν αυτών διορθώσεις γίνονται και κατά την επιτάχυνση του κινητήρα

ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της στασιμότητας του (κρέμασμα), όπως επίσης και για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων μέσω του κλειστού κυκλώματος. Εκτός από την ρύθμιση του ψεκασμού μια ECU ελέγχει και την διαδικασία της ανάφλεξης ορίζοντας τον κατάλληλο χρονισμό της, την απαραίτητη προπορεία έναυσης βασισμένη στην ταχύτητα και το φορτίο του κινητήρα, και τυχόν μειώσεις αυτής συναρτήσει του σήματος του αισθητήρα κρουστικής καύσης. Πραγματοποιεί επίσης έλεγχο πολλών συστημάτων και συσκευών όπως η βαλβίδα EGR, η βαλβίδα εκτόνωσης υπερπληρωτή, ο κλιματισμός και οι φτερωτές του ψυγείου. Η κύρια διαφορά της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου συγκριτικά με παλαιότερα συστήματα είναι ότι μπορεί να προσφέρει πολύ μεγαλύτερα επίπεδα διακρίτοτητας όσον αφορά τον ψεκασμό καυσίμου και την προπορεία έναυσης. Τα μηχανικά συστήματα ελέγχου ήταν αδύνατο να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε όλο το φάσμα λειτουργίας ενός κινητήρα, καθώς και να προσαρμοστούν σε τυχόν ιδιαιτερότητες του αναλόγως με τον σχεδιασμό που έγινε κατά την κατασκευή του. Η αντικατάστασή τους από την ECU εξάλειψε αυτά τα μειονεκτήματα. Η διαδικασία ελέγχου του κινητήρα από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου αρχίζει με την συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες. Στη συνέχεια προσδιορίζεται η φάση λειτουργίας του κινητήρα βασισμένη σε αυτά τα δεδομένα, που αφορούν την θερμοκρασία του, την ταχύτητά του, το φορτίο του καθώς και άλλα. Μετά από τους κατάλληλους υπολογισμούς ορίζονται οι επόμενες απαραίτητες ενέργειες και στέλλονται τα κατάλληλα σήματα εξόδου. Τα σήματα αυτά μεταφράζονται από ψηφιακά σε ηλεκτρικά, τροφοδοτούνται στους κατάλληλους ενεργοποιητές και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται επ'αορίστου.

### **1.3.2 Υλικό Ηλεκτρονικής Μονάδας Ελέγχου**

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου είναι στην ουσία ένας ψηφιακός μικροεπεξεργαστής που σκοπό έχει να την επίλυση προβλημάτων που αφορούν την λειτουργία μιας ΜΕΚ. Μέσω μικροσκοπικών διακοπών και μικροκυκλωμάτων μπορεί να λαμβάνει απλές αποφάσεις όπως να ενεργοποιεί ή να διακόπτει την παροχή τάσης σε έναν αγωγό όταν υπάρχει παρουσία τάσης σε έναν άλλο αγωγό. Εκ πρώτης όψεως αυτές οι πολύ απλές αποφάσεις δεν φαίνονται να ικανές να ελέγξουν την λειτουργία μιας τόσο σύνθετης συσκευής όπως η ΜΕΚ. Όμως εάν εφαρμοστούν με σειρά εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια τέτοιων απλών αριθμητικών και λογικών αποφάσεων τότε μπορούν να πραγματοποιηθούν πολύ πιο δύσκολοι υπολογισμοί για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας, όχι μόνο των ECU των ΜΕΚ, αλλά όλων των μονάδων ελέγχου. Η επιτυχής λειτουργία μιας ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου ενός κινητήρα προϋποθέτει την ύπαρξη του παρακάτω υλικού.



## **1) Μνήμη PROM (Programmable Read Only Memory)**

Η μνήμη PROM της ECU χρησιμοποιείται για την αποθήκευση προγραμμάτων και δεδομένων τα οποία δεν χρειάζεται να μεταβληθούν ποτέ, όπως ο αριθμός κυλίνδρων ή ο κυβισμός του κινητήρα. Όπως υποδηλώνει και το όνομά της, υπάρχει μόνο η δυνατότητα να διαβαστούν δεδομένα από αυτήν και όχι να εισαχθούν νέα μετά την αρχική εισαγωγή τους μέσω ειδικού μηχανήματος υπεριώδων ακτινών. Ωστόσο η πρόοδος της τεχνολογίας εισήγαγε τις EEPROM (Electrically Erasable PROM) από τις οποίες υπάρχει η δυνατότητα ανάγνωσης αλλά και εισαγωγής δεδομένων. Έτσι λοιπόν μπορεί να γίνεται αναβάθμιση του λογισμικού με σκοπό την βελτίωση των επιδόσεων ενός κινητήρα και την ομαλή λειτουργία του έπειτα από αλλαγές εξαρτημάτων που επηρεάζουν τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του. Ωστόσο, η ταχύτητα ανάγνωσης των δεδομένων από αυτές είναι χαμηλή. Για τον λόγο αυτό, με το άνοιγμα του διακόπτη όλα τα δεδομένα της μεταφέρονται στην μνήμη τυχαίας προσπέλασης.

## **2) Μνήμη RAM (Random Access Memory)**

Η μνήμη τυχαίας προσπέλασης αποτελείται από σιλικονούχα τσιπ, τα οποία προσφέρουν από εκατοντάδες χιλιάδες έως δισεκατομμύρια θέσεις για την αποθήκευση δεδομένων όντας ενεργοποιημένες ή απενεργοποιημένες (on/off). Στις μνήμες αυτές μπορεί να γίνει ανάγνωση και καταγραφή δεδομένων και η ταχύτητα και των δύο είναι εξαιρετικά μεγάλη. Το μεγάλο της μειονέκτημα όμως είναι η απώλεια των αποθηκευμένων δεδομένων της με την διακοπή τροφοδοσίας της με ρεύμα, πράγμα που δεν υφίσταται με την PROM ή την EEPROM. Έτσι λοιπόν για να αξιοποιηθεί η μεγάλη ταχύτητα της, με το άνοιγμα του διακόπτη όλα τα δεδομένα μεταφέρονται από την PROM στην RAM. Όλη η λειτουργία του κινητήρα εκτελείται στη συνέχεια από εκεί. Στην RAM αποθηκεύονται επίσης οι οδηγίες που πληροφορούν την αριθμητική – λογική μονάδα για τον τρόπο διαχείρισης των δεδομένων. Ο τρόπος αυτός ονομάζεται πρόγραμμα ή λογισμικό.

## **3) Αριθμητική – Λογική Μονάδα (ALU)**

Η αριθμητική λογική μονάδα μιας ECU εκτελεί αριθμητικές και λογικές διεργασίες βασισμένη στις οδηγίες ενός προγράμματος. Παράγει έπειτα τους κώδικες κατάστασης (condition codes) ώστε να πληροφορήσει το πρόγραμμα για το εάν η διεργασία ολοκληρώθηκε επιτυχώς ή όχι. Η μονάδα αυτή έχει ενσωματωμένες δικές της αυτόνομες μνήμες οι οποίες ονομάζονται μητρώα (registers). Βάσει των οδηγιών που λαμβάνει αποθηκεύει και διαχειρίζεται δεδομένα στα μητρώα της και στη συνέχεια αποθηκεύει τα αποτελέσματα των διεργασιών που εκτελεί. Αποτελεί παράρτημα του επεξεργαστή.

#### **4 )Μετατροπέας Αναλογικών Σημάτων σε Ψηφιακά (A/Dcircuit)**

Στον μικροεπεξεργαστή της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου βρίσκεται ένας μετατροπέας αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά. Αυτός λαμβάνει τα αναλογικά σήματα εισόδου των αισθητήρων και τα μετατρέπει σε ψηφιακά νούμερα, τα οποία στη συνέχεια μπορεί να τα επεξεργαστεί η ECU. Τα σήματα εξόδου που προκύπτουν σε ψηφιακή μορφή μετατρέπονται και αυτά σε αναλογικά και ενισχύονται κατάλληλα ώστε να λειτουργήσει σωστά ένας ενεργοποιητής.

#### **5) ΣύστημαΕισόδων-Εξόδων (Input/Outputsystem)**

Το σύστημα εισόδων-εξόδων ελέγχει την κίνηση των δεδομένων μεταξύ της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου και των εξωτερικών συσκευών με τις οποίες επικοινωνεί. Η μονάδα δέχεται πληροφορίες από τους αισθητήρες (σήματα εισόδου) μέσω αυτού του συστήματος, οι οποίοι της δίνουν μια εικόνα για τις συνθήκες που επικρατούν κατά την λειτουργία του κινητήρα. Επεξεργάζεται στη συνέχεια αυτές τις πληροφορίες και εξάγει τα αποτελέσματα (σήματα εξόδου) μέσω του συστήματος εισόδων-εξόδων στους ενεργοποιητές, επιτυγχάνοντας έτσι τις απαραίτητες ενέργειες για τον έλεγχο του κινητήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Παρουσίαση ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου Megasquirt

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου Megasquirt είναι προϊόν της εταιρίας DIYautotune. Πρόκειται για πειραματική προγραμματιζόμενη μονάδα ελέγχου του ψεκασμού και της ανάφλεξης, των οποίων τις ρυθμίσεις τις διαμορφώνει ο ίδιος ο χρήστης. Προορίζεται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς δίνοντας παράλληλα και πλήρη ευθύνη στον χρήστη για το αποτέλεσμα που θα προκύψει. Το κόστος της είναι χαμηλό, η κατασκευή της απλή και παρουσιάζει συμβατότητα με πολλά συστήματα καθιστώντας την ιδανική για τον σκοπό που επιθυμεί η εταιρία να επιτύχει.

Αποτελείται από την μητρική πλακέτα (mainboard) διαστάσεων 152,4 mmx101,6 mm πάνω στην οποία υπάρχει μια υποδοχή με σαράντα pins. Σε αυτήν ενσωματώνεται το kit του επεξεργαστή MegasquirtII, μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος διαστάσεων 29,21 mmx 66mm, η οποία φέρει τον επεξεργαστή MC9S12C64, ταχύτητας 24 MHz. Στην μονάδα ελέγχου βρίσκεται επίσης αποθηκευμένος ο κώδικας λειτουργίας της, γραμμένος σε γλώσσα C.

Από την εταιρία παρέχεται επίσης το λογισμικό μέσω του οποίου γίνεται ο προγραμματισμός της μονάδας, το TunerStudioMS. Είναι μια εφαρμογή java, φιλική προς τον χρήστη και του επιτρέπει να βλέπει, να διαμορφώνει και να καταγράφει τις παραμέτρους της μονάδας. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος συνδέεται μέσω καλωδίου DB9 με την ECU. Τέλος, η εταιρία παρέχει σημαντική θεωρητική και τεχνική υποστήριξη δωρεάν στον χρήστη μέσω του ιστότοπού της.



*Εικόνα 2.2 Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου Megasquirt.*



*Εικόνα 2.1 Η θύρα DB37 (αριστερά) και οι θύρες DB9 (2η εικόνα αριστερά) και DB15 (2η εικόνα δεξιά).*

## **2.2 Δυνατότητες του Megasquirt**

Οι δυνατότητες του Megasquirt συνοψίζονται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες

### **Γενικές δυνατότητες**

- Υποστηρίζει τη χρήση αισθητήρων απόλυτης πίεσης εισαγωγής MAP, μάζας αέρος MAF και θέσεως πεταλούδας γκαζιού TPS για τον υπολογισμό του φορτίου του κινητήρα.
- Δυνατότητα χρήσης όλων των τρόπων ψεκασμού καυσίμου (σε παρτίδες, ημιδιαδοχικό, διαδοχικό).
- Δυνατότητα χρήσης όλων των τρόπων ανάφλεξης (αυτόνομη, χαμένου σπινθήρα κλπ)
- Δυνατότητα ελέγχου βαλβίδας ρελαντί

### **Δυνατότητες ψεκασμού**

- 1μsec ανάλυση ψεκασμού.
- Υπολογισμός του απαιτούμενου ψεκασμού ανάλογα με τον κυβισμό του κινητήρα και των εγχυτήρων που διαθέτουμε.
- Δυνατότητα διόρθωσης ψεκασμού για αλλαγές στην πίεση και την θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής.
- Προσαρμογή του ψεκασμού με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη μέσω πινάκων ογκομετρικού βαθμού απόδοσης.
- Διορθώσεις με βάση την θερμοκρασία του κινητήρα.
- Διορθώσεις για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων.
- Βαρομετρικές διορθώσεις.
- Εμπλουτισμό του μίγματος για τις ανάγκες επιτάχυνσης του κινητήρα.

### **Δυνατότητες ανάφλεξης**

- Ορισμός της επιθυμητής προπορείας έναυσης μέσω πίνακα προπορείας με βάση το φορτίο και τις στροφές του κινητήρα.
- Διόρθωση προπορείας με βάση τη θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα.
- Διόρθωση της προπορείας με βάση την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού

### **Άλλες δυνατότητες**

- Έλεγχος των στροφών λειτουργίας κατά την φάση του ρελαντί.

- Περιοριστής λειτουργίας ‘κόφτης’ για την προστασία του κινητήρα με διακοπή καυσίμου ή σπινθήρα ή με συνδυασμό και των δύο
- Δυνατότητα λειτουργίας υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα
- Υποστήριξη συστημάτων υγρού αζώτου

### **2.3 Σήματα αισθητήρων (είσοδοι του Megasquirt)**

Όπως όλες οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου, έτσι και ο Megasquirt για να ελέγξει έναν κινητήρα χρειάζεται ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του. Με τις πληροφορίες αυτές (είσοδοι) κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς και εξάγει τα κατάλληλα αποτελέσματα. Οι είσοδοι που προέρχονται από τους αισθητήρες μιας MEK και είναι αναλογικά ή ψηφιακά σήματα, αναλόγως την κατασκευή του αισθητήρα. Η μορφή του σήματος των αισθητήρων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκλογή τους, έτσι ώστε να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ αυτών και της ECU. Παρακάτω αναλύονται οι σημαντικότεροι από αυτούς τους αισθητήρες.

#### **2.3.1 Αισθητήρας Απόλυτης Πίεσης στην Εισαγωγή (ManifoldAirPressureSensor)**

Ο αισθητήρας απόλυτης πίεσης MAP βρίσκεται μέσα στην πολλαπλή εισαγωγής, μετά την πεταλούδα, και χρησιμοποιείται για να ανιχνεύει την απόλυτη πίεση μέσα σε αυτήν, με σκοπό τον υπολογισμό του φορτίου του κινητήρα από την ECU. Αποτελείται από ένα στοιχείο ευαίσθητο σε πίεση, το οποίο είναι κατασκευασμένο από κεραμικό υλικό ή σιλικόνη, καθώς και από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Ο αισθητήρας παράγει ένα σήμα του οποίου η τιμή αλλάζει ανάλογα με την μεταβολή της απόλυτης πίεσης στην πολλαπλή. Οι περισσότεροι MAP τροφοδοτούνται με τάση 5V από την ECU και διαθέτουν μια γείωση καθώς και μια έξοδο η οποία καταλήγει στην ECU για την μεταφορά της πληροφορίας. Οι τιμές εξόδου του κυμαίνονται από 1,25V στο ρελαντί και σχεδόν 5V για πλήρως ανοιχτή πεταλούδα.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι για χαμηλές τιμές πίεσης (υποπίεση) παράγεται χαμηλή τάση ενώ για υψηλές τιμές υψηλή τάση.

Όπως προαναφέρθηκε ο αισθητήρας MAP χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του φορτίου του κινητήρα, καθώς επίσης και για τον σωστό χρονισμόσπινθηροδότησης. Γνωρίζοντας την απόλυτη πίεση μέσα σε έναν αγωγό σταθερής διατομής (πολλαπλή εισαγωγής) η ECU μπορεί να υπολογίσει την μάζα αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα και μέσω αποθηκευμένων πινάκων να διαμορφώσει το κατάλληλο μίγμα αέρα-καυσίμου, όπως και να επιτύχει σωστό σπινθηρισμό. Ωστόσο, μεταβολές στην πυκνότητα του αέρα που προέρχονται από αλλαγές στο υψόμετρο ή την θερμοκρασία του αέρα δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τον αισθητήρα MAP. Γι'αυτόν το λόγο χρησιμοποιείται πάντοτε σε συνδυασμό με αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα και προαιρετικά με βαρομετρικό αισθητήρα.

Οι κινητήρες με αισθητήρα MAP βασίζονται στην σωστή και απόλυτα ακριβή λειτουργία του, ειδάλλως η ομαλή λειτουργία του κινητήρα επηρεάζεται σε τεράστιο βαθμό. Εκτός από τυχόν βλάβες, ο αισθητήρας ενδέχεται να δυσλειτουργεί λόγω ελλιπούς ή κακής βαθμονόμησής του. Ένα παράδειγμα είναι οι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες όπου οι πιέσεις στην πολλαπλή ενδέχεται να φτάνουν μέχρι και 2 ή 3 bar. Στην περίπτωση αυτή το εύρος τιμών των σημάτων εξόδου του αισθητήρα θα πρέπει να αντιστοιχεί με το εύρος πιέσεων που αναπτύσσονται στην πολλαπλή.



**Εικόνα 2.3** Αισθητήρας απόλυτης πίεσης εισαγωγής MAP

### **2.3.2 Αισθητήρας Μάζας Αέρα ( Mass Airflow Sensor)**

Ο αισθητήρας μάζας αέρα έχει ως σκοπό την μέτρηση της μάζας του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα από την εισαγωγή. Τοποθετείται μετά το φίλτρο αέρος και πριν την πολλαπλή εισαγωγής και πάντα κάθετα στη ροή του αέρα. Συνεπώς όλος ο αέρας διέρχεται μέσα από τον αισθητήρα, ο οποίος παρουσιάζει υψηλή ακρίβεια μετρήσεων και ταχυστή απόκριση σε μεταβολές της ροής του αέρα.

Υπάρχουν δυο είδη αυτού του αισθητήρα, οι θερμού νήματος και οι θερμού φίλμ. Η λειτουργία του βασίζεται στην θέρμανση ενός θερμαινόμενου στοιχείου, το οποίο βρίσκεται πάνω στην ροή του εισερχόμενου αέρα. Το στοιχείο θερμαίνεται σε μια καθορισμένη θερμοκρασία και ψύχεται από τον αέρα που διέρχεται από αυτό. Καθώς πέφτει η θερμοκρασία του, το κύκλωμα ελέγχου του αισθητήρα τροφοδοτεί το θερμαινόμενο στοιχείο με περισσότερο ρεύμα ώστε να διατηρεί την προκαθορισμένη θερμοκρασία του. Επομένως, η ECU αντιλαμβανόμενη πόσο ρεύμα χρειάζεται για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του στοιχείου σταθερή, μπορεί να υπολογίσει την μάζα του εισερχόμενου αέρα, λαμβάνοντας υπόψη της την θερμοκρασία, την πυκνότητα ή την υγρασία του. Συνεπώς η μεταβολή της τάσης του ρεύματος είναι πάντοτε ανάλογη με την μεταβολή της μάζας του αέρα.

Η σωστή λειτουργία του αισθητήρα προϋποθέτει το θερμαινόμενο στοιχείο να διατηρείται καθαρό και να υπάρχει καλή αεροδυναμική σχεδίαση, ώστε να αποφεύγονται τύρβες του αέρα που να μπερδεύουν τον αισθητήρα. Όσον αφορά την καθαριότητα του νήματος ή του φίλμ, ορισμένοι κατασκευαστές δίνουν τη δυνατότητα θέρμανσής τους στους 800°C περίπου για ένα δευτερόλεπτο μετά την απενεργοποίηση του κινητήρα, καίγοντας έτσι τυχόν επικαθίσεις.



*Εικόνα 2.4 Αισθητήρας μάζας εισερχόμενου αέρα MAF*



### **2.3.3**

### **Αισθητήρας Θέσεως Πεταλούδας Γκαζιού (ThrottlePositionSensor)**

Ο αισθητήρας θέσεως πεταλούδας είναι ένας αισθητήρας μεταβλητής αντίστασης, δηλαδή ένα ποτενσιόμετρο. Αποτελείται από μεταβλητό αντιστάτητριών αγωγών ο οποίος μεταβάλλει την αντίστασή του καθώς η πεταλούδα ανοίγει ή κλείνει. Η ECU τροφοδοτεί τον αισθητήρα με τάση 5V, ενώ υπάρχει και μια γείωση. Καθώς μεταβάλλεται η θέση της πεταλούδας η εσωτερική αντίσταση του αισθητήρα αλλάζει και αυτή ανάλογα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη τροποποίηση της τάσης ενός σήματος εξόδου το οποίο λαμβάνεται από την ECU μέσω του τρίτου αγωγού. Αναλόγως με την τιμή της τάσης που θα διαβάσει, η ECU μπορεί να προσδιορίσει την ακριβή γωνία ανοίγματος της πεταλούδας.

Με την πληροφορία αυτή μπορεί να γίνει υπολογισμός του φορτίου του κινητήρα και κατ'επέκταση δημιουργία κατάλληλου μίγματος, σε ορισμένους κινητήρες. Πέραν της γωνίας ανοίγματος, η ECU έχει την δυνατότητα να υπολογίζει και τον ρυθμό με τον οποίο ανοίγει η πεταλούδα. Η λειτουργία της αυτή βρίσκει χρήση στους περισσότερους κινητήρες πλέον. Μέσω αυτής επιτυγχάνεται ο εμπλουτισμός του μίγματος ώστε να αποφεύγεται το "κρέμασμα" του κινητήρα κατά την απότομη επιτάχυνση.

Για την σωστή λειτουργία του αισθητήρα, όταν αυτός χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του φορτίου του κινητήρα, είναι απαραίτητη η σωστή βαθμονόμησή του. Συνήθως αυτή γίνεται μέσω λογισμικού στο οποίο καταχωρούνται δύο θέσεις της πεταλούδας, μία θέση για κλειστή και μία για πλήρως ανοιχτή, με τις αντίστοιχες τάσεις (ελάχιστη, συνήθως περίπου 1V και μέγιστη 5V). Βαθμονόμηση δεν απαιτείται όταν ο προσδιορισμός του φορτίου του κινητήρα γίνεται με άλλον τρόπο, καθώς μας ενδιαφέρει μονάχα η μεταβολή της θέσης της πεταλούδας στη μονάδα του χρόνου και όχι η ακριβή της θέση, για τον εμπλουτισμό του μίγματος στην επιτάχυνση.



*Εικόνα 2.5* Αισθητήρας θέσεως πεταλούδας γκαζιού TPS

### **2.3.4 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εισερχόμενου Αέρα (Intake Air Temperature Sensor)**

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα είναι ένας αισθητήρας που έχει σκοπό να προσδιορίζει τη θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται από την εισαγωγή στους κυλίνδρους. Την πληροφορία αυτή την λαμβάνει η ECU ώστε να εκτιμήσει τις αλλαγές στην πυκνότητα του αέρα που προκύπτουν από την αλλαγή της θερμοκρασίας, προκειμένου να βελτιστοποιήσει τον ψεκασμό του καυσίμου και το χρονισμό της ανάφλεξης.

Πρόκειται για έναν αισθητήρα μεταβλητής αντίστασης, η οποία μεταβάλλεται με τις αλλαγές της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα. Η πλειονότητα των αισθητήρων αυτών είναι αρνητικού συντελεστή (NTC), πράγμα που σημαίνει ότι η αντίσταση τους μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Τροφοδοτούνται με τάση 5V από την ECU.

Ο αισθητήρας αυτός, σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απορρόφα θερμότητα από τα τοιχώματα στα οποία εδράζεται, εξασφαλίζοντας έτσι ακρίβεια στις μετρήσεις του. Τέλος, εκτός από ακρίβεια, ένα άλλο χαρακτηριστικό του

αισθητήρα αυτού είναι ότι ανταποκρίνεται αρκετά γρήγορα στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας.



*Εικόνα 2.6* Αισθητήρας θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα IAT.

### **2.3.5 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού (Coolant Temperature Sensor)**

Ο αισθητήρας αυτός καταγράφει την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού του κινητήρα. Η δομή και η σχεδίαση του είναι ίδια με τον αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα. Τα δεδομένα του μεταφέρονται στην ECU και έπειτα από την επεξεργασία τους ελέγχονται ορισμένες διαδικασίες του κινητήρα.

Αρχικά όταν ο κινητήρας είναι κρύος, τίθεται σε εφαρμογή ο εμπλουτισμός του μίγματος (warmup enrichment) για να φτάσει ο κινητήρας σε ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας. Επίσης περιορίζεται η προπορεία έναυσης για περιβαλλοντικούς λόγους και η ανακύκλωση καυσαερίου (EGR) δεν ενεργοποιείται, ώστε να έχει καλύτερη συμπεριφορά. Πέραν των προαναφερθέντων, ελέγχεται και η ενεργοποίηση του lock-up στον μετατροπέα ροπής των αυτόματων κιβωτίων, καθώς και η λειτουργία της φτερωτής του συστήματος ψύξης. Τέλος, ο αισθητήρας αυτός συνεργάζεται με τον αισθητήρα οξυγόνου ώστε να τεθεί η ECU σε κατάσταση κλειστού κυκλώματος (closed loop operation) για τον έλεγχο των εκπομπών καυσαερίων.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, από το πλήθος των λειτουργιών που εκτελεί, ότι πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό αισθητήρα και η σωστή λειτουργία του είναι απολύτως απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα.



*Εικόνα 2.7* Αισθητήρας θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού CTS

### **2.3.6 Αισθητήρας Θέσεως Κινητήρα (Cam/CrankPositionSensor)**

Οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου χρησιμοποιούν αισθητήρες θέσεως για να γνωρίζουν σε ποιά φάση λειτουργίας βρίσκεται ο κινητήρας. Την πληροφορία που λαμβάνουν την χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό της ταχύτητας του κινητήρα (στροφές), τον χρονισμό του ψεκασμού καυσίμου (διαδοχικός ψεκασμός) καθώς και για τον χρονισμό σπινθηροδότησης. Τοποθετούνται συνήθως στον στροφαλοφόρο ή τον εκκεντροφόρο άξονα και σπανιότερα στον διανομέα τάσης (εάν υπάρχει).

Μέσω του αισθητήρα στον στροφαλοφόρο η ECU γνωρίζει πότε ο πρώτος κύλινδρος βρίσκεται στο ΑΝΣ. Ωστόσο για να γνωρίζει αν βρίσκεται στη φάση της εξαγωγής ή της συμπίεσης απαιτείται η λήψη σήματος θέσης από τον εκκεντροφόρο. Από τη συχνότητα λήψης σημάτων η μονάδα ελέγχου υπολογίζει και τον αριθμό στροφών λειτουργίας του κινητήρα.

Τα κύρια είδη αισθητήρων θέσεως είναι δύο: οι επαγωγικοί και οι τύπου HallEffect. Οι επαγωγικοί ανταποκρίνονται στις αλλαγές της μαγνητικής ροής με την διέλευση ενός μαγνήτη από μπροστά τους, παράγοντας εναλλασσόμενο ρεύμα και κατά συνέπεια ένα σήμα του οποίου η συχνότητα και το πλάτος εξαρτώνται από τις

στροφές του κινητήρα. Οι αισθητήρες τύπου HallEffect, είναι αισθητήρες τριών αγωγών, (ένας για γείωση, ένας για το σήμα εξόδου, ένας για τάση αναφοράς 5V ή 12V από την ECU) και αντιλαμβάνονται την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Παράγουν ένα υψηλής ποιότητας σήμα το οποίο μεταβάλλεται ταχύτατα από την μέγιστη τιμή του στο 0 και πάλι πίσω, χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητά του από τις στροφές του κινητήρα. Επίσης, το διάκενο ανάμεσα σε αυτόν και τον τροχό στον οποίο εφαρμόζεται δεν τον επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό.



*Εικόνα 2.8* Αισθητήρας θέσεως κινητήρα

### **2.3.7 Αισθητήρας Λάμδα (Exhaust Gas Oxygen Sensor)**

Ο αισθητήρας οξυγόνου ή αλλιώς λάμδα τοποθετείται συνήθως μετά τον καταλυτικό μετατροπέα ή εάν συνδυάζονται δυο αισθητήρες οξυγόνου ο ένας βρίσκεται πριν από αυτόν και ο άλλος μετά. Από εκεί διαβάζει πόσο οξυγόνο υπάρχει στα καυσαέρια, δηλαδή πόσο δεν έχει καεί.

Αυτή η πληροφορία αποστέλλεται στην μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) ώστε να γνωρίζει εάν το μίγμα είναι πλούσιο, φτωχό ή στοιχειομετρικό. Στη συνέχεια η ECU μπορεί να κάνει γρήγορες διορθώσεις στο πλάτος παλμού ώστε να πετύχει τον επιθυμητό λόγο λάμδα καθώς και να ενεργοποιήσει την λειτουργία κλειστού κυκλώματος (closedloop) για τον έλεγχο εκπομπών ρύπων.

Η κεφαλή του αισθητήρα είναι κατασκευασμένη από ζιρκόνιο και επικαλυμμένη με πορώδη πλατίνα. Μέσα της βρίσκονται τοποθετημένα δύο πλατινένια ηλεκτρόδια. Το ένα άκρο της κεφαλής έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια ενώ το άλλο εκτίθεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Με την διέλευση των καυσαερίων από το ένα άκρο της δημιουργείται τάση την οποία και διαβάζει η ECU.

Υπάρχουν δυο είδη αισθητήρων λάμδα, οι στενής ζώνης και οι ευρείας ζώνης. Οι στενής ζώνης παράγουν περίπου 0,9V σε πολύ πλούσιο μίγμα και περίπου 0,1V σε πολύ φτωχό μίγμα. Στα 0,5V περίπου ορίζεται το στοιχειομετρικό μίγμα. Η ακρίβειά τους ωστόσο είναι χαμηλή για τιμές λόγου λάμδα πέραν του στοιχειομετρικού. Οι ευρείας ζώνης δίνουν σήματα από 0V έως 5V και προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια για όλο το φάσμα λόγων λάμδα, αλλά κοστίζουν περισσότερο.

Οι αισθητήρες αυτοί πρέπει να φθάσουν σε ορισμένη θερμοκρασία για να λειτουργήσουν σωστά και γι'αυτό πολλές φορές υπάρχει η επιλογή θέρμανσής τους από την ECU. Αξίζει τέλος να αναφερθεί ότι η παρουσία τετραεθυλικού μολύβδου στα καυσαέρια τους καταστρέφει ταχύτατα, κάνοντας τη χρήση αμόλυβδου καυσίμου απαραίτητη προϋπόθεση.



*Εικόνα 2.9* Αισθητήρας λάμδα ευρείας ζώνης (wideband EGO)

### **2.3.8 Αισθητήρας Κρουστικής Καύσης (Knock Sensor)**

Ο αισθητήρας κρουστικής καύσης βρίσκεται συνήθως τοποθετημένος επάνω στον κορμό του κινητήρα και σπανιότερα στην κεφαλή ή στην πολλαπλή εισαγωγής. Αποτελείται από έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο ο οποίος είναι ευαίσθητος σε διαφοροποιήσεις του επιπέδου θορύβου του κινητήρα, παράγοντας ένα αναλογικό σήμα το οποίο αποστέλλεται στην μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) προς επεξεργασία.

Όταν διαπιστωθεί η ύπαρξη κρουστικής καύσης, η ECU μειώνει σταδιακά την προπορεία έναυσης έως ότου να σταματήσει (επιστροφή του επιπέδου θορύβου σε φυσιολογικά επίπεδα), με σκοπό να προστατέψει τον κινητήρα και να περιορίσει την απώλεια ισχύος. Στη συνέχεια αρχίζει να επαναφέρει σταδιακά την

προπορεία έναυσης στα προκαθορισμένα επίπεδα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναλαμβάνεται επ'άοριστον, έως ότου σταματήσει να υπάρχει κρουστική καύση.

Σε πιο σύγχρονα συστήματα ο έλεγχος για κρουστική καύση μπορεί να γίνεται για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά, αντί για όλον τον κινητήρα και η μείωση της προπορείας να πραγματοποιείται για όποιον κύλινδρο αντιμετωπίζει πρόβλημα. Ωστόσο, η χρήση των αισθητήρων αυτών είναι σχετικά περιορισμένη, καθώς η βαθμονόμησή τους ώστε να ανταποκρίνονται ακριβώς στα επίπεδα θορύβου ενός κινητήρα είναι μια επίπονη διαδικασία η οποία απαιτεί και περίπλοκο διαγνωστικό εξοπλισμό.



*Εικόνα 2.10* Αισθητήρας κρουστικής καύσεως (Knock Sensor)

## **2.4 Ενεργοποιητές (έξοδοι του Megasquirt)**

Έχοντας λοιπόν δεχτεί και αναλύσει τα δεδομένα των αισθητήρων, ο Megasquirt εξάγει κάποια αποτελέσματα. Ωστόσο, χρειάζεται ορισμένες ηλεκτρομηχανικές συσκευές με τις οποίες θα εφαρμόσει στην πράξη τις ενέργειες που θέλει για τον έλεγχο του κινητήρα. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται ενεργοποιητές (actuators). Είναι απαραίτητο να δοθεί μεγάλη προσοχή στη συμβατότητά τους με την ECU για την αποφυγή ζημιών καθώς και άσκοπης απώλειας χρημάτων. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς παρατίθενται παρακάτω.

### **2.4.1 Μπεκ Ψεκασμού**

Τα μπεκ ψεκασμού είναι υπεύθυνα για τον ψεκασμό του καυσίμου ώστε να πραγματοποιηθεί η καύση του μέσα στο θάλαμο. Τροφοδοτούνται συνήθως με τάση 12V και η διάρκεια τροφοδοσίας εξαρτάται από το πλάτος παλμού που ορίζει η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Πρόκειται στην ουσία για μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα η οποία παραμένει κλειστή, με τη βοήθεια ενός ελατηρίου και της πίεσης του καυσίμου, όσο δεν τροφοδοτείται με ρεύμα. Την στιγμή που θα τροφοδοτηθεί με ρεύμα το πηνίο της, η ηλεκτρομαγνητική δύναμη έλκει την βαλβίδα ανασηκώνοντάς την από την έδρα της κατά περίπου 0,06 χιλιοστά, επιτρέποντας την διέλευση του καυσίμου.

Η κατασκευή τους γίνεται με βάση συγκεκριμένο πρότυπο ώστε να επιτύχουν συγκεκριμένους στόχους όπως η ακριβής παροχή καυσίμου σε όλες τις φάσεις λειτουργίας τους, η ομοιόμορφη κατανομή του ψεκασμένου καυσίμου για σωστή ανάμιξή του με τον εισερχόμενο αέρα καθώς και η απόλυτη στεγανοποίηση της βαλβίδας όταν δεν τροφοδοτείται με ρεύμα το μπεκ. Επίσης πρέπει να παρουσιάζουν αντίσταση σε διάβρωση από νερό ή από ακατάλληλα και νοθευμένα καύσιμα, να είναι αξιόπιστα και να έχουν ήσυχη λειτουργία.

Το κύριο στοιχείο με βάση το οποίο κατηγοριοποιούνται είναι η παροχή τους. Η παροχή εξαρτάται πρώτον από το μέγεθος της βαλβίδας, δηλαδή τη διάμετρο της οπής από όπου εξέρχεται το καύσιμο, και κατά δεύτερον από την πίεση του καυσίμου εντός της μπεκιάρας.

