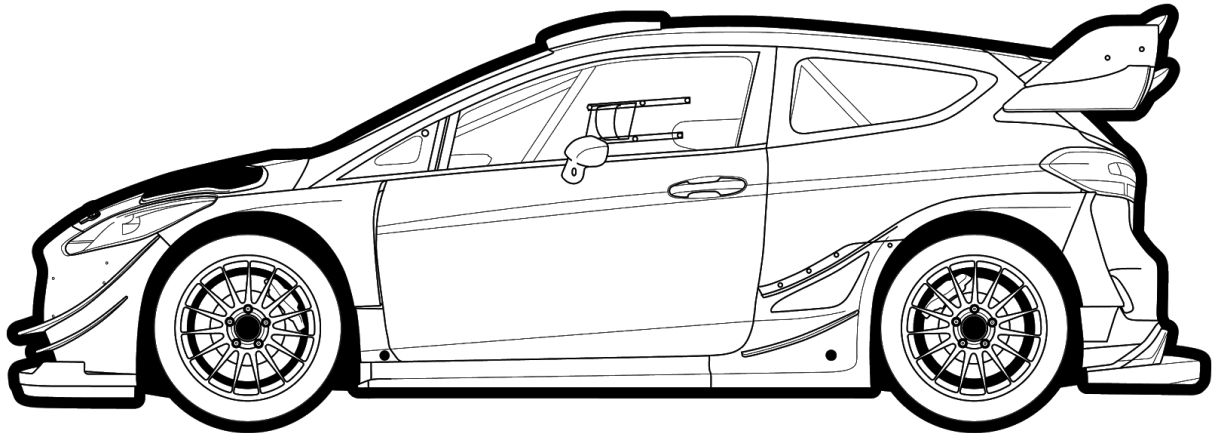




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE



**Μελέτη και Κατασκευή Αυτοματοποιημένης Διαδραστικής  
Μετρητικής Διάταξης, Αναγνωρισμένων Αγωνιστικών Οχημάτων  
(Research and Manufacturing of an Automated Interactive  
Measuring Device, of Homologated Racing Vehicles)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΑΝΤΩΝΙΝΗ ΙΩΑΝΝΗ**

**με**

**A.M. 2014010112**

**Επιτροπή έγκρισης:**

Κανέλλος Φώτιος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός  
(Αναπληρωτής Καθηγητής σχολής ΗΜΜΥ)

Σταυρουλάκης Γεώργιος, Πολιτικός Μηχανικός  
(Επιβλέπων Καθηγητής σχολής ΜΠΔ)

Χαιρέτης Νεκτάριος, Μηχανολόγος Μηχανικός  
(Ε.ΔΙ.Π. σχολής ΜΠΔ)

**Τμήμα: Μ.Π.Δ.**

**Χανιά, 2020**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

*Θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον κύριο Παπακώστα Νάσο, ο οποίος ήταν ο εμπνευστής του θέματος, τον καθηγητή και φίλο Χαιρέτη Νεκτάριο, ο οποίος έπαιξε τον ρόλο της κινητήριας δύναμης προς την εκπόνηση της εν' λόγω εργασίας, τον αγαπητό Ζωγράφο Πέτρο για την πολύτιμη βοήθειά του στις εργαλειομηχανές του ιδρύματος, τον φίλο Καλαφάτη Ελευθέριο για τις συμβουλές του στον προγραμματισμό, τους καθηγητές μου και μέλη της τριμελούς επιτροπής για ότι μου προσέφεραν, όπως και την οικογένειά μου για την στήριξή της στις επιλογές και τις δραστηριότητές μου.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το επιστημονικό ενδιαφέρον της εν' λόγω εργασίας, προσδιορίζεται γύρω από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και τους μικροελεγκτές, τον προγραμματισμό, τους αυτοματισμούς, την μηχανική των συμπιεστών ρευστών καθώς και γύρω από την θεωρία σφαλμάτων και μετρήσεων. Στόχος, είναι ο σχεδιασμός και η ολοκληρωμένη κατασκευή, μίας αυτοματοποιημένης διαδραστικής μετρητικής διάταξης ακριβείας, με την βοήθεια της οποίας θα μπορούν να γίνονται έλεγχοι ορθής λειτουργίας και εξακρίβωσης, των βαλβίδων ρύθμισης πίεσης του κυκλώματος υπερπλήρωσης των αναγνωρισμένων αγωνιστικών οχημάτων, σύμφωνα με τους κανονισμούς της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (FIA). Η διάταξη, θα βασίζεται σε έναν μικροελεγκτή τύπου «Arduino» και σε πλήθος αισθητήρων, μικροηλεκτρονικών και μηχανικών παρελκόμενων στοιχείων. Η ρύθμιση της μετρητικής συσκευής, θα βασιστεί σε εμπειρικούς κανόνες και πειράματα. Ο χρήστης, θα μπορεί μέσα από ένα σύγχρονο περιβάλλον διεπαφής, να ελέγχει και συνεπώς να χρησιμοποιεί την διάταξη, παρακολουθώντας και αποθηκεύοντας τα δεδομένα αυτής.

## **ABSTRACT**

The scientific interest of this project is determined around electronic circuits and microcontrollers, programming, automations, fluid mechanics and measurements error theory. The aim is to design and fully develop an automated interactive precision measuring device, which will be able to check and verify the correct operation of the homologated cars turbo circuit pressure relief valves, in compliance with the regulations of «Federation Internationale de l' Automobile» (FIA). The measurement device will consists of an «Arduino» microcontroller, plenty of sensors, microelectronics and mechanical components. The calibration process of the device will be based on empirical rules and experiments. Users will be able to control the device, through a modern interface environment, in order to monitor or save the tests measurements.



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή**

1.1 Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου.....	6
1.2 Αναγνωρισμένα Αγωνιστικά Οχήματα και Κανονισμοί.....	7
1.3 Βαλβίδες προσαρμογής πίεσης ή ανακύκλωσης ρευστών.....	11
1.4 Μέτρηση πίεσης Νευτώνειων ρευστών.....	17
1.5 Συστήματα αυτομάτου ελέγχου.....	18
1.6 Μικροελεγκτές «Arduino».....	19
1.7 Προγραμματισμός και γλώσσα μηχανής.....	21
1.8 Σφάλματα και Μετρήσεις.....	22

### **Κεφάλαιο 2-Σχεδιασμός και Μοντελοποίηση σε Η/Υ**

2.1 Προδιαγραφές κατασκευής.....	23
2.2 Διάγραμμα ροής.....	28
2.3 Διάταξη τοποθέτησης βαλβίδων «Pop Off».....	30
2.3.1 Σχεδιασμός επιμέρους τεμαχίων διάταξης.....	33
2.4 Αντίστροφη μηχανική και τρισδιάστατη προσομοίωση «CAD».....	38
2.5 Ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου.....	41
2.5.1 Περιγραφή ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	41
2.5.2 Μελέτη τροφοδοσίας κυκλώματος.....	42
2.5.3 Αναπαράσταση ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	45

### **Κεφάλαιο 3-Κατασκευή διάταξης**

3.1 Επιλογή υλικών.....	46
3.2 Στοιχεία μηχανών.....	48
3.3 Ανοχές και ποιότητα επιφάνειας.....	52
3.3.1 Ανάλυση ανοχών και συναρμογών διάταξης.....	54
3.4 Προσομοίωση κατεργασιών στον Η/Υ (CAM).....	55
3.5 Εξαγωγή κώδικα εργαλειομηχανής.....	59
3.6 Κατεργασίες μετάλλων.....	60
3.7 Συγκολλήσεις.....	66
3.8 Κατασκευή τεμαχίου με κοπή σε μηχάνημα «Laser» .....	69

3.9 Κατασκευή και σύνδεση ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	71
3.10 Συναρμολόγηση.....	74

#### **Κεφάλαιο 4-Προγραμματισμός, Ρύθμιση και Λειτουργία διάταξης**

4.1 Προγραμματισμός «Arduino» και ψηφιακής οθόνης.....	75
4.2 Καλιμπράρισμα ψηφιακών μετρήσεων και αισθητήρα «MAP»..	80
4.3 Συγχρονισμός και ρύθμιση μετρητικής διάταξης.....	83
4.4 Αποθήκευση μετρήσεων.....	85

#### **Κεφάλαιο 5-Πιστοποίηση συσκευής**

5.1 Πιστοποίηση μετρήσεων.....	86
--------------------------------	----

#### **Παράρτημα**

Υλικό από τις δοκιμές της συσκευής σε πραγματικές συνθήκες.....	88
-----------------------------------------------------------------	----

#### **Βιβλιογραφία**

Ελληνική Βιβλιογραφία.....	91
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	92
Ιστοσελίδες.....	93

## Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή

### 1.1 Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου



**Εικόνα 1.** Το λογότυπο της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (Πηγή: [fia.com](http://fia.com))

Ιδρύθηκε το 1904, με βασικό στόχο την διακυβέρνηση του μηχανοκίνητου αθλητισμού, ανά τον κόσμο. Με την πάροδο του χρόνου όμως, η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA) ενισχύθηκε και απέκτησε πολύπλευρη δράση. Πλέον, η «FIA» δεν προάγει μόνο τον μηχανοκίνητο αθλητισμό, αλλά προάγει την ασφαλή, βιώσιμη και προσβάσιμη κινητικότητα στους δρόμους, για όλους τους χρήστες και οδηγούς, του οδικού δικτύου όλου του πλανήτη. Επομένως, η Ομοσπονδία κινείται πλέον σε τρεις άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους τροχιές, αθλητισμός, εκστρατείες και κινητικότητα. Όσον αφορά την κινητικότητα, η «FIA», στοχεύει να εξασφαλίσει την ύπαρξη ασφαλών, προσιτών και καθαρών συστημάτων μεταφοράς για όλους. Η προώθηση ασφαλών και βιώσιμων μορφών κινητικότητας, οδήγησε με την σειρά της την «FIA», στην δέσμευση για παγκόσμιες πρωτοβουλίες αειφορίας και επίσης, στο να αναζητήσει την δική της σημαντική ανταπόκριση στις ανησυχίες, που αφορούν την οδική ασφάλεια. Με άλλα λόγια, οδήγησε στην δημιουργία της εκστρατείας με το σλόγκαν «FIA, Action for Road Safety». Που σημαίνει, «FIA, Δράση για Οδική Ασφάλεια». Αυτή λοιπόν η παγκόσμια εκστρατεία, προς υποστήριξη του ΟΗΕ για τα 10 χρόνια δράσης του στην οδική ασφάλεια, στοχεύει στην μείωση των θανάτων στους δρόμους, κατά πέντε εκατομμύρια, πριν το 2021. Τέλος, η «FIA» ως όργανο διοίκησης του μηχανοκίνητου αθλητισμού, διασφαλίζει το δίκαιο και την ισότητα, μέσα από ένα σύνολο περιορισμών και κανόνων, σε όλους τους αγώνες της υψηλίου. Συνοψίζοντας, ο στόχος της «FIA» είναι απλός, να κρατήσει τα άτομα σε κίνηση με ασφάλεια και δυναμική.

## 1.2 Αναγνωρισμένα Αγωνιστικά Οχήματα και Κανονισμοί



**Εικόνα 2. Αναγνωρισμένο Αγωνιστικό Όχημα, της ομάδας «Rally2» (πρώην R5), κατασκευής της Skoda Motorsport (Πηγή: [skoda-motorsport.com](http://skoda-motorsport.com))**

Ένα όχημα για να μπορεί να λαμβάνει μέρος σε επίσημους αγώνες, θα πρέπει να είναι αναγνωρισμένο στο σύνολό του, από την Διεθνή Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA). Ως αναγνώριση, ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία, αφού το όχημα και ο εξοπλισμός του ελεγχθούν και βρεθούν κατάλληλα, ασφαλή και σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζουν οι ισχύοντες τεχνικοί κανονισμοί και κανονισμοί αναγνώρισης (σύνολο κανόνων), εκδίδεται πιστοποιητικό - δελτίο συμμόρφωσης και αποδοχής από την «FIA» (Homologation) και με τον τρόπο αυτό, το όχημα και τα εξαρτήματά του, γίνονται αυτομάτως αποδεκτά, για χρήση σε αγώνες και κατατάσσονται σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία. Μία από τις απαιτήσεις για να αναγνωριστεί ένα όχημα ή εξάρτημα, είναι αυτό, να αποτελεί (διαφοροποιημένο ή αυτούσιο) προϊόν μαζικής παραγωγής και να έχει παραχθεί σε συγκεκριμένες μονάδες (αριθμό). Στην φόρμα ή αλλιώς δελτίο αναγνώρισης (Homologation Form), αναγράφονται πλήρως τα τεχνικά στοιχεία τόσο του οχήματος, όσο και των επιμέρους αποδεκτών εξαρτημάτων του, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν γνώση (και να εξακριβώνουν), από την μία οι ενδιαφερόμενοι

αθλητές για τις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν και από την άλλη, οι αρμόδιοι για την τήρηση των τεχνικών κανονισμών, της ασφάλειας και της ισότητας μεταξύ των αθλητών (Τεχνικοί Έφοροι). Η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου, ορίζει για κάθε αναγνώριση που εκδίδει και την ημερομηνία λήξης της. Η αναγνώριση ενός οχήματος που έχει παραχθεί μαζικά, θεωρείται άκυρη, όταν συμπληρωθούν 7 συναπτά έτη, από την ημερομηνία διακοπής της μαζικής παραγωγής αυτού. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις, στις οποίες η ημερομηνία λήξης του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού ασφαλείας ενός οχήματος, έρχεται νωρίτερα από την προκαθορισμένη ημερομηνία, λόγω εύρεσης κάποιου ελαττώματος, το οποίο μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ασφάλεια των αθλητών. Για να συμμετέχει ένα όχημα σε έναν αγώνα, θα πρέπει πέραν από τις αναγνωρίσεις και πιστοποιήσεις, να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς των αγώνων αλλά και με τους τεχνικούς κανονισμούς των ομάδων (περιορισμοί). Οι ομάδες και οι κατηγοριοποιήσεις των οχημάτων, διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του αγώνα (Ανάβαση, Ράλλυ κτλ.). Εκτός όμως από τους διεθνείς κανονισμούς και αναγνωρίσεις (Homologations), που θεσπίζονται και εκδίδονται από την «FIA» ετησίως και ισχύουν για όλες τις χώρες και για όλους τους διεθνείς αγώνες, υπάρχουν και οι εθνικές αναγνωρίσεις και κανονισμοί, τα οποία ορίζονται από την ομοσπονδία της εκάστοτε χώρας (π.χ. ΟΜΑΕ). Οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να συμβεί κάτι τέτοιο, ποικίλουν. Ένας εθνικός κανονισμός, μπορεί να αφορά διαφοροποιήσεις είτε σε θέματα ασφαλείας (ημερομηνίες λήξης εξοπλισμού), είτε σε θέματα τεχνικών κανονισμών ομάδων οχημάτων (διαφορετικές απαιτήσεις - περιορισμοί) είτε σε θέματα κανονισμών διεξαγωγής αγώνων. Μία εθνική αναγνώριση, αφορά την αναγνώριση κάποιων επιπλέον εξαρτημάτων για κάποιο όχημα, κάποιας συγκεκριμένης ομάδας, για διαφορετικούς λόγους σε κάθε περίπτωση, ακόμη και την αναγνώριση ενός διαφορετικού ή νέου τύπου οχήματος. Οποιαδήποτε εθνική διαφοροποίηση - παραλλαγή σε κανονισμούς, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε εθνικούς αγώνες σε κάθε χώρα και όχι στους επίσημους διεθνείς αγώνες που διοργανώνει «FIA».

## ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Υπόδειγμα Δελτίου Αναγνώρισης (Homologation Form), από αγωνιστικό αυτοκίνητο, της ομάδας «N»:

**FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE**  
JAPAN AUTOMOBILE FEDERATION  
社団法人 日本自動車連盟

Homologation N°  
**N-5688**

**FICHE COMPLEMENTAIRE D'HOMOLOGATION EN GROUPE N**  
COMPLEMENTARY HOMOLOGATION FORM IN GROUP N  
グループNの補足公認書式

JAF公認番号 **FN-080**  
JAF発給日 **2005年2月28日**

Véhicule : Constructeur  
Vehicle : Manufacturer  
車両: 製造会社名 **MITSUBISHI MOTORS CORP.**

Modèle et type  
Model and type  
型名と型式 **LANCER EVOLUTION IX (CT9A)**

Homologation valable à partir du  
Homologation valid as from  
FIA公認発給年月日 **01 SEP. 2005**

**IMPORTANT:**  
La présente fiche comporte toutes informations complémentaires à la fiche d'homologation de base Groupe A pour la participation du véhicule en Groupe N. En cas d'information contradictoire, seule l'information figurant sur la présente fiche est à prendre en considération pour le Groupe N.

**IMPORTANT:**  
This form includes all the additional information to the basic Group A homologation form for the participation of the vehicle in Group N. In the case of contradictory information, only the information appearing on the present form is to be taken into consideration for Group N.

**重要:**  
この書式は、グループN車両で参加するためのグループA基本公認書式に対する追加情報を全て含む。情報が矛盾する場合は、この書式に記載されたもののみがグループNとして考慮される。

**1. GENERALITES / GENERAL / 一般項目**

103. Cylindrée  
Cylinder capacity **2,002.0** cm<sup>3</sup>  
総排気量

Cylindrée corrigée  
Corrected cylinder capacity **2,002.0 x 1.7 = 3,403.4** cm<sup>3</sup>  
修正総排気量

**2. DIMENSIONS, POIDS / DIMENSIONS, WEIGHT / 寸法、重量**

201. Poids minimum  
Minimum weight **1,310** kg  
最低重量

205. Hauteur minimum centre moyen de roue / Ouverture du passage de roue  
Minimum height center hub / Wheel arch opening  
ホイールアーク/アイ開口部の最低高さ

a) Avant  
Front 前 **389** mm

b) Arrière  
Rear 後 **312** mm

207. Voie maximum  
Maximum track 最大径間

a) Avant  
Front 前 **1,520** mm

b) Arrière  
Rear 後 **1,525** mm

Fédération Internationale de l'Automobile  
Chemin de Blandin, 2  
CH-1215 GENEVE 15  
Tel.: +41 22 544 44 00  
Fax: +41 22 544 44 50

Εικόνα 3. Δελτίο Αναγνώρισης Οχήματος, ομάδας «N» (Πηγή: fia.com)

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, βρίσκει εφαρμογή σε αναγνωρισμένα αγωνιστικά αυτοκίνητα, συγκεκριμένων ομάδων και προδιαγραφών. Ειδικότερα, η μετρητική διάταξη κατασκευάστηκε και προσαρμόστηκε, ώστε να ελέγχει με επιτυχία και ακρίβεια, τις βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης (Pop Off valves), του κυκλώματος υπερπλήρωσης, των οχημάτων που ανήκουν στην ομάδα με την ονομασία «Rally2» (πρώην ομάδα R5). Με άλλα λόγια, σε αναγνωρισμένα αυτοκίνητα «Τουρισμού» ή «Ευρείας Κλίμακας Μαζικής Παραγωγής». Ένα όχημα αυτής της ομάδας, διαθέτει περιληπτικά, τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής με υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα και κίνηση στους 4 τροχούς.
- Έχουν παραχθεί σε τουλάχιστον 2.500 όμοιες μονάδες (πλήθος), σε 12 επί σειρά μήνες και έχουν αναγνωριστεί ως οχήματα της ομάδας «Α», με επεκτάσεις, οι οποίες τους δίνουν την αναγνώριση τελικά, σαν οχήματα της ομάδας «Rally2».
- Η χωρητικότητα του κινητήρα τους (κυβισμός), περιορίζεται περί τα χίλια - εξακόσια (~1.600) κυβικά εκατοστά (cc).
- Η σχέση συμπίεσής τους, ορίζεται στα δέκα - κόμμα - πέντε (10,5) προς ένα (:1).
- Φέρουν περιοριστή (στόμιο), μέγιστης εσωτερικής διαμέτρου 32,1 χιλιοστών (mm), τοποθετημένο στο κέλυφος του συμπιεστή, του κυκλώματος υπερπλήρωσης.
- Έχουν πίεση υπερπλήρωσης, με ανώτατο όριο τα 2,5 μπάρ (bar), απόλυτη πίεση, που σημαίνει πρακτικά, η εκάστοτε ατμοσφαιρική πίεση (~1 bar), επιπλέον της σχετικής πίεσης υπερπλήρωσης (~1,5 bar), να μην υπερβαίνει σε άθροισμα, το προκαθορισμένο ανώτατο όριο απόλυτης πίεσης.
- Ζυγίζουν κενά επιβατών, κατ' ελάχιστο 1.230 κιλά (kg).





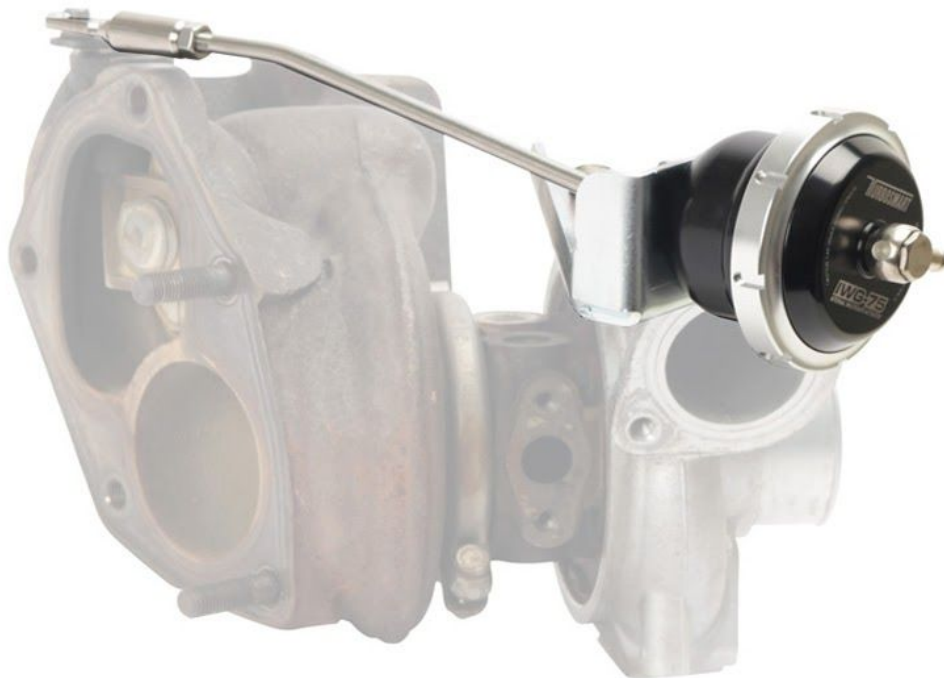
**Εικόνα 4. Τα μηχανικά μέρη και το σύστημα κίνησης (Drivetrain), ενός αναγνωρισμένου αγωνιστικού οχήματος της ομάδας «Rally2» (Πηγή: [skoda-motorsport.com](http://skoda-motorsport.com))**

### 1.3 Βαλβίδες προσαρμογής πίεσης ή ανακύκλωσης ρευστών

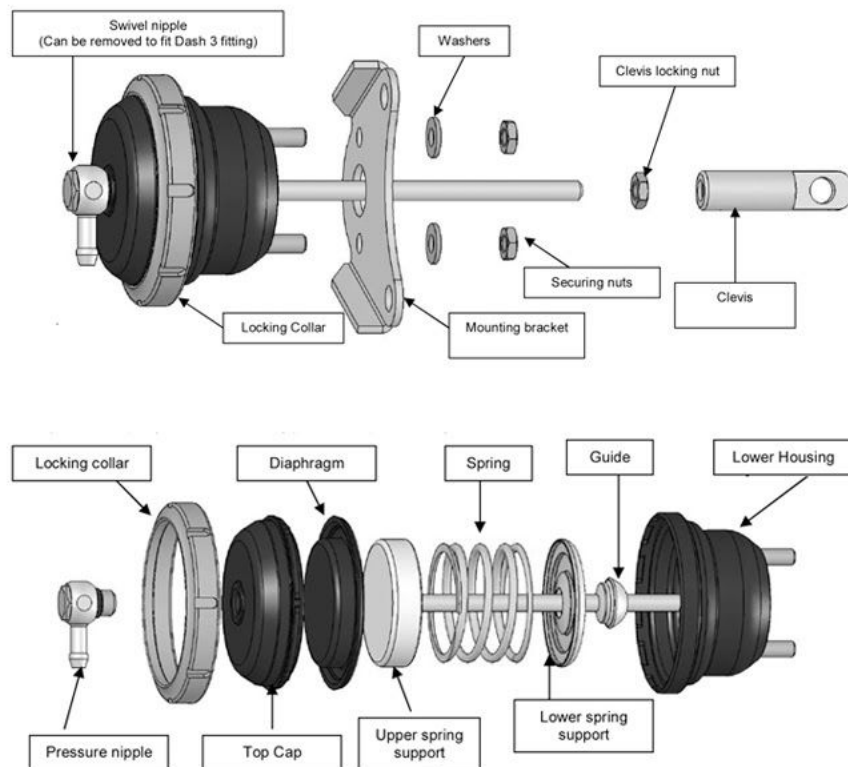
Πρόκειται ουσιαστικά για το αντικείμενο - εξάρτημα εξέτασης αυτής της εργασίας, αφού η κατασκευή της διάταξης, έχει ως σκοπό τον ακριβή έλεγχο ενός ειδικού τύπου τέτοιων βαλβίδων (βαλβίδων εκτόνωσης πίεσης αέρα, τύπου Pop Off). Στόχος των βαλβίδων αυτών, είναι να προσαρμόσουν μέσα από την διαδικασία της εκτόνωσης ή ανακύκλωσης του ρευστού, την πίεση του κυκλώματος υπερπλήρωσης ενός κινητήρα και να ρυθμίσουν την συμπεριφορά των ρευστών και κατά συνέπεια του υπερπληρωτή. Σε μερικές περιπτώσεις όμως, οι βαλβίδες αυτές λειτουργούν και ως παρακαμπτήριες οδοί, προς κατανομή της πίεσης στον στροβιλοσυμπιεστή και άρα προκειμένου να ρυθμιστεί, η ταχύτητα περιστροφής της περωτής αυτού. Ως εκ' τούτου, υπάρχουν διάφοροι τύποι τέτοιων βαλβίδων και για διαφορετικές χρήσεις. Ο τύπος, διαφέρει και εξαρτάται τόσο από την μέθοδο και την τεχνική με την οποία η βαλβίδα ανοίγει και επιτρέπει την έξοδο του ρευστού, όσο και από την θέση στην οποία τοποθετείται η βαλβίδα, στο κύκλωμα (εισαγωγή ή εξαγωγή). Τα 4 βασικά είδη μηχανικών βαλβίδων προσαρμογής πίεσης



ρευστού, σε κυκλώματα υπερπλήρωσης οχημάτων είναι, οι βαλβίδες ενεργοποίησης εσωτερικής θύρας (πάνω στο κέλυφος του στροβίλου) παράκαμψης καυσαερίων στροβίλου (Internal Wastegate Actuators), οι βαλβίδες εκτόνωσης αέρα εισαγωγής με (Bypass) ή χωρίς ανακύκλωση (Blow Off ή Pressure Relief ή Pop Off) ρευστού και οι εξωτερικές (εκτός του στροβιλοσυμπιεστή) βαλβίδες εκτόνωσης καυσαερίων (External Wastegate Actuators), με παράκαμψη προς το σύστημα εξαγωγής (προκαταλύτη, καταλύτη, καζανάκι κτλ.) ή με παράκαμψη του συστήματος εξαγωγής, για πιο γρήγορη και ελεύθερη ροή καυσαερίων. Οι βαλβίδες τύπου «Internal Wastegate Actuators», τοποθετούνται στο κέλυφος του υπερπληρωτή, ενεργοποιούνται με πίεση από το κύκλωμα πλήρωσης του κινητήρα και η παράκαμψη ή αλλιώς η κατανομή των καυσαερίων στον στρόβιλο, επιτυγχάνεται με οδηγητικό βραχίονα θύρας και με ελατήριο προκαθορισμένης σκληρότητας.



**Εικόνα 5. Βαλβίδα τύπου «Internal Wastegate», της εταιρείας «Turbosmart», τοποθετημένη σε υπερπληρωτή (ή αλλιώς στροβιλοσυμπιεστή), της «Mitsubishi Turbochargers» (Πηγή: [turbosmart.com](http://turbosmart.com))**



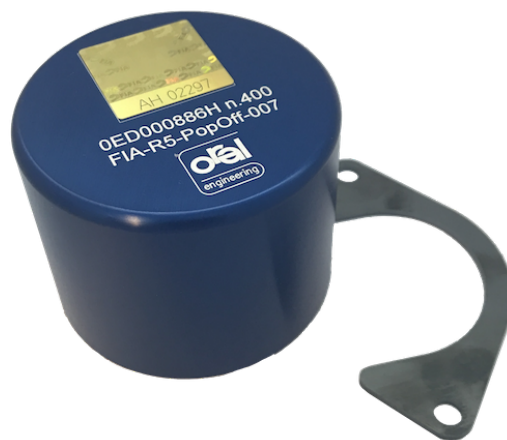
**Εικόνα 6. Δομή βαλβίδας «Internal Wastegate» (Πηγή: turbosmart.com)**

Οι βαλβίδες τύπου «Bypass», τοποθετούνται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος εισαγωγής αέρα στον κινητήρα, ενεργοποιούνται με πίεση από το κύκλωμα πλήρωσης και η ανακύκλωση του ρευστού στο σύστημα εισαγωγής, επιτυγχάνεται με έμβολο και ελατήριο προκαθορισμένης σκληρότητας.