Οι τρόποι ενεργοποίησης τους για να επιτευχθεί ο ψεκασμός του καυσίμου είναι τρεις. Πρώτον ο ψεκασμός σε παρτίδες (batch-fire) όπου τα μπεκ ψεκάζουν ταυτόχρονα όλα μαζί δυο φορές ανά κύκλο λειτουργίας (κάθε 360°). Ο χρονισμός τους δεν είναι αυστηρός, καθώς το καύσιμο μπορεί να περιμένει επάνω στην βαλβίδα εισαγωγής μέχρι εκείνη να ανοίξει. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτούνται μεγάλα μπεκ για τον ψεκασμό καθώς μοιράζεται σε δυο παρτίδες η ποσότητα που απαιτείται, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη ακρίβεια ψεκασμού, καθώς και στο γεγονός ότι ομογενοποιείται καλύτερα το μίγμα μιας και το καύσιμο απορρόφα θερμότητα από την βαλβίδα εισαγωγής όσο παραμένει επάνω της. Το μειονέκτημά της είναι ότι παρουσιάζεται μεγάλη σπάταλη καυσίμου σε ορισμένες περιοχές λειτουργίας λόγω εξόδου του από την βαλβίδα εξαγωγής κατά την φάση της επικάλυψης, οδηγώντας έτσι σε μεγάλες τιμές άκαυστων υδρογονανθράκων.

Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται ημι-διαδοχική (semi-sequential) και ενεργοποιεί τα μπεκ σε ζεύγη σε μια τετρακύλινδρη μηχανή. Είναι καλύτερη μέθοδος από την προηγούμενη ελαττώνοντας τον βαθμό σπατάλης του καυσίμου.



Η τρίτη μέθοδος είναι η διαδοχική (sequential) όπου κάθε μπεκ ψεκάζει καύσιμο κάθε 180°, παρέχοντας έτσι αυτόνομη παροχή καυσίμου για κάθε κύλινδρο. Ο ψεκασμός του καυσίμου όμως πρέπει να πραγματοποιηθεί αυστηρά κατά την φάση της εισαγωγής, μειώνοντας έτσι τον διαθέσιμο χρόνο ψεκασμού και απαιτώντας μεγαλύτερη ακρίβεια χρονισμού από τις προηγούμενες μεθόδους. Ωστόσο με την μέθοδο αυτή, αποφεύγεται η απώλεια καυσίμου λόγω επικάλυψης, συνεπώς έχουμε οικονομία καυσίμου καθώς και μειωμένη εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων. Για την συγκεκριμένη μέθοδο, χρησιμοποιείται πάντοτε αισθητήρας θέσεως εκκεντροφόρου, ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη ακρίβεια για την φάση λειτουργίας του πρώτου κυλίνδρου και στη συνέχεια μέσω υπολογισμών της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου να υπολογίζονται χρονικά οι φάσεις εισαγωγής των υπολοίπων κυλίνδρων.



*Εικόνα 2.11 Μπεκ ψεκασμού καυσίμου.*

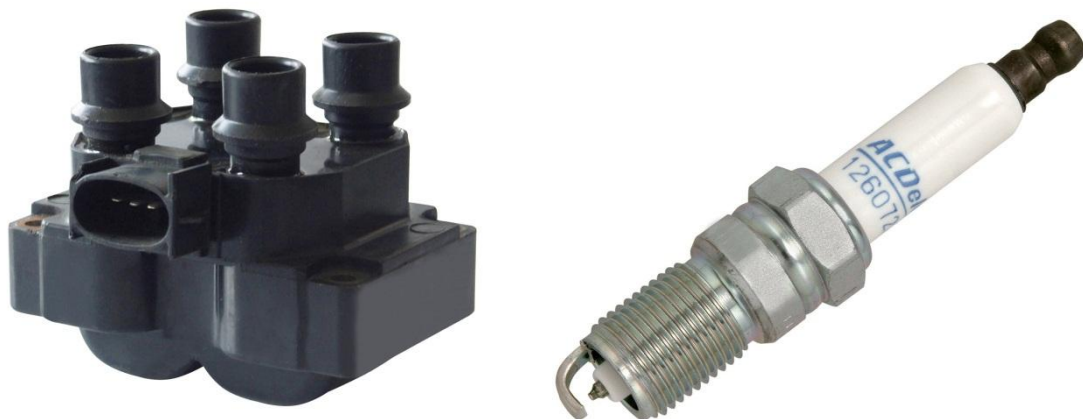
## **2.4.2 Πολλαπλασιαστές και Αναφλεκτήρες**

Εκτός από τον ψεκασμό, ο Megasquirt ελέγχει και την ανάφλεξη του κινητήρα. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού αποστέλλεται ένα σήμα εξόδου την κατάλληλη στιγμή (ανάλογα με την προπορεία έναυσης) από την ECU στον πολλαπλασιαστή. Το σήμα αυτό είναι χαμηλής τάσεως, συνήθως 12V, και δουλειά του πολλαπλασιαστή είναι να το μετατρέψει σε τάση της τάξεως των 20000V και άνω, αναλόγως των απαιτήσεων του κινητήρα.

Αποτελείται από δυο πηνία, ένα με λίγες σπείρες και σύρμα μεγάλης διαμέτρου, το οποίο δέχεται την χαμηλή τάση, και ένα με πολλές σπείρες και σύρμα μικρής διαμέτρου. Με την απότομη διακοπή ρεύματος αναπτύσσεται τεράστια τάση στο δεύτερο πηνίο μέσω του φαινομένου επαγωγής, η οποία διοχετεύεται στους

αναφλεκτήρες. Πολύ σημαντικό στοιχείο κατά τον προγραμματισμό είναι η τήρηση της σωστής γωνίας dwell, δηλαδή του χρόνου που χρειάζεται ο πολλαπλασιαστής για να φορτιστεί πλήρως. Ο χρόνος αυτός δίνεται συνήθως από τον κατασκευαστή του και τροποποιείται από τον Megasquirt ανάλογα με την τάση της μπαταρίας και την διακύμανση των στροφών λειτουργίας του κινητήρα.

Η τεράστια τάση που αναπτύσσεται λοιπόν φτάνει στους αναφλεκτήρες οι οποίοι παράγουν την σπίθα για την πραγματοποίηση της καύσης. Ο αναφλεκτήρας είναι ένα ηλεκτρόδιο το οποίο κατασκευάζεται για να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις του θαλάμου καύσης και να έχει τέτοια θερμική αγωγιμότητα ώστε να διατηρείται σε συγκεκριμένα επίπεδα θερμοκρασίας. Εάν είναι πολύ θερμό τότε αποτελεί αιτία εμφάνισης κρουστικής καύσης. Αντιθέτως εάν είναι πολύ κρύο δεν καθαρίζεται επαρκώς από τις επικαθίσεις άκαυστων υδρογονανθράκων.



*Εικόνα 2.12* Οι πολλαπλασιαστές (αριστερά), υπεύθυνοι για τον πολλαπλασιασμό της τάσεως που θα καταλήξει στους αναφλεκτήρες (δεξιά) για την παραγωγή σπίθας.

### **2.4.3 Βαλβίδα Ελέγχου Ρελαντί**

Η διατήρηση της ταχύτητας του κινητήρα σε συγκεκριμένα επίπεδα κατά την φάση του ρελαντί είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζει την ποιότητα λειτουργίας, τις εκπομπές ρύπων καθώς και πολλά άλλα. Ο Megasquirt καθώς και όλες οι σύγχρονες μονάδες ελέγχου δίνουν την δυνατότητα ελέγχου της ταχύτητας στο ρελαντί μέσω μιας ειδικής βαλβίδας η οποία ελέγχει την ροή του αέρα στον κινητήρα, όπως και η πεταλούδα γκαζιού.

Η βαλβίδα ανοίγει και κλείνει με τη βοήθεια ενός βηματικού μοτέρ. Ο Megasquirt διαβάζει την ταχύτητα του κινητήρα όταν η πεταλούδα γκαζιού είναι κλειστή και εάν διαπιστωθεί ότι δεν κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα, τότε δίνει εντολή στη βαλβίδα να αυξήσει ή να περιορίσει την ροή του αέρα. Τα επιθυμητά επίπεδα στροφών συνήθως ορίζονται από τον χρήστη μέσω του λογισμικού και τροποποιούνται με βάση το σήμα του αισθητήρα ψυκτικού υγρού, της ταχύτητας του οχήματος καθώς και με την λειτουργία περιφερικών συσκευών που μειώνουν τις στροφές λειτουργίας, όπως για παράδειγμα το κλιματιστικό, το δυναμό ή το υδραυλικό τιμόνι.



*Εικόνα 2.13 Βαλβίδα ελέγχου ρελαντί*

#### **2.4.4 Αντλία Καυσίμου**

Όλα τα συστήματα ψεκασμού χρειάζονται μια αξιόπιστη και σταθερή παροχή καυσίμου. Στην περίπτωση που η παροχή της αντλίας δεν είναι ακριβής, τότε κάθε προσπάθεια υπολογισμού του απαραίτητου πλάτους παλμού από την ECU είναι μάταια. Επίσης, θα πρέπει να παρέχει την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου στις πιο απαιτητικές καταστάσεις του κινητήρα, δηλαδή όταν απαιτείται μέγιστη ισχύς.

Αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα και την κυρίως αντλία. Στην αντλία βρίσκεται συνήθως μια βαλβίδα αντεπιστροφής η οποία αποτρέπει την επιστροφή καυσίμου πίσω στο ρεζερβουάρ με την διακοπή λειτουργίας του κινητήρα, κάνοντας την επανεκκίνησή του πιο εύκολη. Υπάρχει επίσης και μια βαλβίδα υπερπίεσης για προστασία του κυκλώματος παροχής καυσίμου καθώς και ένα φίλτρο (ή σήτα).

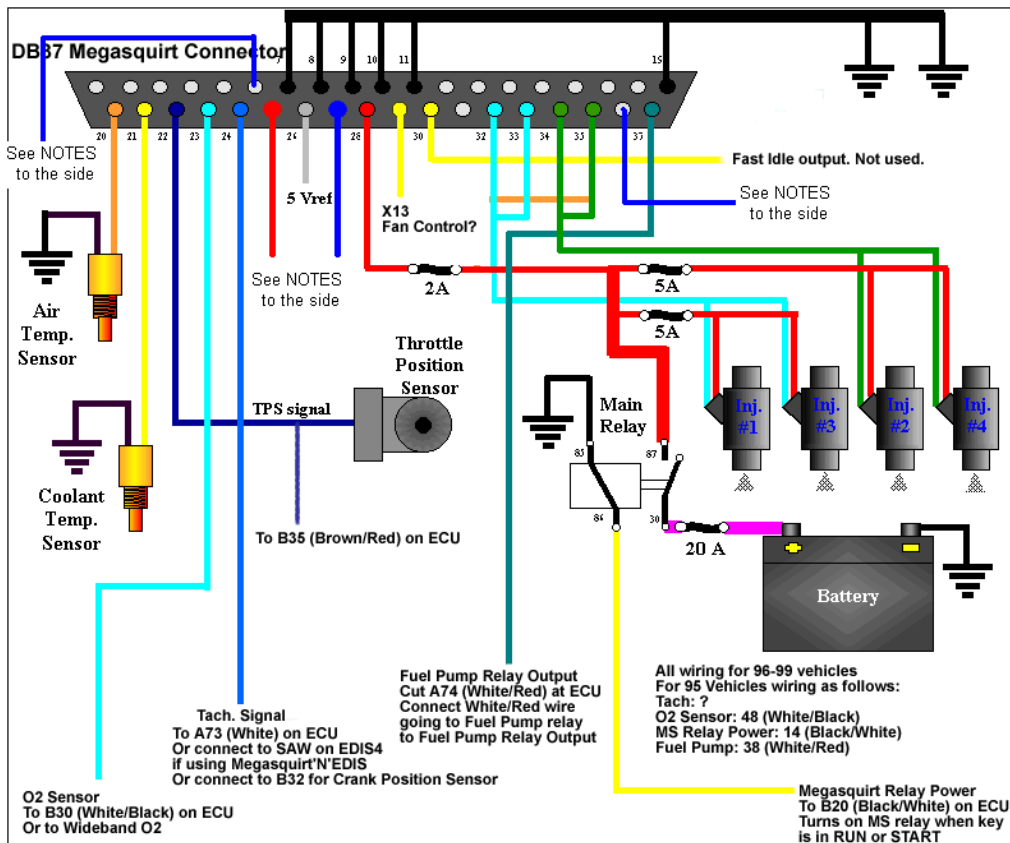


*Εικόνα 2.14* Αντλία καυσίμου

#### **2.4.5 Φτερωτές Ψυγείου**

Ο Megasquirt καθώς και οι περισσότερες ECU παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου των φτερωτών του ψυγείου νερού ενός κινητήρα. Η λειτουργία αυτή ρυθμίζεται από τον χρήστη μέσω του λογισμικού, ορίζοντας μια τιμή θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού πάνω από την οποία θα ενεργοποιούνται οι φτερωτές.

Στην εικόνα 2.15 παρουσιάζεται ένα σχεδιάγραμμα όπου απεικονίζεται η συνδεσμολογία του Megasquirt με ορισμένους από τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που αναφέρθηκαν παραπάνω.



NOTES:

For V2.2 PCB  
use Pin 25 and  
Pin 27 to the 4-  
pin GM HEI  
Modules

For V3.0 PCB  
use Pin 6 and  
Pin 36 to the 4-  
pin GM HEI  
Modules

Εικόνα 2.15 Συνολική συνδεσμολογία εγκεφάλου Megasquirt.

## 2.5 Βασική Συνάρτηση Ψεκασμού

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου Megasquirt χρησιμοποιεί μια εξίσωση για να προσδιορίσει το πλάτος παλμού το οποίο θα ενεργοποιήσει τα μπεκ ψεκασμού για κάθε χρονική στιγμή. Βασίζεται στις εισόδους που δέχεται από τους αισθητήρες του κινητήρα, τους πίνακες ογκομετρικού βαθμού απόδοσης που διαμορφώνει κατάλληλα ο προγραμματιστής καθώς και κάποια βασικά χαρακτηριστικά για τον κινητήρα τα οποία ορίζει ο ίδιος. Η εξίσωση είναι η εξής:

$$PW = REQ\_FUEL * MAP * VE(MAP,RPM) * \gamma_{Enrich} * \gamma_{Accel} + InjOpen$$

Όπου:

**REQ-FUEL** το θεωρητικό μέγιστο πλάτος παλμού.

**VE(RPM,MAP)** ο συντελεστής που διαμορφώνεται ανάλογα με τις τιμές του πίνακα ογκομετρικού βαθμού απόδοσης που έχει διαμορφώσει ο προγραμματιστής.

**MAP** ο συντελεστής ο οποίος διαμορφώνεται ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνει ο Megasquirt από τον αισθητήρα MAP.

**$\gamma_{Enrich}$**  το γινόμενο των συντελεστών εμπλουτισμού ή πτώχευσης του μίγματος όπου:

$$\gamma_{Enrich} = \frac{Warmup}{100} * \frac{O2\_Closed\_Loop}{100} * \frac{AirCorr}{100} * \frac{BarCorr}{100}$$

με:

**Warmup** τον συντελεστή που αφορά την θέρμανση του κινητήρα καθώς και τον εμπλουτισμό του μίγματος κατά την εκκίνηση.

**O2 Closed Loop** τον συντελεστή για την διόρθωση του μίγματος ώστε να επιτυγχάνεται περιορισμός των εκπομπών ρύπων.

**AirCorr** τον συντελεστή ο οποίος διαμορφώνεται ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνει ο Megasquirt από τον αισθητήρα IAT.

**BarCorr** τον συντελεστή διόρθωσης του μίγματος για αλλαγές στο υψόμετρο.

**$\gamma_{Accl}$**  ο συντελεστής ο οποίος εμπλουτίζει το μίγμα για να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις του κινητήρα για καύσιμο κατά την επιτάχυνση.

**InjOpen** η σταθερά εκφρασμένη σε milliseconds που ορίζει το ελάχιστο πλάτος παλμού που απαιτείται ώστε να καταφέρουν τα μπεκ να ανοίξουν για να αρχίσει ο ψεκασμός.

Όλα τα σήματα των αισθητήρων εισάγονται στον Megasquirt σε αναλογική μορφή εκφρασμένη σε Volts, με εύρος τιμών από 0V έως 5V. Ωστόσο για να αξιοποιηθούν στην εξίσωση πρέπει να μεταφραστούν σε ψηφιακά σήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός μετατροπέα αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά (A/Dconverter), ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος στον Megasquirt. Όταν γίνει η μετατροπή, τα ψηφιακά πλέον σήματα εισάγονται στην εξίσωση καυσίμου για τον υπολογισμό του πλάτους παλμού. Η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί και με πιο μαθηματικό τρόπο ως εξής:

$$PW = C1 * \frac{MAP}{100} * \frac{VE}{100} * \left[ \frac{IAT}{100} * \frac{WARMUP}{100} * \frac{O2\_CLOSED\_LOOP}{100} * \frac{BAR\_CORR}{100} \right] * \frac{ACCEL}{100} + C2$$

Όπου όλες οι μεταβλητές εισάγονται σε ψηφιακή μορφή στην εξίσωση ως ένας αριθμός.

### **2.5.1 Μέγιστο Πλάτος Παλμού (REQ\_FUEL)**

Ο Megasquirt ορίζει την σταθερά REQ\_FUEL ως το μέγιστο πλάτος παλμού, εκφρασμένο σε milliseconds, ώστε να επιτευχθεί στοιχειομετρικός λόγος αέρα/καυσίμου (AFR) 14,7 σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης 100 KPa, θερμοκρασίας 70F (21,11°C). Θεωρητικά, η τιμή αυτή του πλάτους παλμού είναι η μέγιστη που θα χρειαστεί ποτέ ένας κινητήρας για 100% πλήρωση. Στην πραγματικότητα όμως απαιτούνται πλουσιότερα ή φτωχότερα μίγματα από το στοιχειομετρικό σε ορισμένες περιοχές του φάσματος λειτουργίας του κινητήρα. Για αυτόν τον λόγο η REQ\_FUEL χρησιμοποιείται ως αρχικό πλάτος παλμού το οποίο στη συνέχεια τροποποιείται κατάλληλα από τους υπόλοιπους συντελεστές της

εξίσωσης παλμού. Υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση για μια ολοκληρωμένη πλήρωση ενός κυλίνδρου σε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας του κινητήρα.

$$\mathbf{REQ\_FUEL} = \frac{\mathbf{36000000 * CID * AIRDEN(100,70)}}{\mathbf{NCYL * 14,7 * INJFLOW}} * \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{DIVIDE\_PULSE}}$$

Όπου:

**CID** ο κυβισμός του κινητήρα σε κυβικές ίντσες

**NCYL** ο αριθμός κυλίνδρων του κινητήρα

**INJFLOW** η παροχή του μπεκ ψεκασμού του κινητήρα σε λίβρες ανά ώρα

**DIVIDE PULSE** ο αριθμός ψεκασμών ανά κύκλο λειτουργίας του κινητήρα

**AIRDEN** η πυκνότητα του αέρα σε λίβρες ανά κυβική ίντσα, η οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$\mathbf{AIRDEN(MAP,TEMP)} = \frac{\mathbf{0,0391568 * (MAP * 10 - 31)}}{\mathbf{(TEMP + 459,7) * 1728}}$$

υπόκανονικές συνθήκες σύμφωνα με την AMCA

(Air Movement and Control Association), δηλαδή με MAP = 100 KPa και TEMP = 70 F (21,1°C).

### **2.5.2 Διόρθωση Ογκομετρικού Βαθμού Απόδοσης (VE(MAP,RPM))**

Όπως προαναφέρθηκε και προηγουμένως, ο στοιχειομετρικός AFR δεν καλύπτει επαρκώς τις απαιτήσεις ενός κινητήρα σε όλο το φάσμα λειτουργίας του σε πραγματικές συνθήκες. Πλούσια μίγματα απαιτούνται κατά την κρύα εκκίνηση και λειτουργία του ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της κακής ανάμιξης του καυσίμου με τον εισαγόμενο αέρα. Στην περίπτωση αυτή το μεγαλύτερο μέρος του καυσίμου δεν καίγεται και χάνεται, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ώστε να επιτευχθεί η εκκίνηση του κινητήρα και η κρύα λειτουργία του. Όταν στόχος είναι η παραγωγή μέγιστης ισχύος χρειάζεται και πάλι πλούσιο μίγμα.



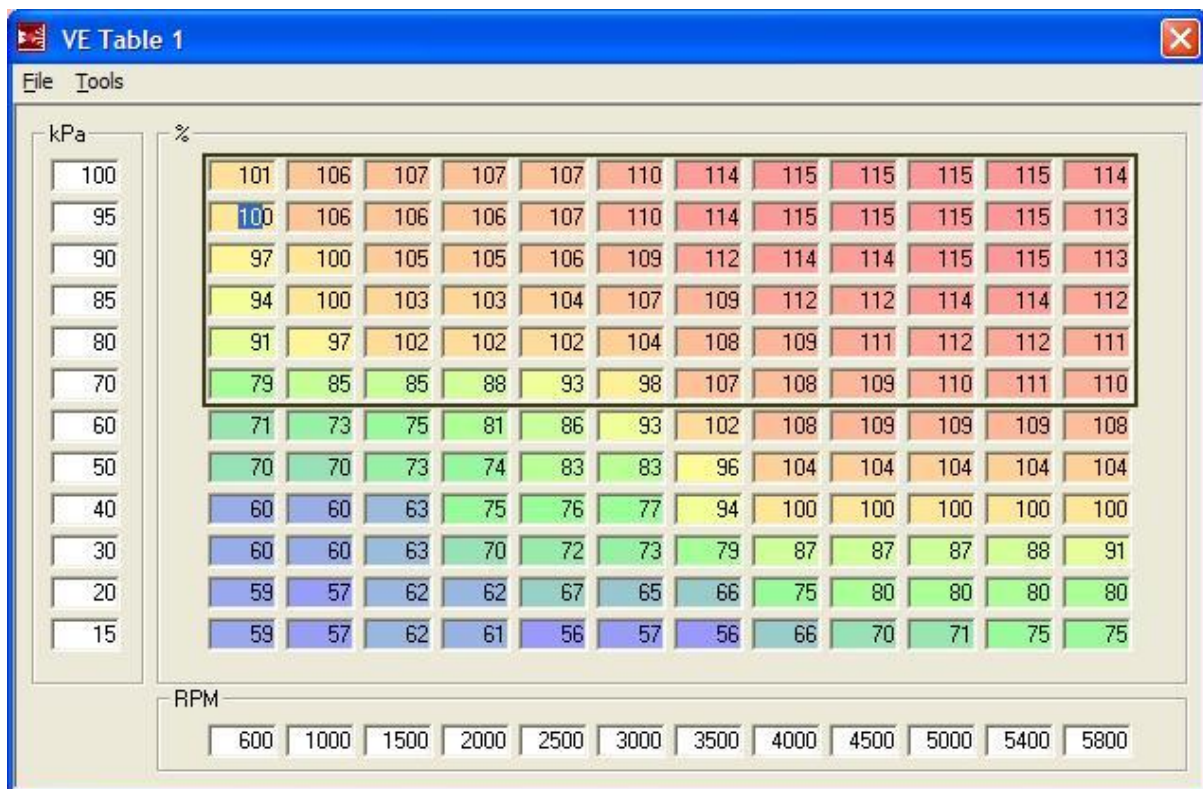
Θεωρητικά, μέγιστη ισχύς θα μπορούσε να παραχθεί και με στοιχειομετρικό μίγμα, μίας και κατά την ιδανική καύση καταναλώνεται όλο το καύσιμο αλλά και το οξυγόνο.

Ωστόσο στην πραγματικότητα, λόγω των ακραίων συνθηκών που επικρατούν μέσα στο θάλαμο (υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, στροβιλισμοί του μίγματος κλπ) πολλές φορές δεν γίνεται τέλεια καύση, με αποτέλεσμα να εξέρχεται από τον κινητήρα ανεκμετάλλευτο οξυγόνο. Ψεκάζοντας λοιπόν περισσότερο καύσιμο και εμπλουτίζοντας το μίγμα εξασφαλίζεται η καύση όλου του διαθέσιμου οξυγόνου, το οποίο δεν υπάρχει σε απεριόριστη ποσότητα για την πραγματοποίηση της καύσης (εξαρτάται από την ικανότητα του κινητήρα να "αναπνέει"), σε σχέση με το καύσιμο το οποίο ψεκάζεται κατά βούληση. Με την καύση πλούσιων μιγμάτων υπάρχει πάντοτε παρουσία άκαυστων υδρογονανθράκων στα καυσαέρια.

Η επίτευξη χαμηλής κατανάλωσης από τον κινητήρα προϋποθέτει την καύση όλων των μορίων καυσίμου που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο καύσης. Ψεκάζοντας λοιπόν λιγότερο καύσιμο από όσο πρέπει (έχοντας δηλαδή περίσσια οξυγόνου) εξασφαλίζεται η καύση όλων των μορίων του καυσίμου. Κατά την καύση φτωχού μίγματος δεν παράγεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από τον κινητήρα καθώς εξέρχεται ανεκμετάλλευτο οξυγόνο μαζί με τα καυσαέρια. Ωστόσο, έχουμε αύξηση του βαθμού απόδοσης και εξοικονόμηση καυσίμου.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, για να επιτευχθεί ο AFR που απαιτείται, εισάγεται στην εξίσωση καυσίμου η μεταβλητή  $VE(MAP,RPM)$ . Η μεταβλητή αυτή παίρνει τις τιμές της από έναν πίνακα αναφοράς, ο οποίος βρίσκεται αποθηκευμένος στον Megasquirt. Ο πίνακας αυτός μπορεί να είναι διαστάσεων 8x8, 12x12 ή 16x16. Ο κάθετος άξονας αντιπροσωπεύει το φορτίο του κινητήρα εκφρασμένο σε kPA ενώ ο οριζόντιος τις στροφές λειτουργίας του σε rpm. Ο Megasquirt λαμβάνει ως τιμή εισόδου το σήμα του αισθητήρα στροφών του κινητήρα για να προσδιορίσει το σημείο λειτουργίας του επάνω στον οριζόντιο άξονα στροφών. Για την εισαγωγή της τιμής του άξονα φορτίου, χρησιμοποιείται η είσοδος του αισθητήρα απόλυτης πίεσης εισαγωγής MAP, μάζας αέρος MAF ή θέσεως πεταλούδας γκαζιού TPS με κατάλληλη αντιστοίχιση. Συνεπώς, η μεταβλητή μπορεί να πάρει τις ακόλουθες μορφές αναλόγως με τον τρόπο υπολογισμού του φορτίου,  $VE(MAP,RPM)$ ,  $VE(MAF,RPM)$  και  $VE(TPS,RPM)$  αντίστοιχα.

Εισάγοντας δυο τιμές, μια για τον κάθετο άξονα και μια για τον οριζόντιο, ο Megasquirt τις αντιστοιχεί με ένα κελί στον πίνακα στο οποίο είναι καταχωρημένος ένας αριθμός. Ο αριθμός αυτός στη συνέχεια εισάγεται στην εξίσωση και διαιρούμενος δια του 100 δίνει τον επιθυμητό συντελεστή. Γίνεται αντιληπτό ότι ο αριθμός κελιών του πίνακα δεν επαρκεί ώστε να ανταποκριθεί σε όλους τους συνδυασμούς τιμών φορτίου και στροφών. Για αυτό το λόγο εφαρμόζεται η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής μεταξύ γειτονικών κελιών, πράγμα που σημαίνει ότι η σχέση τους είναι γραμμική. Δηλαδή, οι τιμές δυο γειτονικών κελιών ορίζουν μια ευθεία μεταξύ τους, και κάθε συνδυασμός φορτίου - στροφών που δεν αντιστοιχεί σε κανένα κελί, αντιστοιχίζεται με ένα σημείο αυτής της ευθείας.



**Εικόνα 2.16** Παράδειγμα πίνακα ογκομετρικού βαθμού απόδοσης. Ο χρήστης εισάγει τις επιθυμητές τιμές ώστε να διαμορφώσει τον κατάλληλο συντελεστή για κάθε συνδυασμό φορτίου κινητήρα και στροφών.

### **2.5.3 Διόρθωση Πυκνότητας Εισερχόμενου Αέρα (MAP+AirCorr)**

Η σταθερά REQ\_FUEL του Megasquirt δίνει το πλάτος παλμού που απαιτείται για την επίτευξη AFR 14,7 για πίεση στην εισαγωγή 100KPa και θερμοκρασία 70F(21,1°C). Ωστόσο, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας η απόλυτη πίεση στην εισαγωγή ποικίλει ανάλογα με το άνοιγμα της πεταλούδας γκαζιού και το κάθε σημείο λειτουργίας του κινητήρα. Συνεπώς, η πλήρωση των κυλίνδρων με αέρα θα διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με αυτήν που λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της REQ\_FUEL.

Εισάγεται λοιπόν ο συντελεστής MAP ο οποίος διαμορφώνεται με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα απόλυτης πίεσης εισαγωγής, προσαρμόζοντας το πλάτος παλμού ώστε να επιτυγχάνεται AFR 14,7 για κάθε τιμή απόλυτης πίεσης στην εισαγωγή. Η

τιμή του είναι πάντα ανάλογη της πλήρωσης του κινητήρα, δηλαδή πχ για 50% πλήρωση η τιμή του θα είναι 0,5. Για να επιτευχθεί όμως η αναλογία, απαιτείται σωστή βαθμονόμηση του αισθητήρα MAP. Στην περίπτωση που δεν διαθέτει ο χρήστης αισθητήρα απόλυτης πίεσης εισαγωγής, ο Megasquirt δίνει την δυνατότητα διόρθωσης του παλμού με την χρήση αισθητήρα θέσεως πεταλούδας γκαζιού (TPS), μέσω κατάλληλης αντιστοίχισης των σημάτων του με αυτό ενός υποτιθέμενου αισθητήρα MAP.

Εκτός από την πίεση, μεγάλο ρόλο παίζει και η τιμή της θερμοκρασίας του εισερχομένου αέρα, η οποία επηρεάζει την πυκνότητα του και συνεπώς την πλήρωση του κινητήρα. Εισάγεται λοιπόν και δεύτερη μεταβλητή, η AirCorr η οποία μεταβάλλει τις τιμές της με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής. Ο χρήστης εισάγει τιμές θερμοκρασίας, συνήθως από - 40°C έως 70°C, και για κάθε τιμή θερμοκρασίας ορίζει ένα ποσοστό εμπλουτισμού. Μεταξύ των σημείων που ορίζονται εφαρμόζεται και εδώ η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής. Συνεπώς ο συντελεστής AirCorr παίρνει τις ανάλογες τιμές και διαμορφώνει το πλάτος παλμού για τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι διόρθωση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αισθητήρα μάζας αέρα MAF, ο οποίος διαμορφώνει κατάλληλα ένα συντελεστή που αντικαθιστά τους δυο προαναφερθέντες. Μέσω λοιπών αυτών των συντελεστών ο Megasquirt αρχικά επιτυγχάνει AFR 14,7 σε όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα και στη συνέχεια εφαρμόζονται και άλλοι ώστε να τροποποιηθεί ο AFR ανάλογα με τις απαιτήσεις του κινητήρα.

#### **2.5.4 Βαρομετρική Διόρθωση (Barometric Correction)**

Με σωστή ρύθμιση των παραμέτρων κατά τον προγραμματισμό του, ένας κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει άψογα ανεξαρτήτως υψομέτρου, καθώς ο υπολογισμός του φορτίου του γίνεται μέσω μέτρησης της απόλυτης πίεσης στην εισαγωγή και όχι συγκριτικά με την ατμοσφαιρική ή μέσω απευθείας υπολογισμού της μάζας αέρος μέσω MAF. Ωστόσο στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αισθητήρας θέσεως πεταλούδας για τον υπολογισμό του φορτίου, καθώς και στην μεγάλη μεταβολή υψομέτρου, απαιτείται διόρθωση του πλάτους παλμού.

Ο Megasquirt παρέχει αυτή τη δυνατότητα μέσω πίνακα αντιστοίχισης τιμών ατμοσφαιρικής πίεσης με ποσοστό διόρθωσης, όπου ο χρήστης ορίζει τις κατάλληλες τιμές και στη συνέχεια γίνεται η διαμόρφωση του αντίστοιχου

συντελεστή. Προϋπόθεση για την λειτουργία της διόρθωσης είναι η μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του αισθητήρα MAP ο οποίος λαμβάνει μια τιμή πίεσης με το άνοιγμα του διακόπτη και πριν την εκκίνηση του κινητήρα ή με τη χρήση αυτόνομου αισθητήρα πίεσης.

### **2.5.5 Εμπλουτισμός Θέρμανσης (Warmup Enrichment, Afterstart Enrichment)**

Είναι γνωστό οι μηχανές εσωτερικής καύσης σχεδιάζονται να λειτουργούν αποδοτικά για συγκεκριμένες θερμοκρασίες λειτουργίας. Ωστόσο, κατά την εκκίνηση του κινητήρα, καθώς και στα αρχικά στάδια λειτουργίας του, η θερμοκρασία του είναι χαμηλότερη της ιδανικής. Για τον λόγο αυτό ο Megasquirt χρησιμοποιεί την μεταβλητή warmup ώστε να ομαλοποιήσει την λειτουργία του στις προαναφερθείσες περιπτώσεις και να τον βοηθήσει να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του γρηγορότερα.

Η χρήση της μεταβλητής καθώς και η τιμή της, προσδιορίζονται από τον Megasquirt ύστερα από την επεξεργασία των σημάτων του αισθητήρα θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού και στροφών του κινητήρα, όπως επίσης από τις ρυθμίσεις που έχει κάνει ο χρήστης μέσω του λογισμικού. Αναλυτικά, η μεταβλητή warmup εμπεριέχει τις τρεις ακόλουθες λειτουργίες που προσδιορίζουν το πότε και κατά πόσο χρόνο θα ενσωματώνεται στην εξίσωση καυσίμου, καθώς και τι τιμές θα παίρνει :

- i) **Εμπλουτισμός εκκίνησης (Cranking Enrichment)**
- ii) **Εμπλουτισμός αρχικής λειτουργίας (Afterstart Enrichment)**
- iii) **Εμπλουτισμός θέρμανσης (Warmup Enrichment)**

### **Εμπλουτισμός Εκκίνησης (Cranking Enrichment)**

Κατά την εκκίνηση ενός κινητήρα, η ταχύτητα ροής του αέρα στην εισαγωγή είναι χαμηλή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του καυσίμου που ψεκάζεται να μην φθάνει μέσα στον κύλινδρο αλλά να πέφτει στα τοιχώματα της εισαγωγής. Γι'αυτόν τον λόγο χρειάζεται εμπλουτισμός του μίγματος έτσι ώστε να διασφαλιστεί η παρουσία αρκετού καυσίμου μέσα στον κύλινδρο για την ομαλή εκκίνηση του κινητήρα. Ο εμπλουτισμός είναι ποσοστιαία αύξηση επί του πλάτους παλμού. Κυμαίνεται από 5% έως 30% για ζεστούς κινητήρες και μπορεί να φτάσει μέχρι και 300% με 400% για κρύους. Η διάρκειά του είναι συνήθως γύρω στα πέντε δευτερόλεπτα αφότου αρχίσει το μιζάρισμα. Η επίτευξη σωστού εμπλουτισμού για εκκίνηση κρύου κινητήρα δεν είναι εύκολη, καθώς κατά κανόνα απαιτούνται δοκιμές οι οποίες ζεσταίνουν τον κινητήρα.

### **Εμπλουτισμός Αρχικής Λειτουργίας (AfterstartEnrichment)**

Εφόσον έχει επιτευχθεί η εκκίνηση του κινητήρα, ακολουθεί ένας εμπλουτισμός του μίγματος για να σταθεροποιηθούν τα πολύ αρχικά στάδια της λειτουργίας του. Συνήθως είναι συγκεκριμένης κλίμακας και διαρκεί για συγκεκριμένο χρόνο, ο οποίος ορίζεται είτε σε δευτερόλεπτα είτε σε αριθμό αναφλέξεων.

### **Εμπλουτισμός Θέρμανσης (WarmupEnrichment)**

Για να λειτουργήσει ένας κινητήρας σωστά και αποδοτικά πρέπει να φτάσει σε μια ικανοποιητική θερμοκρασία λειτουργίας. Κατά την εισαγωγή του στον κύλινδρο, το καύσιμο πρέπει να έρθει σε αέρια μορφή από την υγρή στην οποία βρίσκεται. Το κρύο καύσιμο όμως εξατμίζεται πιο δύσκολα, με αποτέλεσμα στους κρύους κινητήρες να βρίσκεται ακόμη σε υγρή μορφή κατά την καύση του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση των εκπομπών ρύπων σε μορφή άκαυστων υδρογονανθράκων, χαμηλότερη απόδοση από τον κινητήρα και γενικώς μη ομαλή λειτουργία του.

Γι'αυτό το λόγο εμπλουτίζεται το μίγμα ώστε να ομαλοποιηθεί η λειτουργία του και να φθάσει στην σωστή θερμοκρασία λειτουργίας του πιο γρήγορα. Για τον εμπλουτισμό αυτό, ο εγκέφαλος διαβάζει το σήμα από τον αισθητήρα ψυκτικού υγρού και προσαρμόζει το ποσοστό εμπλουτισμού ανάλογα με την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού. Το ποσοστό ορίζεται από τον χρήστη για συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού, όπως και στην περίπτωση της διόρθωσης θερμοκρασίας αέρος εισαγωγής. Όταν η θερμοκρασία φθάσει σε επιθυμητά επίπεδα τότε σταματάει και ο εμπλουτισμός.

### **2.5.6 Εμπλουτισμός Επιτάχυνσης (γAccel)**

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου Megasquirt ενσωματώνει μια μεταβλητή στη συνάρτηση του πλάτους παλμού ώστε να εμπλουτιστεί το μίγμα κατά την επιτάχυνση του κινητήρα. Ο εμπλουτισμός αυτός διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του κινητήρα κατά την επιτάχυνσή του, αποτρέποντας την εμφάνιση του φαινομένου του "κρεμάσματος". Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κατά το απότομο άνοιγμα της πεταλούδας γκαζιού, καθώς ο αέρας λόγω μικρότερης αδράνειας εξαιτίας της μικρότερης μάζας του, εισέρχεται στον κύλινδρο γρηγορότερα από το καύσιμο με αποτέλεσμα την δημιουργία σημείων όπου το μίγμα είναι φτωχό. Συνεπώς η ροπή του κινητήρα δεν είναι ικανοποιητική και η επιτάχυνση δεν είναι η βέλτιστη.

Ο εμπλουτισμός αυτός παρέχεται με κριτήριο την απότομη μεταβολή της πεταλούδας γκαζιού, με την απότομη μεταβολή της απόλυτης πίεσης στην εισαγωγή ή με συνδυασμό και των δύο. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι δύο. Πρώτον η ευαισθησία του και δεύτερον η διάρκειά του. Η ευαισθησία αφορά το ποσοστό κατά το οποίο θα μεταβληθεί το πλάτος παλμού για να εμπλουτισθεί το μίγμα όταν παρατηρηθεί απότομη αλλαγή στην θέση πεταλούδας/πίεση στην εισαγωγή η οποία να υπερβαίνει το όριο που έχει τεθεί. Η διάρκεια αφορά τον ρυθμό κατά τον οποίο θα παύσει ο εμπλουτισμός καθώς επιταχύνει ο κινητήρας. Όλοι οι κινητήρες επιταχύνουν καλύτερα όταν βρίσκονται ήδη σε υψηλές στροφές λόγω καλύτερου ογκομετρικού βαθμού καθώς και πλουσιότερων κατά κανόνα μιγμάτων σε αυτό το εύρος στροφών. Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι ο εμπλουτισμός επιτάχυνσης αφορά κυρίως την επιτάχυνση από τις χαμηλές στροφές ή το ρελαντί. Η ρύθμισή του γίνεται αφού έχουν ολοκληρωθεί όλα τα υπόλοιπα στάδια του προγραμματισμού. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να περιπλακεί η όλη διαδικασία.

### **2.5.7 Λειτουργία Κλειστού Βρόχου**

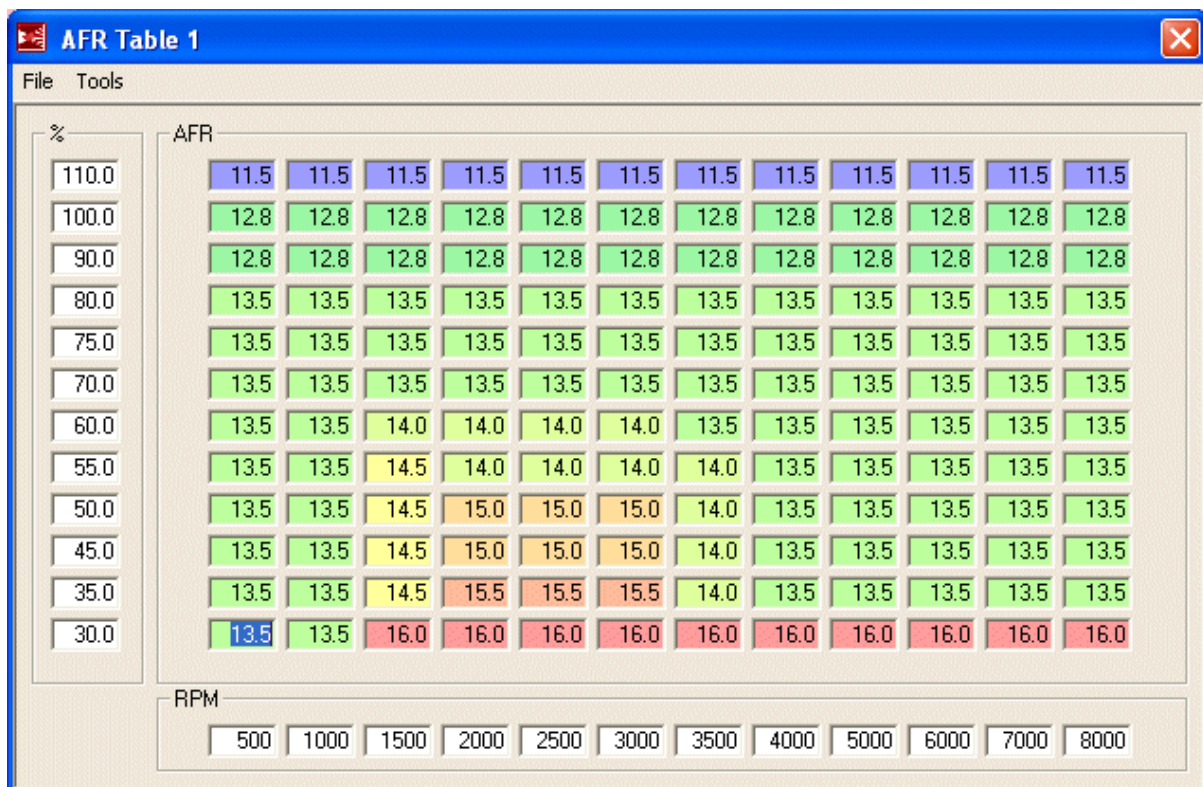
Παρά την προσπάθεια του προγραμματιστή και τον φιλοσοφημένο υπολογισμό του πλάτους παλμού από τον Megasquirt, πολλές φορές η πραγματική τιμή του λογού λάμδα ενδέχεται να διαφέρει από την επιθυμητή για πολλούς και σύνθετους λόγους. Αυτό έχει ως συνέπεια την εισαγωγή ενός ακόμα συντελεστή, ο οποίος έχει την ευθύνη να διορθώνει το πλάτος παλμού σε πραγματικό χρόνο, με διαρκή ανατροφοδότηση των αποτελεσμάτων της καύσης μέσω του σήματος του αισθητήρα λάμδα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται λειτουργία κλειστού βρόχου.

Η πιο συχνή χρήση της αφορά τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων του κινητήρα. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρα οξυγόνου στενής ζώνης (narrowband), του οποίου η ακρίβεια είναι μεγάλη για λόγο λάμδα<sup>1</sup>, άρα τον καθιστά

ιδανικό. Το σήμα του αισθητήρα εισέρχεται στον Megasquirt και επεξεργάζεται. Εάν διαπιστωθεί AFR μεγαλύτερος ή μικρότερος του στοιχειομετρικού τότε αρχίζει η διαδικασία της διόρθωσης μέσω διαδοχικών σημάτων. Η τιμή της μεταβλητής είναι αρχικά 100, δίνοντας συντελεστή 1. Όταν διαπιστωθεί πλούσιο μίγμα, αφαιρείται από την αρχική τιμή 100 ένας ορισμένος αριθμός (πχ 7) ο οποίος ονομάζεται βήμα διόρθωσης και ορίζεται από τον χρήστη μέσω του λογισμικού. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ξανά έλεγχος μέσω του αισθητήρα λάμδα και αν διαπιστωθεί πλούσιο μίγμα εφαρμόζεται ξανά διόρθωση με το προκαθορισμένο βήμα. Η συχνότητα ελέγχων ορίζεται συνήθως με κριτήριο τον αριθμό αναφλέξεων.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς έως ότου ο AFR να φτάσει στην επιθυμητή τιμή AFR14,7(λόγος  $\lambda=1$ ). Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και η διόρθωση φτωχότερου μίγματος, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση προστίθεται το βήμα στην αρχική τιμή αντί να αφαιρείται. Οι περιοχές λειτουργίας του κλειστού βρόχου ορίζονται από τον χρήστη μέσω του λογισμικού και είναι συνήθως το ρελαντί και η κατάσταση ελαφράς πορείας. Η λειτουργία κλειστού βρόχου απενεργοποιείται όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί στην επιθυμητή θερμοκρασία καθώς και όταν διαπιστωθεί ότι ο οδηγός επιθυμεί αύξηση ροπής και ισχύος (πχ κατά την επιτάχυνση).

Η χρήση του αισθητήρα οξυγόνου ευρείας ζώνης (wideband) για τον υπολογισμό του λόγου λάμδα ωστόσο, καταργεί τους περιορισμούς που θέτει ο αισθητήρας στενής ζώνης σχετικά με τις περιοχές λειτουργίας κλειστού βρόχου καθώς και με τον λόγο λάμδα που μπορεί να επιτευχθεί. Η ακρίβεια του για όλο σχεδόν το φάσμα λόγων λάμδα δίνει την δυνατότητα διόρθωσης του μίγματος για πολύ περισσότερες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα. Η διαδικασία διόρθωσης είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που εφαρμόζεται με την χρήση αισθητήρα στενής ζώνης, ωστόσο ο AFR που ορίζεται ως 'στόχος' προς επίτευξη δεν είναι συγκεκριμένος. Αντιθέτως, λαμβάνεται από έναν πίνακα AFR, ίδιας δομής με αυτόν που χρησιμοποιείται για την μεταβλητή VE(MAP,RPM). Στα κελιά του τοποθετείται ο AFR που επιθυμεί ο χρήστης για ορισμένους συνδυασμούς φορτίου-στροφών του κινητήρα. Έτσι, με την χρήση αισθητήρα οξυγόνου ευρείας ζώνης επιτυγχάνεται διόρθωση σε πραγματικό χρόνο του λόγου λάμδα σε σχεδόν όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσής του και διευκολύνοντας την διαδικασία βελτιστοποίησής του.



*Εικόνα 2.17 Πίνακας στοχοποιημένων τιμών AFR για διόρθωση του πλάτους παλμού, όταν γίνεται χρήση αισθητήρα λάμδα ευρείας ζώνης.*

## **2.5.8 Χρόνος Ενεργοποίησης Μπεκ (InjOpen)**

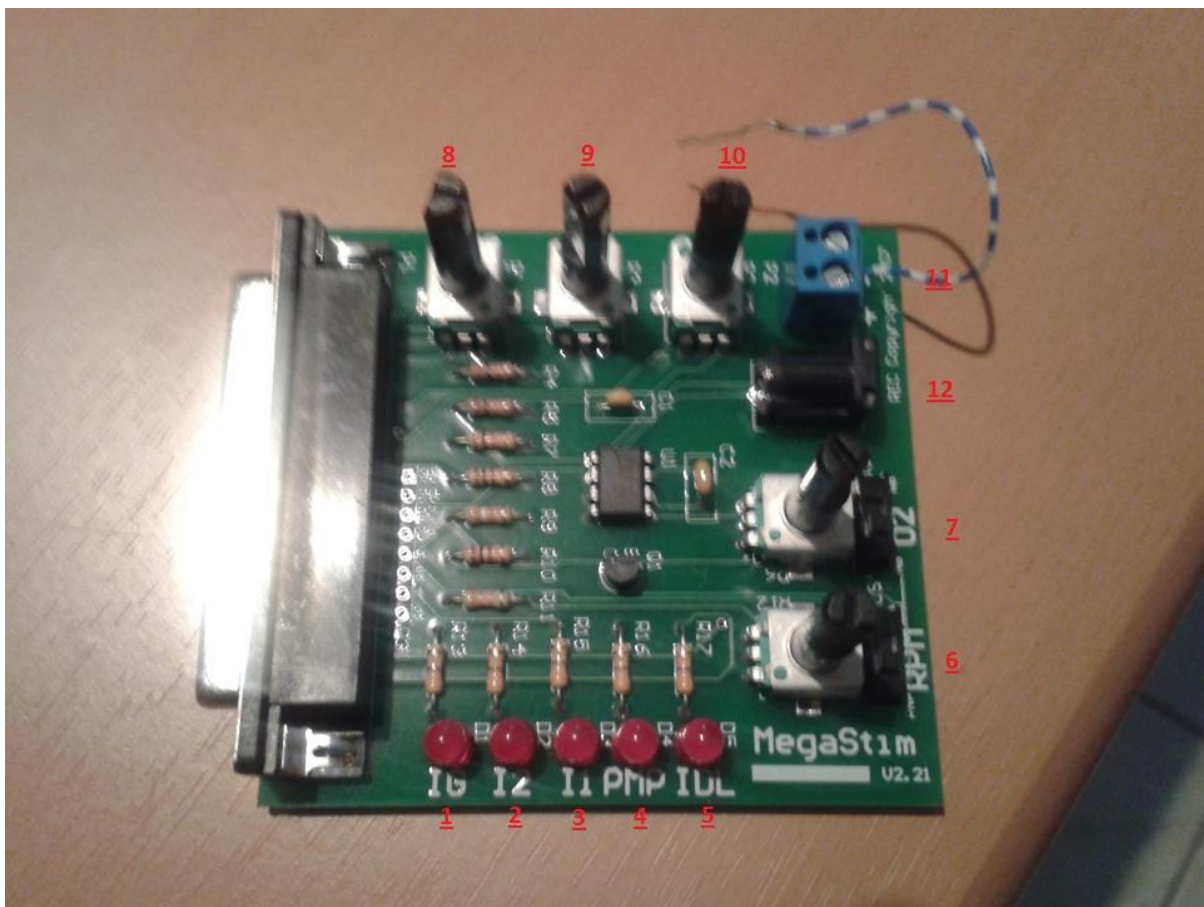
Κατά τον υπολογισμό του απαιτούμενου πλάτους παλμού είναι απαραίτητο να υπολογιστεί και ο χρόνος ενεργοποίησης των μπεκ ψεκασμού. Αυτά αποτελούνται από κινητά μέρη, τα οποία έχουν συγκεκριμένη μάζα και συνεπώς παρουσιάζουν αδράνεια κατά την κίνησή τους. Λόγω της αδράνειας αυτής δεν ενεργοποιούνται κατευθείαν, δηλαδή δεν αρχίζει επιτόπου ο ψεκασμός, αλλά μεσολαβεί ένας χρόνος. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μπεκ. Ωστόσο για την πλειοψηφία τους ορίζεται περίπου στα 1,3ms.



## 2.6 Παρουσίαση και Δυνατότητες του Προσομοιωτή (Stimulator).

Για την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους της πτυχιακής εργασίας, πέραν του εγκεφάλου Megasquirt και του λογισμικού MSTunerStudio, χρησιμοποιήθηκε και ένας προσομοιωτής σημάτων εισόδου και εξόδου (stimulator).

Ο προσομοιωτής MegaStim V2.21 είναι μια μικρή πλακέτα η οποία συνδέεται στην φίσσα DB37 του Megasquirt. Τον τροφοδοτεί με σήματα εισόδου τα οποία θα προέρχονταν κανονικά από έναν κινητήρα μέσω της πλεξούδας ενώ παράλληλα απεικονίζει και τα σήματα εξόδου του Megasquirt με τη βοήθεια λυχνιών LED. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει στον χρήστη να εξοικειωθεί και να πειραματιστεί με το λογισμικό MSTunerStudio καθώς επίσης και να αλλάζει τα σήματα εισόδου εύκολα και γρήγορα, παρατηρώντας έτσι τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας με ασφάλεια, χωρίς την ύπαρξη κινητήρα.



*Εικόνα 2.18 Ο προσομοιωτής (stimulator).*

Στον stimulator βρίσκονται δύο παροχές τάσης, πέντε ενδεικτικές λυχνίες και πέντε ποτενσιόμετρα.

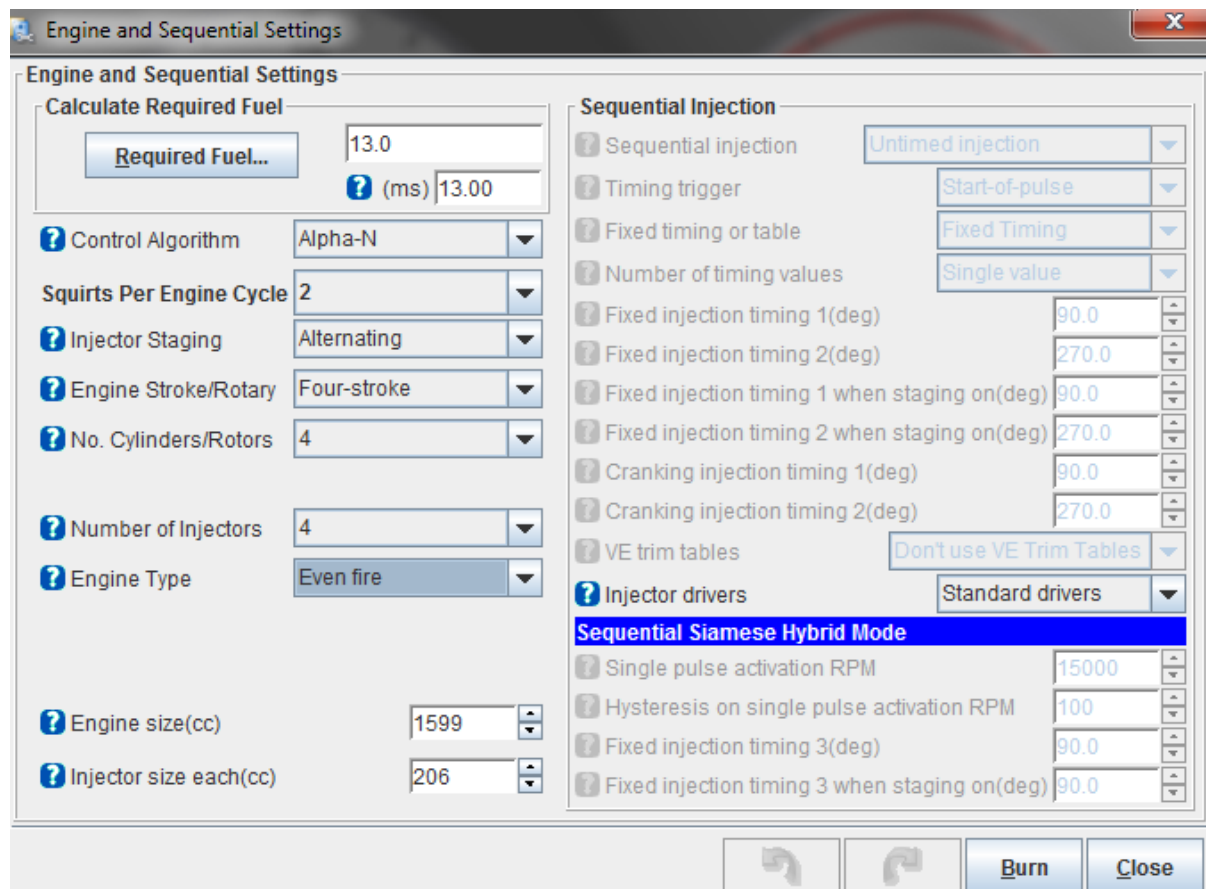
- 1) Ενεργοποιείται με την πυροδότηση του συστήματος ανάφλεξης.
- 2) Ενεργοποιείται όταν ψεκάζει το 1<sup>ο</sup> ζεύγος μπεκ ψεκασμού.
- 3) Ενεργοποιείται όταν ψεκάζει το 2<sup>ο</sup> ζεύγος μπεκ ψεκασμού.
- 4) Ενεργοποιείται όταν λειτουργεί η αντλία καυσίμου.
- 5) Ενεργοποιείται με την λειτουργία ρύθμισης του ρελαντί.
- 6) Ποτενσιόμετρο ρύθμισης στροφών λειτουργίας RPM.
- 7) Ποτενσιόμετρο ρύθμισης αισθητήρα λάμδα O<sub>2</sub>.
- 8) Ποτενσιόμετρο ρύθμισης θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού CLT.
- 9) Ποτενσιόμετρο ρύθμισης θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής IAT.
- 10) Ποτενσιόμετρο ρύθμισης θέσης πεταλούδας γκαζιού TPS.
- 11) Τροφοδοσία 12V.
- 12) Τροφοδοσία 9V.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ**

### **3.1 Αρχικές Ρυθμίσεις**

Η χαρτογράφηση μιας ηλεκτρονικής μονάδας έλεγχου περιλαμβάνει την ρύθμιση όλων των παραμέτρων που αφορούν τον ψεκασμό καυσίμου καθώς και την προπορεία έναυσης ενός κινητήρα. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η χαρτογράφηση του εγκεφάλου Megasquirt, με την βοήθεια του λογισμικού TunerStudioMS.

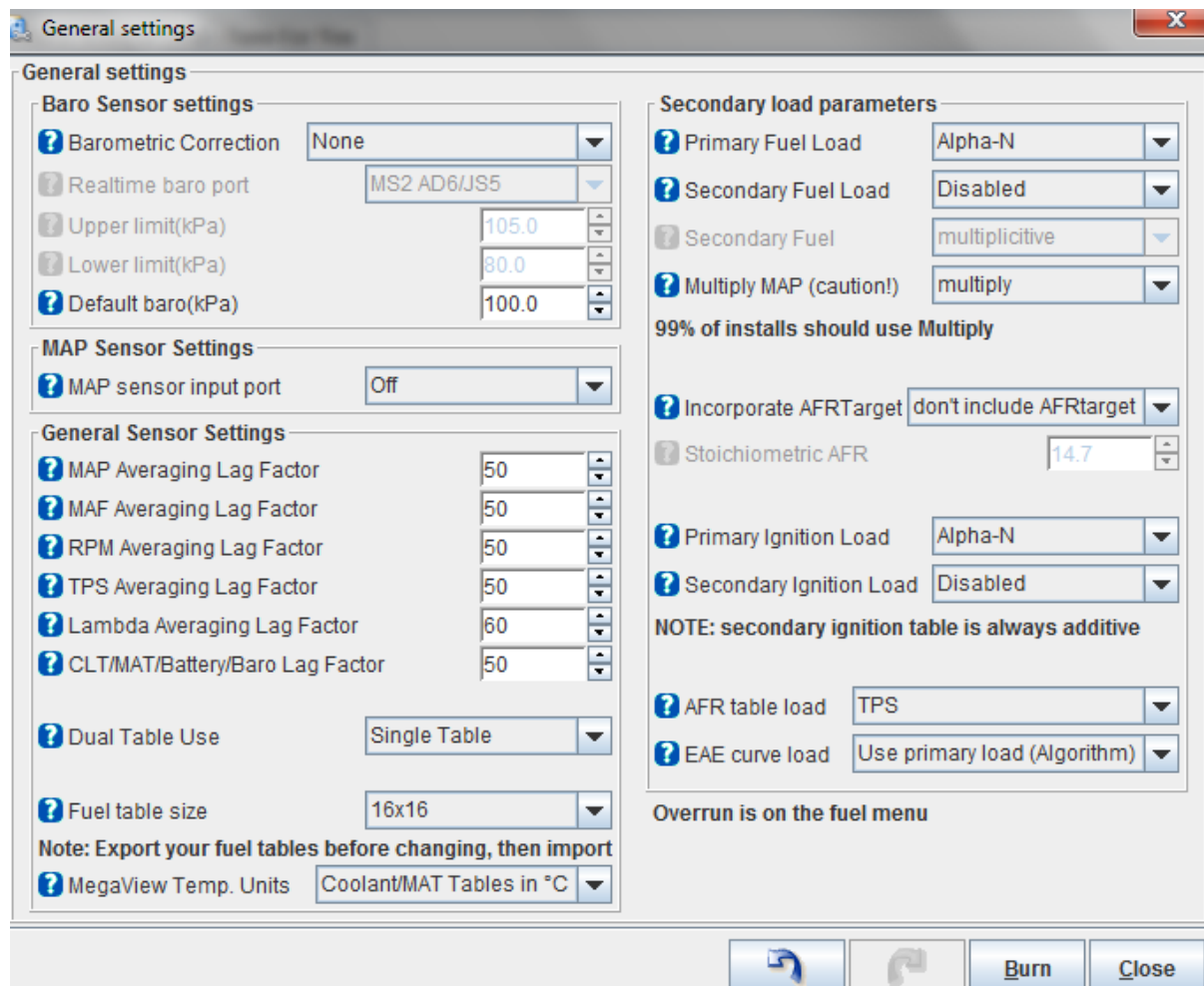
### 3.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Κινητήρα και Τρόπος Ψεκασμού



Εικόνα 3.1 Χαρακτηριστικά κινητήρα και τρόπος ψεκασμού.

Στο παράθυρο αυτό εισάγονται κάποια βασικά στοιχεία για τον κινητήρα όπως ο κυβισμός, ο αριθμός κυλίνδρων και μπέκ ψεκασμού καθώς και το μέγεθος αυτών. Εκτός αυτών ορίζεται ο τρόπος υπολογισμού του φορτίου του κινητήρα για την διαμόρφωση του πλάτους παλμού για τον ψεκασμό. Επιλέγοντας Alpha-N, το φορτίο υπολογίζεται με τη χρήση του αισθητήρα θέσεως πεταλούδας και τις στροφές του κινητήρα. Στη συνέχεια, εφόσον διαθέτουμε δύο εξόδους για τον έλεγχο των μπέκ ψεκασμού από τον Stimulator, επιλέγουμε Squirtsperenginecycle: 2 και InjectorStaging: Alternating. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε δύο εναλλασσόμενους ψεκασμούς από κάθε ζεύγος μπέκ σε έναν κύκλο λειτουργίας. Το κάθε ζεύγος ελέγχεται από μια έξοδο. Τέλος, εισάγοντας τον κυβισμό, τον αριθμό κυλίνδρων, την παροχή ενός μπέκ και τον επιθυμητό AFR στο παράθυρο RequiredFuel, ο Megasquirt υπολογίζει τη σταθερά REQ-FUEL, δηλαδή το βασικό πλάτος παλμού.

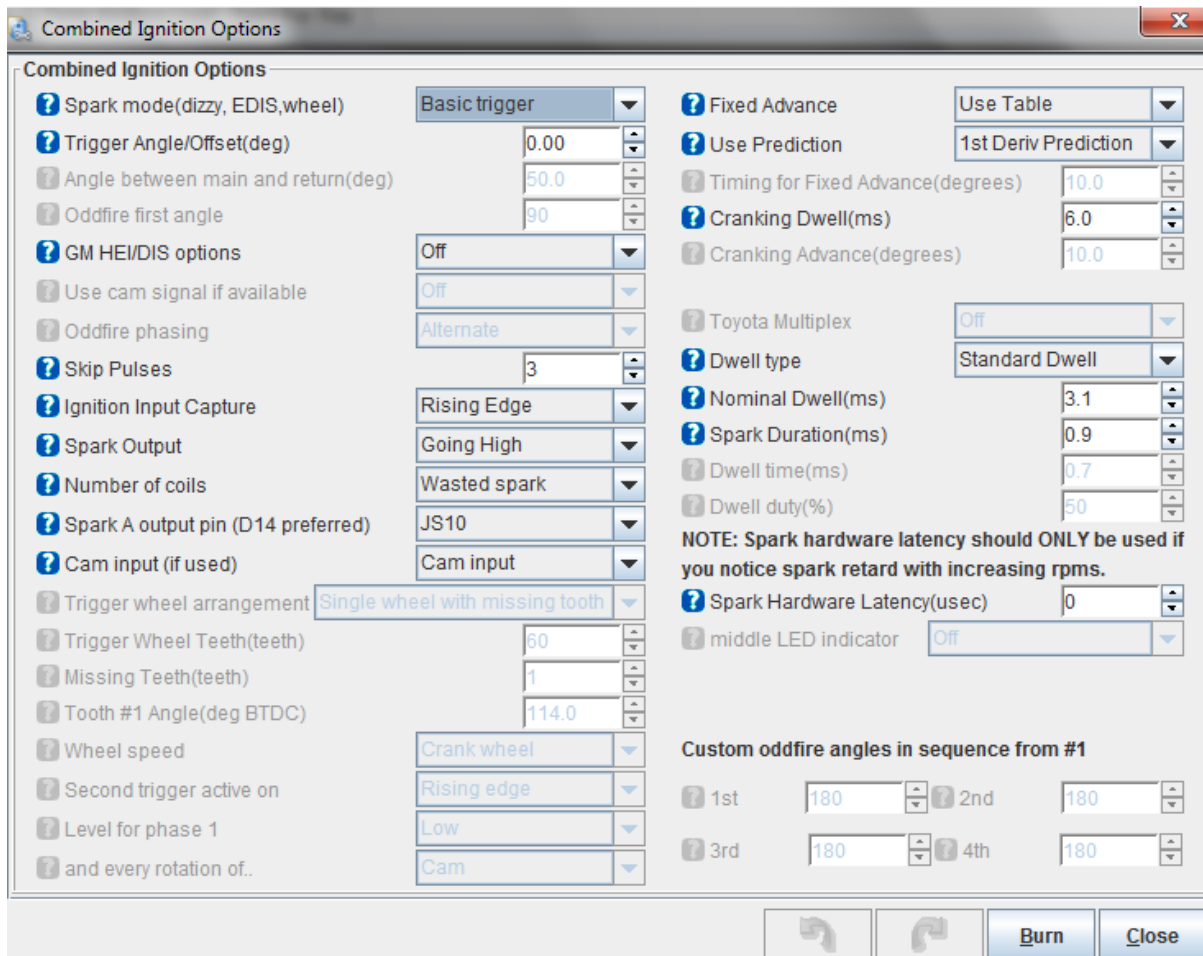
### 3.1.2 Γενικές Ρυθμίσεις Πινάκων



Εικόνα 3.2 Ρυθμίσεις πινάκων.

Οι επιλογές που μας ενδιαφέρουν εδώ έχουν να κάνουν με την επιλογή ενός μόνο πίνακα, διαστάσεων 16x16, για τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης, την προπορεία έναυσης και τους AFR. Στη συνέχεια ζητείται ο τρόπος υπολογισμού του φορτίου για την εύρεση του σημείου λειτουργίας του κινητήρα επάνω στον πίνακα ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, όπου και εισάγουμε Alpha-N. Στην επιλογή MultiplyMAP βάζουμε multiply ώστε να γίνεται διόρθωση του βασικού πλάτους παλμού για τις αλλαγές στο φορτίο του κινητήρα. Έχοντας επιλέξει από πριν Alpha-N για τον υπολογισμό του φορτίου, η διόρθωση ονομάζεται Hybrid-Alpha-N και διορθώνει τον παλμό βασισμένη στο σήμα του αισθητήρα θέσεως πεταλούδας, ο οποίος παίζει το ρόλο ενός υποτιθέμενου αισθητήρα απόλυτης πίεσης εισαγωγής. Έπειτα ορίζουμε Alpha-N για τον πίνακα προπορείας, TPS για τον πίνακα AFR και PrimaryloadAlgorithm (δηλαδή Alpha-N) για τον εμπλουτισμό επιτάχυνσης.

### 3.1.3 Γενικές Ρυθμίσεις Ανάφλεξης



Εικόνα 3.3 Ρυθμίσεις ανάφλεξης.

Στο παράθυρο αυτό γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις που αφορούν κυρίως τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιείται η ανάφλεξη, Ορίζουμε *BasicTrigger* για τον τρόπο ανάγνωσης του σήματος του αισθητήρα θέσεως κινητήρα από τον Megasquirt και για είδος ανάφλεξης επιλέγουμε χαμένου σπινθήρα (wastedspark).

### 3.2 Προγραμματισμός Ψεκασμού

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται αναλυτικά όλες οι απαραίτητες διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για τον σωστό ψεκασμό καυσίμου στον κινητήρα.

### 3.2.1 Πίνακας Ογκομετρικού Βαθμού Απόδοσης

	501	801	1101	1401	2001	2601	3101	3700	4300	4900	5400	6000	6500	7000	7200	7500
100.0	78	85	90	95	99	101	104	109	115	118	117	112	110	108	106	104
98.0	76	84	89	94	98	100	103	108	114	117	116	111	109	107	105	103
95.0	75	83	88	93	97	99	102	107	113	116	115	110	108	106	104	102
90.0	74	82	87	92	96	98	101	106	112	115	114	109	107	105	103	101
85.0	74	81	86	91	95	97	100	105	111	114	113	108	106	104	102	100
80.0	72	77	82	87	90	93	95	100	105	109	108	103	101	99	97	95
75.0	68	70	73	78	81	83	86	90	94	98	97	93	91	89	87	85
70.0	65	66	69	73	76	78	82	86	90	93	92	88	86	84	82	80
65.0	61	62	65	69	72	75	79	82	85	89	88	84	82	80	78	76
60.0	57	59	61	65	69	72	76	78	81	85	85	80	78	76	74	72
55.0	52	51	52	55	62	67	71	73	75	79	77	71	69	67	65	63
50.0	48	46	48	50	58	65	69	71	73	77	75	69	67	65	63	61
45.0	43	42	43	45	54	63	66	69	71	75	73	67	65	63	61	59
40.0	38	37	39	44	53	61	65	67	69	73	71	66	64	62	60	58
35.0	29	29	32	38	46	53	56	60	63	66	65	62	60	58	58	57
30.1	26	26	29	34	40	46	50	55	58	61	61	60	59	59	58	58

Εικόνα 3.4 Πίνακας ογκομετρικού βαθμού απόδοσης.

Ο πίνακας ογκομετρικού βαθμού απόδοσης είναι ίσως το πιο σημαντικό και δύσκολο κομμάτι του προγραμματισμού ενός εγκεφάλου. Από εδώ, ο προγραμματιστής αποκτά τον έλεγχο του πλάτους παλμού για τον ψεκασμό καυσίμου. Σκοπός του είναι να διαμορφώσει τους κατάλληλους AFR σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα ώστε να πετύχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα για κάθε κατάσταση λειτουργίας. Παρακάτω δίνονται συνοπτικά οι στοχοποιημένοι AFR για κάποια πεδία λειτουργίας. Ωστόσο είναι μια πολύ γενική εικόνα και σε καμία περίπτωση δεν αντιπροσωπεύει όλους τους κινητήρες. Η σχεδίαση του θαλάμου καύσης καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μερών από τα οποία αποτελείται επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ροή και την συμπεριφορά του αέρα (συνεπώς και την πλήρωση των κυλίνδρων) όπως επίσης και την ίδια την διαδικασία της καύσης. Συνεπώς, όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον προγραμματισμό του και να γίνουν διορθώσεις έπειτα από δοκιμές (trialanderror).