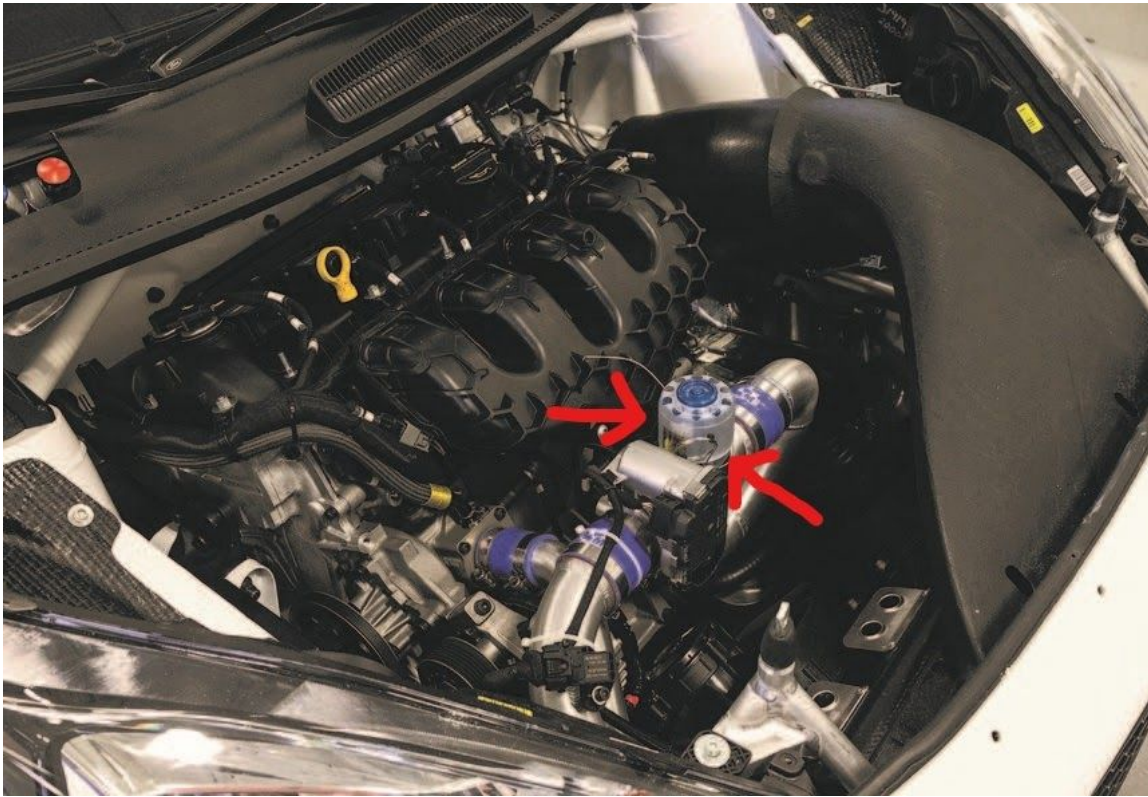


**Εικόνα 7. Βαλβίδα ανακύκλωσης αέρα εισαγωγής, τύπου «Bypass» της «Mitsubishi Motors» (Πηγή: stmtuned.com)**

Οι βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης αέρα (χωρίς ανακύκλωση), διακρίνονται σε αναγνωρισμένες από την Διεθνή Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (Pop Off) και σε μή αναγνωρισμένες (Blow Off ή Pressure Relief). Και οι μέν και οι δέ, επιτελούν το ίδιο έργο και έχουν ως στόχο, την διατήρηση της πίεσης του κυκλώματος υπερτροφοδότησης, εντός συγκεκριμένων ορίων (ρύθμιση - προσαρμογή). Η μόνη διαφορά τους, έγκειται στο γεγονός ότι, οι αναγνωρισμένες τηρούν κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικά αγωνιστικά οχήματα (ομάδας Rally2), ενώ οι υπόλοιπες, όχι. Σε αυτό το είδος βαλβίδων, η απελευθέρωση του αέρα εισαγωγής, γίνεται με την βοήθεια της πίεσης του κυκλώματος υπερτροφοδότησης. Οι βαλβίδες αυτές, λειτουργούν αποκλειστικά και μόνο με πίεση και όχι με υποπίεση. Με το άνοιγμα της βαλβίδας, ο αέρας του κυκλώματος εισαγωγής, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, με μηχανισμό αποτελούμενο από έμβολο και ελατήριο προκαθορισμένης σκληρότητας. Η τοποθέτηση τέτοιων βαλβίδων, γίνεται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος υπερπλήρωσης, πριν το σύστημα εισαγωγής του κινητήρα (πριν την πεταλούδα εισαγωγής).



**Εικόνα 8. Βαλβίδα τύπου «Pop Off», της εταιρείας «Oral Engineering»  
(Πηγή: [oralengineering.com](http://oralengineering.com))**



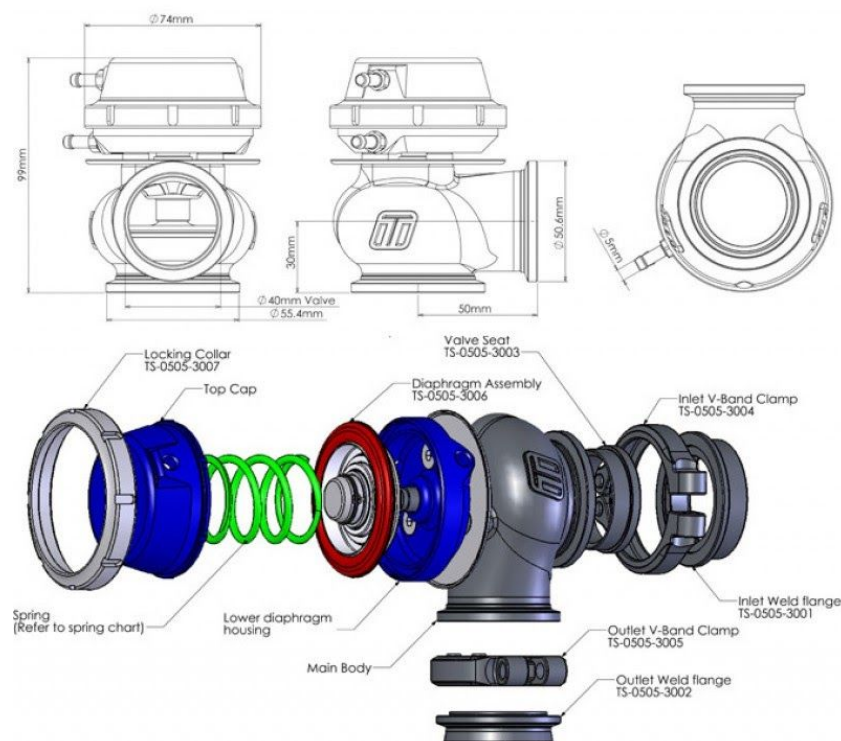
**Εικόνα 9. Βαλβίδα τύπου «Pop Off», της εταιρείας «Angle Consulting», τοποθετημένη σε κινητήρα αναγνωρισμένου αγωνιστικού οχήματος της «M-Sport», που ανήκει στην ομάδα «Rally2» (Πηγή: [autocar.co.uk](http://autocar.co.uk))**



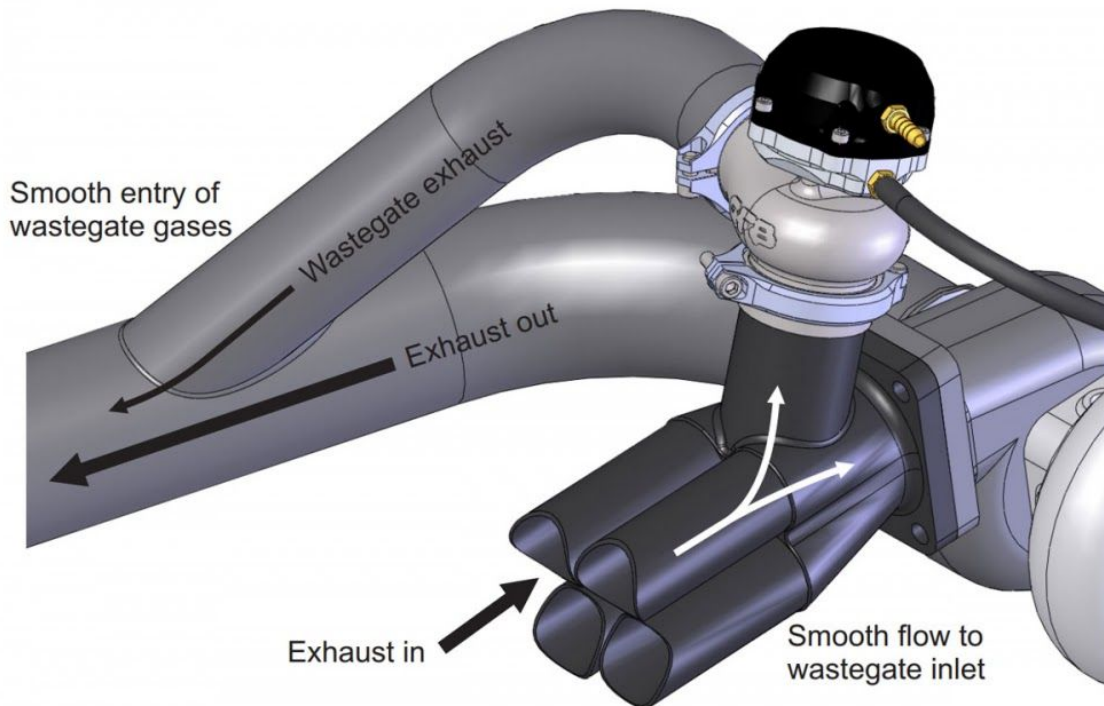
**Εικόνα 10. Βαλβίδα τύπου «Blow Off» της «HKS» (Πηγή: [garage88.com.au](http://garage88.com.au))**



Οι βαλβίδες τύπου «External Wastegate Actuators», τοποθετούνται εκτός του στροβιλοσυμπιεστή, σε αντίθεση με τις βαλβίδες τύπου «Internal Wastegate Actuators», ενώ μπορούν να αποκτήσουν δύο διαφορετικές χρήσεις (ανάλογα με την τοποθέτησή τους). Ειδικότερα, η τοποθέτησή τους γίνεται πάνω στην πολλαπλή εξαγωγής των καυσαερίων (Χταπόδι) και είτε απελευθερώνουν - κατανέμουν τα καυσαέρια, παρακάμπτοντας το σύστημα εξαγωγής (εξάτμιση) του οχήματος (για πιο γρήγορη και ελεύθερη ροή), είτε τα εκτονώνουν εντός του συστήματος εξαγωγής (εξάτμιση) και απλώς, προσαρμόζουν τα καυσαέρια και ταυτόχρονα την πίεση του κυκλώματος και την ταχύτητα της πτερωτής του στροβίλου, με ότι αυτό συνεπάγεται. Η ενεργοποίησή τους, επιτυγχάνεται και σε αυτήν την περίπτωση, με την πίεση του ρευστού του κυκλώματος εισαγωγής και αποτελούνται από ένα έμβολο, ένα ελατήριο προκαθορισμένης σκληρότητας και από το περίβλημά τους.



**Εικόνα 11. Μηχανολογικά σχέδια και δομή βαλβίδας τύπου «External Wastegate», (Πηγή: turbosmart.com)**



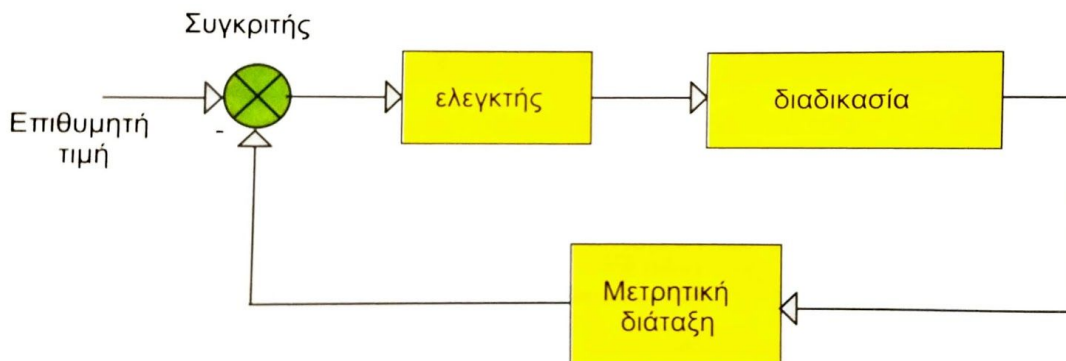
**Εικόνα 12. Τοποθέτηση βαλβίδας τύπου «External Wastegate», με λειτουργία παράκαμψης καυσαερίων, εντός του συστήματος εξαγωγής (Πηγή: do88.se)**

#### 1.4 Μέτρηση πίεσης Νευτώνειων ρευστών

Ως πίεση ( $P$ ), ορίζεται το πηλίκο της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας ( $F/A$ ). Με άλλα λόγια, η πίεση είναι η δύναμη που εφαρμόζεται στην μονάδα της επιφάνειας ενός σώματος ή σε ένα σημείο ενός ρευστού. Η πίεση, χωρίζεται σε απόλυτη ( $P_{\text{absolute}}$ ) και σε σχετική ( $P_{\text{gauge}}$ ). Η απόλυτη πίεση είναι η πίεση που έχει ένα ρευστό σε σχέση με το κενό ενώ ως σχετική, καλείται η διαφορά πίεσης μεταξύ του ρευστού και του περιβάλλοντος του ( $P_{\text{gauge}} = P_{\text{absolute}} - P_{\text{atmospheric}}$ ). Νευτώνεια ρευστά, χαρακτηρίζονται τα ρευστά για τα οποία η σχέση μεταξύ διατμητικής τάσης και βαθμίδας ταχύτητας, είναι γραμμική (γραμμική σχέση Νεύτωνα). Τέτοια ρευστά, είναι τα αέρια και τα λεπτόρευστα υγρά. Στην παρούσα κατασκευή, προσδιορίζεται με ακρίβεια η σχετική πίεση του συμπιεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα εντός της διάταξης, δηλαδή ενός νευτώνειου ρευστού.