#### Πεδίο 1ο

Το πρώτο πεδίο λειτουργίας αφορά το ρελαντί ενός κινητήρα. Για απλούς εργοστασιακούς κινητήρες χωρίς βελτιωμένους εκκεντροφόρους ή άλλου είδους αναβαθμίσεις, ο AFR που επιθυμείται είναι στοιχειομετρικός, δηλαδή 14,7 προς 1. Οι σχετικά χαμηλές ταχύτητες του αέρα καθώς και η ελλιπής πλήρωση των κυλίνδρων έχουν ως αποτέλεσμα την κακή ανάμειξη του καυσίμου με τον εισερχόμενο αέρα, πράγμα που συνεπάγεται χειρότερη ποιότητα καύσης, ασταθή λειτουργία και έξοδο

από την εξαγωγή άκαυστων υδρογονανθράκων. Γίνεται κατανοητό ότι τα φτωχά μείγματα καθίστανται ακατάλληλα για την λειτουργία του ρελαντί. Με ελαφρώς πλουσιότερα μείγματα από το στοιχειομετρικό, δηλαδή από 14,6 έως περίπου 13,7, επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη ποιότητα ρελαντί αλλά με μια μικρή αύξηση στροφών. Κατά κανόνα, για τους συγκεκριμένους κινητήρες ορίζεται ελαφρώς πλούσιο μείγμα και στην συνέχεια η λειτουργία κλειστού κυκλώματος διορθώνει το μείγμα ώστε να πετύχει το στοιχειομετρικό. Σε κινητήρες με “άγριους” εκκεντροφόρους η παρουσία πλούσιων μειγμάτων στο ρελαντί, της τάξεως του 13,4 έως 13,8 είναι απαραίτητη καθώς πρέπει να καταπολεμηθεί το φαινόμενο της αντίστροφης ροής που προκαλείται από το μεγάλο βαθμό επικάλυψης των βαλβίδων.

### **Πεδίο 2ο**

Το δεύτερο πεδίο περιγράφει την λειτουργία του κινητήρα που αφορά την επιβράδυνσή του. Σε αυτή την φάση η παραγωγή ισχύος δεν είναι συνήθως απαραίτητη. Για παράδειγμα, ένας οδηγός μπορεί να οδηγεί με τον κινητήρα στις 4000 RPM και να αφήσει το γκάζι. Είναι κατανοητό λοιπόν ότι σε αυτό το πεδίο λειτουργίας δεν επιθυμούμε άσκοπη κατανάλωση καυσίμου. Για αυτό τον λόγο επιθυμούνται αρκετά φτωχά μείγματα, της τάξεως του 15,6 προς 1 έως 16 προς 1 και ορισμένες φορές μέχρι και 16,5 προς 1. Η συμπλήρωση του πεδίου αυτού δεν είναι απαραίτητο να είναι αυστηρή, πόσο μάλλον όταν γίνεται χρήση της διακοπής καυσίμου (Overrunfuelcut) που παρέχει ο Megasquirt.

### **Πεδίο 3ο**

Αφορά την λειτουργία του κινητήρα κατά την διάρκεια ελαφράς πορείας. Τα επιθυμητά μείγματα είναι τα φτωχά, της τάξεως του 16 προς 1. Με τα φτωχά μείγματα επιτυγχάνεται οικονομία καθώς η περίσσεια οξυγόνου εξασφαλίζει την καύση όλων των μορίων του καυσίμου μέσα στον θάλαμο καύσης και δεν διαφεύγει ανεκμετάλλευτο καύσιμο από την εξαγωγή. Η καύση φτωχών μειγμάτων ωστόσο ανεβάζει την θερμοκρασία των καυσαερίων. Συνεπώς αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης κρουστικής καύσης και για αυτό το λόγο πρέπει να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά του κινητήρα, η προπορεία έναυσης καθώς και ο αριθμός οκτανίων του καυσίμου. Οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν το κατά πόσο φτωχό μπορεί να γίνει το μείγμα σε αυτό το πεδίο. Εκτός της κρουστικής καύσης, υπάρχει και το πρόβλημα των μεγάλων εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Οι περιβαλλοντικοί νόμοι κατά τόπους ενδέχεται να είναι αυστηροί. Στην περίπτωση αυτή τα μείγματα οδηγούνται περισσότερο προς το στοιχειομετρικό, το οποίο είναι και το πιο φιλικό προς το περιβάλλον όσον αφορά την εκπομπή ρύπων. Επίσης η λειτουργία κλειστού βρόχου επεμβαίνει για την τήρηση του μείγματος στη στοιχειομετρική τιμή.

### **Πεδίο 4ο**

Σε αυτό το εύρος λειτουργίας οι περισσότεροι κινητήρες αρχίζουν να εμφανίζουν τα πρώτα σημάδια καλής πλήρωσης. Η ταχύτητα ροής του αέρα είναι ικανοποιητική,

ανεβάζοντας την πίεση στην κλειστή βαλβίδα εισαγωγής λόγω της αδράνειάς του, οδηγώντας έτσι σε καλύτερη πλήρωση. Η αδράνεια του αέρα βοηθάει επίσης και κατά τη φάση της επικάλυψης των βαλβίδων, γεμίζοντας περισσότερο τους κυλίνδρους. Συν τοις άλλοις, σε αυτό το εύρος στροφών ο θερμοδυναμικός κύκλος έχει μικρή διάρκεια, οδηγώντας έτσι σε λιγότερες απώλειες θερμότητας από τα καυσαέρια προς τα τοιχώματα και ανεβάζοντας το βαθμό απόδοσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι συνθήκες λειτουργίας είναι ιδανικές για να αρχίσει ο κινητήρας να παράγει ικανοποιητική ροπή. Υπό ιδανικές συνθήκες, η ύπαρξη ελαφρά πλουσίων μειγμάτων (13,5 έως 13,0) δημιουργεί τις καλύτερες προϋποθέσεις για παραγωγή ροπής, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν κακές αναμίξεις με τον αέρα. Η παρουσία επιπλέον καυσίμου αυξάνει τις πιθανότητες να καεί όλο το διαθέσιμο οξυγόνο. Ωστόσο, επειδή ένα μεγάλο ποσοστό της οδήγησης ενός οχήματος λαμβάνει μέρος σε αυτό το πεδίο συνήθως υπάρχουν περιορισμοί όσον αφορά την εκπομπή ρύπων. Έτσι παρεμβαίνει το κλειστό κύκλωμα διορθώνοντας το μείγμα. Η παραγωγή ροπής είναι και πάλι ικανοποιητική αλλά δεν είναι η βέλτιστη που μπορεί να πετύχει ο κινητήρας.

### **Πεδίο 5ο**

Στο πεδίο αυτό η πλήρωση του κινητήρα είναι ακόμα μεγαλύτερη καθώς υπάρχει μικρότερος περιορισμός της ροής του αέρα. Ο οδηγός αναμένεται να λειτουργήσει τον κινητήρα του σε αυτό το εύρος όταν χρειάζεται ικανοποιητική ροπή και ισχύ. Η ύπαρξη πλούσιων μειγμάτων της τάξεως του 13,2 έως 12,8 είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η καύση όλου του διαθέσιμου οξυγόνου και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί δεν λαμβάνονται υπόψη, διατηρώντας την λειτουργία κλειστού κυκλώματος απενεργοποιημένη. Η παρουσία άκαυστων υδρογονανθράκων είναι σχεδόν δεδομένη, πράγμα που οδηγεί σε μεγάλη ειδική κατανάλωση.

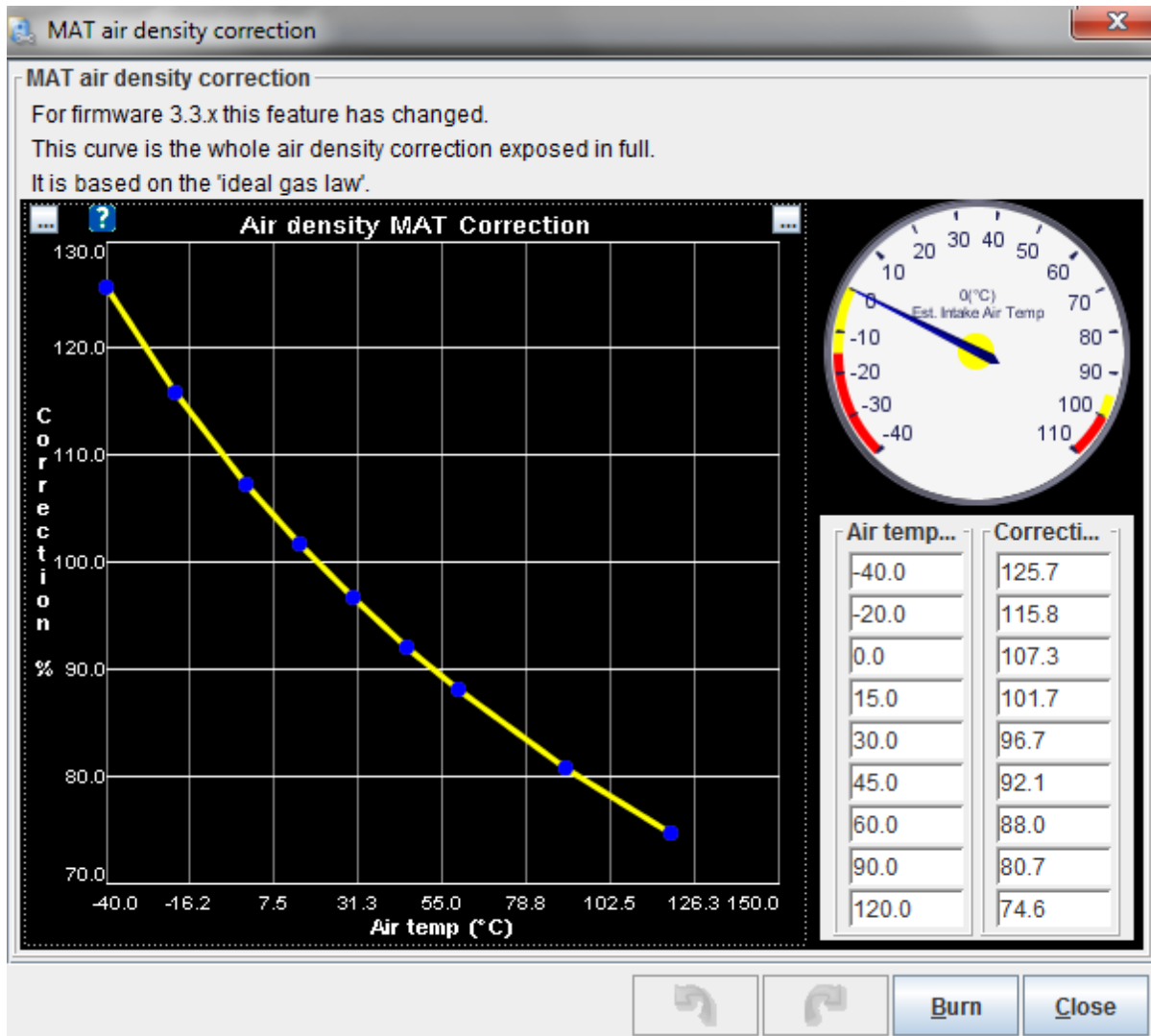
### **Πεδίο 6ο**

Ο μόνος στόχος του προγραμματιστή σε αυτό το πεδίο λειτουργίας είναι η μέγιστη παραγωγή ροπής και ισχύος. Η ροπή και η ισχύς του κινητήρα δεν παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους στις ίδιες στροφές και για τους ίδιους AFR. Μέγιστη ροπή εμφανίζει ο κινητήρας συνήθως γύρω στις 4500 στροφές όπου και υφίσταται η καλύτερη πλήρωσή του με αέρα. Τα μείγματα παίρνουν τιμές από 13 προς 1 έως 11,8 προς 1. Η μέγιστη ισχύς εμφανίζεται σε μεγαλύτερο αριθμό στροφών. Παρόλο που η ροπή του κινητήρα αρχίζει και πέφτει, λόγω χειρότερης πλήρωσης, η συχνότητα παραγωγής της επιφέρει τη μέγιστη ισχύ. Οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτή τη φάση λειτουργίας είναι ακραίες. Η ροή του αέρα είναι απρόβλεπτη και βίαιη και ο χρόνος που υπάρχει για αναγόμωση των κυλίνδρων είναι λίγος. Συνεπώς απαιτούνται πολύ πλούσια μείγματα για να αξιοποιηθεί όλο το οξυγόνο, από το οποίο εξαρτάται και παραγωγή ισχύος μιας και δεν διατίθεται άφθονο όπως το καύσιμο. Οι τιμές του AFR κυμαίνονται από 11,8 προς 1 έως 13 προς 1, ανάλογα με το σχεδιασμό του κινητήρα. Η μέγιστη ισχύς συνήθως δεν παράγεται για μια τιμή AFR αλλά για ένα μικρό εύρος αυτών. Για την πλουσιότερη τιμή αυτού του εύρους



έχουμε richbesttorque και είναι η πιο αξιόπιστη για μέγιστη ισχύ. Καταναλώνει όμως το περισσότερο καύσιμο. Η μέγιστη ισχύς για τη φτωχότερη τιμή του εύρους ονομάζεται leanbesttorque και καταναλώνει το λιγότερο καύσιμο με κόστος την αξιοπιστία. Συνήθως επιλέγεται μια ενδιάμεση σε αυτές τις δύο τιμή (meanbesttorque). Η επιλογή της τιμής αυτής γίνεται με τον ίδιο τρόπο για όλες τις περιπτώσεις αυτού του πεδίου. Πραγματοποιείται δοκιμάζοντας τον κινητήρα σε δυναμόμετρα ξεκινώντας αρχικά από πλούσια μείγματα και σταδιακά φτωχαίνοντάς τα. Η ροπή κυμαίνεται ανοδικά με τις αλλαγές του AFR και φτάνει σε ένα σημείο όπου περαιτέρω αλλαγές δεν την επηρεάζουν για ένα μικρό εύρος τιμών AFR. Τη στιγμή που θα παρουσιαστεί πτώση ροπής, γυρνώντας ελαφρά το μείγμα προς το πλούσιο μας δίνει την leanbesttorque. Από εκεί και πέρα, η τιμή AFR που θα ληφθεί για αυτήν την ευθεία της ροπής εξαρτάται από τη θερμοκρασία των καυσαερίων, την προπορεία έναυσης και τον σχεδιασμό και την κατασκευή του ίδιου του κινητήρα, με απώτερο σκοπό την προστασία του κινητήρα από υπερθέρμανση και βίαιες αναταράξεις λόγω κρουστικής καύσης.

### 3.2.2 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει της Θερμοκρασίας Αέρα Εισαγωγής

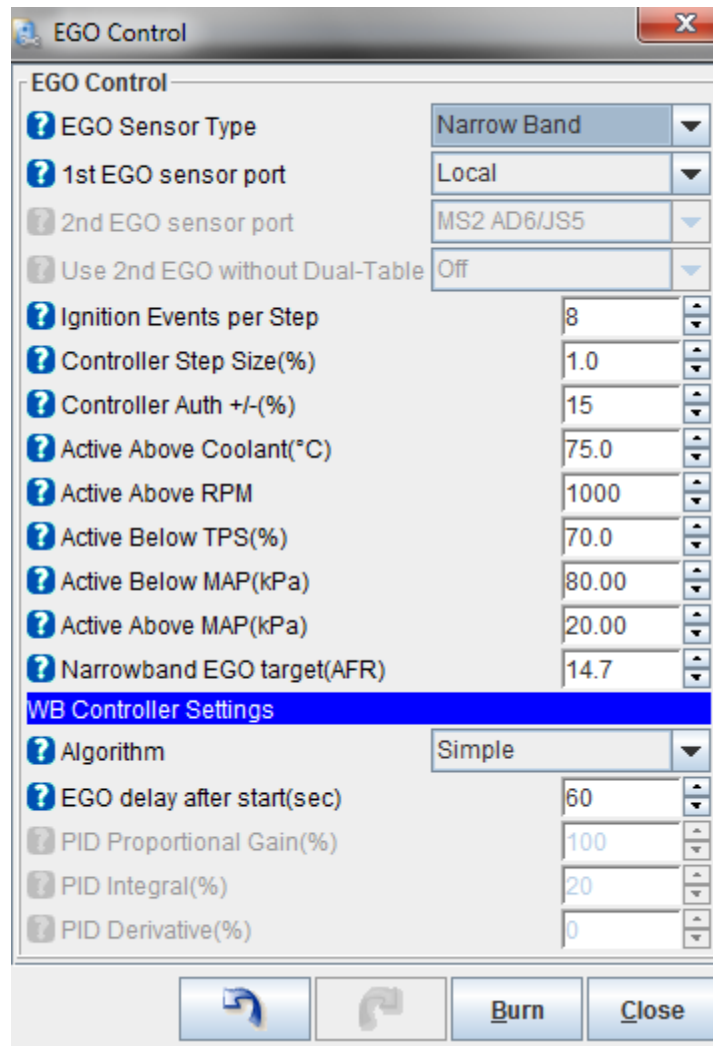


Εικόνα 3.5 Διόρθωση βάσει θερμοκρασίας αέρα.

Στην πρώτη στήλη του πίνακα ορίζονται δέκα τιμές θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής και στις αντίστοιχες θέσεις ορίζονται και δέκα τιμές διόρθωσης του πλάτους παλμού. Σχηματίζεται έτσι μια καμπύλη διόρθωσης με τη βοήθεια της μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής, δίνοντας έτσι μια τιμή διόρθωσης για κάθε θερμοκρασία στο εύρος  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $120^{\circ}\text{C}$ . Η συγκεκριμένη καμπύλη έχει φτιαχτεί βάσει του νόμου των ιδανικών αερίων και δεν επεμβαίνουμε σε αυτή. Τέλος οι τιμές διόρθωσης ορίζουν την μεταβλητή AirCorr η οποία διαιρούμενη διά του εκατό δίνει τον κατάλληλο συντελεστή.

### 3.2.3 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει του Αισθητήρα Λάμδα (ClosedLoopOperation)

i) Με χρήση αισθητήρα στενής ζώνης



*Εικόνα 3.6 Ρυθμίσεις κλειστού βρόχου.*

Από εδώ ορίζονται οι παράμετροι βάσει των οποίων θα λειτουργεί ο κλειστός βρόχος για την διόρθωση του λόγου λάμδα, με χρήση του σήματος εισόδου του αισθητήρα λάμδα.

#### EGOsensortype

Ορίζουμε τον τύπο αισθητήρα που χρησιμοποιούμε, σε αυτήν την περίπτωση στενής ζώνης (narrowband).

### Ignitioneventsperstep

Ανάμεσα στις εφαρμογές των βημάτων της διόρθωσης του πλάτους παλμού μεσολαβεί κάποιος χρόνος, ο οποίος εισάγεται σε αριθμό αναφλέξεων.

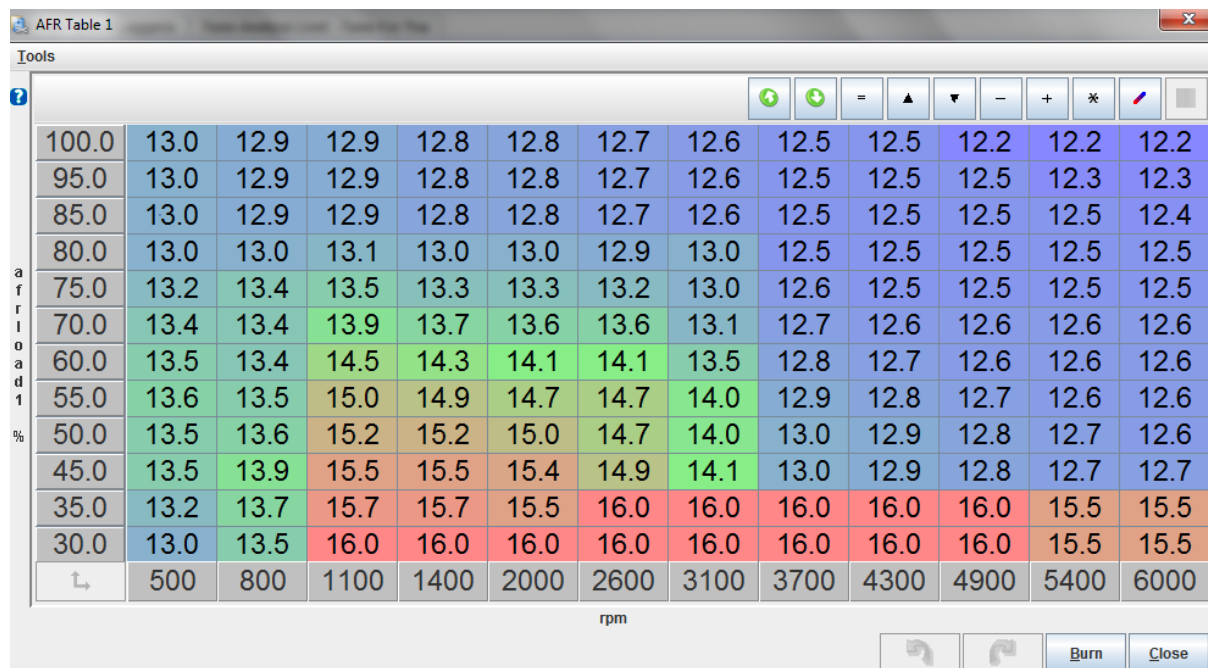
### ControllerStepsize %

Η αριθμητική τιμή του βήματος διόρθωσης. Βάζοντας μικρή τιμή διόρθωσης και μεγάλη συχνότητα εφαρμογής των βημάτων (μειώνοντας τον χρόνο) επιτυγχάνουμε λεπτομερέστερη διόρθωση του λόγου λάμδα.

### Controller +/- %

Εδώ εισάγουμε την μέγιστη τιμή διόρθωσης που μπορεί να δώσει η λειτουργία κλειστού βρόχου στη μεταβλητή O2-correction. Διαιρούμενη στη συνέχεια διά του εκατό, μας δίνει τον απαιτούμενο συντελεστή. Στη συνέχεια ζητούνται από το πρόγραμμα οι προϋποθέσεις λειτουργίας του κλειστού κυκλώματος που αφορούν την θερμοκρασία ψυκτικού υγρού, τις στροφές λειτουργίας, τη θέση της πεταλούδας γκαζιού καθώς και την απόλυτη πίεση στην εισαγωγή. Οι τιμές εισάγονται έχοντας υπόψη ότι το κλειστό κύκλωμα πρέπει να λειτουργεί κυρίως κατά τη φάση του ρελαντί και σε καταστάσεις πορείας. Κατά την επιτάχυνση και τη λειτουργία του κινητήρα σε υψηλά φορτία πρέπει να απενεργοποιείται.

## ii) Με χρήση αισθητήρα ευρείας ζώνης



The screenshot shows a software window titled "AFR Table 1" with a "Tools" menu. The main area is a table with 13 columns and 13 rows. The first column is labeled "a f r i o a d 1 %" and contains values from 100.0 to 30.0, plus a "↵" button. The bottom row is labeled "rpm" and contains values from 500 to 6000. The table cells contain numerical values representing air-fuel ratios, with a color gradient from blue (top-left) to red (bottom-right). A toolbar with various icons is located above the table, and "Burn" and "Close" buttons are at the bottom right.

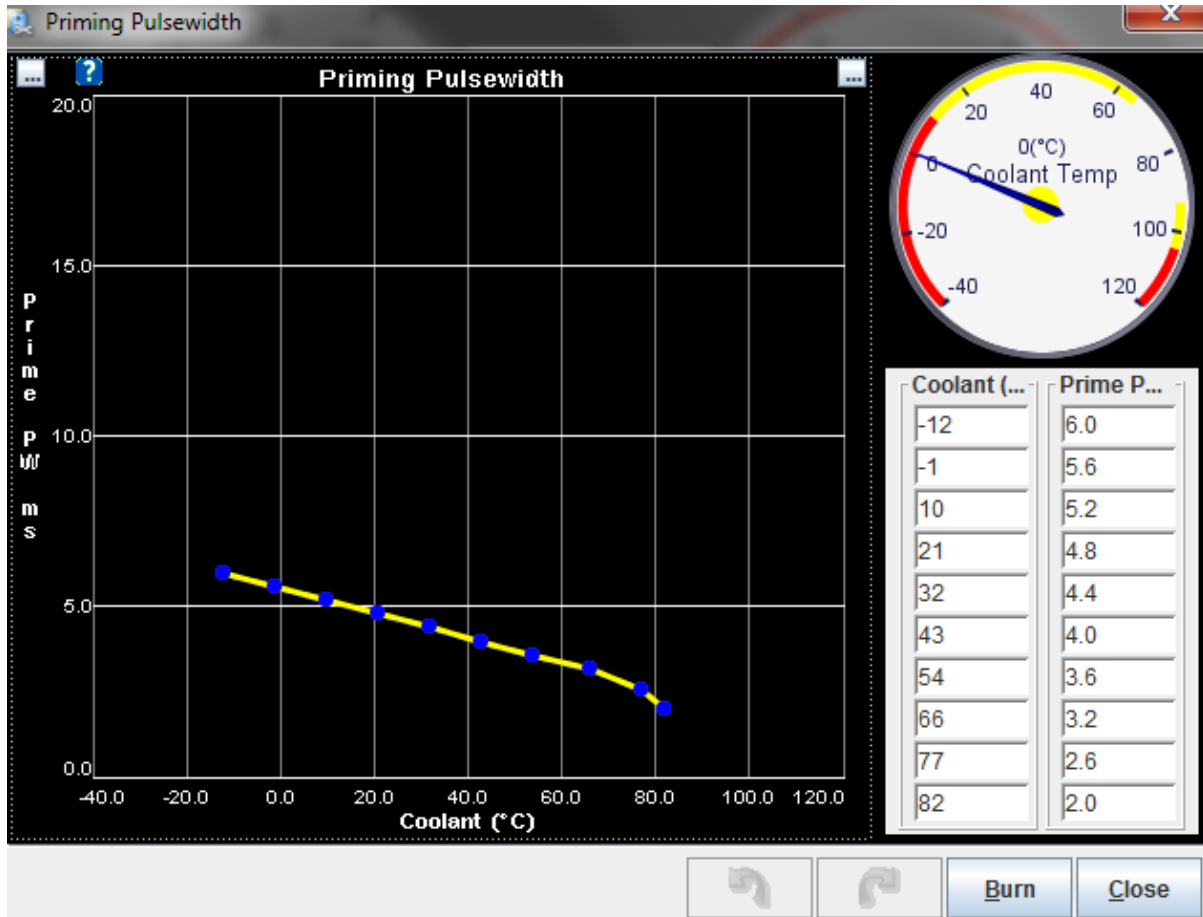
100.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.2	12.2	12.2
95.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.3	12.3
85.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4
80.0	13.0	13.0	13.1	13.0	13.0	12.9	13.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
75.0	13.2	13.4	13.5	13.3	13.3	13.2	13.0	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5
70.0	13.4	13.4	13.9	13.7	13.6	13.6	13.1	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6
60.0	13.5	13.4	14.5	14.3	14.1	14.1	13.5	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6
55.0	13.6	13.5	15.0	14.9	14.7	14.7	14.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6
50.0	13.5	13.6	15.2	15.2	15.0	14.7	14.0	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6
45.0	13.5	13.9	15.5	15.5	15.4	14.9	14.1	13.0	12.9	12.8	12.7	12.7
35.0	13.2	13.7	15.7	15.7	15.5	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.5	15.5
30.0	13.0	13.5	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.5	15.5
↵	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

Εικόνα 3.7 Πίνακας AFR.

Ο πίνακας λόγου αέρα καυσίμου βρίσκει εφαρμογή σε κινητήρες που είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρα λάμδα ευρείας ζώνης. Με τη βοήθειά του ο Megasquirt λαμβάνει τον AFR για όλα τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα και συνεπώς μπορεί να εφαρμόσει διορθώσεις σε αυτά. Οι διορθώσεις αυτές αντλούνται από τον πίνακα AFR τον οποίο συμπληρώνει ο προγραμματιστής. Η δομή και ο τρόπος προσδιορισμού του σημείου λειτουργίας επάνω του είναι ο ίδιος με αυτόν του πίνακα ογκομετρικού βαθμού απόδοσης. Το σκεπτικό με το οποίο συμπληρώνεται είναι επίσης το ίδιο, μόνο που σε αυτή την περίπτωση τα πράγματα είναι κάπως πιο εύκολα καθώς ορίζεται απευθείας ο AFR που επιθυμείται χωρίς να προσπαθεί ο προγραμματιστής να τον πετύχει αλλάζοντας τον πίνακα VE. Το γεγονός αυτό κάνει όλη την διαδικασία πιο εύκολη, καθώς η διόρθωση σε όλο το εύρος λειτουργίας από τον πίνακα AFR συγχωρεί περισσότερα λάθη από κακή συμπλήρωση του πίνακα VE. Επίσης, μπορεί να διατηρεί την λειτουργία του κινητήρα στα επιθυμητά επίπεδα, διορθώνοντας τον ψεκασμό για αλλαγές που προκύπτουν στον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα και οφείλονται σε φθορά των εξαρτημάτων του.

### 3.2.4 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει της Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού

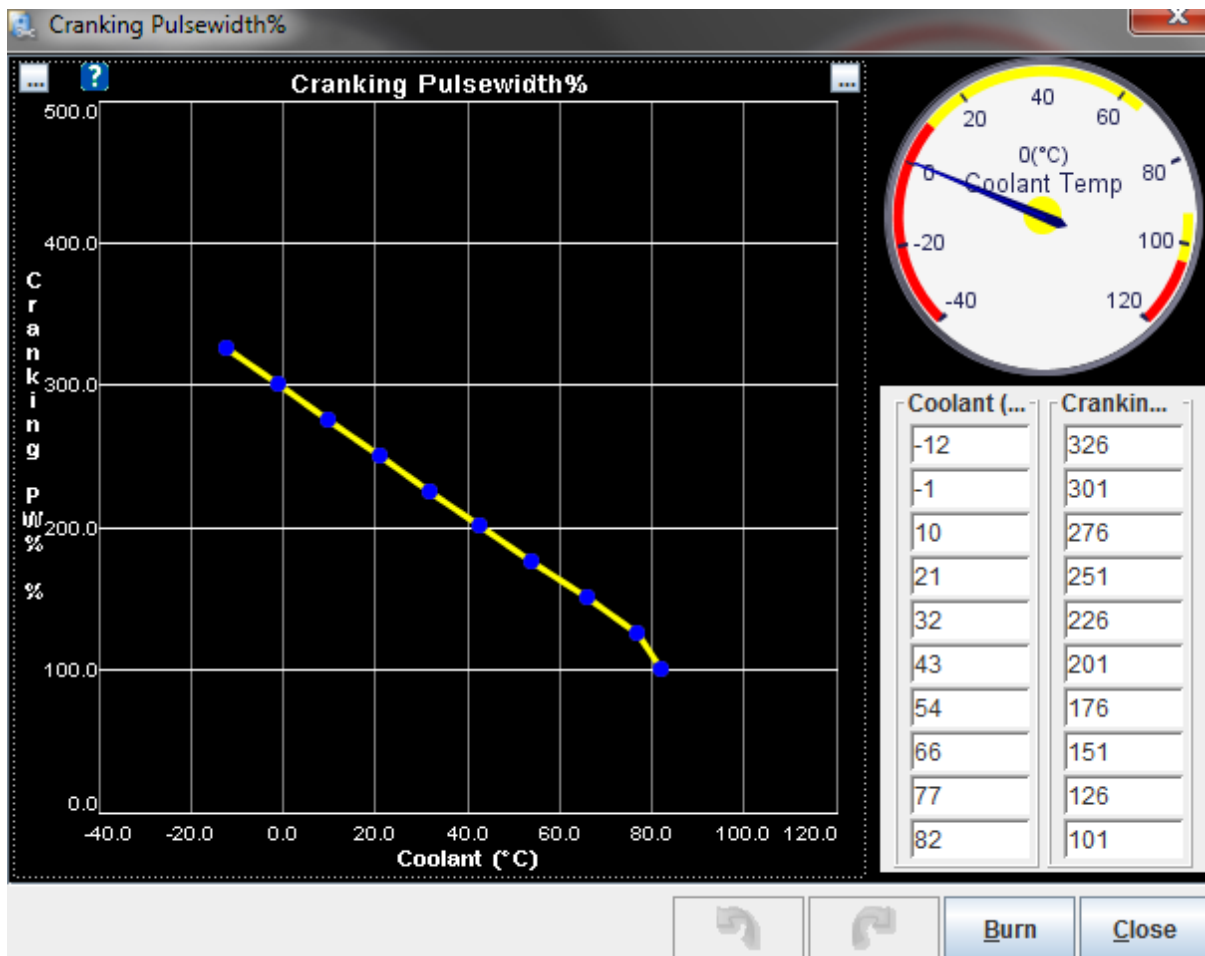
#### i) Αρχικός Παλμός



*Εικόνα 3.8 Πλάτος αρχικού παλμού.*

Όταν ενεργοποιείται το ηλεκτρικό κύκλωμα πριν την εκκίνηση του κινητήρα, οMegasquirt δίνει εντολή να ψεκαστεί μία ποσότητα καυσίμου ώστε να καθαρίσει η γραμμή παροχής καυσίμου (αντλία έως μπέκ) από τον αέρα, καθώς και για να υπάρχει παρουσία καυσίμου στον πρώτο κύκλο λειτουργίας. Ο παλμός αυτός εξαρτάται από τη θερμοκρασία ψυκτικού υγρού η οποία λαμβάνεται από τον αντίστοιχο αισθητήρα. Με την τοποθέτηση δέκα τιμών θερμοκρασίας και δέκα αντίστοιχων τιμών πλάτους παλμού, σχηματίζεται μία καμπύλη από την οποία λαμβάνονται όλες οι απαραίτητες τιμές βάσει του σήματος του αισθητήρα.

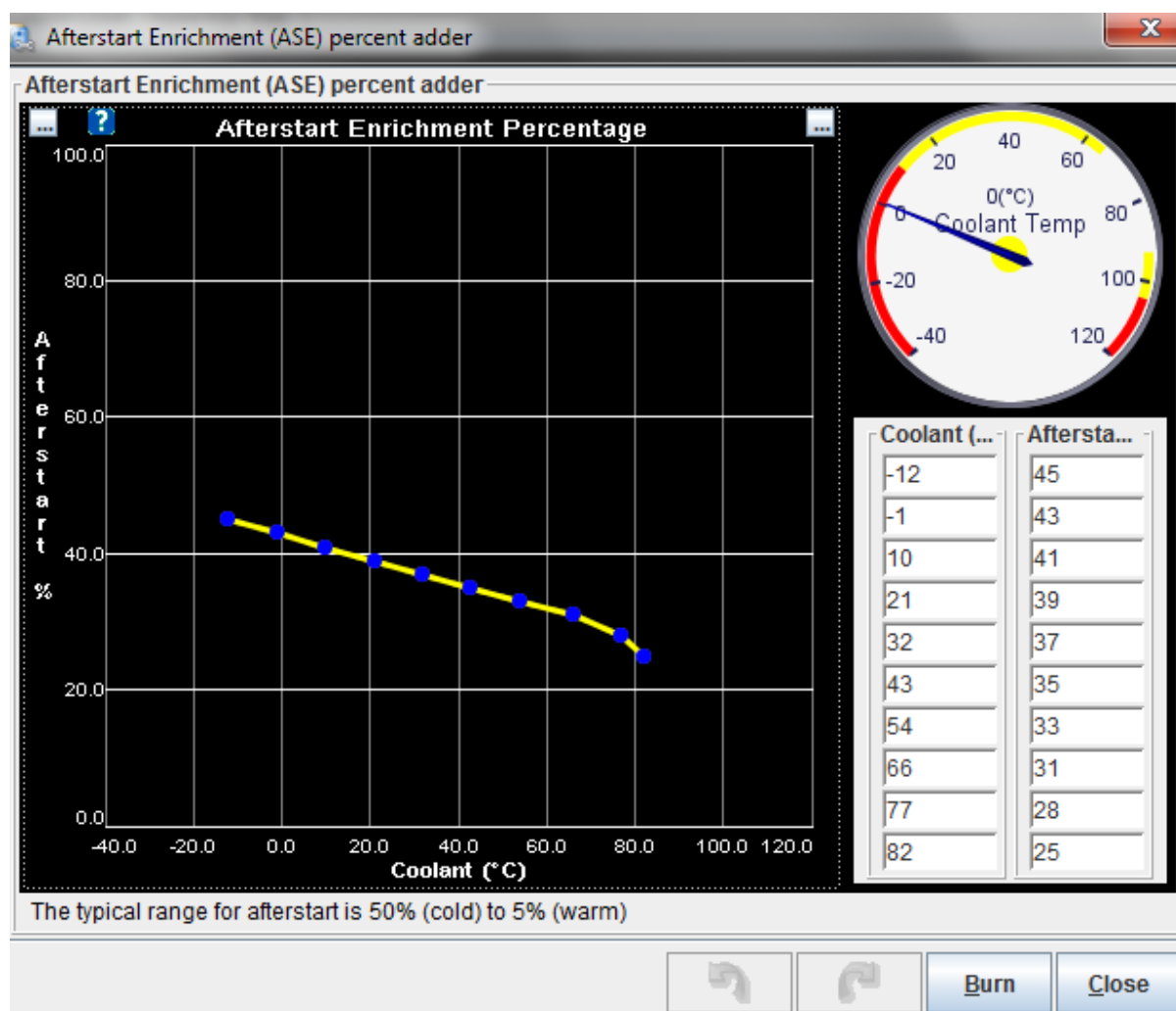
## ii) Εμπλουτισμός Εκκίνησης Κινητήρα



Εικόνα 3.9 Καμπύλη εμπλουτισμού εκκίνησης.