## 1.5 Συστήματα αυτομάτου ελέγχου

Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου, κατασκευάζεται με σκοπό την αυτορρύθμιση ενός μεγέθους, μέσα από την διαδικασία της ανατροφοδότησης πληροφοριών - δεδομένων. Αυτορρύθμιση, είναι η ιδιότητα ενός σώματος, διαδικασίας ή μηχανής να ισορροπεί ξανά, μετά από την επίδραση κάποιας συνεχόμενης διαταραχής. Ανατροφοδότηση από την άλλη μεριά, είναι μία μέθοδος ελέγχου ενός συστήματος, μέσω της εισαγωγής σε αυτό αποτελεσμάτων της παρελθούσας απόδοσής του. Κάθε σύστημα αυτομάτου ελέγχου, αποτελείται από αισθητήρες, μία διαδικασία, έναν ελεγκτή και έναν συγκριτή. Στην κατασκευή μας, το βασικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου, αποτελείται από έναν αισθητήρα μέτρησης πίεσης (MAP), μία διαδικασία ελέγχου πίεσης, η οποία παίρνει εντολή από τον χρήστη και από έναν μικροελεγκτή (Arduino) που συλλέγει, επεξεργάζεται και ελέγχει όλες τις πληροφορίες του συστήματος και άρα αναλαμβάνει ταυτόχρονα και τον ρόλο του συγκριτή.

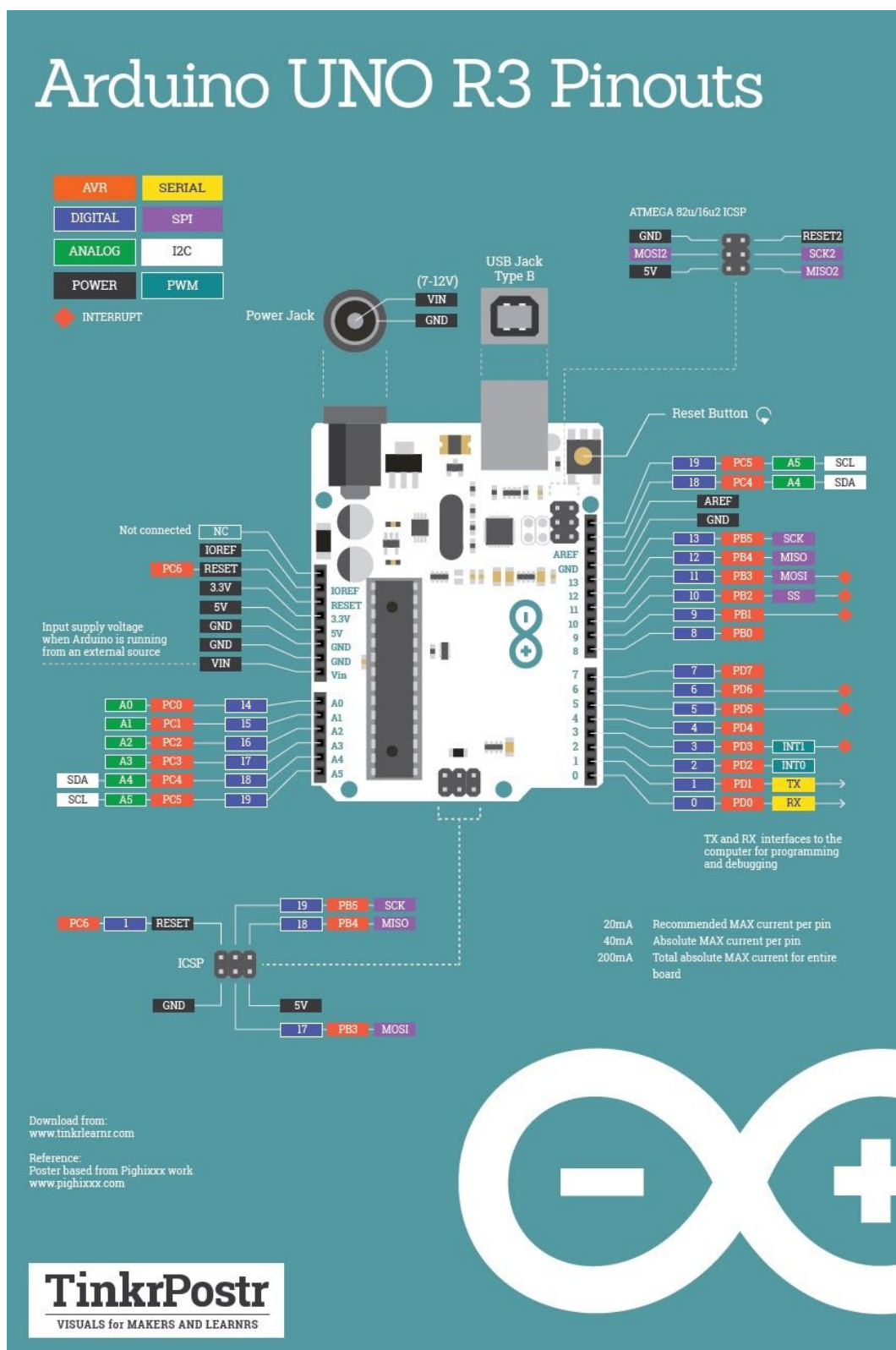


**Εικόνα 13. Δομικό διάγραμμα ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου**  
(Πηγή: *Περί Συστημάτων Ελέγχου*, Αναστάσιος Πουλιέζος, Εκδόσεις Τζιόλα 2014)

## 1.6 Μικροελεγκτές «Arduino»

Πρόκειται για μία πλατφόρμα (ηλεκτρονική πλακέτα), η οποία είναι φιλική προς τους χρήστες τόσο ως προς τα εξαρτήματά της (Hardware) όσο και ως προς το λογισμικό της (Software). Τα σχέδια, οι οδηγίες και το λογισμικό που χρειάζεται για την λειτουργία και τον προγραμματισμό της ο χρήστης, διατίθενται δωρεάν (open-source), μέσω διαδικτύου. Ο προγραμματισμός της, γίνεται σε γλώσσα προγραμματισμού στο περιβάλλον ανάπτυξης «Arduino», που υπάρχει στο διαδίκτυο. Οι πλακέτες τύπου «Arduino», είναι στην ουσία ένας μικρός «εγκέφαλος» τον οποίο μπορεί ο καθένας να χρησιμοποιήσει ανάλογα με την κατασκευή και το αυτόματο σύστημα που θέλει να δημιουργήσει. Τα «Arduino», έχουν την δυνατότητα να διαβάζουν σήματα (δεδομένα εισόδου), να στέλνουν σήματα (εντολές ή δεδομένα εξόδου) και να επεξεργάζονται σήματα είτε αναλογικού, είτε ψηφιακού τύπου. Ακόμη, διαθέτουν σειριακές θύρες επικοινωνίας, θύρες τροφοδοσίας και κάποιες ειδικές θύρες επικοινωνίας με εξειδικευμένα εξαρτήματα αλλά και θύρες γρήγορου προγραμματισμού (USB to serial converter). Υπάρχουν διάφορων τύπων μικροελεγκτές «Arduino» (μοντέλα). Οι διαφορές τους, εντοπίζονται κυρίως στο πλήθος των διαθέσιμων θυρών (I/O pins) καθώς και στο μοντέλο επεξεργαστή με το οποίο εφοδιάζονται. Στην κατασκευή μας, χρησιμοποιούμε το «Arduino Uno Rev3», το οποίο καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του project μας (διαθέσιμες θύρες, δυνατότητες, κόστος, επεξεργαστής, μέγεθος). Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του «Arduino Uno Rev3» είναι ότι, εφοδιάζεται με 13 ψηφιακές θύρες εισόδου / εξόδου, 5 αναλογικές θύρες εισόδου / εξόδου, θύρες παροχής ρεύματος τάσης 3,3V και 5V αντίστοιχα, αρκετές γειώσεις (GND) και από πλήθος εξειδικευμένων θυρών (IOREF, AREF και άλλα).





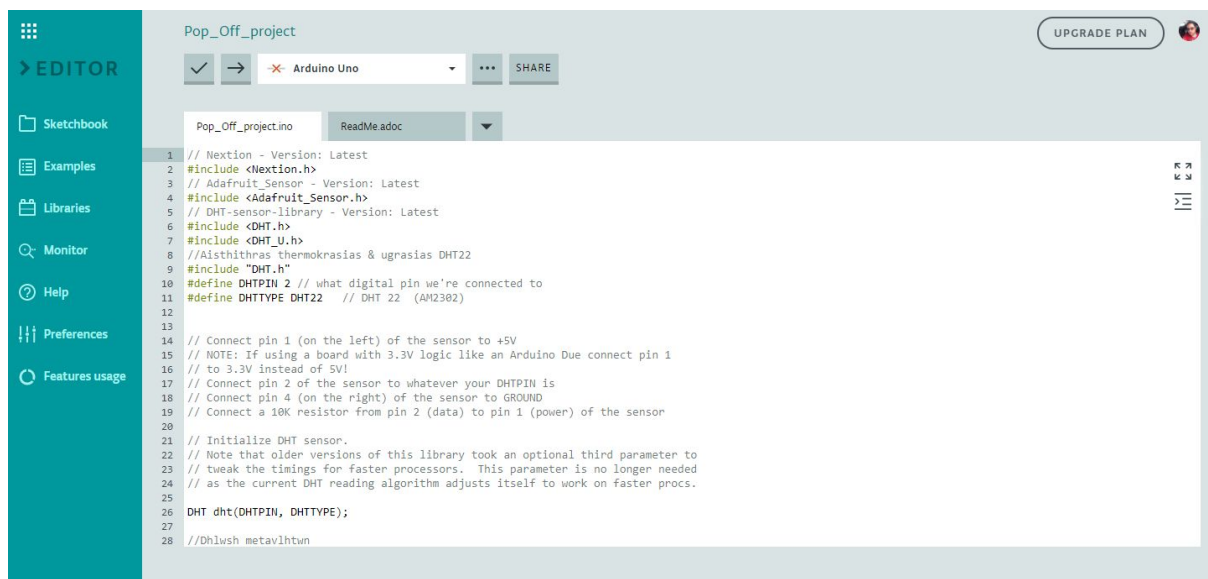
**Εικόνα 14. Επεξήγηση δομικών στοιχείων και θυρών «Arduino Uno Rev3»**  
(Πηγή: [tinkrlearnr.com](http://tinkrlearnr.com))



*Εικόνα 15. Ο μικροελεγκτής «Arduino Uno Rev3» (Πηγή: [store.arduino.cc](https://store.arduino.cc))*

## 1.7 Προγραμματισμός και γλώσσα μηχανής

Πρακτικά, ο προγραμματισμός είναι η εργασία σύνταξης ενός προγράμματος. Το πρόγραμμα με την σειρά του, είναι η αναπαράσταση ενός αλγορίθμου γραμμένη σε γλώσσα κατανοητή από τον υπολογιστή (γλώσσα μηχανής). Η γλώσσα μηχανής, χρησιμοποιείται στην ουσία για να γίνει εφικτή η επικοινωνία του ανθρώπου με την μηχανή. Υπάρχουν διάφορα είδη τέτοιων γλωσσών (C, C++, Java και άλλα) και η κάθε μία διαθέτει το δικό της λεξιλόγιο και συντακτικό (εντολές κώδικα). Στην διάταξη που κατασκευάσαμε, έγινε προγραμματισμός του «Arduino» (υπολογιστής), συντάσσοντας έναν αλγόριθμο με εντολές σε γλώσσα C++ (γλώσσα μηχανής), την οποία δέχεται και αντιλαμβάνεται το «Arduino» από τον κατασκευαστή του. Το πρόγραμμα συντάχθηκε στο διαδικτυακό περιβάλλον του «Arduino» (Arduino Web Editor) με τρόπο τέτοιο, ώστε να επιτυγχάνονται τελικά όλοι οι στόχοι και οι λειτουργίες της διάταξης.



**Εικόνα 16. Το περιβάλλον προγραμματισμού «Arduino Web Editor»**

## 1.8 Σφάλματα και μετρήσεις

Η διάταξη που κατασκευάστηκε, αποτελεί μία μετρητική συσκευή, η οποία μετρά με ακρίβεια την τιμή της πίεσης του αέρα που συμπιέζεται εντός του κυκλώματος, με αποτέλεσμα ο χρήστης να μπορεί να βγάλει συμπέρασμα για την πίεση λειτουργίας των βαλβίδων εκτόνωσης, τύπου «Pop Off». Για να μπορέσει όμως να γίνει αυτό σωστά και να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις, θα πρέπει να περιοριστούν τα σφάλματα που υπεισέρχονται σε αυτές και να ληφθούν υπόψη, όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν κάθε μέτρηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι βασικότεροι παράγοντες επίδρασης είναι το υψόμετρο στο οποίο γίνεται η μέτρηση (μας ενδιαφέρει η ατμοσφαιρική πίεση σε κάθε περίπτωση) και η θερμοκρασία του αέρα κατά την διάρκεια της δοκιμής. Ως δευτερεύον παράγοντα επίδρασης, θεωρείται η υγρασία του περιβάλλοντος. Τα σφάλματα των μετρήσεων, σχετίζονται άμεσα με τις δυνατότητες των οργάνων και των αισθητήρων της διάταξης (ακρίβεια, επαναληψιμότητα) καθώς και με τον προγραμματισμό και τον συγχρονισμό της οθόνης με την υπόλοιπη διάταξη, αφού εκεί ο χρήστης διαβάσει τις μετρήσεις όλων των αισθητήριων οργάνων (απόκριση οθόνης και συγχρονισμός με αισθητήρες).

## Κεφάλαιο 2-Σχεδιασμός και Μοντελοποίηση σε Η/Υ

### 2.1 Προδιαγραφές κατασκευής

Η διάταξη μέτρησης των βαλβίδων τύπου «Pop Off», σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA), στην τεχνική λίστα 43. Επιπλέον αυτών, προστέθηκαν κατά την μελέτη και τον σχεδιασμό της κατασκευής, οι απαιτήσεις των χρηστών, οι οποίες τελικά έθεσαν και άλλες προδιαγραφές και επομένως αύξησαν τους περιορισμούς και τις μεταβλητές του εγχειρήματος. Ειδικότερα, η τεχνική λίστα 43 της «FIA» ορίζει:

- Προδιαγραφές που πρέπει να τηρούν οι βαλβίδες τύπου «Pop Off» (βλέπε εικόνα 18).
- Προδιαγραφές που πρέπει να τηρεί η διάταξη τοποθέτησης των βαλβίδων τύπου «Pop Off» (βλέπε εικόνα 19).

Αντίστοιχα, οι επιπλέον προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιεί η διάταξη, είναι οι εξής:

- Τοποθέτηση και αποθήκευση της διάταξης, εντός αδιάβροχης (στεγανής) βαλίτσας.
- Μέγεθος βαλίτσας αποθήκευσης διάταξης, εντός επιτρεπόμενων ορίων χειραποσκευής αεροπλάνου (λήφθηκαν υπόψη τα πιο αυστηρά όρια χειραποσκευών που ορίζουν οι πολιτικές των διαφόρων αεροπορικών εταιρειών).
- Χρήση ελαφρών μετάλλων (αλουμίνιο) στην κατασκευή τοποθέτησης των βαλβίδων για έλεγχο, ώστε να επιτευχθεί χαμηλό βάρος.
- Δυνατότητα μέτρησης σχετικής πίεσης, τουλάχιστον μέχρι 2 μπάρ (bar).
- Δυνατότητα μέτρησης υψομέτρου και υπολογισμού ατμοσφαιρικής πίεσης στο υψόμετρο αυτό.

- Δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας δοκιμής.
- Παροχή μετρήσεων από την διάταξη, με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων.
- Αποθήκευση και προβολή τελευταίων μετρήσεων δοκιμών.
- Παροχή πιστοποιητικού ακρίβειας μετρήσεων από έγκυρο φορέα πιστοποίησης.

## ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

FIA

Liste Technique / Technical List n°43

**LISTE DES SYSTEMES DE CONTROLE DE SURALIMENTATION  
(POP-OFF VALVE) HOMOLOGUES PAR LA FIA POUR LE GROUPE R  
LIST OF BOOST CONTROL SYSTEMS (POP-OFF VALVE)  
HOMOLOGATED BY THE FIA FOR GROUP R**

**LISTE TECHNIQUE N° 43 / TECHNICAL LIST N° 43**

Numéro d'Homologation <i>Homologation Number</i>	Fabricant <i>Manufacturer</i>	Modèle <i>Model</i>
FIA-R5-PopOff-005 (valid as from 01.01.2016) (no longer valid after 31.12.2019)	Angle Consulting Limited 40 Wayside Avenue Bushey Herts WD23 4SQ +44 (0) 208 950 2577 (T) +44 (0) 870 112 3213 (F) +44 (0) 7973 289 819 (M) <a href="http://www.angleconsulting.com">www.angleconsulting.com</a> Contact : <a href="mailto:perry@angleconsulting.com">perry@angleconsulting.com</a>	1010-015-950 + 774-015-950 (insert)* *both sub-assemblies may be purchased independently (valid as from 01.01.2016) (no longer valid after 31.12.2019)
FIA-R5-PopOff-008 (valid as from 01.12.2017)		5183-017-950 + 774-015-950 (insert)* *both sub-assemblies may be purchased independently (valid as from 01.12.2017)
FIA-R5-PopOff-009 (valid as from 21.03.2018)	ORAL Engineering Srl Via Decorati al Valor Militare, 40 40135 – MODENA, Italy +39-(0)59512121 +39-(0)59512127 Contact : <a href="mailto:ppv@oralengineering.com">ppv@oralengineering.com</a>	OED000886J + 774-015-950 (insert)* *both sub-assemblies may be purchased independently (valid as from 21.03.2018)

**Εικόνα 17: Τεχνική λίστα 43 της «FIA» -Σελίδα 1 (Πηγή: fia.com)**



**SPECIFICATIONS REQUISES  
POUR LA POP-OFF VALVE (GROUPE R)  
REQUIRED SPECIFICATIONS  
FOR THE POP-OFF VALVE (GROUP R)**

**Objectifs :**

La "Pop-off valve" doit :

- Limiter, sans contrôle électronique, la pression de suralimentation sur un moteur turbocompressé.
- être de fabrication uniforme et vendue aux concurrents.
- être vendue aux concurrents à un prix inférieur à 350 euros.

**Conditions :**

La "Pop-off valve" doit :

- fonctionner avec des moteurs turbocompressés d'une cylindrée comprise entre 1,4 l et 2 l avec une bride d'un diamètre allant de 28 mm à 35 mm.
- être capable de faire circuler un débit d'air d'au moins 150 g/s.
- pouvoir être montée sur le tube FIA placé dans l'admission d'air après le papillon (Voir Annexe 1) et être scellée.
- pouvoir accueillir un autocollant FIA qui devra être collé et visible à des fins de contrôle.
- s'ouvrir à une pression fixe. Cette pression, en fonction de l'application, peut aller de 1 bar à 2 bars (pression relative).
- s'ouvrir à une pression fixe et reproductible (+/- 20 mbar autour de la pression relative visée).
- se bloquer en position ouverte en cas de dépassement, elle peut être réarmée en diminuant la pression dans le système d'admission d'au moins 0,8 bar au-dessous du seuil.
- avoir des ports de sortie multiples pour éviter que la sortie ne soit facilement fermée.
- fonctionner correctement sans entretien pendant une année.
- être scellée pour veiller à ce que personne ne puisse l'ouvrir sans la détruire.
- être transparente pour permettre un contrôle aisé de toute tentative de fraude.

**Validation :**

- Dix heures d'essais sur banc au moins doivent être effectuées avec trois fabricants de moteurs différents. Un rapport complet des tests validés par les fabricants de moteurs doit être fourni afin que la FIA puisse évaluer le fonctionnement de la valve.
- Deux séances d'essais au moins, d'un jour complet, doivent être effectuées avec deux constructeurs automobiles différents. Un rapport complet des tests validés par les constructeurs automobiles doit être fourni afin que la FIA puisse évaluer le fonctionnement de la valve.

**Objectives:**

The so called "Pop-off valve" must:

- limit the boost pressure on a turbocharged engine without electronic control.
- offer no disparity between all valves produced and sold to competitors.
- be sold to the competitor at a price lower than 350 euros.

**Conditions:**

The so called "Pop-off valve" must:

- work with turbocharged engines from 1.4l to 2l capacity with an air restrictor from 28mm to 35mm diameter.
- be capable of an airflow through it of at least 150 g/s.
- be able to be mounted on the FIA tube placed in the air admission after the throttle (See Appendix 1) and be sealed.
- be suitable for an FIA sticker to be glued and be visible for control.
- open at a fixed pressure. This pressure, depending on the application, could go from 1bar to 2 bar (relative).
- open at a fixed and repeatable pressure (+/- 20 mbar around the targeted relative pressure).
- lock to the open position in case of overboost, it can be rearmed by decreasing the pressure in the intake system below threshold of more than 0.8 bar.
- have multiple exit ports to avoid exit to be easily closed.
- operate correctly with no maintenance for a one year use.
- be sealed to be sure that no one can open it without destroying it.
- be transparent to allow easy check of cheating attempt.

**Validation:**

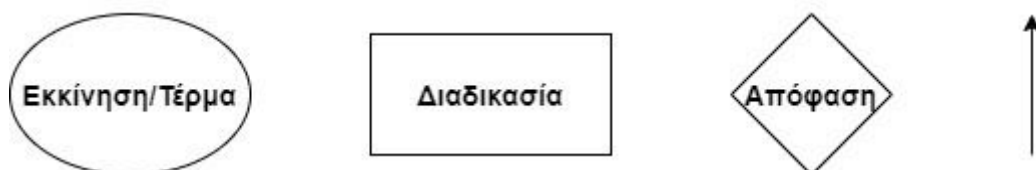
- A minimum of 10 hours of bench test with 3 different engine manufacturers must be completed. Full report of the tests validated by the engine manufacturers must be supplied in order for FIA to be able to assess level of operation of the valve.
- A minimum of 2 tests sessions of 1 complete day with 2 different car manufacturers must be completed. Full report of the tests validated by the car manufacturers must be supplied in order for FIA to be able to assess level of operation of the valve.



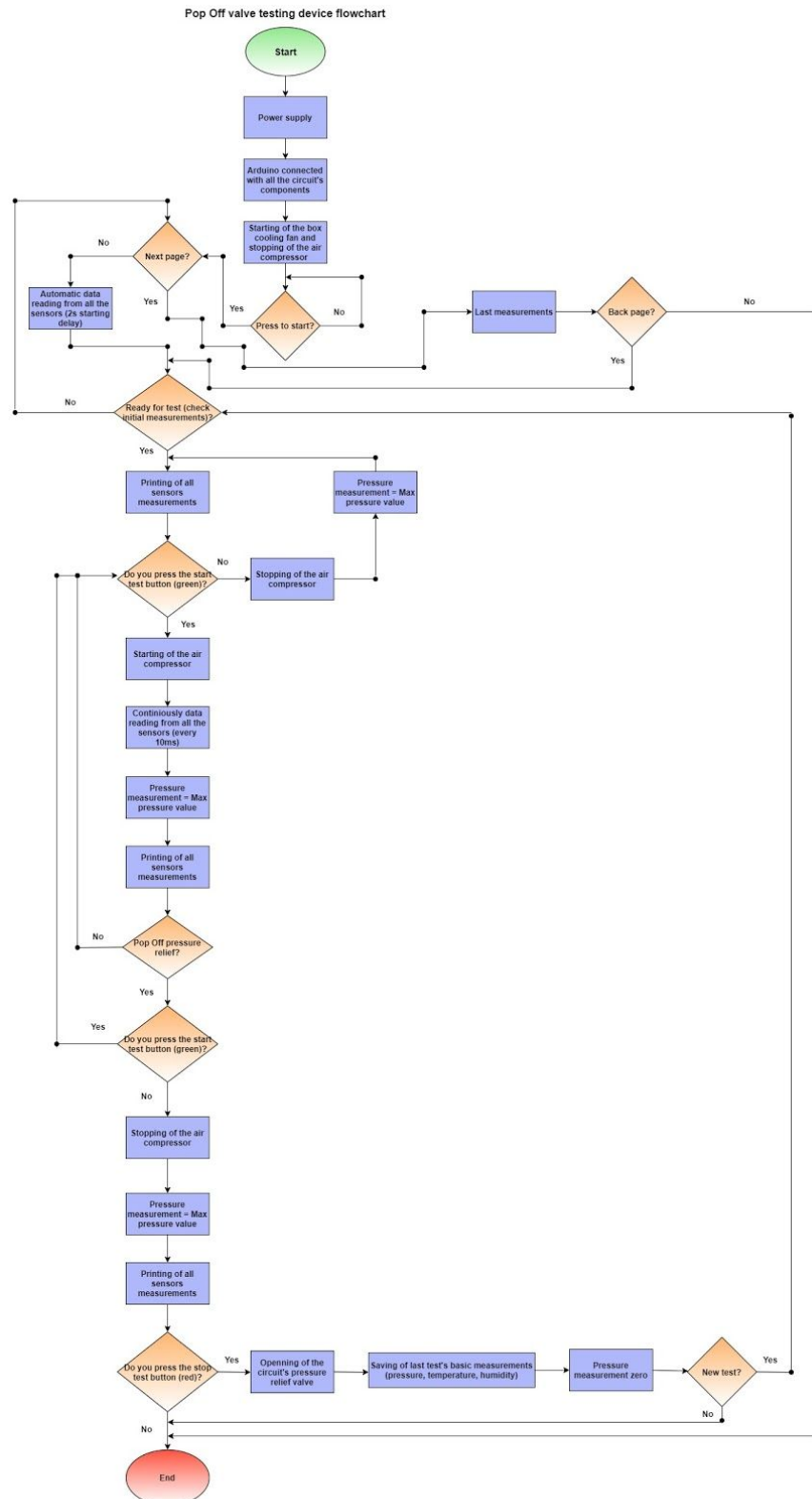


## 2.2 Διάγραμμα ροής

Με την βοήθεια του διαγράμματος ροής, αναπαρίστανται όλες οι λειτουργίες και οι διαδικασίες που εκτελεί αυτόματα ή διαθέτει προς τον χρήστη (κατ' επιλογήν) η συσκευή μέτρησης των βαλβίδων «Pop Off», η αλληλουχία των βημάτων καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συνεργάζονται τα επιμέρους εξαρτήματα μεταξύ τους, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι σε κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα βήματα εκκίνησης της συσκευής, το διαθέσιμο διαδραστικό περιβάλλον και οι επιλογές προς τον χρήστη, οι λειτουργίες κάθε εξαρτήματος και ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται οι διαδικασίες ανάλογα με τις δράσεις του χρήστη. Ο χρήστης καλείται να συνεργαστεί και να αλληλεπιδράσει με το σύγχρονο διαδραστικό περιβάλλον της συσκευής, προκειμένου να επιτευχθούν οι δοκιμές ακριβείας και να καταγραφούν οι μετρήσεις των βαλβίδων τύπου «Pop Off». Τα διαγράμματα ροής αποτελούνται από σύμβολα - σχήματα, κόμβους και τόξα. Τα σχήματα συμβολίζουν έναρξη ή λήξη διαδικασίας (οβάλ ή κύκλοι), στάδια - βήματα διαδικασίας (ορθογώνια παραλληλόγραμμα) καθώς και αποφάσεις (ρόμβοι). Τα τόξα αντίστοιχα, καθορίζουν την φορά ροής της πληροφορίας εντός του διαγράμματος, ενώ οι κόμβοι, χρησιμοποιούνται για τις αρθρώσεις των τόξων ή τις διακλαδώσεις σε κάποιες περιπτώσεις.



*Εικόνα 20. Δομικά στοιχεία διαγράμματος ροής*



Created by Ioannis Antoninis @ 2019

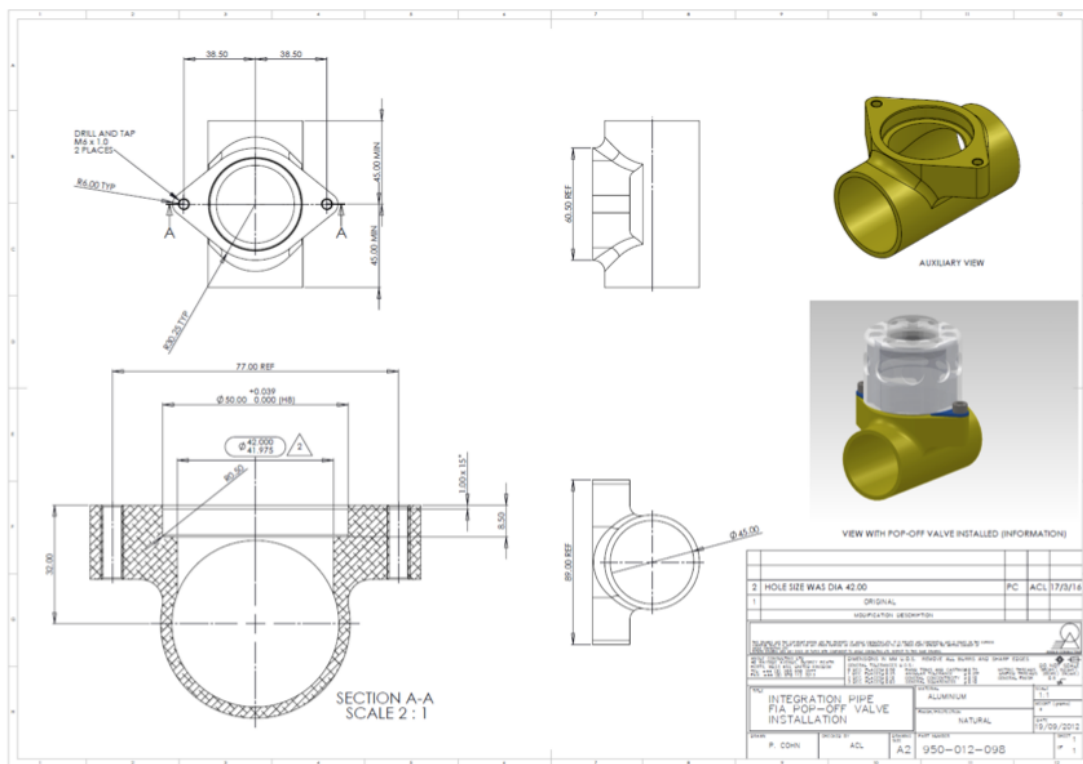
**Εικόνα 21. Διάγραμμα ροής συσκευής ελέγχου βαλβίδων τύπου «Pop Off»**

### 2.3 Διάταξη τοποθέτησης βαλβίδων «Pop Off»

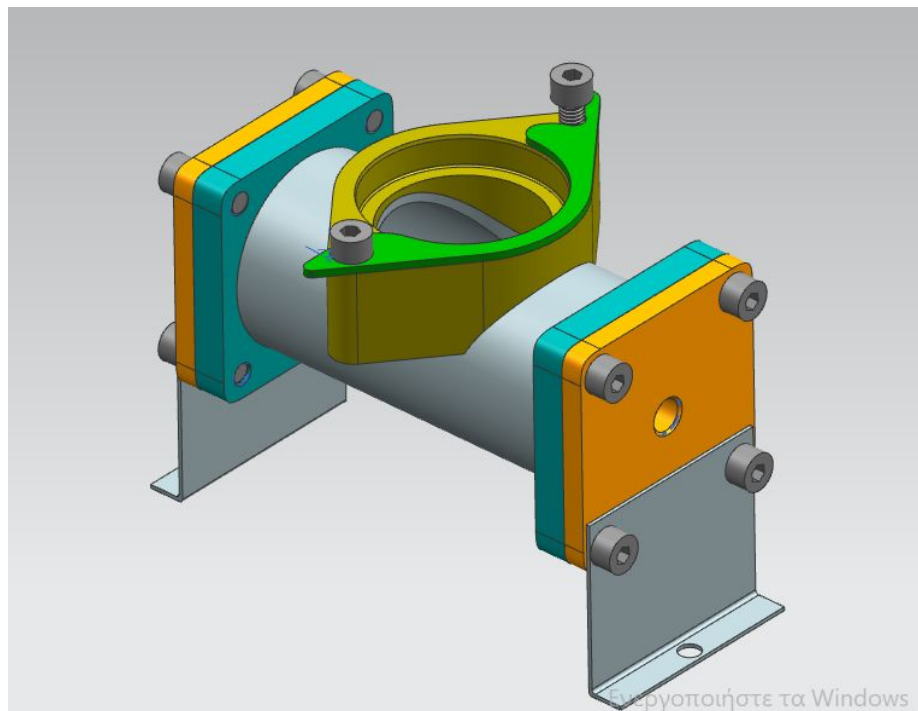
Πρόκειται για το πιο ουσιαστικό δομικό στοιχείο της συσκευής μέτρησης των βαλβίδων «Pop Off», μιας και για να δοκιμαστούν οι βαλβίδες, χρειάζεται να τοποθετηθούν πάνω σε μια βάση - ειδική κατασκευή. Η κατασκευή αυτή, αποτελείται από πολλά κομμάτια και άρα μιλάμε για μια διάταξη, η οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύμφωνα με την τεχνική λίστα 43 της «FIA» (βλέπε εικόνα 18, 19), ώστε να ικανοποιεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Επιπλέον αυτών, η διάταξη εμπλουτίστηκε και προσαρμόστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να δομηθεί τελικά ολόκληρη η συσκευή μέτρησης των βαλβίδων, μέσα σε μία βαλίτσα. Για την κατασκευή της διάταξης τοποθέτησης των βαλβίδων «Pop Off», έγινε μελέτη τόσο για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, όσο και για την αντοχή, την διαστασιολόγηση, την μέθοδο κατασκευής και την τελική συναρμολόγηση των επιμέρους δομικών στοιχείων αυτής (προσομοίωση). Ο σχεδιασμός και η προσομοίωση (CAD/CAM), έγιναν σε πρόγραμμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ για την κατασκευή των τεμαχίων, χρησιμοποιήθηκε εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου (CNC). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο βάρος της κατασκευής, στην διαστατική ακρίβεια των τεμαχίων καθώς και στην τρόπο συναρμολόγησης των επιμέρους στοιχείων, έτσι ώστε να υπάρχει ένα άριστο αποτέλεσμα και μία πλήρως λειτουργική διάταξη, χωρίς διαρροές (απώλειες πίεσης αέρα) και αστοχίες κατά την χρήση.



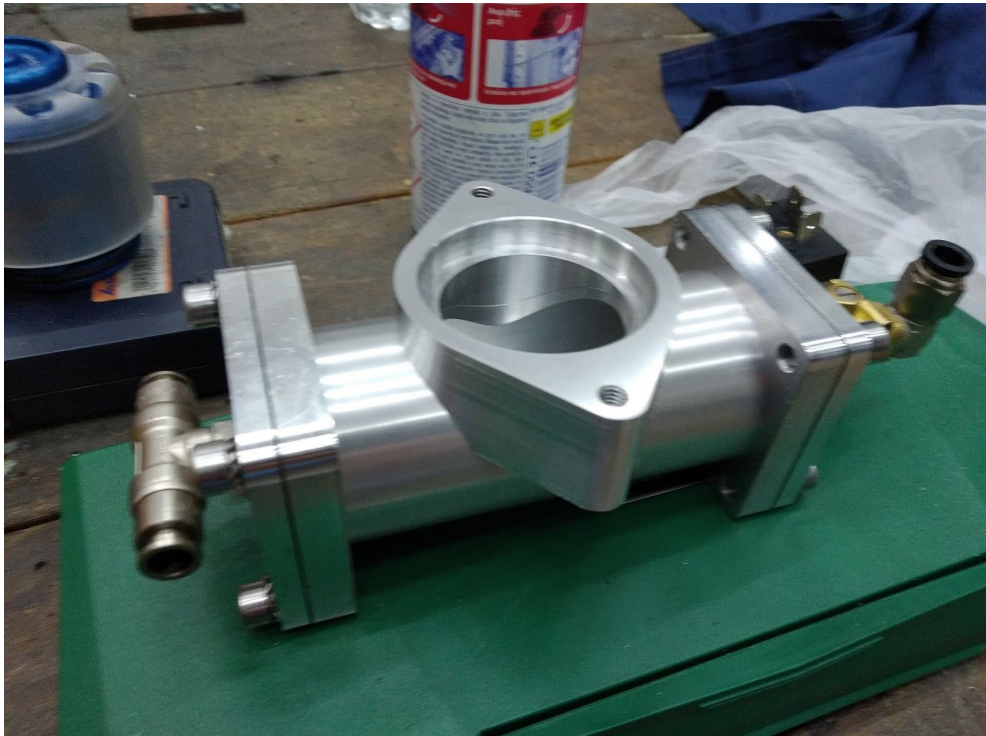
**Εικόνα 22. Τα τρία στάδια υλοποίησης ενός σχεδίου με τα σύγχρονα μέσα μηχανικής (Πηγή: [etmm-online.com](http://etmm-online.com))**



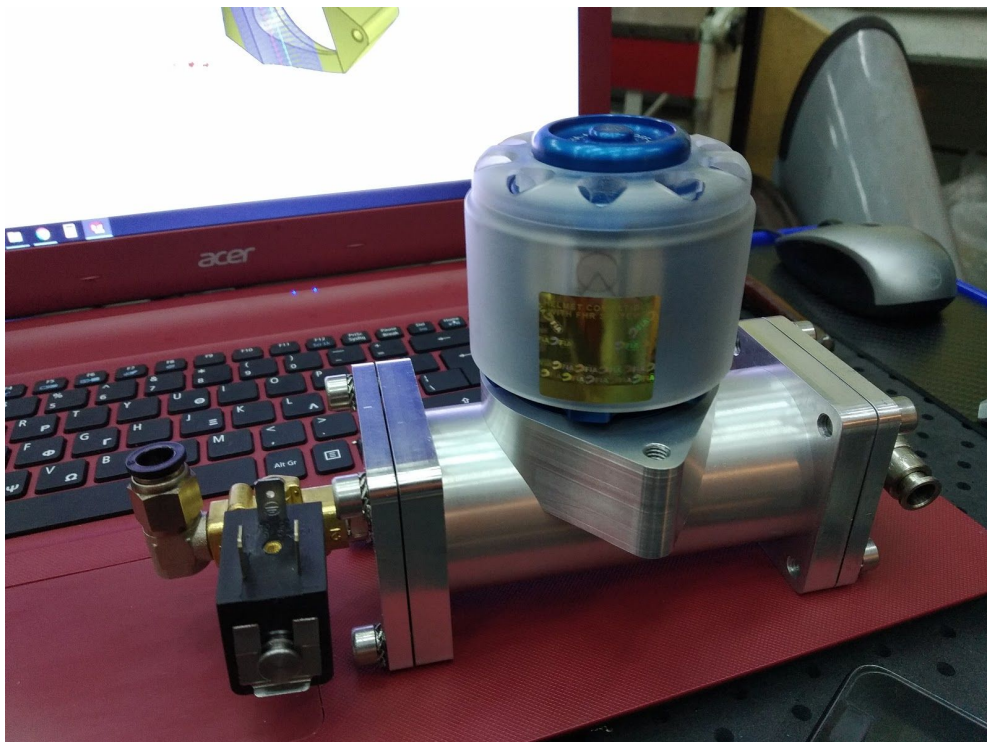
**Εικόνα 23. Μηχανολογικό σχέδιο (συνοπτικό) βασικής απαιτούμενης διάταξης τοποθέτησης βαλβίδων «Pop Off», σύμφωνα με την τεχνική λίστα 43 της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (Πηγή: fia.com)**



**Εικόνα 24. Τρισδιάστατο σχέδιο (CAD), της προσαρμοσμένης στις απαιτήσεις διάταξης τοποθέτησης βαλβίδων «Pop Off», που κατασκευάστηκε στην πράξη**



**Εικόνα 25. Στιγμιότυπο από την μερικώς συναρμολογημένη διάταξη τοποθέτησης βαλβίδων «Pop Off», κατά την διάρκεια της κατασκευής**

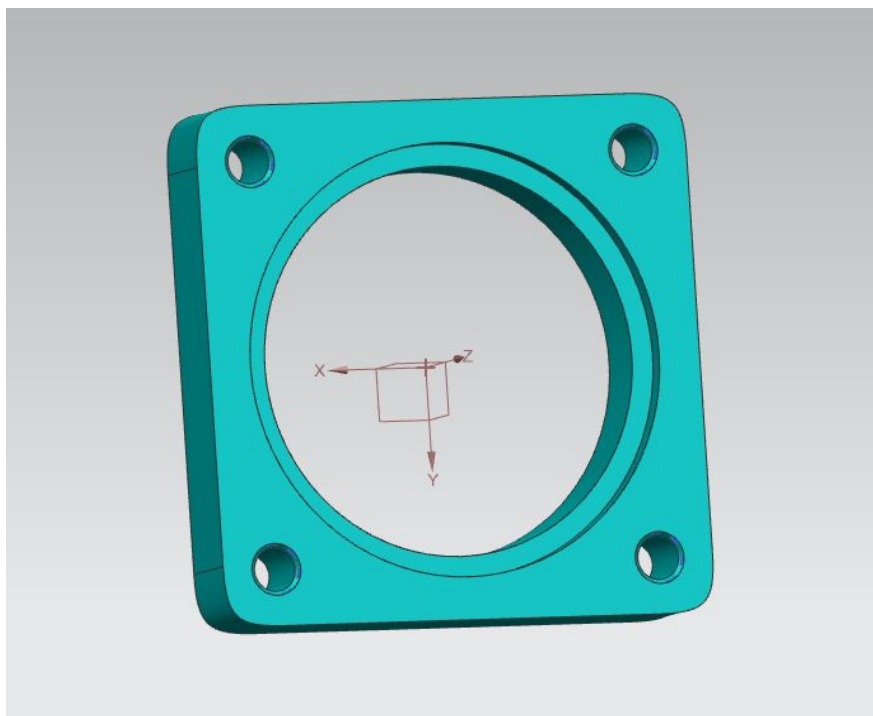


**Εικόνα 26. Στιγμιότυπο από την μερικώς συναρμολογημένη διάταξη, κατά την διάρκεια της κατασκευής, με τοποθετημένη βαλβίδα «Pop Off»**