Κατά την εκκίνηση του ο κινητήρας χρειάζεται περισσότερο καύσιμο λόγω των χαμηλών ταχυτήτων του αέρα. Από εδώ ορίζεται το ποσοστό επαύξησης του πλάτους παλμού, βασισμένο στις τιμές θερμοκρασίας που λαμβάνονται από τον αισθητήρα ψυκτικού υγρού. Ορίζονται δέκα τιμές θερμοκρασίας και δέκα αντίστοιχα ποσοστά. Ο Megasquirt επιλέγει στη συνέχεια το κατάλληλο από την καμπύλη που ορίζεται, το διαιρεί δια του εκατό και προκύπτει ο κατάλληλος συντελεστής

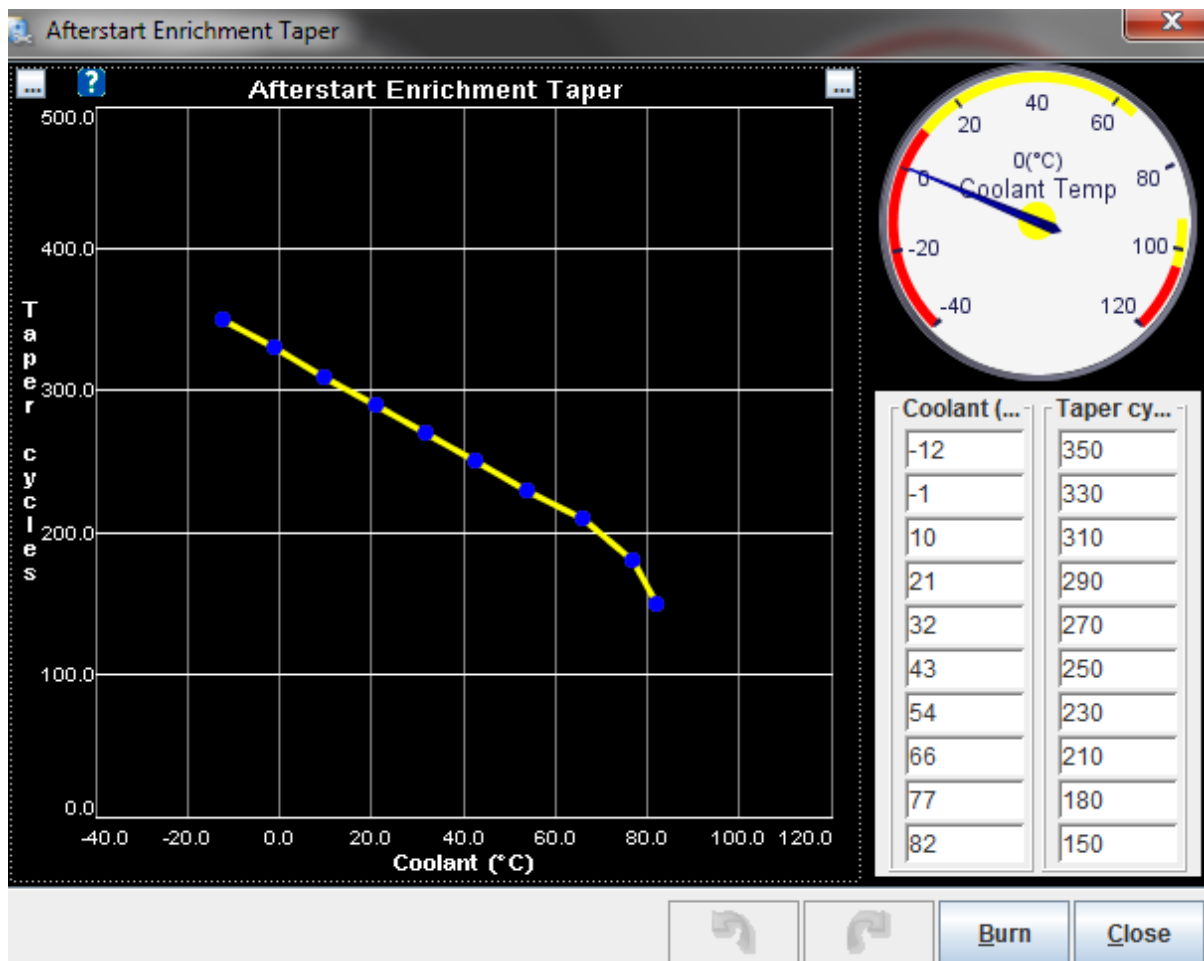
### iii) Εμπλουτισμός Αρχικής Λειτουργίας Κινητήρα



Εικόνα 3.10 Καμπύλη εμπλουτισμού αρχικής λειτουργίας.

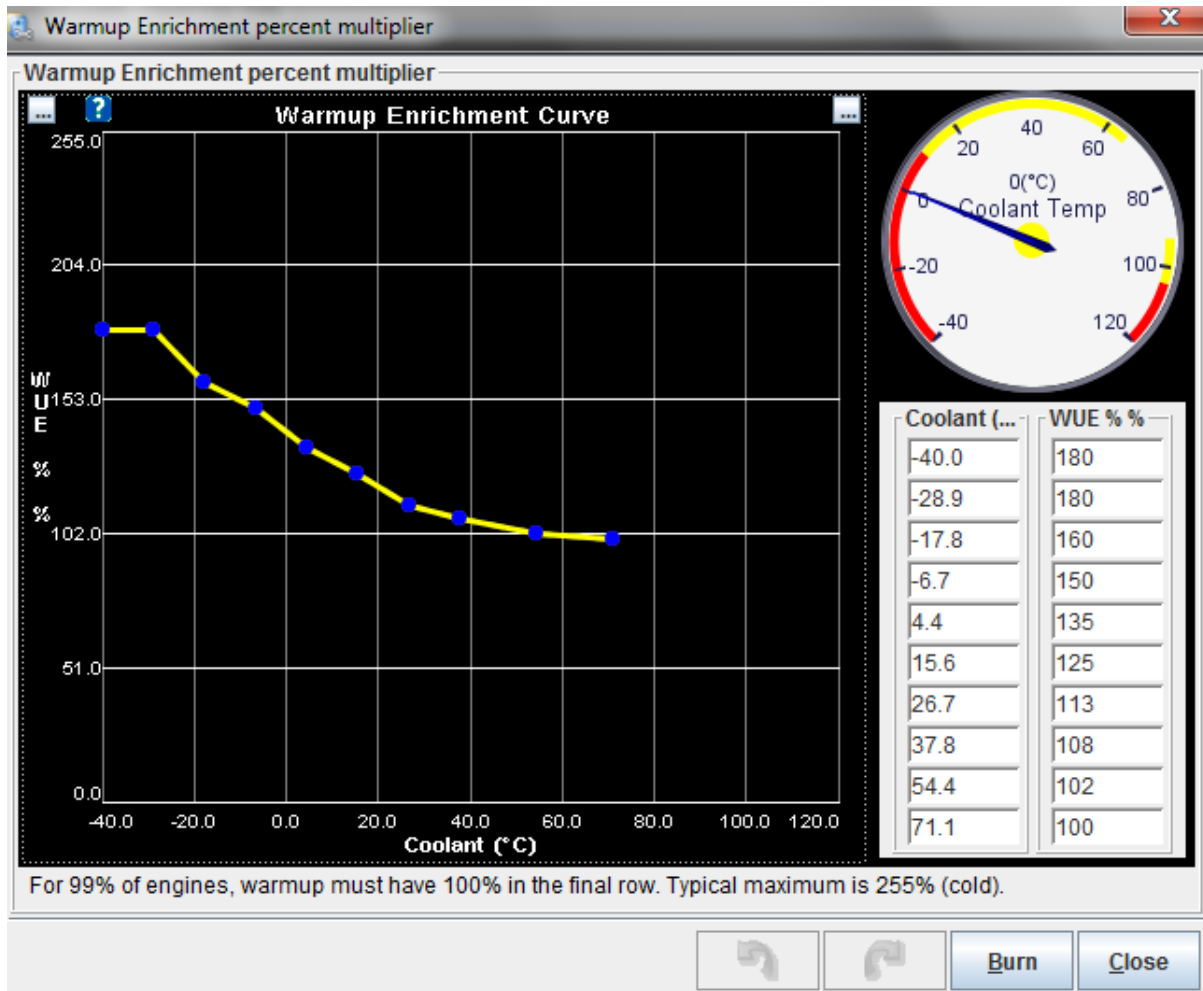
Ο εμπλουτισμός αρχικής λειτουργίας ορίζεται από εδώ. Οι απαιτήσεις εμπλουτισμού αυξάνονται όσο πιο κρύος είναι ο κινητήρας. Με δέκα τιμές θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού και δέκα τιμές ποσοστού εμπλουτισμού ορίζεται η αντίστοιχη καμπύλη και ο Megasquirt παίρνει την απαραίτητη τιμή βασισμένος στο σήμα του αντίστοιχου αισθητήρα. Η διάρκεια του εμπλουτισμού αυτού δίνεται από την καμπύλη της εικόνας 4.11 για θερμοκρασία ψυκτικού υγρού και αντίστοιχες τιμές κύκλων λειτουργίας. Για τον υπολογισμό του αριθμού των κύκλων λειτουργίας που εκτελούνται ο Megasquirt μετράει τις αναφλέξεις που πραγματοποιούνται. Γνωρίζοντας πόσες πραγματοποιούνται σε έναν κύκλο υπολογίζει τον απαιτούμενο αριθμό τους, ώστε να πάψει ο εμπλουτισμός μετά από τον αριθμό κύκλων λειτουργίας που έχουμε ορίσει.





*Εικόνα 3.11 Καμπύλη διάρκειας εμπλουτισμού αρχικής λειτουργίας.*

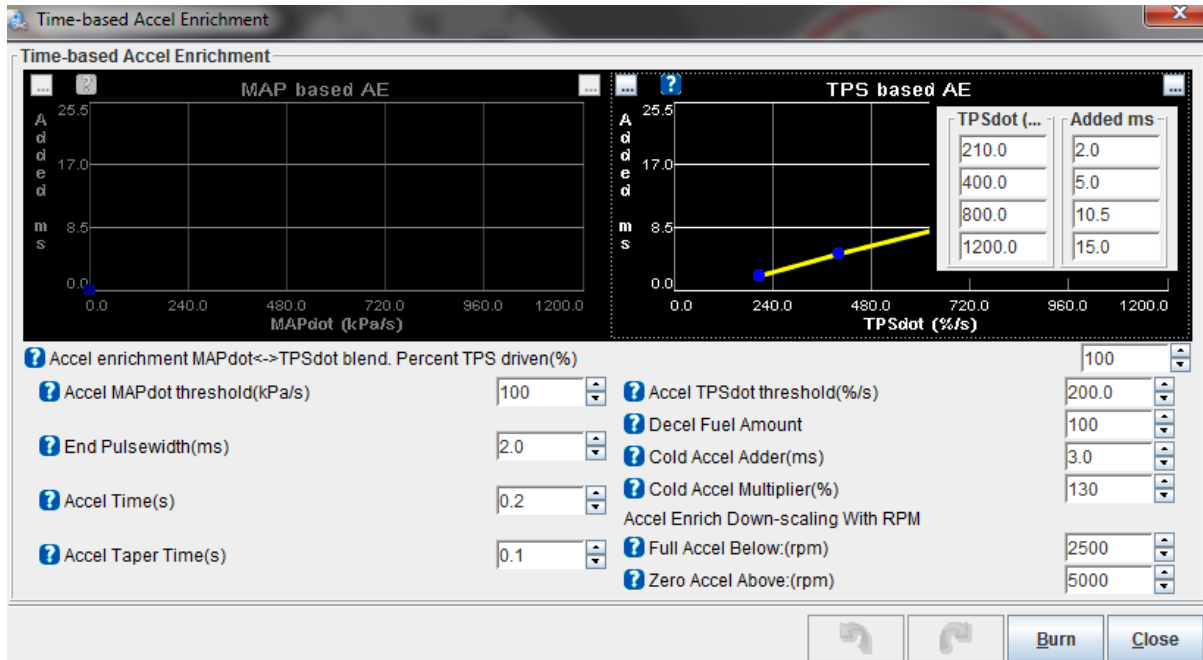
#### iv) Εμπλουτισμός Θέρμανσης Κινητήρα



Εικόνα 3.12 Καμπύλη εμπλουτισμού θέρμανσης.

Οι ρυθμίσεις για τον εμπλουτισμό θέρμανσης γίνονται με τον ίδιο τρόπο όπως και οι προηγούμενες. Το ποσοστό που λαμβάνεται ως διόρθωση από την καμπύλη διαιρείται διά του εκατό και δίνει τον επιθυμητό συντελεστή στην εξίσωση ψεκασμού.

### 3.2.5 Εμπλουτισμός Επιτάχυνσης Κινητήρα

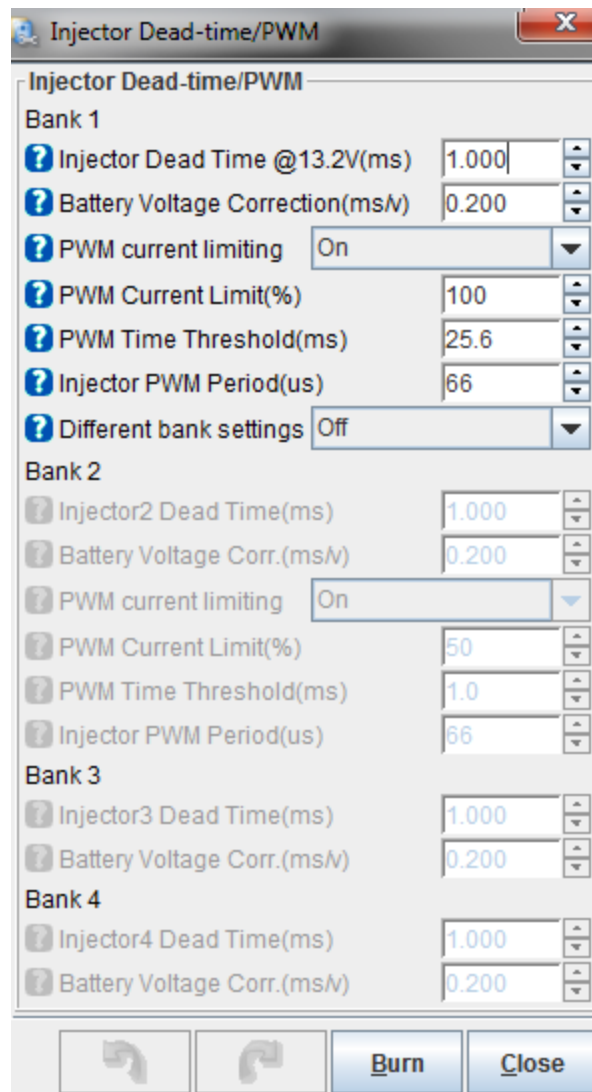


Εικόνα 3.13 Ρυθμίσεις εμπλουτισμού επιτάχυνσης.

Ο εμπλουτισμός επιτάχυνσης επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρα θέσεως πεταλούδας ή αισθητήρα απόλυτης πίεσης στην εισαγωγή. Μεγαλύτερη αξιοπιστία και απόκριση όμως παρουσιάζει ο TPS. Στον πίνακα που απεικονίζεται τοποθετούνται τέσσερις τιμές ποσοστιαίας μεταβολής της θέσεως πεταλούδας στην μονάδα του χρόνου και τέσσερις αντίστοιχες τιμές προστιθέμενου πλάτους παλμού σε ms. Η καμπύλη που σχηματίζεται δίνει τις απαραίτητες τιμές εμπλουτισμού για κάθε μεταβολή της θέσεως πεταλούδας που διαβάζει ο Megasquirt. Στη συνέχεια ορίζεται το όριο πάνω από το οποίο θεωρεί ο Megasquirt ότι απαιτείται επιτάχυνση καθώς και επιλογές που αφορούν την επιτάχυνση κρύου κινητήρα. Τέλος, τίθεται το εύρος στροφών για το οποίο γίνεται χρήση αυτού του εμπλουτισμού.

### 3.2.6 Χρόνος Αναμονής Μπεκ Ψεκασμού

Η σταθερά INJ-OPEN της εξίσωσης ψεκασμού καυσίμου ορίζεται από εδώ. Ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται το μπεκ ψεκασμού για να ανοίξει ανάλογα με την αδράνεια που παρουσιάζει καθώς και η διόρθωση που εφαρμόζεται σε αυτόν τον χρόνο ανάλογα με την τάση της μπαταρίας.



*Εικόνα 3.14 Ρυθμίσεις χρόνου αναμονής μπεκ.*

#### Injector dead time @ 13,2 V (ms)

Εισάγουμε εδώ τον νεκρό χρόνο του μπεκ που χρησιμοποιούμε, δηλαδή τον χρόνο που χρειάζεται για να υπερνικήσει την αδράνειά του και να αρχίζει να ψεκάζει.

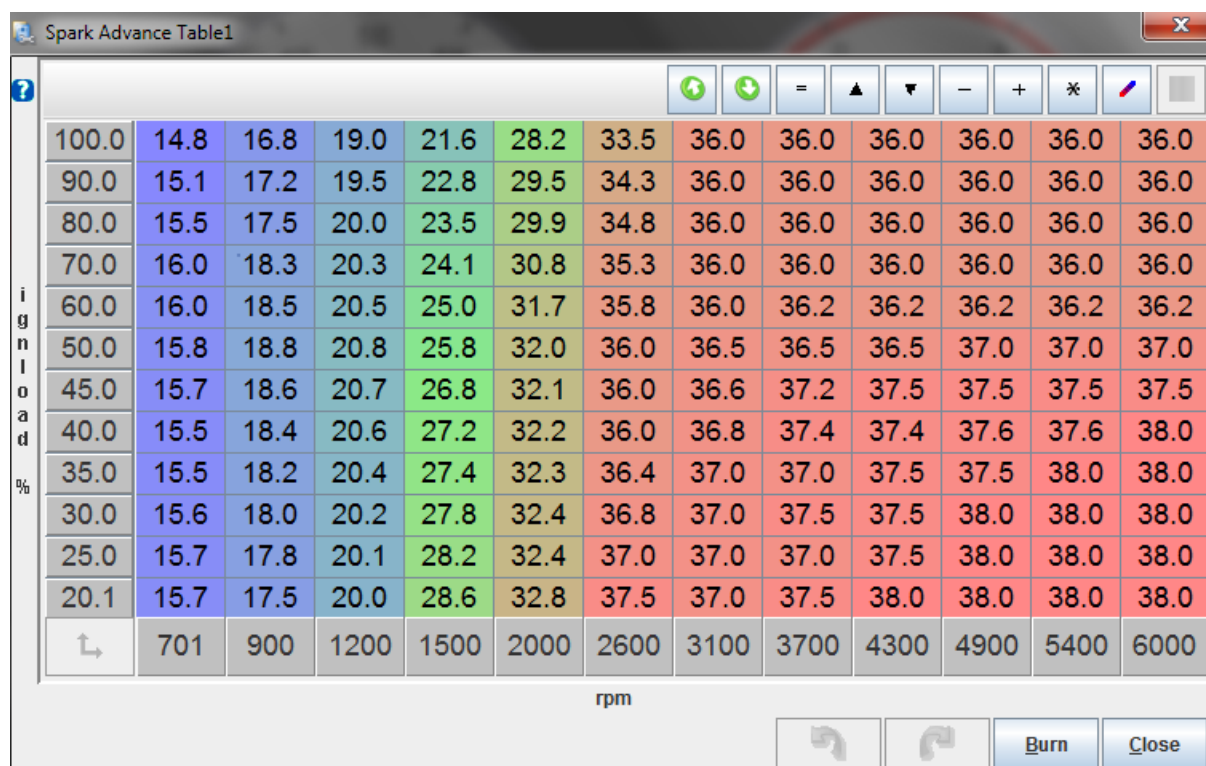
### Battery voltage correction (ms/V)

Η εκάστοτε τάση της μπαταρίας επηρεάζει τον χρόνο ενεργοποίησης των μπέκ. Όσο πέφτει η τάση της, τόσο περισσότερος χρόνος χρειάζεται. Για τον λόγο αυτό εισάγεται μια τιμή διόρθωσης του χρόνου για κάθε volt πέραν των 13,2 V

## 3.3 Ρύθμιση Προπορείας Έναυσης

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται αναλυτικά όλες οι απαραίτητες διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για τον σωστό χρονισμό της σπινθηροδότησης του κινητήρα.

### 3.3.1 Πίνακας Προπορείας Έναυσης



	701	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000
100.0	14.8	16.8	19.0	21.6	28.2	33.5	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
90.0	15.1	17.2	19.5	22.8	29.5	34.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
80.0	15.5	17.5	20.0	23.5	29.9	34.8	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
70.0	16.0	18.3	20.3	24.1	30.8	35.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
60.0	16.0	18.5	20.5	25.0	31.7	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
50.0	15.8	18.8	20.8	25.8	32.0	36.0	36.5	36.5	36.5	37.0	37.0	37.0
45.0	15.7	18.6	20.7	26.8	32.1	36.0	36.6	37.2	37.5	37.5	37.5	37.5
40.0	15.5	18.4	20.6	27.2	32.2	36.0	36.8	37.4	37.4	37.6	37.6	38.0
35.0	15.5	18.2	20.4	27.4	32.3	36.4	37.0	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0
30.0	15.6	18.0	20.2	27.8	32.4	36.8	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0
25.0	15.7	17.8	20.1	28.2	32.4	37.0	37.0	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0
20.1	15.7	17.5	20.0	28.6	32.8	37.5	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0

*Εικόνα 3.15 Πίνακας προπορείας έναυσης.*

Μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες στον προγραμματισμό μιας ECU είναι η σωστή συμπλήρωση του πίνακα προπορείας έναυσης. Κινητήρες με υπερβολική προπορεία θα παρουσιάσουν κρουστική καύση ενώ κινητήρες με ελλιπή προπορεία δεν θα παράγουν ικανοποιητική ροπή και θα υπερθερμαίνουν τις βαλβίδες εξαγωγής καθώς και την πολλαπλή εξαγωγής.

Κατά την διαδικασία αυτή λοιπόν πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες ώστε να πραγματοποιηθεί σωστά. Αρχικά ο στόχος του προγραμματιστή ρυθμίζοντας την προπορεία είναι να αναφλεχθεί το μείγμα με τέτοιο τρόπο ώστε η πίεση των αερίων μέσα στον θάλαμο καύσης να παίρνει την μέγιστη τιμή της όταν το έμβολο είναι στις 15<sup>0</sup> μετά το ΑΝΣ. Το πρώτο κριτήριο βάση του οποίου ορίζεται η κατάλληλη προπορεία είναι η ταχύτητα καύσης του μείγματος. Τα πυκνά μείγματα καίγονται γρηγορότερα από τα αραιά και συνεπώς χρειάζονται λιγότερη προπορεία για την επίτευξη του στόχου των 15<sup>0</sup>. Η πυκνότητα εξαρτάται άμεσα από τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα, δηλαδή αύξησή του συνεπάγεται αύξηση της πυκνότητας.

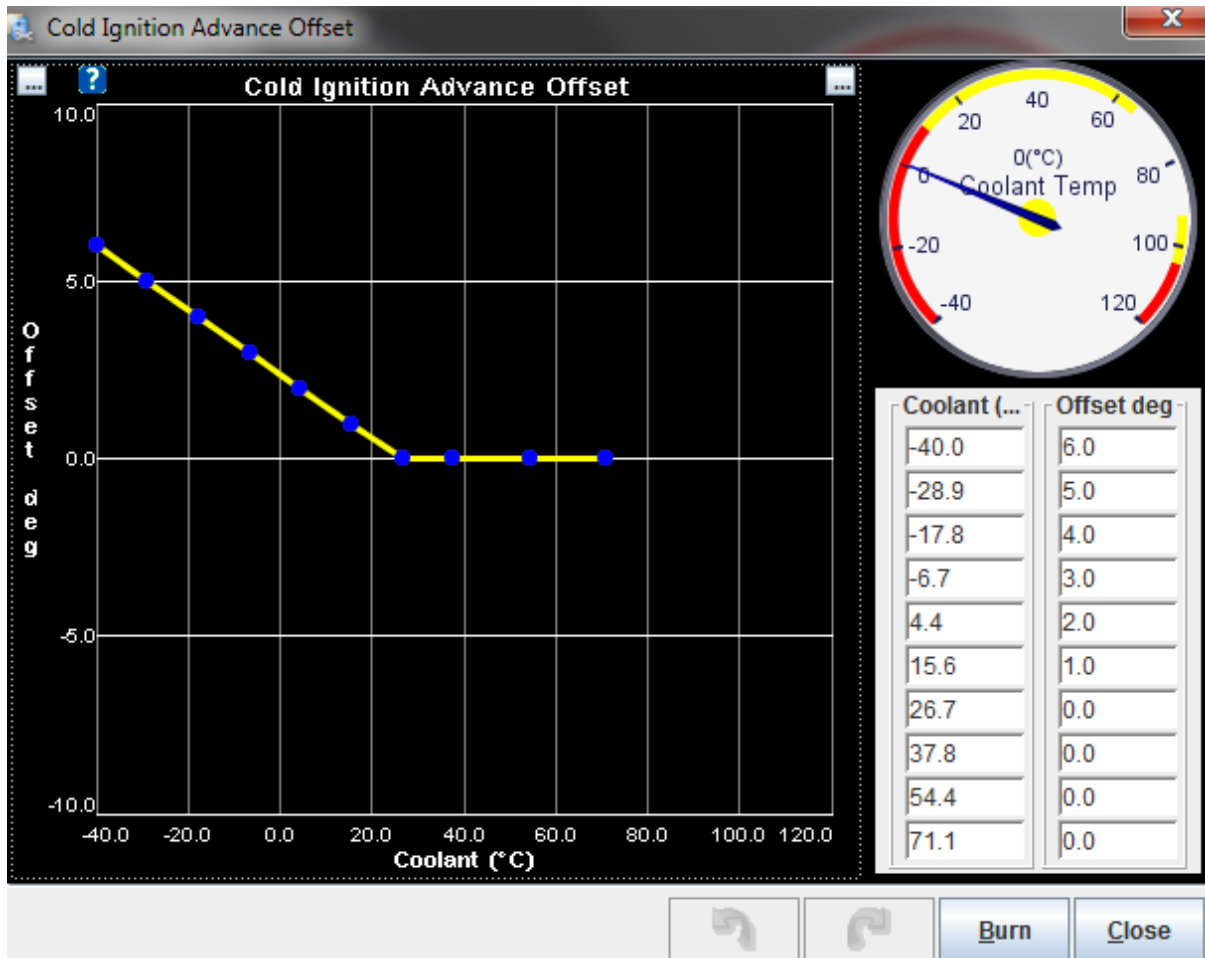
Πέραν της πυκνότητας, η ταχύτητα καύσης εξαρτάται και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης. Οι μεγάλοι θάλαμοι απαιτούν υψηλότερες τιμές προπορείας, καθώς το μέτωπο της φλόγας πρέπει να καλύψει μεγαλύτερη απόσταση για την ολοκλήρωση της καύσης, ενώ οι μικροί θάλαμοι απαιτούν χαμηλότερες τιμές για τον αντίστροφο λόγο. Το δεύτερο κριτήριο είναι η ταχύτητα του κινητήρα, δηλαδή οι στροφές λειτουργίας του. Με την αύξηση των στροφών, η ταχύτητα της καύσης παραμένει χρονικά σταθερή (με την προϋπόθεση ότι δεν μεταβάλλεται η πυκνότητα). Ωστόσο, λόγω μεγαλύτερης συχνότητας καύσεων, αν μεταφράσουμε αυτό τον χρόνο σε μοίρες του στροφάλου παρατηρούμε ότι η καύση χρειάζεται περισσότερες μοίρες για να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Συνεπώς, η προπορεία έναυσης πρέπει να αυξάνεται με την άνοδο των στροφών λειτουργίας.

Κατά την φάση λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός και το μείγμα αραιό, καθιστώντας την καύση του πιο αργή. Επίσης οι στροφές του κινητήρα είναι χαμηλές, οπότε οι δύο αυτές μεταβλητές δρουν αντίθετα η μία στην άλλη, ορίζοντας έτσι την ιδανική προπορεία στις 8<sup>0</sup> με 20<sup>0</sup> πριν το ΑΝΣ. Μεγαλύτερη τιμή από αυτές οδηγεί σε αύξηση των στροφών του ρελαντί. Για να διατηρηθούν σε φυσιολογικά επίπεδα πρέπει να κλείσει και άλλο η πεταλούδα με συνέπεια πολύ μικρές ποσότητες αέρα και δυσκολία των μπέκ να ανταποκριθούν σε αυτές, οδηγώντας έτσι σε αστάθεια τον κινητήρα. Επίσης με το άνοιγμα της πεταλούδας και την απότομη μεταβολή της ροής αέρα, ο προγραμματισμός θα ήταν πολύ δύσκολος ώστε να επιτευχθεί ομαλή μετάβαση σε άλλα σημεία λειτουργίας. Τροποποιημένοι αγωνιστικοί κινητήρες με πολύ χαμηλό ογκομετρικό βαθμό απόδοσης χρειάζονται περισσότερη προπορεία, της τάξεως των 28<sup>0</sup> πριν το ΑΝΣ. Οι τιμές προπορείας κατά την εκκίνηση ενός κινητήρα κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα με αυτά του ρελαντί. Στη συνέχεια, καθώς η πεταλούδα ανοίγει ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης μεγαλώνει, μειώνοντας την ανάγκη προπορείας. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει και αύξηση των στροφών λειτουργίας. Τυπικά οι τιμές προπορείας αυξάνονται συνεχώς καθώς ο κινητήρας φθάνει σε υψηλά επίπεδα λειτουργίας παίρνοντας τιμές από 18<sup>0</sup> έως 40<sup>0</sup>, ανεβαίνοντας κλιμακωτά και φθάνοντας τις μέγιστες στα σημεία παραγωγής μέγιστης ροπής και μέγιστης ισχύος. Κατά τη λειτουργία ελαφράς πορείας, για λόγους οικονομίας καυσίμου ορίζονται αρκετά μεγάλες τιμές προπορείας, έως και 45<sup>0</sup> πριν το ΑΝΣ. Δίνοντας πιο πολύ

χρόνο για την πραγματοποίηση της καύσης εξασφαλίζεται η καύση όλου του καυσίμου χωρίς αυτό να εξέρχεται ανεκμετάλλευτο ως άκαυστοι υδρογονάνθρακες.

Η προπορεία έναυσης επηρεάζει σημαντικά την εκπομπή ρύπων. Για τον λόγο αυτό πολλές φορές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που νομοθετούνται για την συμπλήρωση του πίνακα. Η προπορεία για χαμηλή εκπομπή ρύπων σπανίως συμπίπτει με αυτήν που απαιτείται για μέγιστη απόδοση ή οικονομία περιορίζοντας έτσι τον προγραμματιστή. Από όσα ειπώθηκαν γίνεται κατανοητό ότι σωστή ρύθμιση της προπορείας είναι μια πολύ σύνθετη και δύσκολη διαδικασία καθώς υπάρχουν πολλές μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Απαιτεί πολλές δοκιμές και διορθώσεις και πολλές φορές αλλαγές σε αυτόν τον πίνακα οδηγούν τον προγραμματιστή και σε αλλαγές στον πίνακα ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, με διαρκή διαμόρφωση των δύο πινάκων εναλλάξ.

### 3.3.2 Διόρθωση Προπορείας Βάσει της Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού

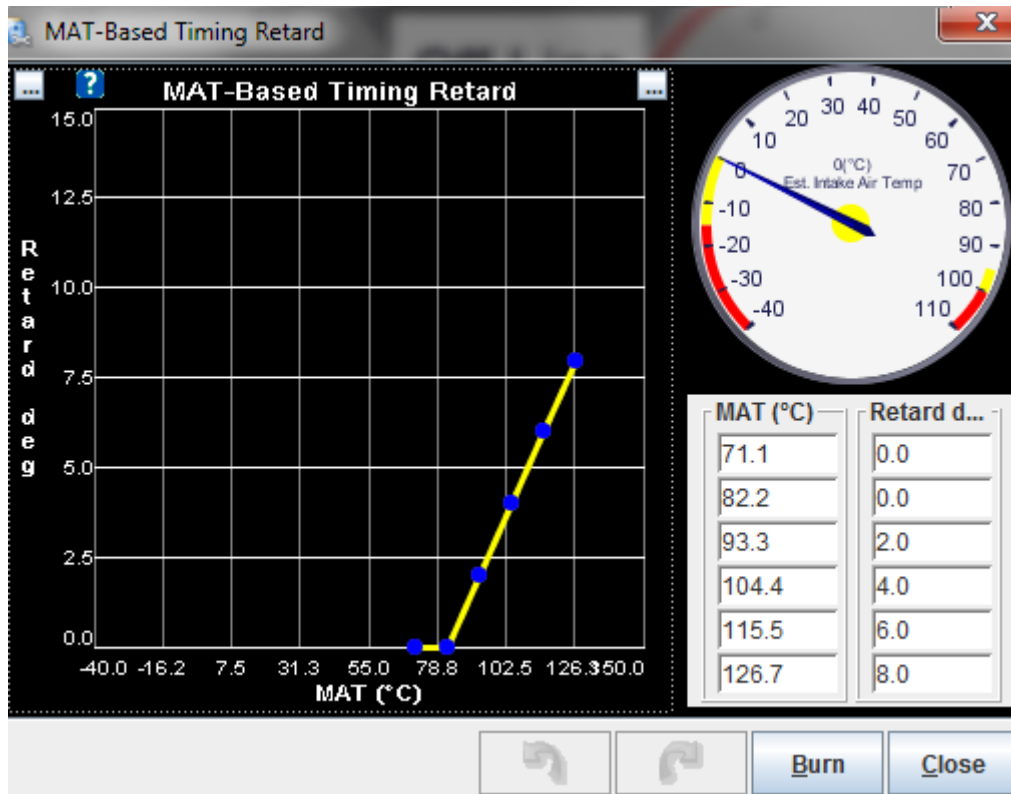


Εικόνα 3.16 Καμπύλη διόρθωσης προπορείας βάσει θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού.