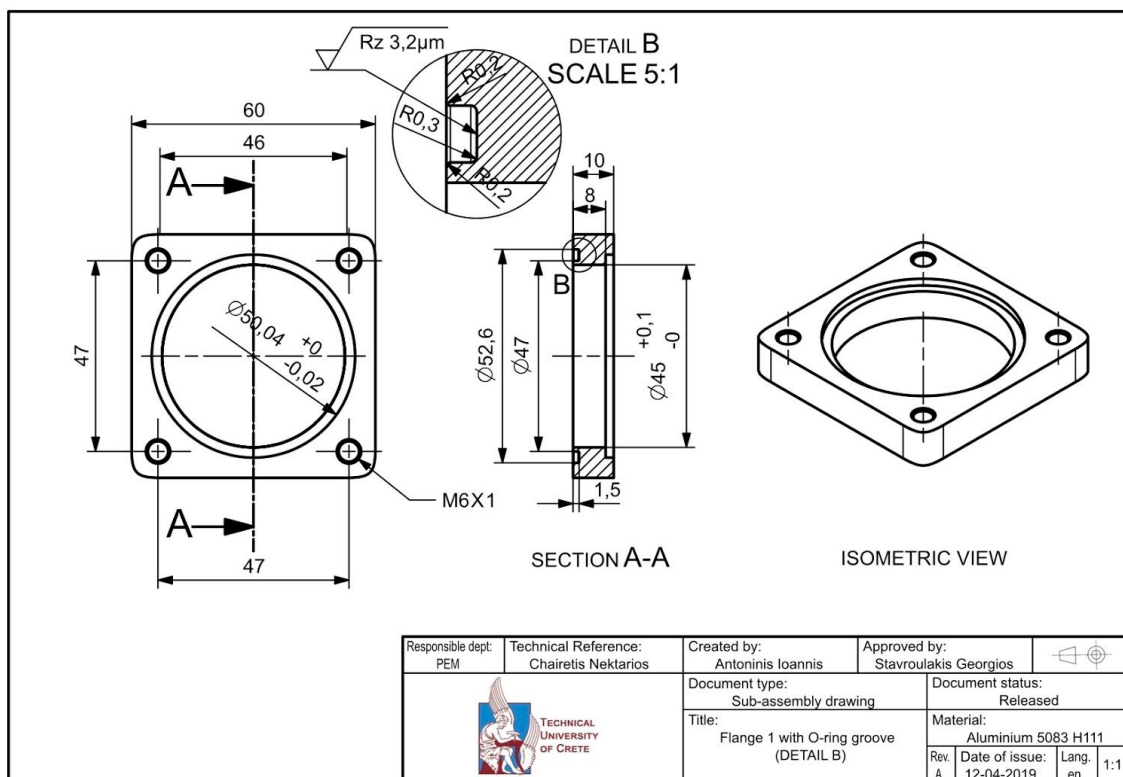


### 2.3.1 Σχεδιασμός επιμέρους τεμαχίων διάταξης

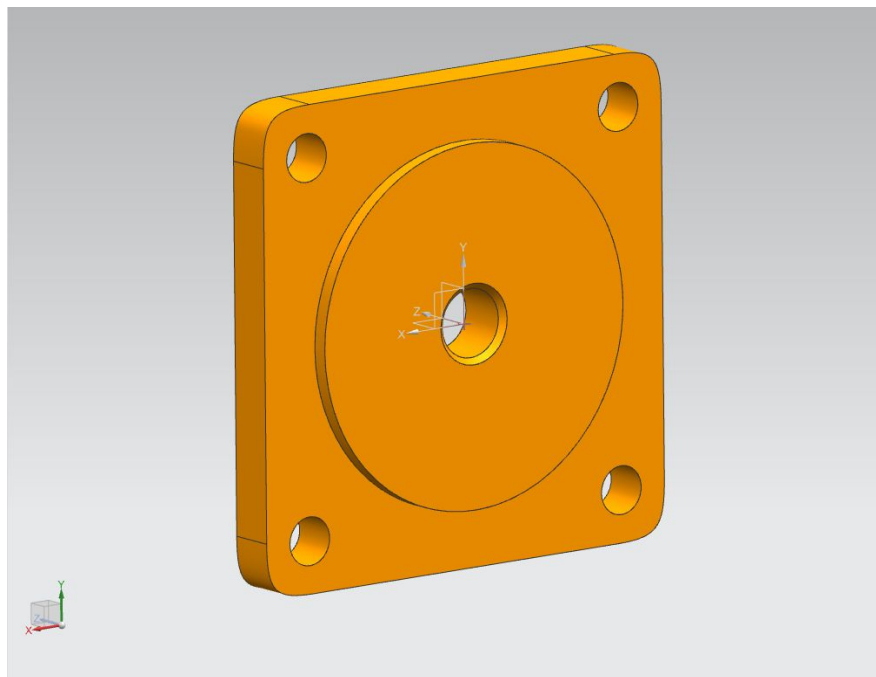
Ο σχεδιασμός με την βοήθεια λογισμικού σχεδίασης σε υπολογιστή (Computer Aided Design - CAD), μπορεί να γίνει είτε σε δισδιάστατη μορφή (2D), είτε σε τρισδιάστατη μορφή (3D). Το λογισμικό σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, ήταν προσφορά της «SIEMENS», το πακέτο «SIEMENS NX», προς το Πολυτεχνείο Κρήτης. Με την βοήθεια του σχεδιαστικού λογισμικού, εξάγονται απευθείας τα μηχανολογικά σχέδια των τεμαχίων, τα οποία μπορούν να έχουν την μορφή κατασκευαστικού ή συνοπτικού σχεδίου. Τα κατασκευαστικά σχέδια είναι δισδιάστατα σχέδια, που παρουσιάζουν αναλυτικά το κάθε τεμάχιο (σε διάφορες όψεις), με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την κατασκευή του (υλικό κατασκευής, διαστάσεις και άλλα). Τα συνοπτικά σχέδια, αποτελούν σύνθεση κατασκευαστικών σχεδίων και παρουσιάζουν στην ουσία την συναρμολόγηση των τεμαχίων (συνθέτουν μια διάταξη). Για την διάταξη ελέγχου των βαλβίδων «Pop Off», σχεδιάστηκαν αρχικά τα απαιτούμενα τεμάχια για την κατασκευή σε τρισδιάστατη μορφή, σε λογισμικό «CAD» και στην συνέχεια εξήχθησαν τα δισδιάστατα κατασκευαστικά σχέδια αυτών. Ταυτόχρονα με την τρισδιάστατη σχεδίαση των επιμέρους τεμαχίων, μελετήθηκε η συναρμολόγηση αυτών (σε τρισδιάστατη μορφή) και έγιναν οι κατάλληλες τροποποιήσεις (διαδικασία ανάδρασης), ώστε το σύνολο, να είναι το επιθυμητό (η τελική συναρμολογημένη διάταξη). Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, ο σχεδιασμός έγινε με γνώμονα τον περιορισμό του μεγέθους (πολύ προσεκτική μελέτη των διαστάσεων), δηλαδή της εξοικονόμησης χώρου και βάρους. Και αυτό διότι, κάθε τεμάχιο της διάταξης, θα πάρει την θέση του εντός ενός κουτιού (πλαστικό αδιάβροχο κουτί) με περιορισμένες διαστάσεις και όγκο και άρα η συσκευή σαν αντικείμενο συνολικά, θέλουμε να πληροί την προϋπόθεση του μικρού μεγέθους, για εύκολη μεταφορά ακόμη και με αεροπλάνο, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας.



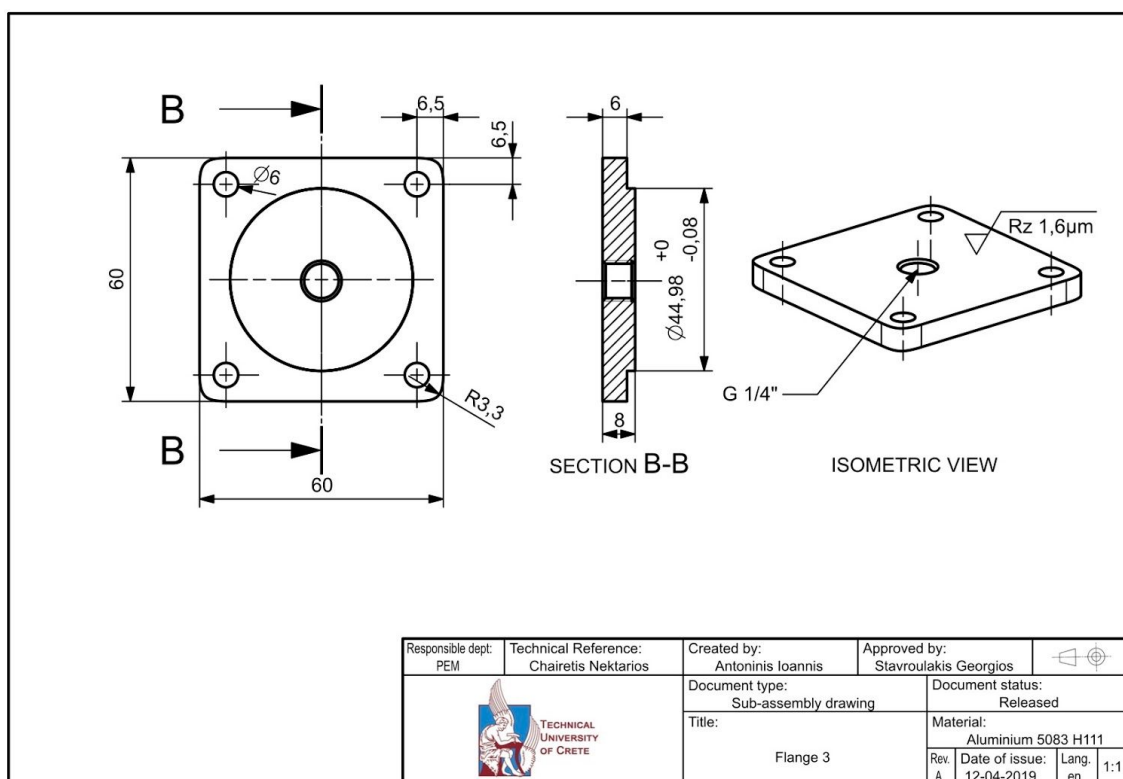
**Εικόνα 27. Τρισδιάστατο σχέδιο (CAD) της εσωτερικής φλάντζας νούμερο 1**