Στον πίνακα της εικόνας 3.16 εισάγονται δέκα τιμές θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού. Για τις τιμές αυτές ορίζονται αντίστοιχα δέκα τιμές επιπλέον προπορείας έναυσης. Σχηματίζεται έτσι μια ευθεία από την οποία ορίζονται τιμές πρόσθετης προπορείας για κάθε θερμοκρασία από  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $26,7^{\circ}\text{C}$ . Η προπορεία αυτή προστίθεται στην τιμή προπορείας που έχει οριστεί από τον πίνακα προπορείας έναυσης για την εκάστοτε λειτουργία του κινητήρα.



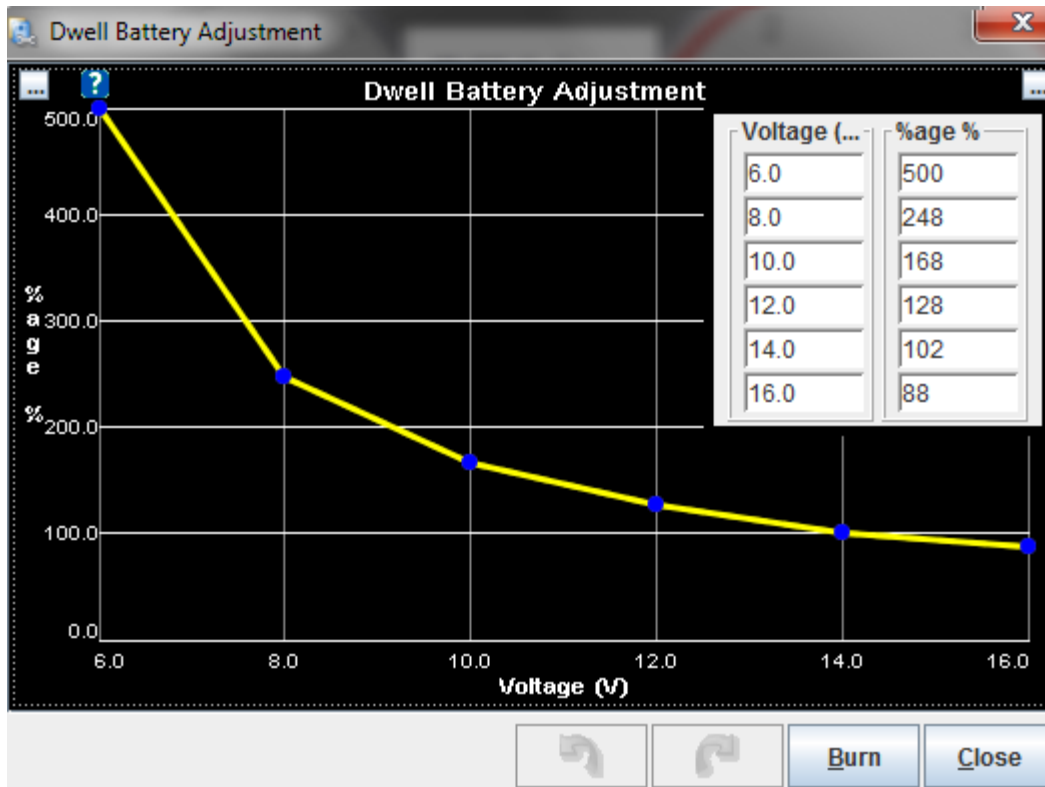
### 3.3.3 Διόρθωση Προπορείας Βάσει της Θερμοκρασίας Εισαγωγής Αέρα



Εικόνα 3.17 Διόρθωση προπορείας βάσει θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής.

Από εδώ επιτυγχάνεται μείωση της προπορείας έναυσης για μεγάλες θερμοκρασίες αέρα εισαγωγής. Οι θερμοκρασίες αυτές δεν εμφανίζονται σχεδόν ποτέ σε ατμοσφαιρικούς κινητήρες, παρά μόνο σε υπερτροφοδοτούμενους λόγω της συμπίεσης του αέρα. Παρέχεται λοιπόν πίνακας έξι τιμών θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής και αντίστοιχης μείωσης προπορείας, σχηματίζοντας ευθεία για την εξαγωγή τιμής μείωσης για κάθε θερμοκρασίας από 82,2<sup>o</sup> C έως 126,7<sup>o</sup>C. Η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται κυρίως για την αποφυγή εμφάνισης κρουστικής καύσης.

### 3.3.4 Διόρθωση Γωνίας Dwell Βάσει της Τάσης Μπαταρίας



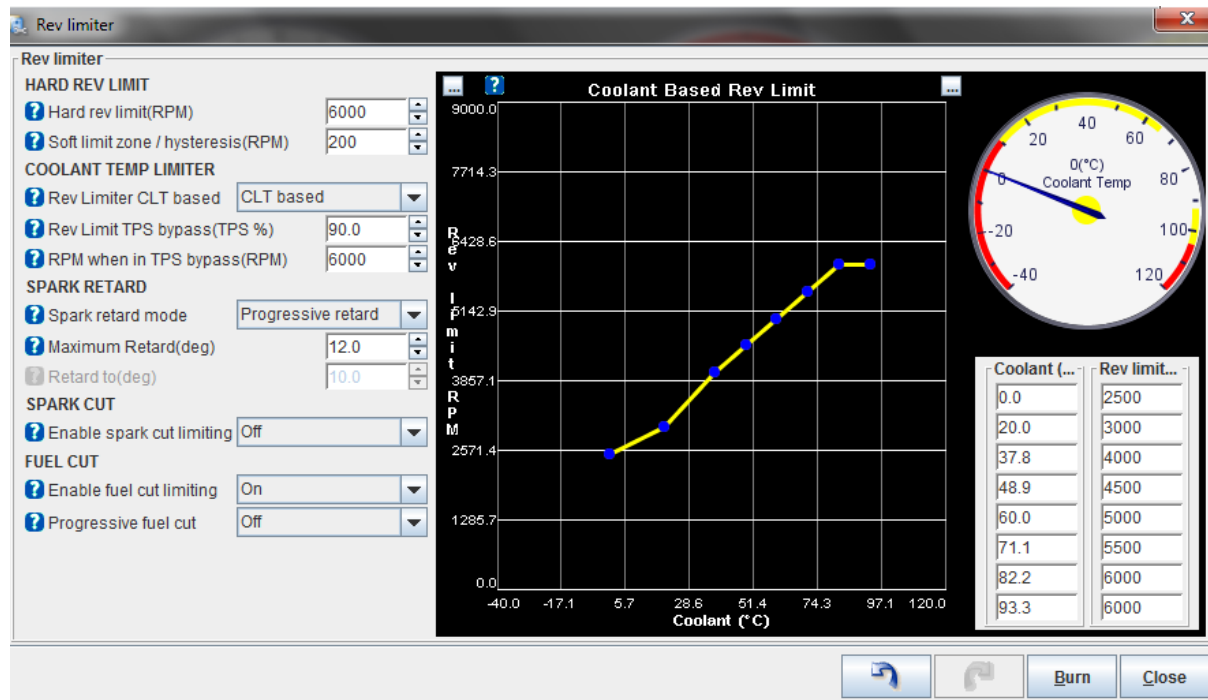
Εικόνα 3.18 Καμπύλη διόρθωσης γωνίας dwell.

Η τιμή της γωνίας dwell εξαρτάται άμεσα από την εκάστοτε τάση της μπαταρίας. Με πτώση της τάσης, η γωνία dwell πρέπει να αυξηθεί κατάλληλα έτσι ώστε να λειτουργεί σωστά η ανάφλεξη. Στον πίνακα που δίνεται ορίζουμε έξι τιμές τάσης μπαταρίας και έξι αντίστοιχες τιμές διόρθωσης της γωνίας dwell, σχηματίζοντας έτσι μια καμπύλη από την οποία ορίζονται διορθώσεις για κάθε τιμή τάσης μπαταρίας.

### 3.4 Ρύθμιση άλλων λειτουργιών

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιούνται ορισμένες ρυθμίσεις σχετικά με κάποιες δευτερεύουσες λειτουργίες του κινητήρα.

#### 3.4.1 Κόφτης Στροφών



Εικόνα 3.19 Ρυθμίσεις κόφτη στροφών.

Εδώ γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τον κόφτη, ώστε να προστατευθεί ο κινητήρας από τυχόν ζημιά.

#### HardRevLimit

Για την λειτουργία του κόφτη στροφών, εισάγουμε τον αριθμό στροφών για τον οποίο διακόπτεται η παροχή καυσίμου.

#### Soft Limit Zone (Hysteresis (RPM))

Με την εισαγωγή της τιμής αυτής ορίζεται ο αριθμός στροφών κάτω από το όριο, για τον οποίο επανέρχεται η παροχή καυσίμου μετά την διακοπή της. Επίσης για αυτό το εύρος στροφών κάτω από το όριο, η παροχή ελαττώνεται σταδιακά όσο οι στροφές του κινητήρα τείνουν προς αυτό.

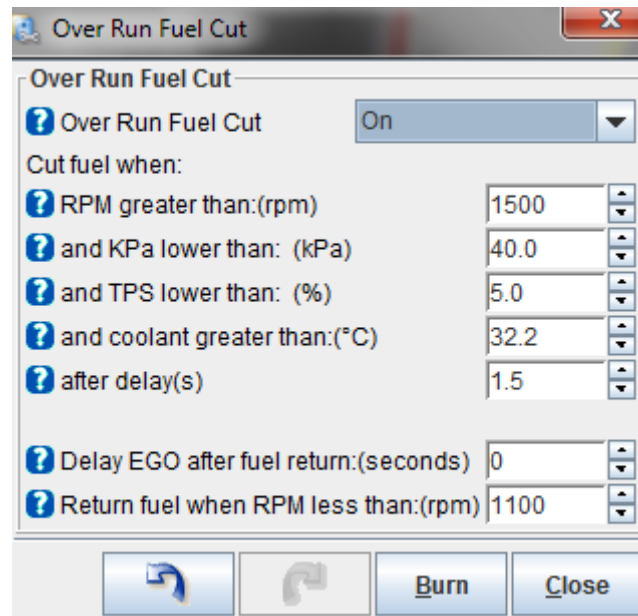
#### SparkRetardMode

Πέραν της διακοπής καυσίμου, εφαρμόζουμε και σταδιακή μείωση της προπορίας έναυσης πάνω από το όριο που έχουμε θέσει ενισχύοντας περαιτέρω την όλη διαδικασία.

### **MaximumRetard**

Η μέγιστη τιμή σε μοίρες για την μείωση της προπορίας.

### **3.4.2 Διακοπή Καυσίμου**

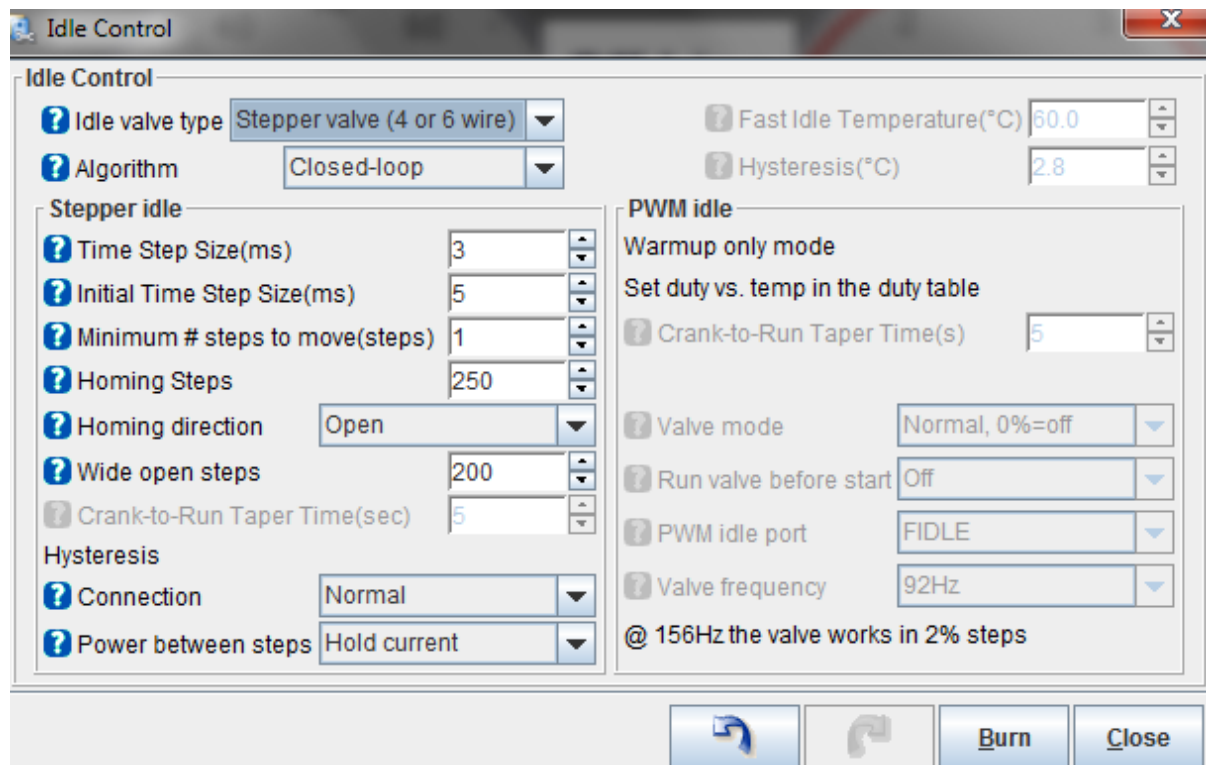


*Εικόνα 3.20 Ρυθμίσεις διακοπής καυσίμου.*

Για τον περιορισμό της άσκοπης κατανάλωσης καυσίμου ο Megasquirt παρέχει την δυνατότητα απενεργοποίησης της παροχής καυσίμου σε ορισμένες καταστάσεις λειτουργίας. Η διακοπή του καυσίμου εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που δεν επιθυμείται παραγωγή ισχύος από τον κινητήρα, δηλαδή κατά την πέδηση του οχήματος καθώς και όταν αυτό κατηφορίζει. Στο παραπάνω παράθυρο ορίζουμε τις προϋποθέσεις λειτουργίας της διακοπής καυσίμου, οι οποίες βασίζονται στα σήματα εισόδου των αισθητήρων του Megasquirt και αφορούν τις στροφές λειτουργίας, την πίεση στην εισαγωγή, την θέση της πεταλούδας γκαζιού και την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού. Με τις εικονιζόμενες ρυθμίσεις διακοπή εφαρμόζεται μόνο όταν η θέση της πεταλούδας είναι κοντά στο 0% (δηλαδή όταν ο οδηγός πατάει φρένο) και οι στροφές πάνω από 1500, κάνοντας την χρήση απολύτως ασφαλή. Όσον αφορά την θέση πεταλούδας, βάλαμε 5% για να λειτουργεί η διακοπή στην περίπτωση που η πεταλούδα είναι χαλαρή και “παίζει”. Η παράμετρος για την θερμοκρασία ορίζεται ώστε να υπάρχει συνεχής παροχή καυσίμου για πολύ κρύο κινητήρα, εξασφαλίζοντας ομαλότερη λειτουργία. Εφαρμόζεται επίσης μια μικρή χρονοκαθυστέρηση για την εφαρμογή της διακοπής, σε περίπτωση που πληρούνται οι προϋποθέσεις, ώστε να μην υπάρχει πτώση της ισχύος του κινητήρα κατά την αλλαγή ταχυτήτων. Τέλος, η λειτουργία κλειστού βρόχου απενεργοποιείται όταν

υπάρχει διακοπή ψεκασμού. Όμως όταν επανέρχεται ο κινητήρας σε φυσιολογική λειτουργία, ο αισθητήρας λάμδα χρειάζεται κάποιο χρόνο για να δώσει σωστό σήμα από το πολύ φτωχό το οποίο διάβαζε. Ο χρόνος αυτός ορίζεται ανάλογα με την απόκριση του αισθητήρα που διαθέτουμε.

### 3.4.3 Έλεγχος Ρελαντί



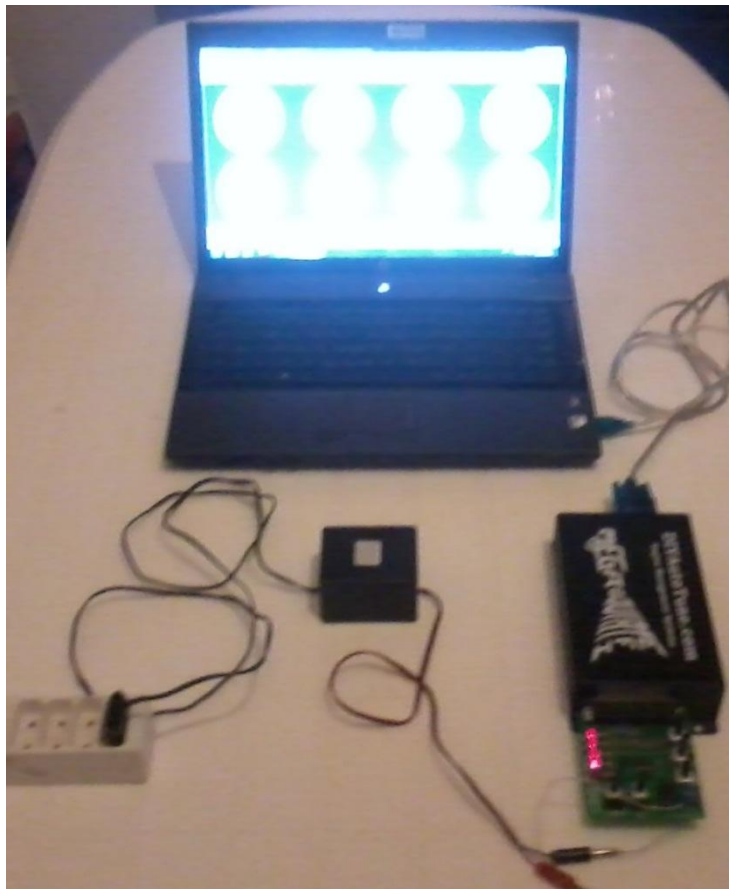
Εικόνα 3.21 Ρυθμίσεις ελέγχου ρελαντί.

Για τη λειτουργία του ελέγχου του ρελαντί χρησιμοποιούμε βαλβίδα με βηματικό μοτέρ. Η διόρθωση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μικρών βημάτων που ανοίγουν ή κλείνουν μια βαλβίδα παροχής αέρα, ώστε να παραμένει το ρελαντί στα επιθυμητά επίπεδα. Αρχικά ορίζουμε τη συχνότητα εφαρμογής των βημάτων εισάγοντας το χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα τους, και το μέγεθος του αρχικού βήματος, το οποίο τίθεται ελαφρώς μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα για να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η αποκρισιμότητα του συστήματος. Ο ελάχιστος αριθμός βημάτων που μπορούν να εφαρμοστούν για κάθε απόπειρα διόρθωσης είναι ένα. Ωστόσο σε κινητήρες με απρόβλεπτο και ασταθές ρελαντί ορίζεται μεγαλύτερος. Με την επιλογή widopensettings θέτουμε την απόσταση που μεσολαβεί για να πάει η βαλβίδα στην πλήρως ανοιχτή θέση της όταν είναι κλειστή, σε αριθμό βημάτων. Έχοντας ορίσει την πλήρη διαδρομή της, βάζουμε στην επιλογή HomingSteps, αριθμό μεγαλύτερο από τη διαδρομή της, έτσι ώστε πριν την εκκίνηση του κινητήρα να εφαρμόζονται τα καθορισμένα βήματα ώστε η βαλβίδα να πηγαίνει σίγουρα στην αρχική της θέση. Τέλος, ζητούνται οι επιλογές παροχής ενέργειας. Ορίζουμε  HoldingCurrent η οποία μας παρέχει μια ενδιάμεση λύση μεταξύ αξιοπιστίας και θέρμανσης του μοτέρ. Οι άλλες δύο είναι η MovingOnly, που είναι η πιο αργή και αναξιόπιστη αλλά φιλική

προς το μοτέρ, και η Alwayson που παρέχει συνεχώς ρεύμα ζεσταίνοντας το μοτέρ αλλά παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη αξιοπιστία.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

Έχοντας ολοκληρώσει την χαρτογράφηση του Megasquirt στο προηγούμενο κεφάλαιο, ελέγχουμε εάν οι ρυθμίσεις που κάναμε παρουσιάζουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιούμε τον stimulator. Τον συνδέουμε στον Megasquirt, τον οποίο στην συνέχεια ενεργοποιούμε και με τη βοήθεια του λογισμικού MSTunerStudio προσομοιώνουμε την λειτουργία του.

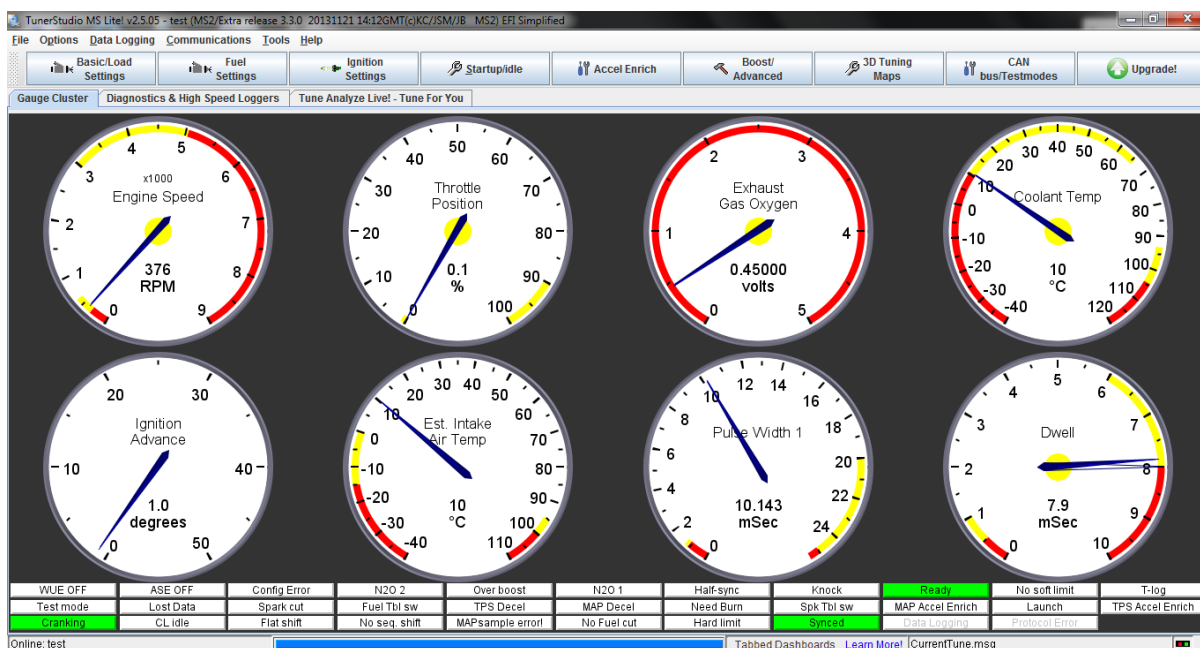


*Εικόνα 4.1 Η πειραματική διάταξη του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου. Διακρίνεται ο Megasquirt με τον προσομοιωτή επάνω του και ο φορητός υπολογιστής στον οποίο συνδέεται. Ο προσομοιωτής τροφοδοτείται με τάση 12V από τον μετασχηματιστή.*

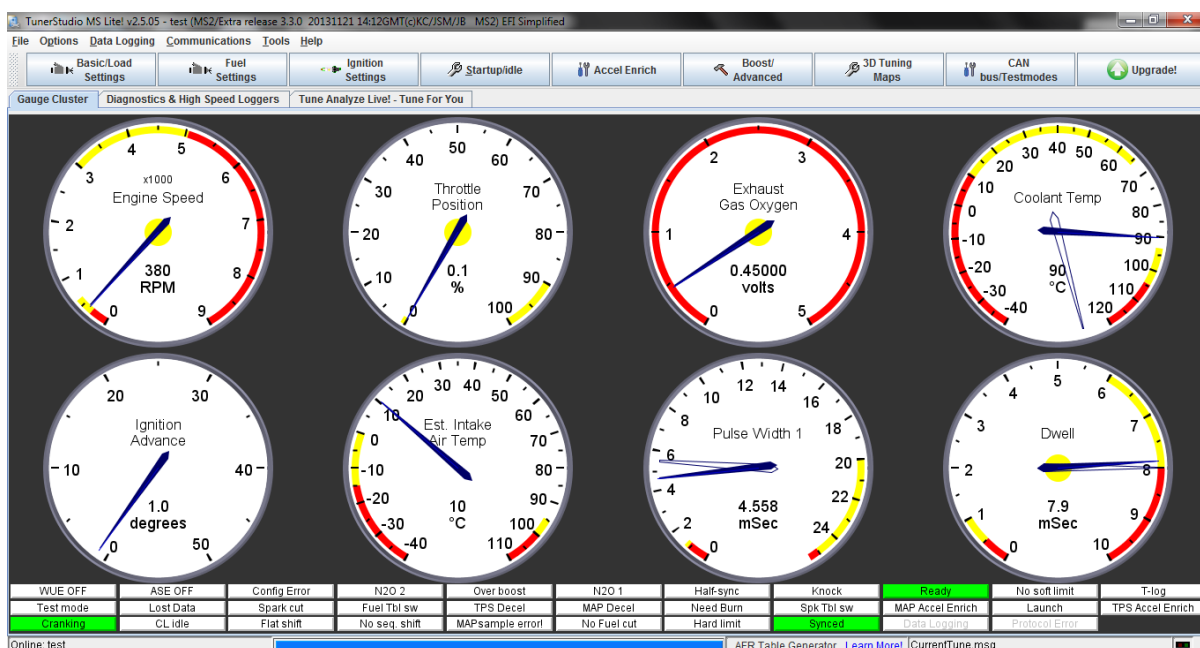
Η προσομοίωση πραγματοποιείται για ορισμένες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα, αλλάζοντας κάθε φορά μια μεταβλητή και παρατηρώντας πώς μεταβάλλονται το πλάτος παλμού για τον ψεκασμό καυσίμου, η προπορεία έναυσης καθώς και η γωνία dwell.

## 4.1 Εκκίνηση Κινητήρα

Κατά την εκκίνηση εφαρμόζεται εμπλουτισμός του μίγματος (CrankingEnrichment) ο οποίος είναι ανάλογος της θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού. Στην εικόνα 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται οι αλλαγές στο πλάτος παλμού για χαμηλή και υψηλή θερμοκρασία ψυκτικού υγρού.



Εικόνα 4.2 Εκκίνηση κρύου κινητήρα με θερμοκρασία ψυκτικού υγρού 10°C.

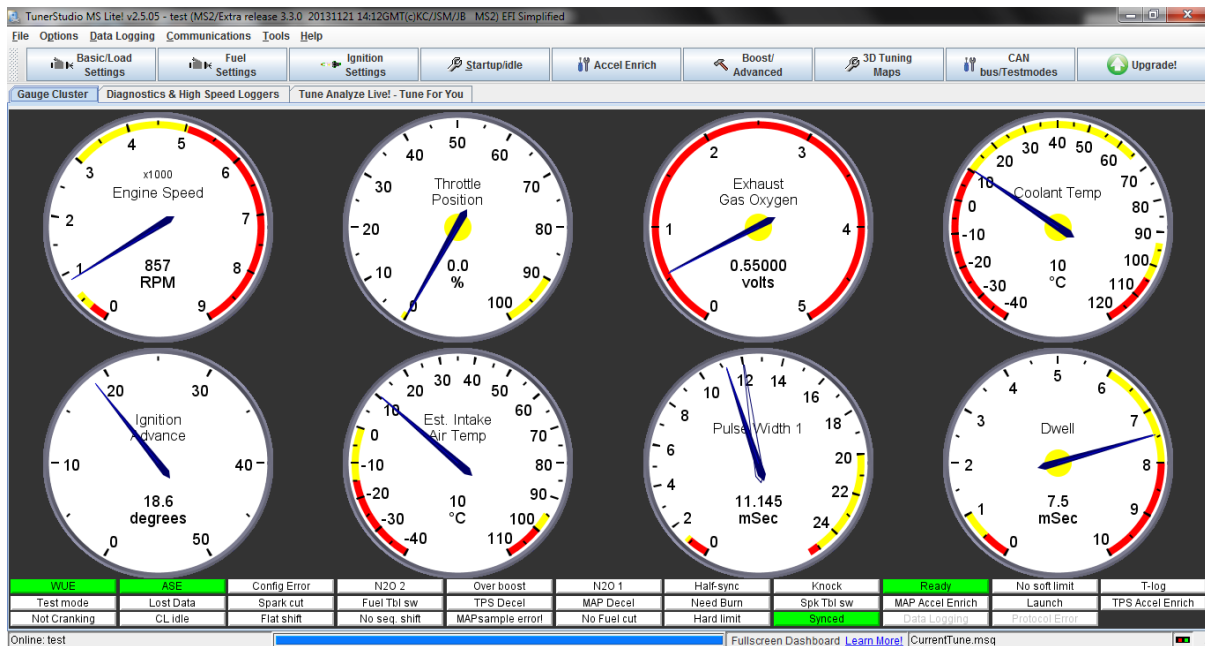


Εικόνα 4.3 Εκκίνηση ζεστού κινητήρα με θερμοκρασία ψυκτικού υγρού 90°C.

Παρατηρούμε ότι με την μεταβολή της θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού παρουσιάζεται αλλαγή στο πλάτος παλμού. Για θερμοκρασία 90°C έχουμε παλμό 4.558 ms και για θερμοκρασία 10°C 10.143 ms. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλάτος παλμού μεγαλώνει όσο πέφτει η θερμοκρασία ψυκτικού υγρού, όπως ακριβώς περιμέναμε βάσει των ρυθμίσεων που κάναμε κατά την χαρτογράφηση.

## 4.2 Φάση Ρελαντί

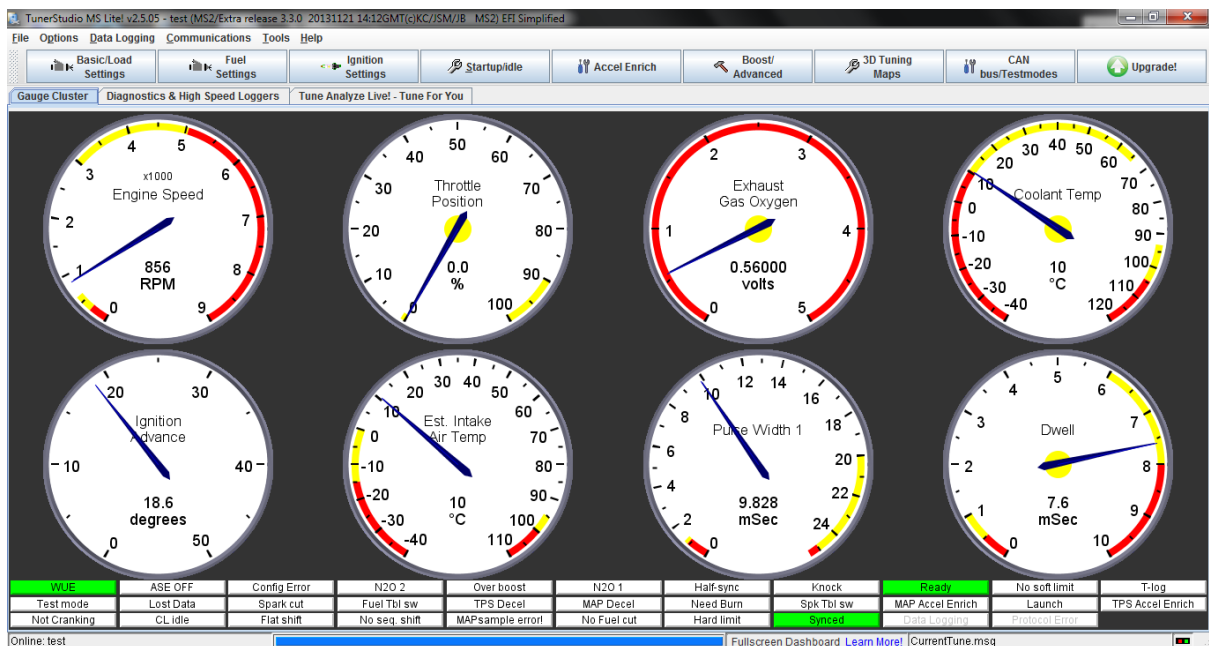
Κατά την διαδικασία της χαρτογράφησης είχαμε ορίσει Εμπλουτισμό Αρχικής Λειτουργίας (AfterstartEnrichment) για τον κινητήρα καθώς και Εμπλουτισμό Θέρμανσης (CrankingEnrichment) όταν αυτός δεν βρίσκεται στη σωστή θερμοκρασία λειτουργίας του. Θέτοντας τον κινητήρα σε κατάσταση ρελαντί επαληθεύουμε αν εφαρμόζονται αυτές οι λειτουργίες.



**Εικόνα 4.4** Κατάσταση ρελαντί με εμπλουτισμό θέρμανσης (warmupenrichment) και αρχικής λειτουργίας (afterstart).

Στην εικόνα 4.4 βλέπουμε ότι οι ενδείξεις WUE και ASE (Warmup Enrichment και Afterstart Enrichment αντίστοιχα) είναι πράσινες. Άρα και οι δύο εμπλουτισμοί λειτουργούν όπως αναμενόταν.

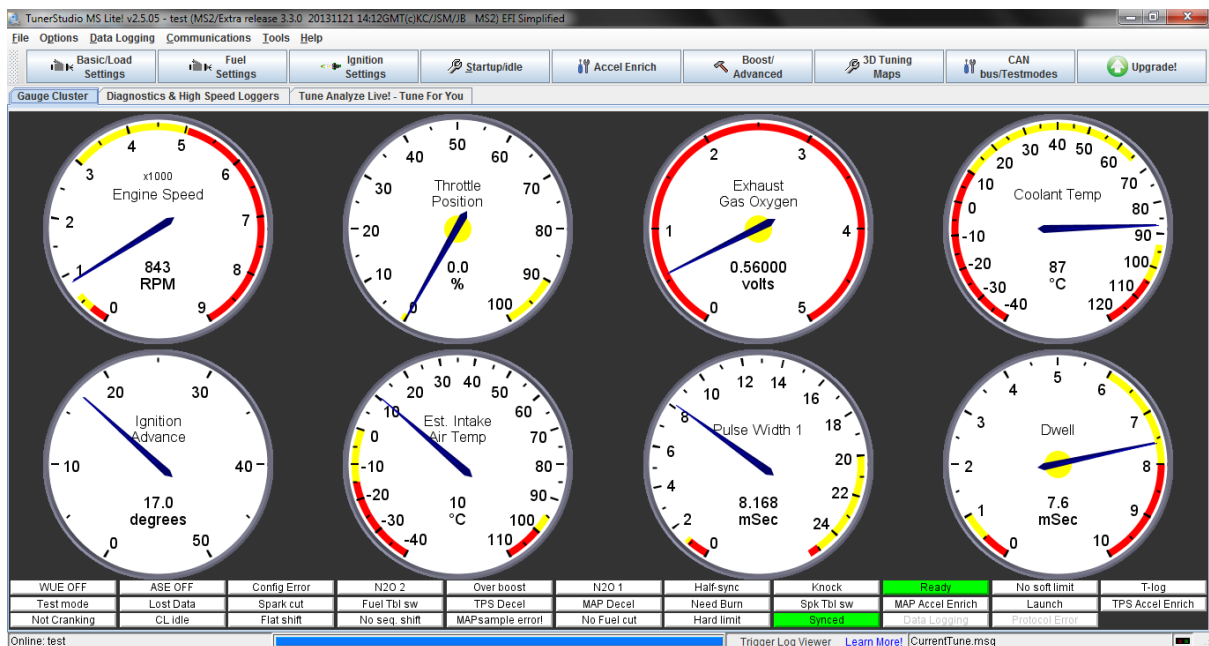




**Εικόνα 4.5** Κατάσταση ρελαντί όταν ο εμπλουτισμός αρχικής λειτουργίας έχει ολοκληρωθεί.

Μετά από Χ αριθμό αναφλέξεων η ένδειξη ASE σβήνει και την θέση της παίρνει η ASEOFF, ολοκληρώνοντας έτσι τον εμπλουτισμό αρχικής λειτουργίας. Παρατηρούμε επίσης ότι το πλάτος παλμού τώρα έχει τιμή 9.828ms σε σχέση με την εικόνα 4.4 όπου η τιμή του ήταν 11.145ms, με τον ASE ενεργοποιημένο.

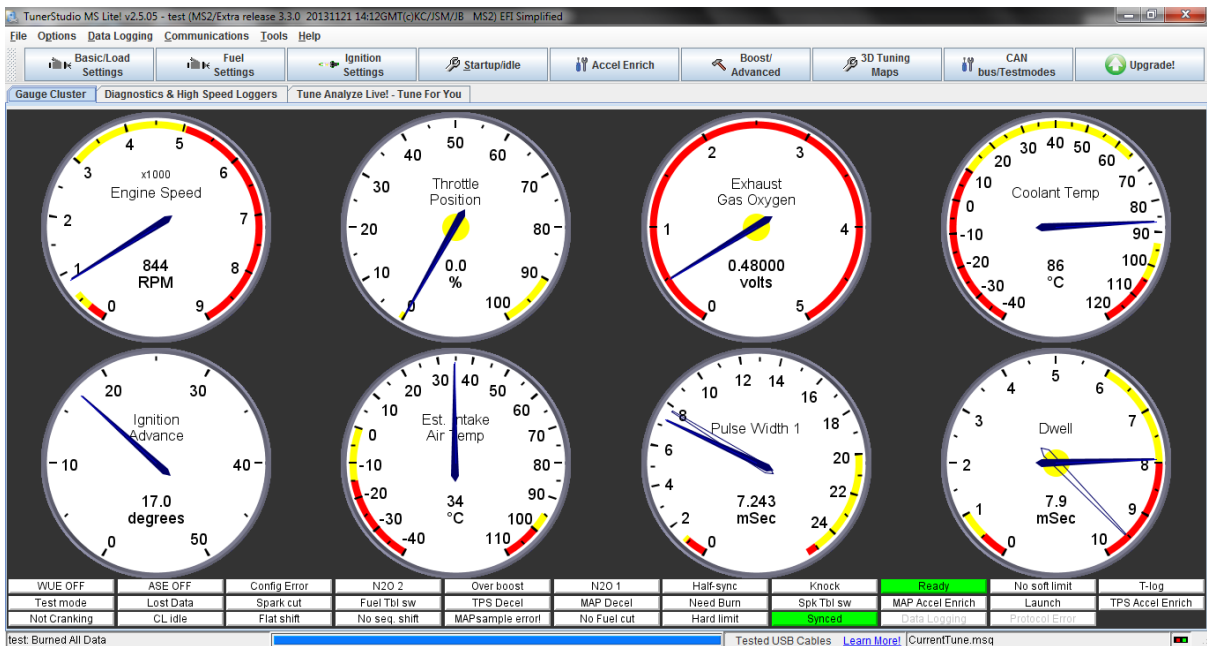
Στην συνέχεια, ανεβάζοντας την θερμοκρασία ψυκτικού υγρού στους 87°C αναμένουμε απενεργοποίηση του εμπλουτισμού θέρμανσης, καθώς ο κινητήρας έχει φθάσει πλέον σε ικανοποιητική θερμοκρασία λειτουργίας. Στην εικόνα 4.6 η ένδειξη WUE είναι απενεργοποιημένη και την θέση της έχει πάρει η WUEOFF, επαληθεύοντας έτσι την ρύθμιση που κάναμε.



Εικόνα 4.6 Κατάσταση ρελαντί χωρίς εμπλουτισμούς.

Ωστόσο πέραν του πλάτους παλμού, με την αύξηση της θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού παρουσιάστηκε και μια μικρή πτώση της προπορείας έναυσης. Όντως για θερμοκρασίες κάτω από 20°C η προπορεία πρέπει να αυξάνεται, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις στην ενότητα **3.3.2 (Διόρθωση Προπορείας Βάσει Της Θερμοκρασίας Ψυκτικού Υγρού)**, το οποίο και βλέπουμε να γίνεται.

Στη συνέχεια αυξάνουμε την θερμοκρασία του αέρα στην εισαγωγή στους 34°C. Ελέγχουμε το πλάτος παλμού το οποίο βρίσκεται στα 7.243ms σε σχέση με πριν που ήταν 8.168ms. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το πλάτος μεταβάλλεται όπως ορίζει η καμπύλη της ενότητας **3.2.2 (Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει Της Θερμοκρασίας Αέρα Εισαγωγής)** και συνεπώς ελαττώνεται για να ανταποκριθεί στην αλλαγή μάζας του αέρα από την αύξηση της θερμοκρασίας.

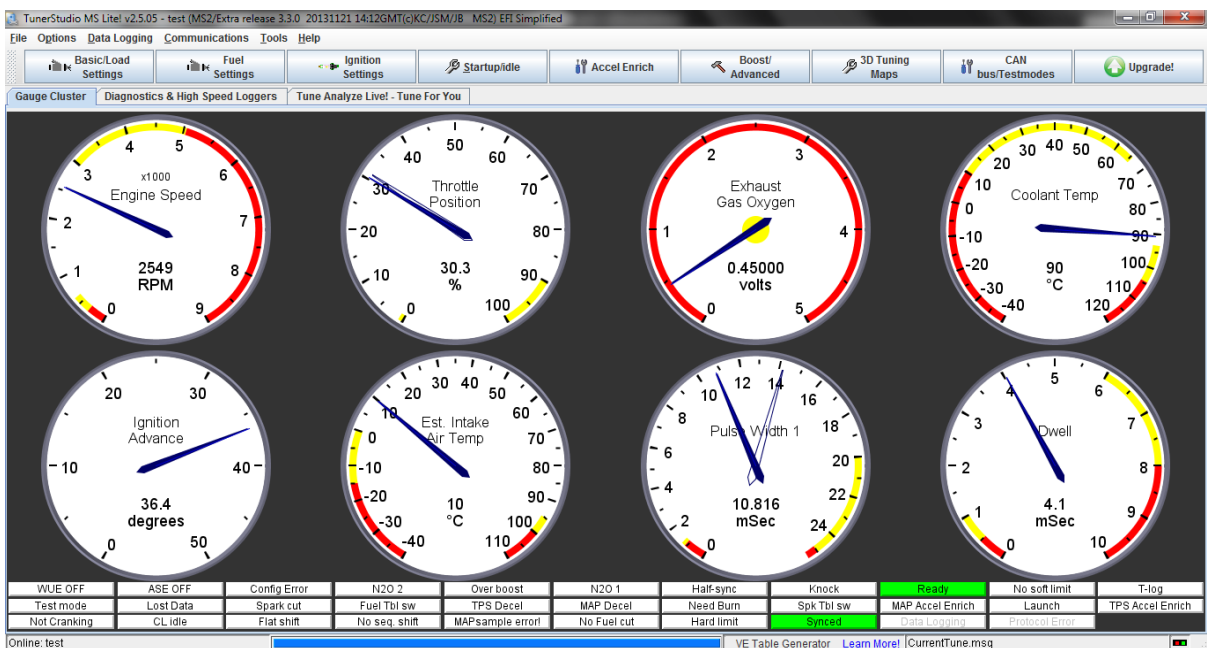


Εικόνα 4.7 Τελική κατάσταση ρελαντί.

### 4.3 Ελαφρά Πορεία

Ορίζουμε την ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα περίπου στις 2500 σ.α.λ. και την θέση της πεταλούδας γκαζιού στο 30%, προσομοιώνοντας έτσι μια κατάσταση ελαφράς πορείας.

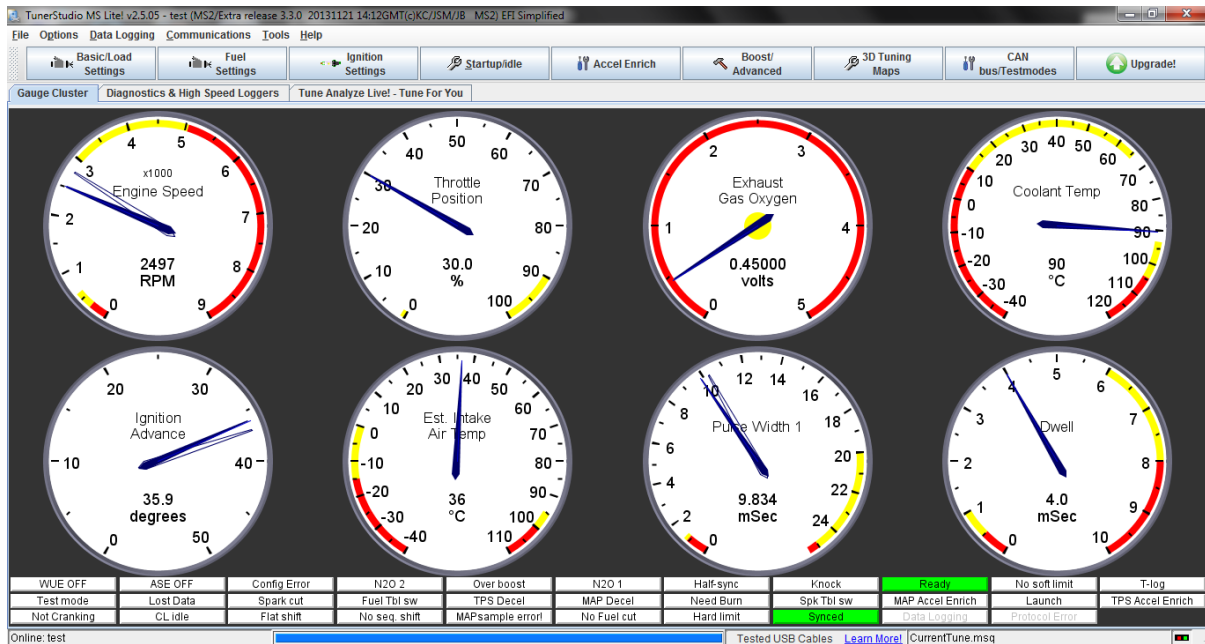
#### ι) Κρύος αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρας



Εικόνα 4.8 Κατάσταση ελαφράς πορείας με θερμοκρασία αέρα 10°.

Για ίδιες θερμοκρασίες ψυκτικού υγρού και αέρα εισαγωγής με την εικόνα 4.6 (ρελαντί), φαίνονται ξεκάθαρα οι μεταβολές στην προπορεία έναυσης και στο πλάτος παλμού που προέκυψαν από την νέα ταχύτητα του κινητήρα και την νέα θέση της πεταλούδας γκαζιού. Η προπορεία βρίσκεται στις 36.4° από 17° και το πλάτος παλμού στα 10.816 ms από 8.168 ms.

## ii) Ζεστός αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρας



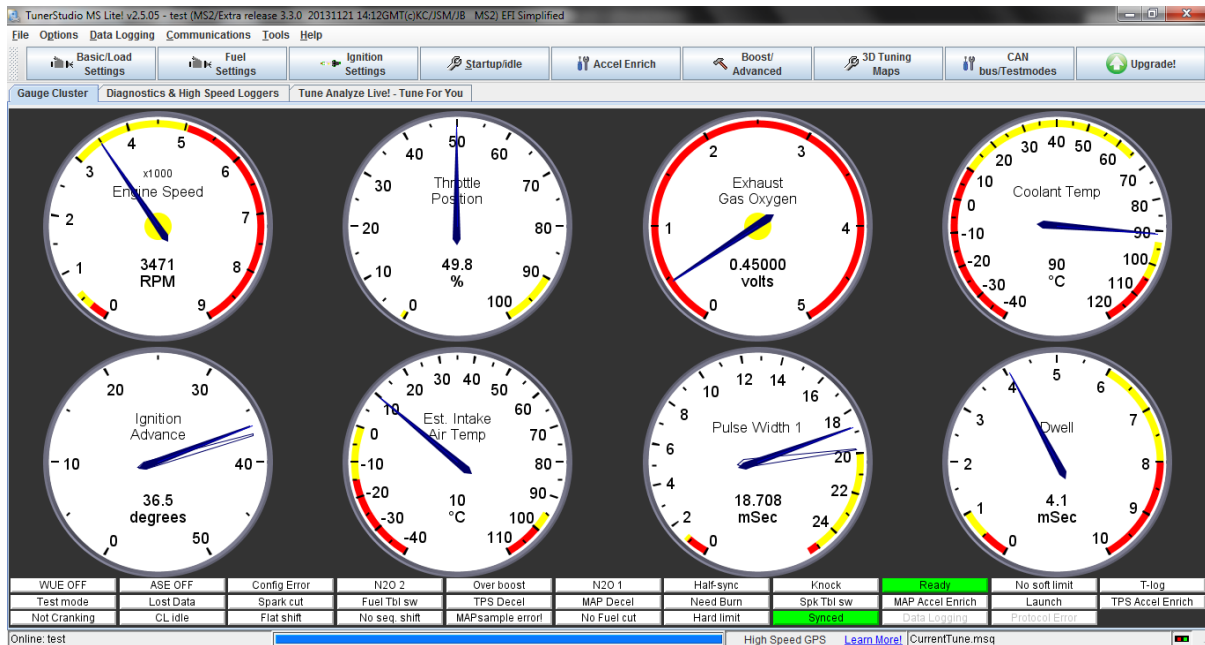
Εικόνα 4.9 Ελαφρά πορεία με θερμοκρασία αέρα 36° .

Έπειτα αυξάνοντας την θερμοκρασία ψυκτικού υγρού στους 36° παρουσιάζεται πτώση του πλάτους παλμού στα 9.834 ms από 10.816 ms.

## 4.4 Κανονική Πορεία

Για την επόμενη προσομοίωση θέτουμε την ταχύτητα του κινητήρα περίπου στις 3500 σ.α.λ. και την θέση της πεταλούδας γκαζιού στο 50%, επιτυγχάνοντας έτσι συνθήκες κανονικής πορείας.

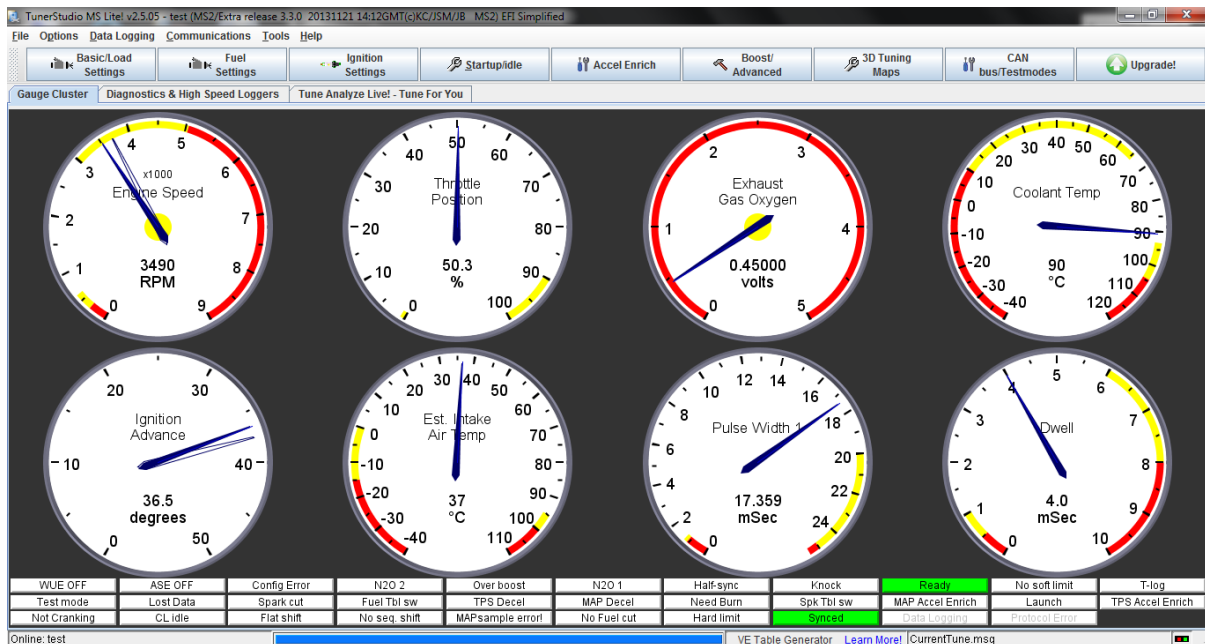
## i) Κρύος αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρας



Εικόνα 4.10 Κανονική πορεία με θερμοκρασία αέρα 10°.

Το πλάτος παλμού αυξάνεται στα 18.708 ms από τα 10.816 ms της εικόνας 4.8, για τις ίδιες θερμοκρασίες ψυκτικού υγρού και αέρα εισαγωγής. Η προπορεία έναυσης παραμένει περίπου στα ίδια επίπεδα.

## ii) Ζεστός αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρας



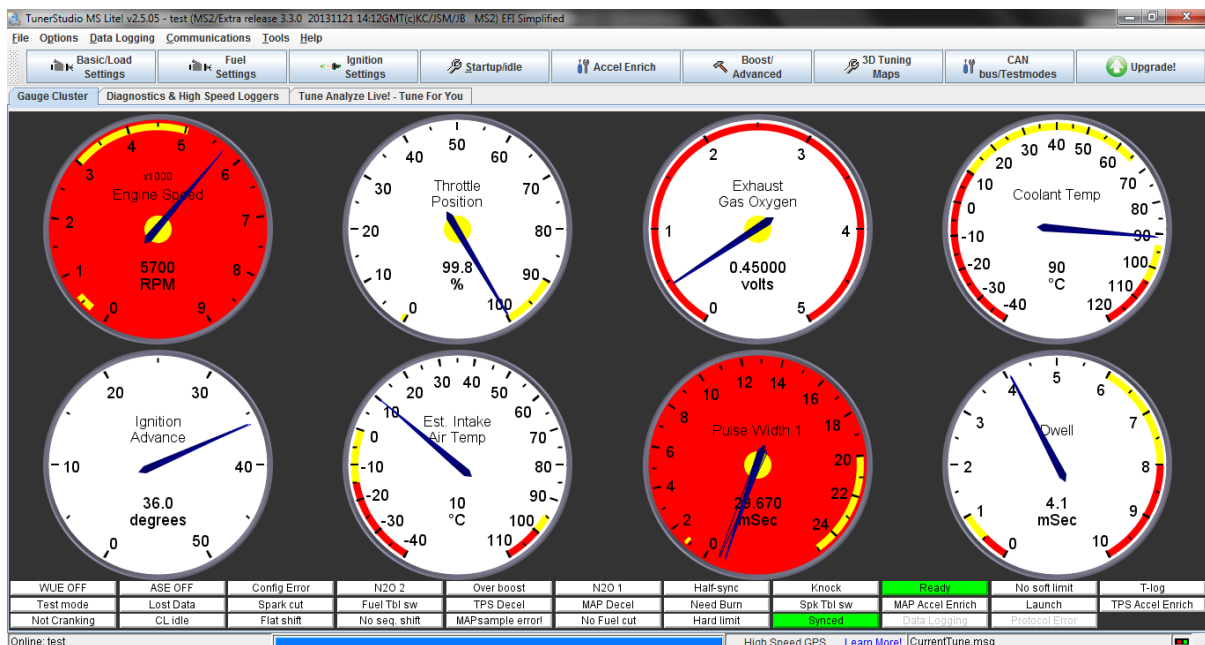
Εικόνα 4.11 Κανονική πορεία με θερμοκρασία αέρα 37°.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα το πλάτος παλμού μειώνεται για να ανταποκριθεί στην μικρότερη πυκνότητά του, όπως αναμενόταν.

## 4.5 Κατάσταση Μέγιστης Ισχύος

Ορίζουμε ταχύτητα του κινητήρα στις 5700 σ.α.λ. και την πεταλούδα γκαζιού στην πλήρως ανοιχτή θέση της, δηλαδή 100%. Βρισκόμαστε πλέον στην κατάσταση όπου απαιτείται μέγιστη ισχύς από τον κινητήρα.

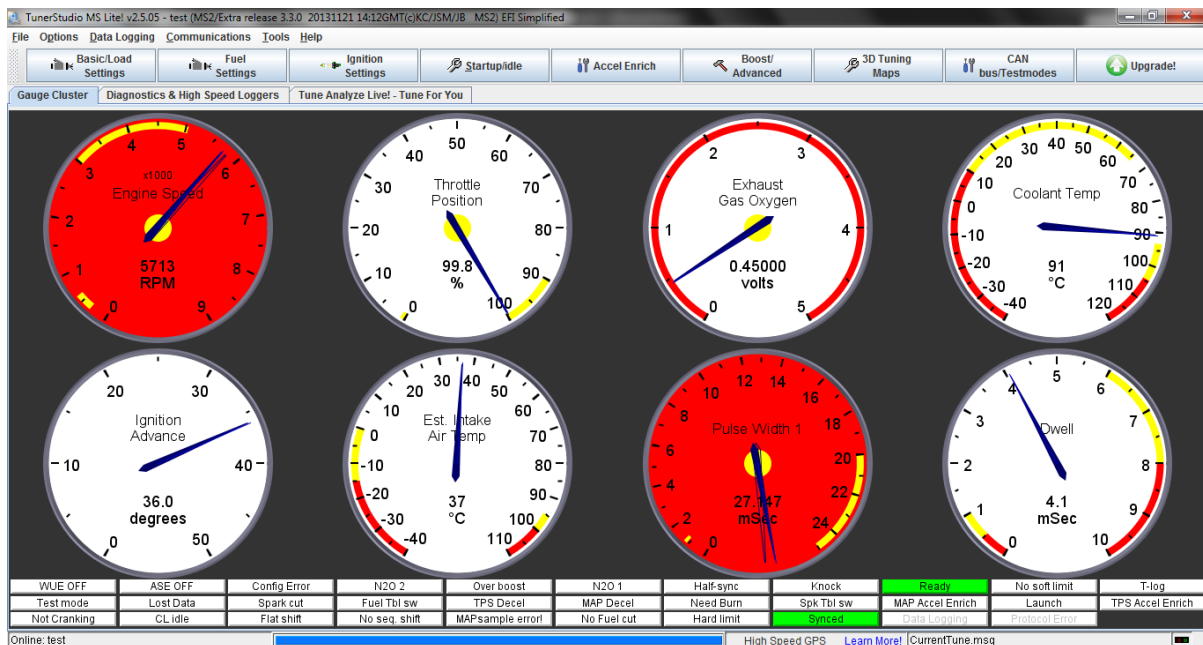
### ι) Κρύος αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρας



Εικόνα 4.12 Κατάσταση μέγιστης ισχύος με θερμοκρασία αέρα εισαγωγής 10°.

Για την νέα θέση της πεταλούδας και την νέα ταχύτητα του κινητήρα το πλάτος παλμού εκτοξεύεται στα 29.670 ms, φθάνοντας έτσι κοντά στις οριακές τιμές του. Η προπορεία εξακολουθεί να παραμένει στα ίδια επίπεδα καθώς η αύξηση στροφών και η καλύτερη πλήρωση του κινητήρα την επηρεάζουν με αντίθετο τρόπο.

## ii) Ζεστός αέρας εισαγωγής, ζεστός κινητήρα

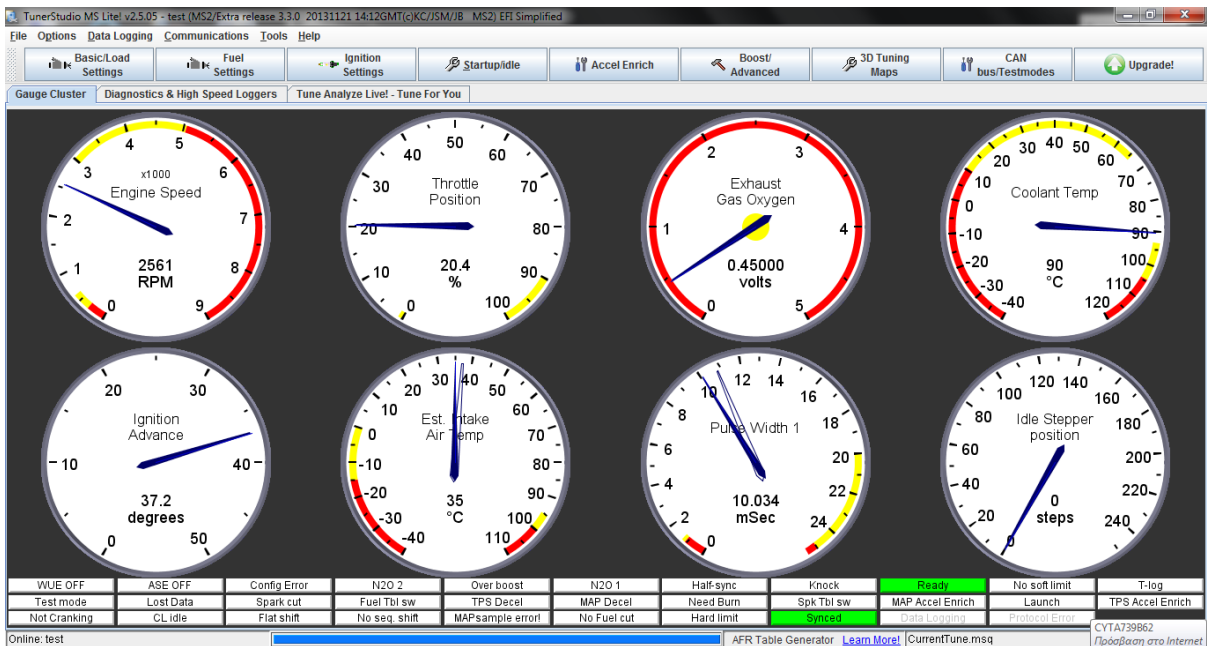


Εικόνα 4.13 Κατάσταση μέγιστης ισχύος με θερμοκρασία αέρα εισαγωγής 37°.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα το πλάτος παλμού μειώνεται στα 27.147 ms.

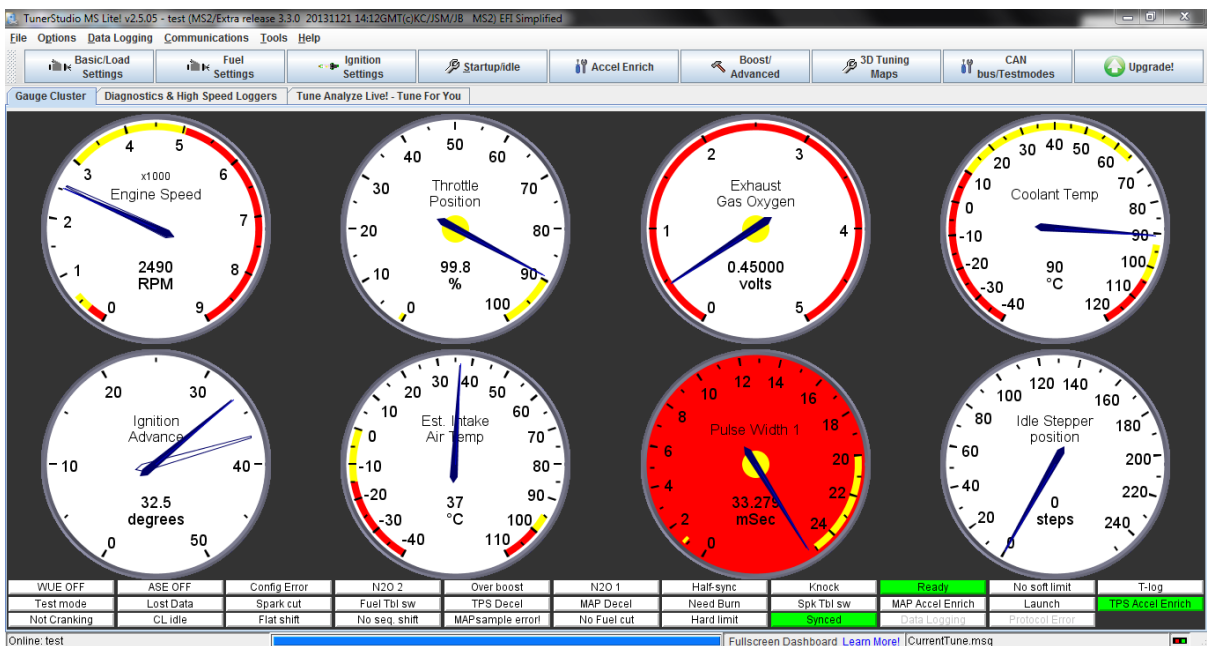
## 4.6 Εμπλουτισμός επιτάχυνσης κινητήρα

Στην ενότητα 3.2.5 (Εμπλουτισμός Επιτάχυνσης Κινητήρα) έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την αύξηση του πλάτους παλμού κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης του κινητήρα, με βάση την απότομη μεταβολή της θέσεως πεταλούδας γκαζιού. Για να επαληθεύσουμε αν όντως εφαρμόζεται ο εμπλουτισμός, ορίζουμε την λειτουργία του “κινητήρα” όπως φαίνεται στην εικόνα 4.14.



Εικόνα 4.14 Λειτουργία κινητήρα πριν την επιτάχυνση.

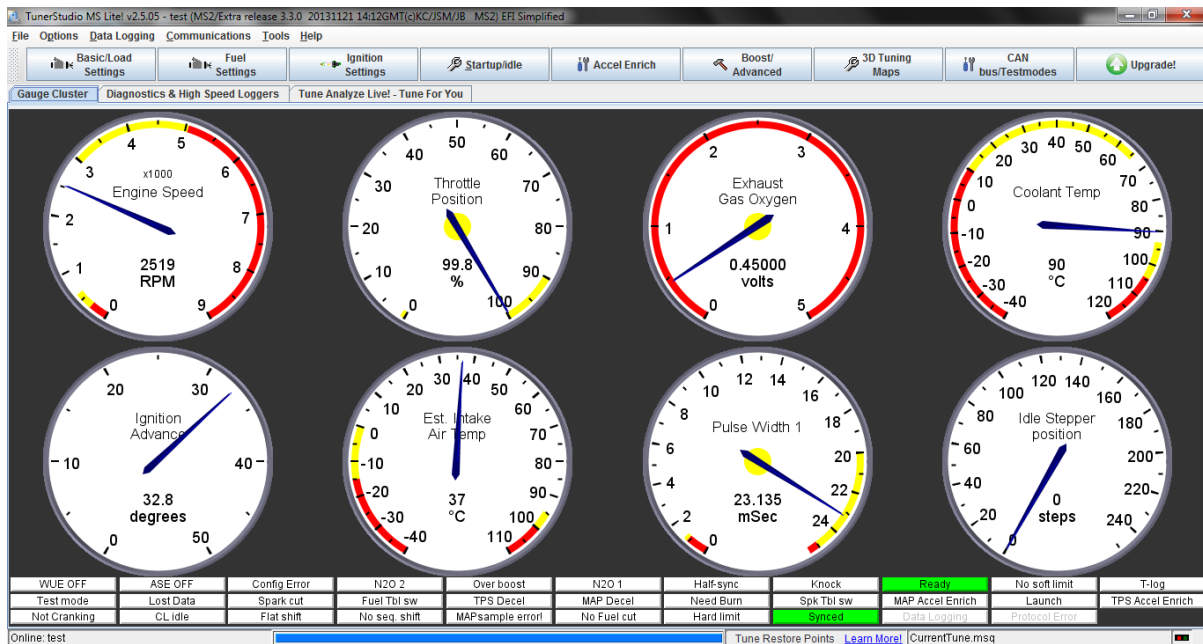
Έπειτα έχοντας τη θέση της πεταλούδας στο 20% την μεταβάλλουμε απότομα σε μεγαλύτερη θέση.



Εικόνα 4.15 Επιτάχυνση του κινητήρα με εφαρμογή του αντίστοιχου εμπλουτισμού.

Διαπιστώνουμε ότι η ένδειξη TPSAccelEnrich έγινε πράσινη, υποδηλώνοντας την επιτυχή λειτουργία του εμπλουτισμού. Στην συνέχεια θέσαμε την πεταλούδα γκαζιού στο 71,9%, όπως και πριν, αλλά αυτή τη φορά χωρίς απότομη μεταβολή. Το πλάτος παλμού προέκυψε 19.831msέναντι 31.764msμε τον εμπλουτισμό. Η διαφορά του πλάτους παλμού επιβεβαιώνει και αυτή την επιτυχή λειτουργία του εμπλουτισμού επιτάχυνσης.



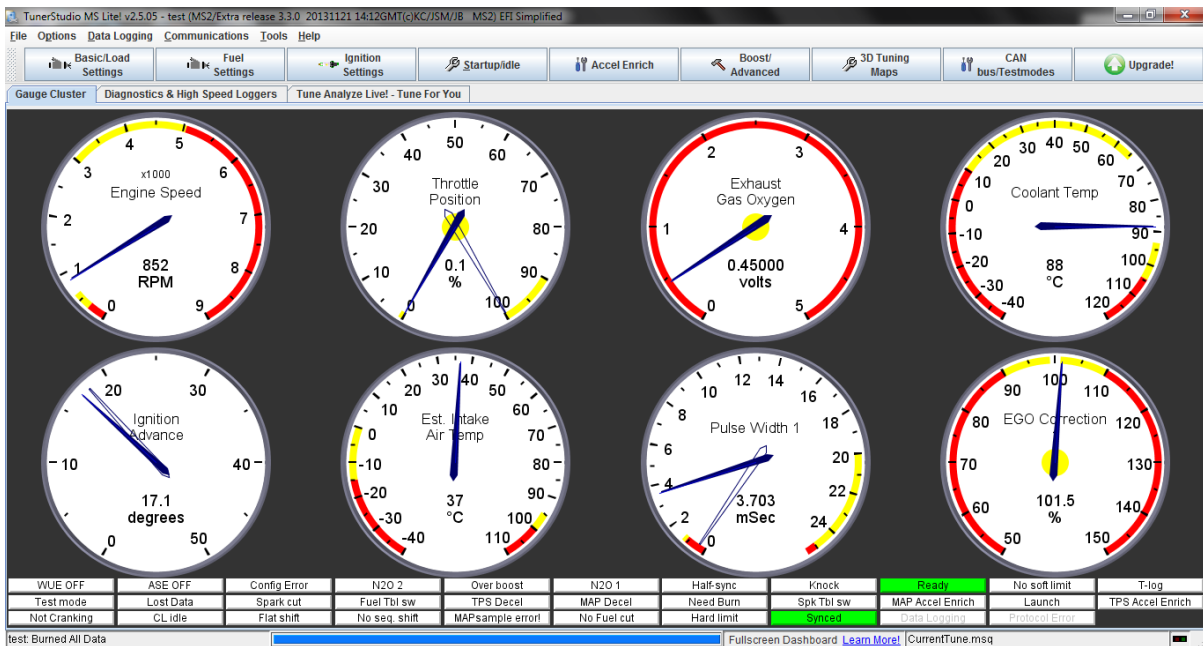


Εικόνα 4.16 Η λειτουργία του μετά την παύση του εμπλουτισμού.

## 4.7 Λειτουργία κλειστού βρόχου

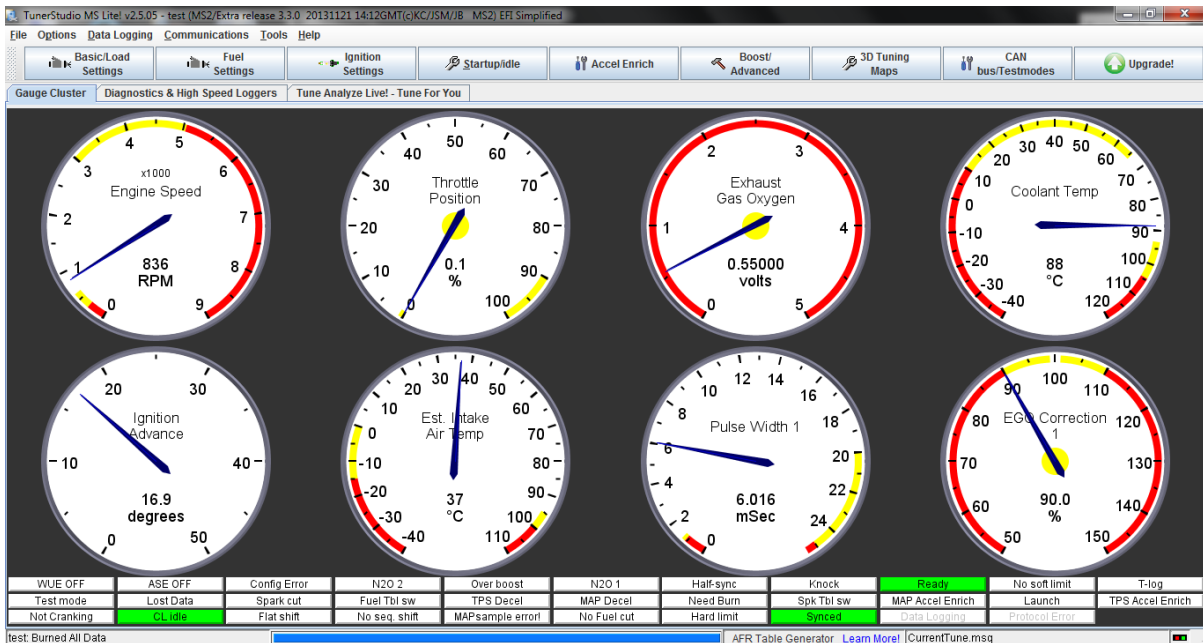
Οι ρυθμίσεις για την λειτουργία κλειστού βρόχου έγιναν στην ενότητα **3.2.3 Διόρθωση Ψεκασμού Βάσει Του Αισθητήρα Λάμδα (Closed Loop Operation)**. Για να εξακριβώσουμε αν όντως εφαρμόζεται η διόρθωση προσομοιώνουμε τη λειτουργία της σε τρεις καταστάσεις του κινητήρα. Περίπου στα 0.45V ο αισθητήρας πρέπει να διαβάζει στοιχειομετρικό μίγμα και η διόρθωση να είναι μηδενική (100%). Ωστόσο πρακτικά είναι πολύ δύσκολο να εμφανίσουμε μηδενική διόρθωση για τεχνικούς λόγους όποτε η απεικόνιση γίνεται προσεγγιστικά.

Στη φάση του ρελαντί για σήμα 0.45V του αισθητήρα λάμδα η διόρθωση καυσίμου είναι μηδενική.



Εικόνα 4.17 Κατάσταση ρελαντί για στοιχειομετρικό λόγο λάμδα.

Ανεβάζοντας το σήμα στα 0.55 (πλούσιο μίγμα) βλέπουμε στην εικόνα 4.18 ότι αρχίζει να εφαρμόζεται η διόρθωση με βήμα 0,5%, αρχίζοντας από 100% και καταλήγοντας στο 90%, η οποία είναι και η μέγιστη τιμή διόρθωσης που έχουμε ορίσει. Πράγματι βλέπουμε ότι και το πλάτος παλμού έχει μειωθεί στα 8.107ms από 8.797ms κάνοντας πιο φτωχό το μίγμα.



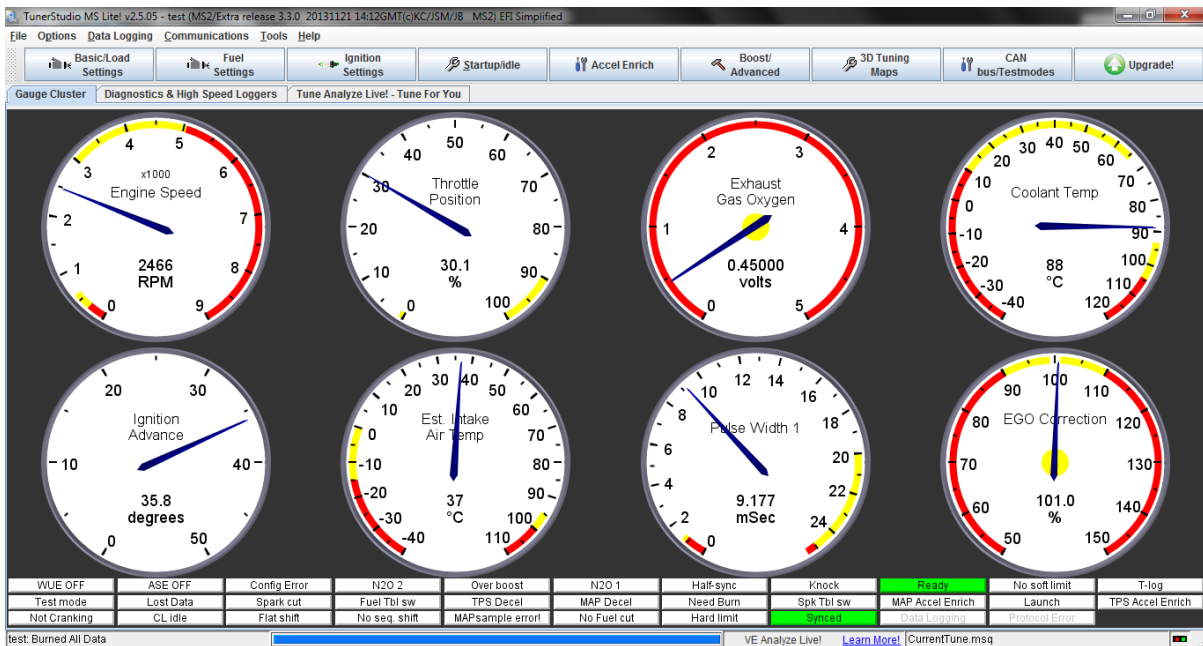
Εικόνα 4.18 Λειτουργία κλειστού βρόχου όταν το μίγμα είναι πλούσιο.

Έπειτα για 0.38V (φτωχό μίγμα) η διόρθωση με βήματα του 0.5% ανεβαίνει συνεχώς τερματίζοντας στο 110% , ανεβάζοντας και το πλάτος παλμού στα 9.227ms ώστε να εμπλουτίσει το μίγμα.



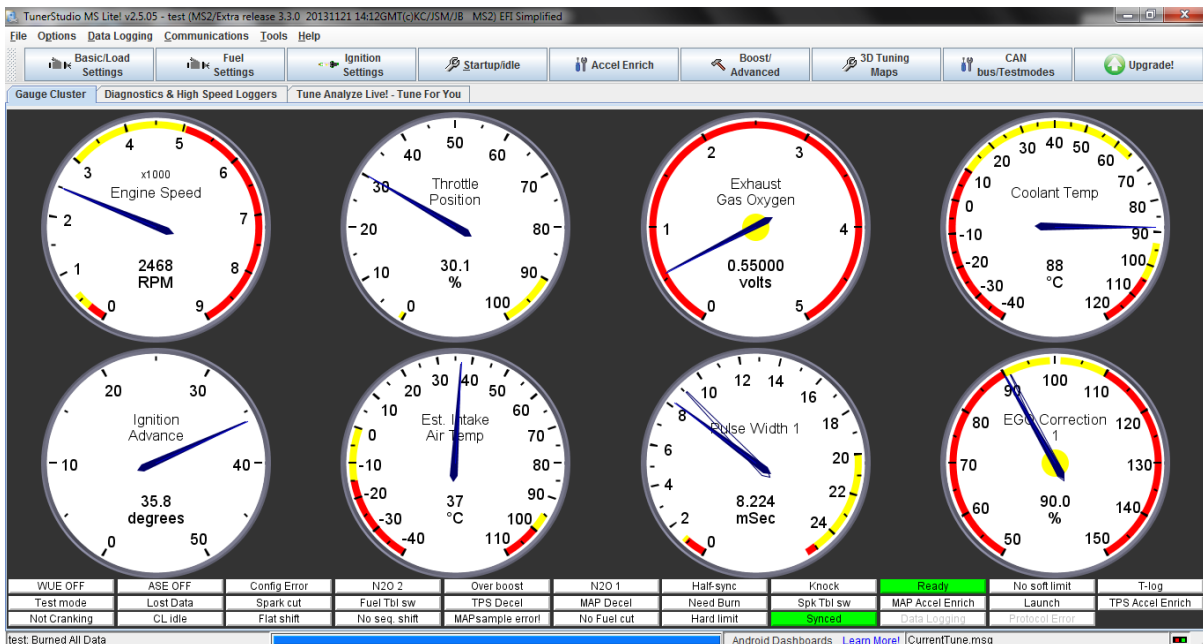
**Εικόνα 4.19** Λειτουργία κλειστού βρόχου όταν το μίγμα είναι φτωχό.

Ορίζουμε έπειτα μια κατάσταση ελαφράς πορείας περίπου στις 2500 σ.α.λ. για θέση πεταλούδας γκαζιού 30% και επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία. Για τιμή αισθητήρα λάμδα 0.46V έχουμε περίπου μηδενική διόρθωση.



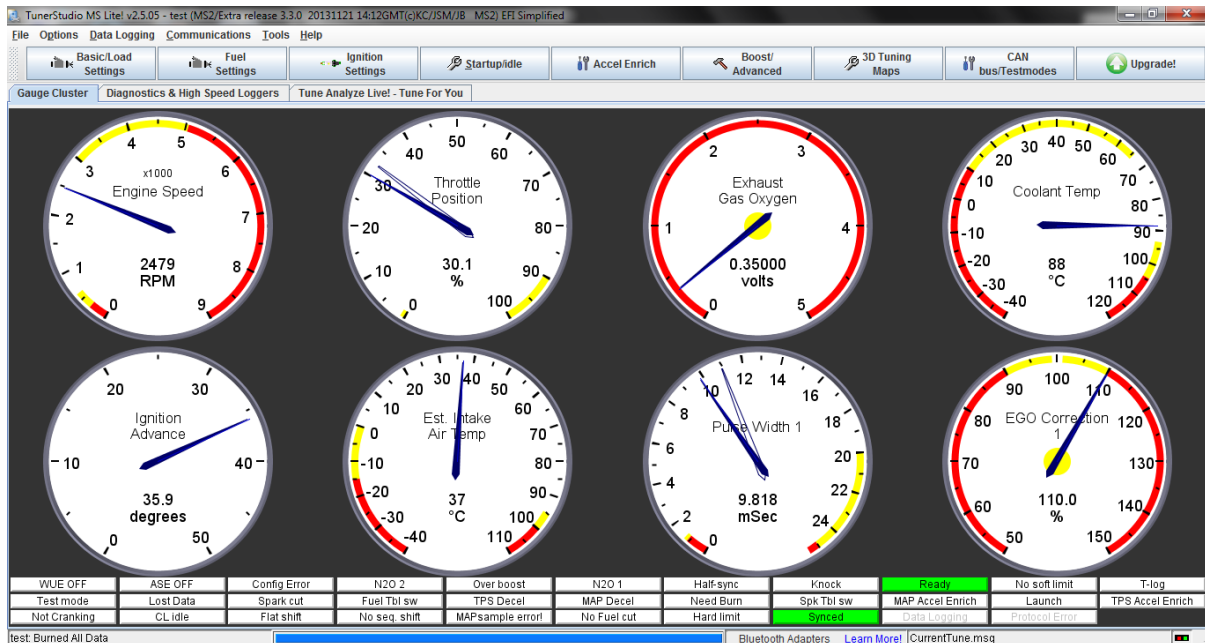
**Εικόνα 4.20** Λειτουργία κλειστού βρόχου σε κατάσταση ελαφράς πορείας (στοιχειομετρικό μίγμα)

Κάνοντας το σήμα 0.55V η διόρθωση μεταβάλλεται στο 90% με βήματα 0,5% και το πλάτος παλμού 10.612ms από 11.407ms. Ωστόσο η εφαρμογή των βημάτων γίνεται γρηγορότερα, καθώς αυξάνεται η συχνότητα αναφλέξεων λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας του κινητήρα.



**Εικόνα 4.21** Λειτουργία κλειστού βρόχου για πλούσιο μίγμα.

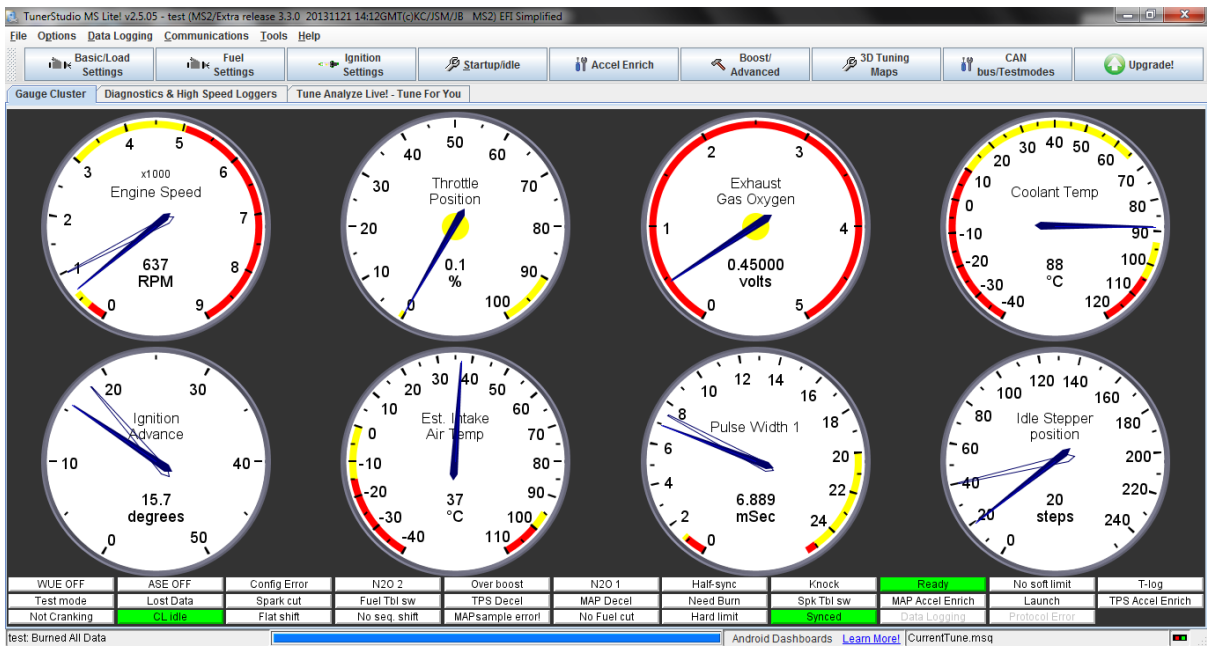
Με τιμή σήματος 0.35V η διόρθωση γίνεται 110% και το πλάτος παλμού 12.172ms. Συνεπώς επιβεβαιώνεται το αποτέλεσμα της διόρθωσης ψεκασμού βάσει αισθητήρα λάμδα και στις δύο περιπτώσεις.



Εικόνα 4.22 Λειτουργία κλειστού βρόχου για φτωχό μίγμα.

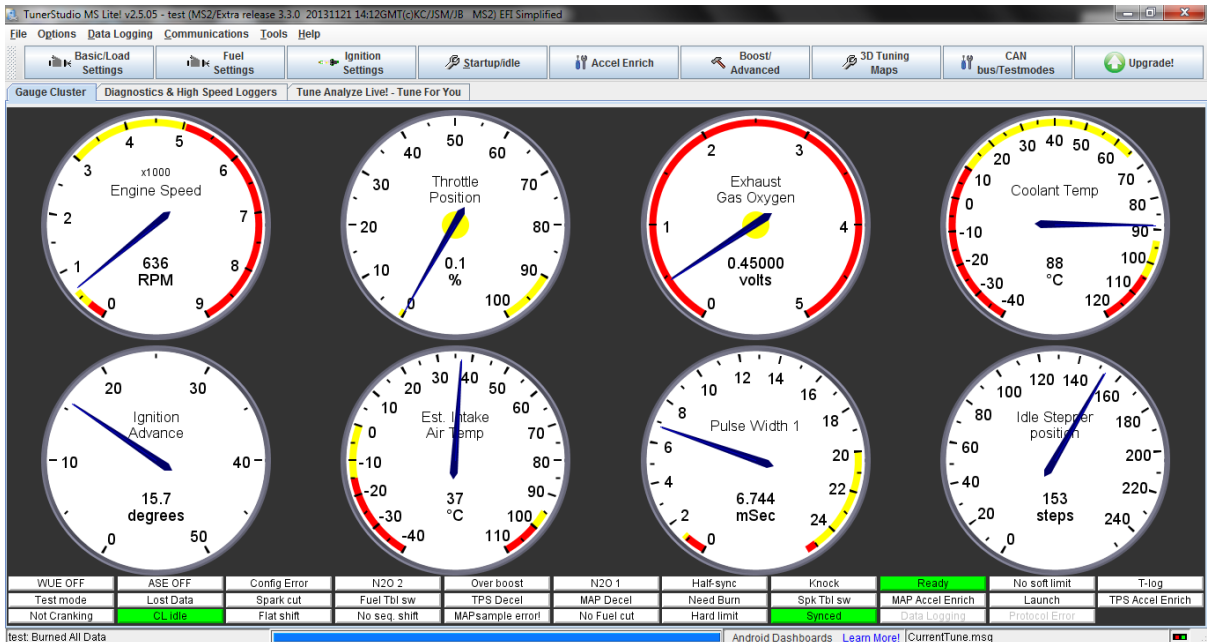
## 4.8 Έλεγχος ρελαντί

Από την ενότητα 3.4.3 Έλεγχος Ρελαντί ορίστηκαν οι ρυθμίσεις του βηματικού μοτέρ για την σταθεροποίηση του ρελαντί στο επιθυμητό επίπεδο. Ξεκινώντας για χαμηλότερες στροφές από αυτές του ρελαντί παρατηρούμε τα ότι η ένδειξη CLIdle είναι πράσινη και τα βήματα διόρθωσης του βηματικού μοτέρ, ξεκινώντας από το μηδέν παρουσιάζουν ανοδική πορεία.



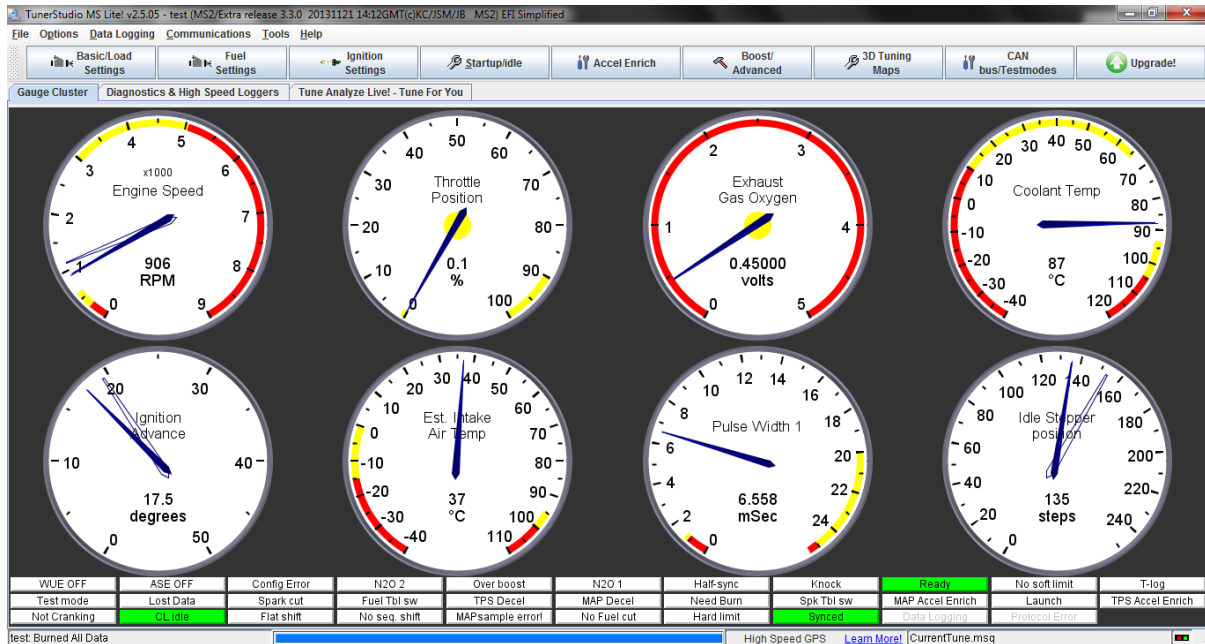
**Εικόνα 4.23** Διόρθωση ρελαντί για χαμηλότερη ταχύτητα κινητήρα από την προκαθορισμένη (αρχικό στάδιο).

Ο Megasquirt διαπιστώνοντας ότι οι στροφές λειτουργίας δεν ανεβαίνουν, συνεχίζει να αυξάνει τα βήματα διόρθωσης για την βαλβίδα, έως ότου αυτά φθάσουν στα 153 που είναι και η μέγιστη τιμή τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.24.



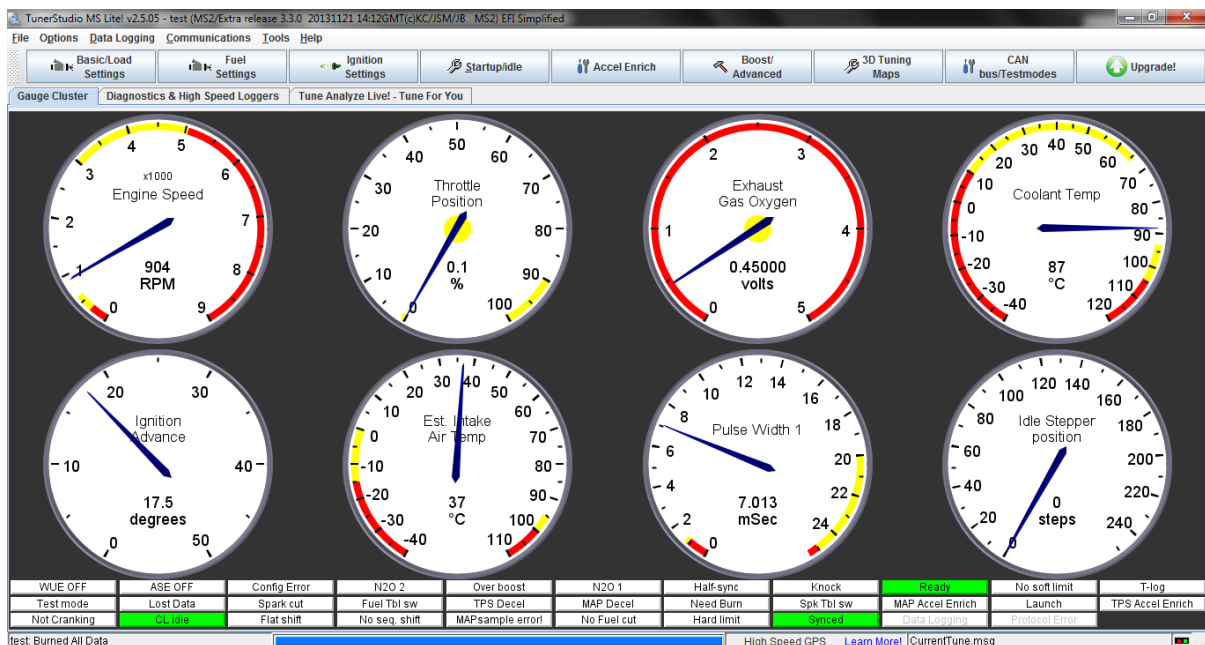
**Εικόνα 4.24** Διόρθωση ρελαντί για χαμηλότερη ταχύτητα κινητήρα από την προκαθορισμένη (τελικό στάδιο).

Έπειτα ορίζουμε την ταχύτητα λειτουργίας πάνω από τις επιθυμητές για ρελαντί, στις 1083 σ.α.λ. Παρατηρούμε λοιπόν πως ο Megasquirt ελαττώνει σταδιακά τα βήματα του μοτέρ ώστε να κλείσει η βαλβίδα και να περιοριστεί η παροχή του αέρα.



**Εικόνα 4.25** Διόρθωση ρελαντί για υψηλότερη ταχύτητα κινητήρα από την προκαθορισμένη (αρχικό στάδιο).

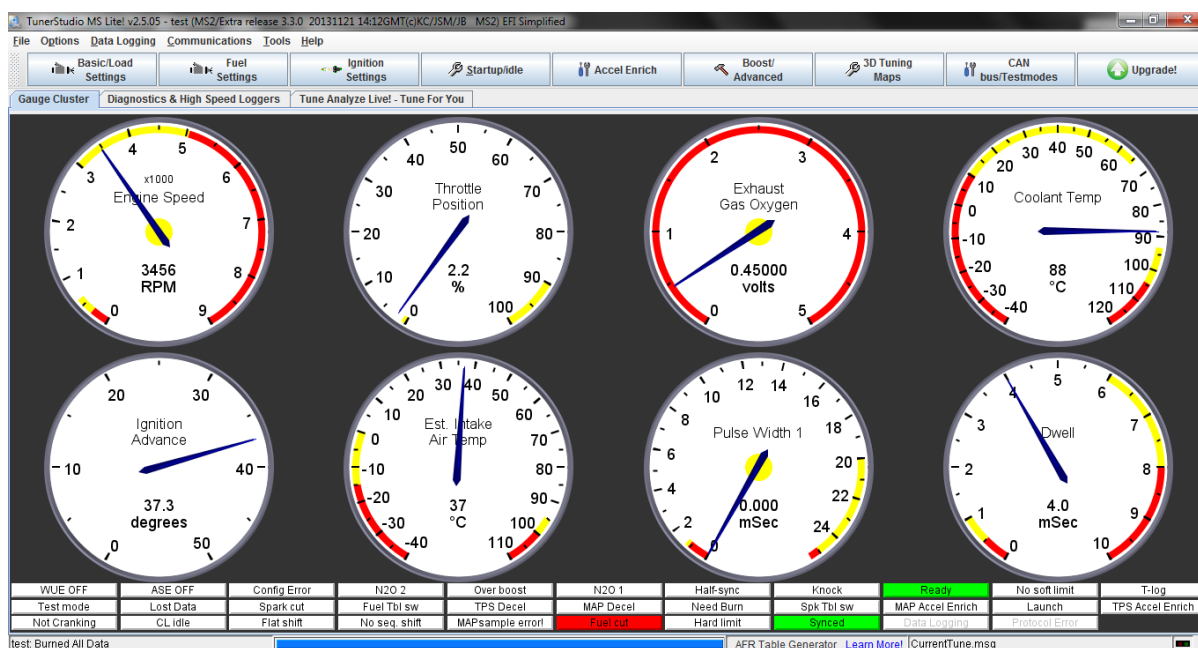
Εφόσον οι στροφές λειτουργίας παραμένουν αμετάβλητες τα βήματα διόρθωσης φθάνουν κάποια στιγμή στο μηδέν και η βαλβίδα κλείνει τελείως, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.26.



**Εικόνα 4.26** Διόρθωση ρελαντί για υψηλότερη ταχύτητα κινητήρα από την προκαθορισμένη (τελικό στάδιο).

## 4.9 Διακοπή καυσίμου

Για να εξακριβώσουμε εάν λειτουργεί η διακοπή καυσίμου θέσαμε την ταχύτητα στις 3578rpm και την θέση της πεταλούδας στο 2.1%. Για την κατάσταση αυτή του κινητήρα θα πρέπει να διακόπτεται η παροχή καυσίμου, βάσει των ρυθμίσεων της ενότητας 3.4.2 (**Διακοπή Καυσίμου**). Πράγματι, βλέποντας την ένδειξη FuelCut αναμμένη καθώς και το πλάτος παλμού στα 0 ms συμπεραίνουμε ότι δουλεύει κανονικά.

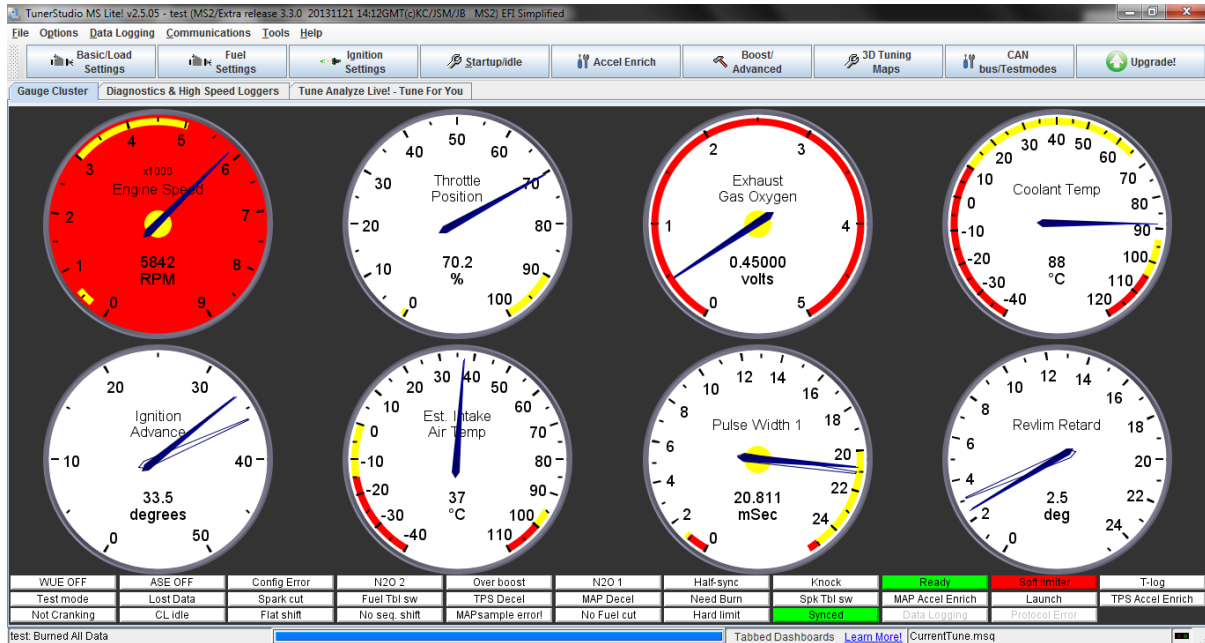


Εικόνα 4.27 Εφαρμογή της διακοπής καυσίμου όταν ικανοποιούνται οι προκαθορισμένες συνθήκες.



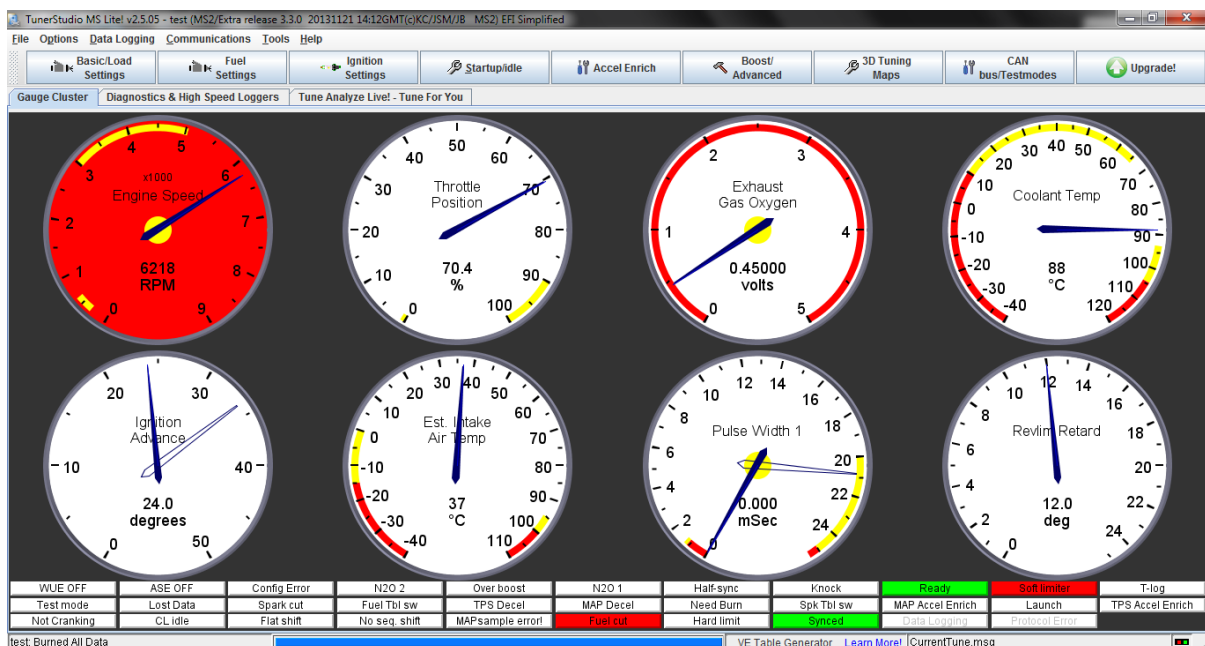
## 4.10 Κόφτης στροφών

Με ταχύτητα 5918 rpm βλέπουμε ότι η ένδειξη SoftLimiter είναι αναμμένη, περιορίζοντας σε αρχικό στάδιο το πλάτος παλμού καθώς και την προπορεία έναυσης.



Εικόνα 4.28 Εφαρμογή του απαλού κόφτη με μείωση του πλάτους παλμού και της προπορείας έναυσης.

Στις 6120 στροφές η προπορεία έναυσης έχει περιοριστεί ακόμα περισσότερο και η παροχή καυσίμου έχει διακοπεί, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.28.



Εικόνα 4.28 Εφαρμογή του κόφτη στροφών με πλήρη διακοπή καυσίμου.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, καθόλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας, αναλύσαμε τη φιλοσοφία και τη λογική του ελέγχου ενός κινητήρα μέσω μιας ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου. Επίσης έγινε και εκτεταμένη ανάλυση για τον ρόλο και για την λειτουργία των αισθητήρων του κινητήρα αλλά και των ενεργοποιητών του. Ακόμα, μελετήσαμε και επεξεργαστήκαμε την χαρτογράφηση της προγραμματιζόμενης μονάδας ελέγχου και οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι όλη η διαδικασία απαιτεί άριστη γνώση της λειτουργίας μιας ΜΕΚ, για την κατανόηση των απαιτήσεών της, ώστε να γίνει επιτυχημένη χαρτογράφηση την ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου.

Κατά το πειραματικό μέρος προσομοιώσαμε καταστάσεις λειτουργίας ενός κινητήρα, παρατηρώντας πως επηρεάζονται το πλάτος παλμού και η προπορεία έναυσης συναρτήσεως θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού, της θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα, της ταχύτητας του κινητήρα καθώς και της θέσης της πεταλούδας γκαζιού. Επίσης είδαμε πως λειτουργεί η διορθωση του πλάτους παλμού με τη λειτουργία του κλειστού βρόχου, με χρήση του αισθητήρα λάμδα, για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων όπως επίσης και η σταθεροποίηση της ταχύτητας λειτουργίας του κινητήρα στη φάση του ρελαντί. Τέλος, προσομοιώθηκαν και οι δευτερεύουσες ενέργειες της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου που αφορούσαν την διακοπή καυσίμου σε καταστάσεις που δεν απαιτείται παραγωγή ισχύος από τον κινητήρα και τον κόφτη στροφών για την προστασία του.

Το πειραματικό μέρος μας έδειξε το αποτέλεσμα όλων εκείνων των ρυθμίσεων που κάναμε κατά τη χαρτογράφηση της ηλεκτρονικής μονάδας, δίνοντάς μας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα της όλης διαδικασίας και διευρύνοντας συνολικά τις γνώσεις μας επάνω στο όχημα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Jeff Hartman "How to Tune and Modify Engine Management Systems"  
Motorbooks International 2003
2. Dave Walker "Engine Management" Haynes Publishing 2002
3. Ben Strader "Building&Tuning High-Performance Electronic Fuel Injection"  
CarTech 2004
4. DIYAutotune "Megasquirt Megamannual"