**Εικόνα 28. Μηχανολογικό σχέδιο της εσωτερικής φλάντζας νούμερο 1**

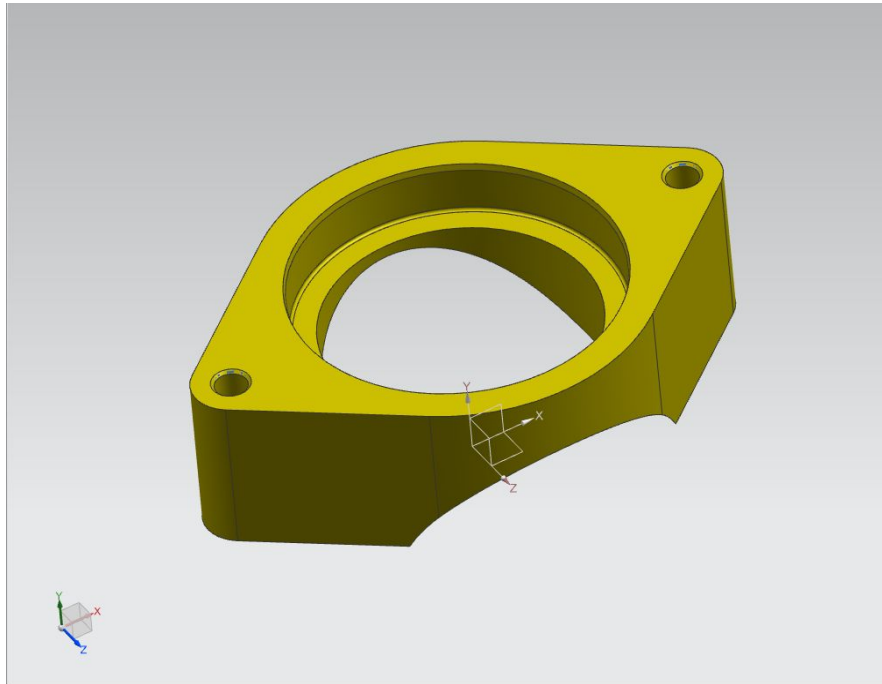


**Εικόνα 29. Τρισδιάστατο σχέδιο (CAD) της εξωτερικής φλάντζας νούμερο 3**

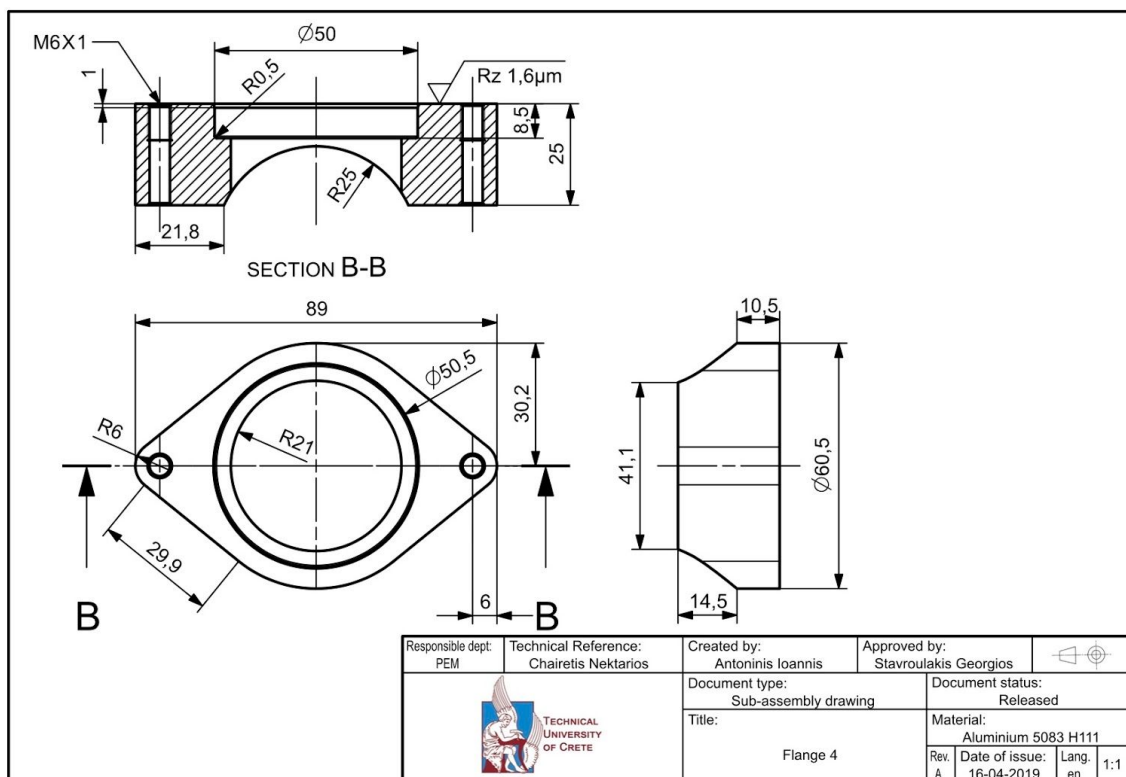


**Εικόνα 30. Μηχανολογικό σχέδιο της εξωτερικής φλάντζας νούμερο 3**

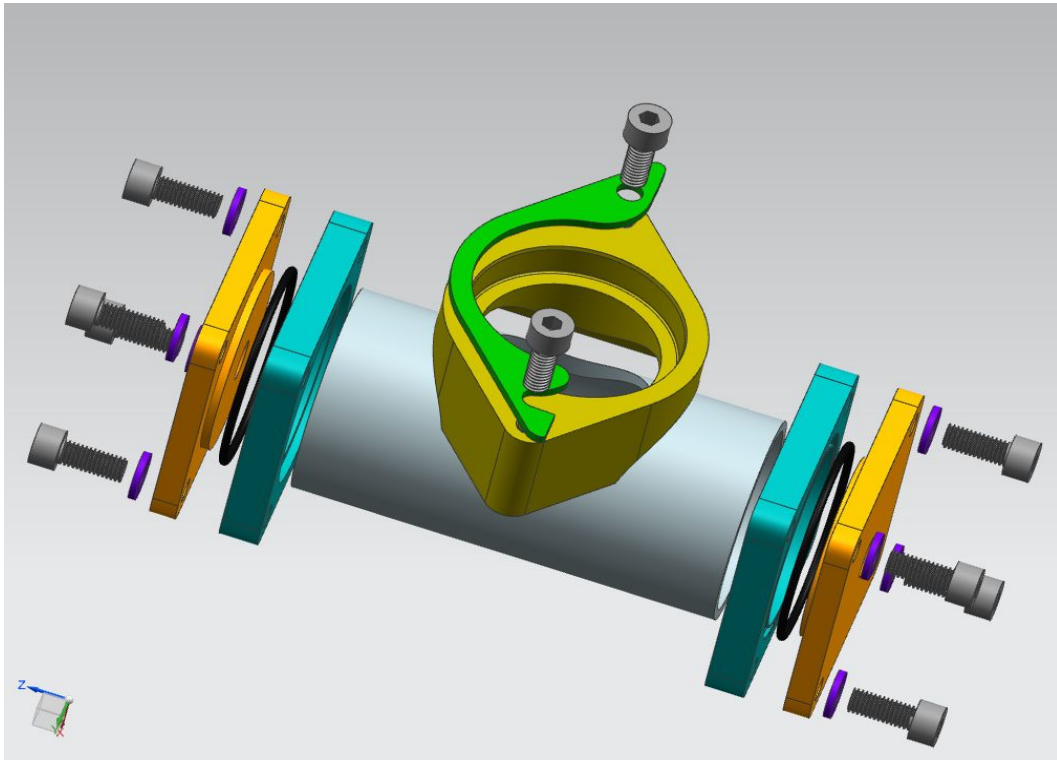




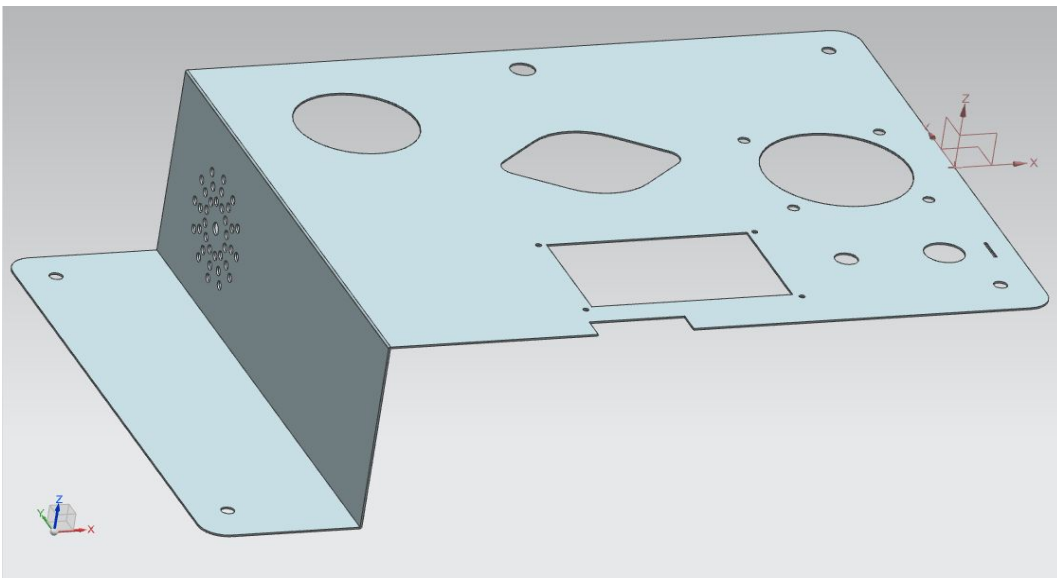
**Εικόνα 31. Τρισδιάστατο σχέδιο (CAD) της φλάντζας νούμερο 4**



**Εικόνα 32. Μηχανολογικό σχέδιο της φλάντζας νούμερο 4**



**Εικόνα 33. Τρισδιάστατο σχέδιο (CAD) της συναρμολογημένης διάταξης, σε αναπαράσταση τύπου «Exploded View»**



**Εικόνα 34. Στιγμιότυπο κατά την τρισδιάστατη σχεδίαση (CAD) του καλύμματος της διάταξης**

## 2.4 Αντίστροφη μηχανική και τρισδιάστατη προσομοίωση «CAD»

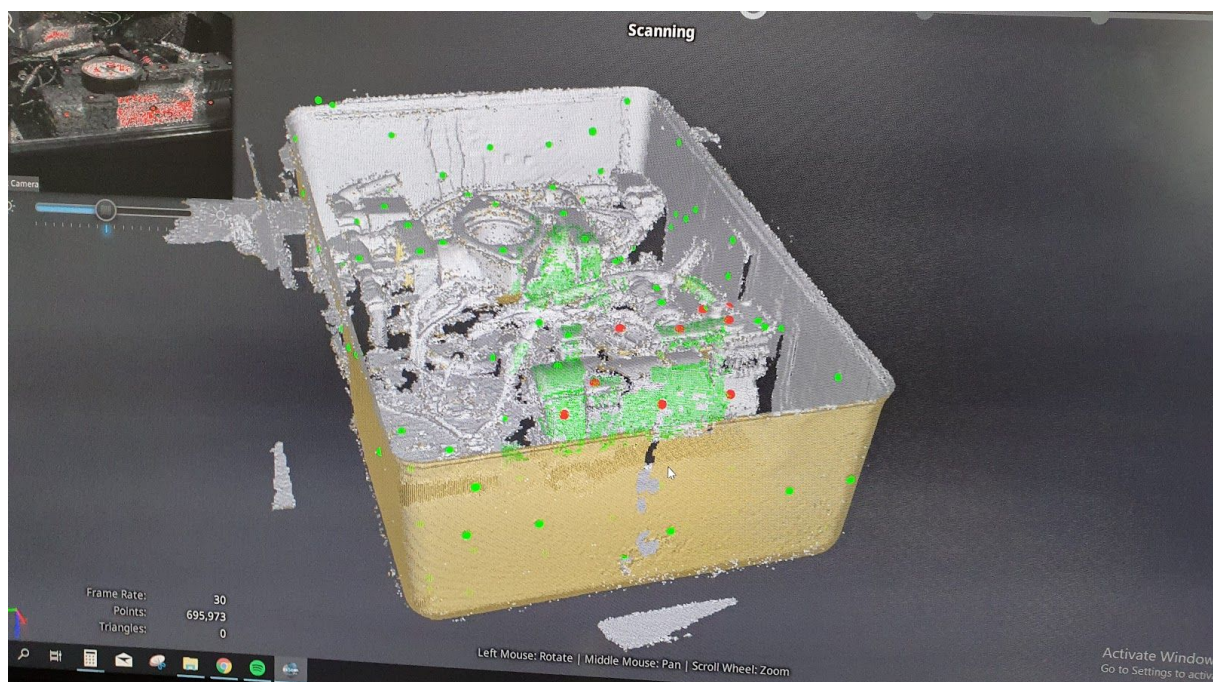
Σε προηγούμενα κεφάλαια, έγινε αναφορά στο περίβλημα της διάταξης και στις απαιτήσεις που πρέπει αυτό να ικανοποιεί (διαστάσεις, στεγανότητα κτλ.). Πιο αναλυτικά, επιλέχθηκε ένα πλαστικό στεγανό κουτί τελικά, το οποίο διατίθεται σε συγκεκριμένες διαστάσεις στην αγορά, από διάφορες εταιρείες κατασκευής. Τα κουτιά αυτού του τύπου είναι κατασκευασμένα για τέτοιες εφαρμογές (προστασία προϊόντων ή διατάξεων). Όμως, η αγορά ενός έτοιμου κουτιού το οποίο στην πράξη έχει την μορφή πλαστικής βαλίτσας, εμπεριέχει δυσκολίες προσαρμογής της διάταξης στο εσωτερικό του. Αυτό προκύπτει, από την πολυπλοκότητα των εσωτερικών επιφανειών του κουτιού, το οποίο έχει πολλές καμπύλες, οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν και να προσεγγιστούν με ευκολία. Για τον λόγο αυτό, ήταν αναγκαία η εφαρμογή μεθόδων αντίστροφης μηχανικής. Πρακτικά, με την βοήθεια εξειδικευμένων εργαλείων αντίστροφης μηχανικής (ειδικούς σαρωτές αντικειμένων), αποτυπώθηκε η βαλίτσα σε τρισδιάστατο σχέδιο στον υπολογιστή (CAD), με την μορφή νέφους σημείων. Στην συνέχεια, έγινε μια τρισδιάστατη συναρμολόγηση (CAD Assembly) μεταξύ του σαρωμένου αντικειμένου (βαλίτσα) και του καλύμματος της συσκευής (το κάλυμμα είχε σχεδιαστεί μετά από χειροκίνητες μετρήσεις) και προσαρμόστηκε με ακρίβεια το κάλυμμα στην βαλίτσα (προσομοίωση στον υπολογιστή) και άρα έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο κάλυμμα, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί στο εσωτερικό της βαλίτσας, καλύπτοντας με ακρίβεια την διάταξη. Σημειώνεται το γεγονός ότι, η διαδικασία της σάρωσης ενός αντικειμένου είναι μία σύνθετη και δύσκολη διαδικασία, διότι τα διάφορα αντικείμενα, αντανακλούν το φως και δεν βοηθούν τον σαρωτή να αποτυπώσει τα σημεία. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά καθοδηγητικά αυτοκόλλητα - σημεία καθώς και μια ειδική πούδρα που μειώνει τις αντανακλάσεις του φωτός. Κατά την διαδικασία της σάρωσης, δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά τρισδιάστατα



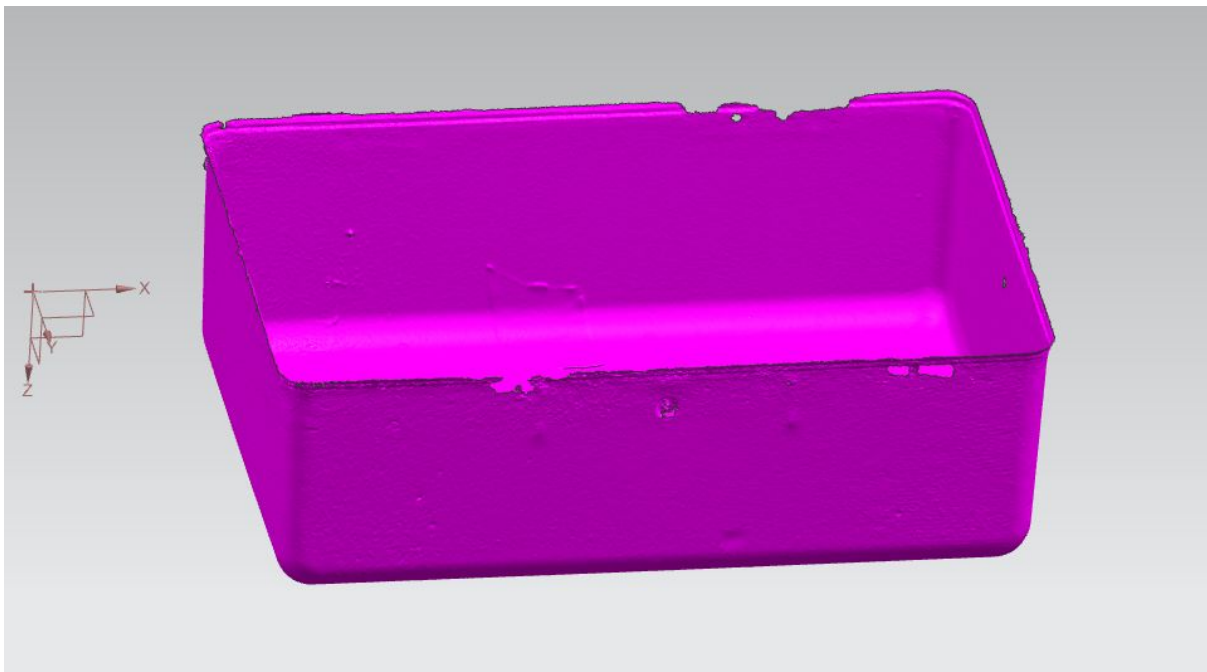
αρχεία, ένα με την διάταξη στο εσωτερικό της βαλίτσας και ένα με την βαλίτσα κενή.



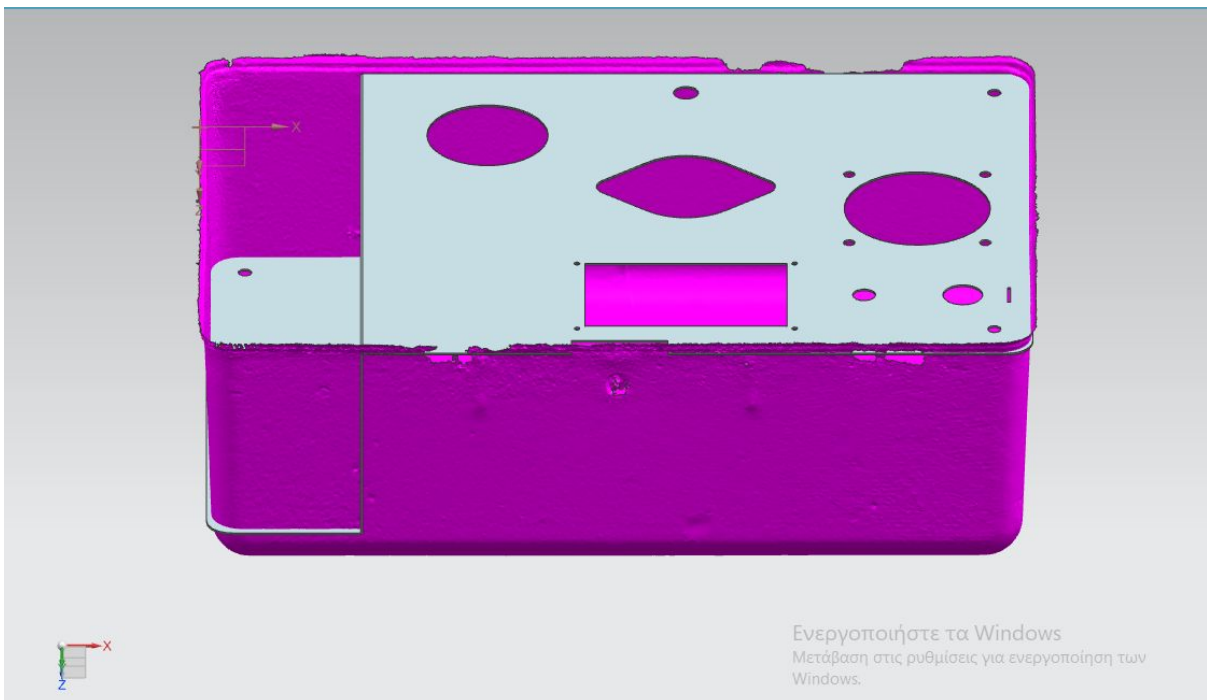
**Εικόνα 35. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία της σάρωσης με την διάταξη στο εσωτερικό της βαλίτσας**



**Εικόνα 36. Στιγμιότυπο από τον υπολογιστή κατά την διαδικασία της σάρωσης, με την διάταξη στο εσωτερικό της βαλίτσας**



**Εικόνα 37. Το σαρωμένο νέφος σημείων της βαλίτσας, όπως αποτυπώνεται στον υπολογιστή**



**Εικόνα 38. Στιγμιότυπο συναρμολόγησης κατά την διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής σε «CAD»**

## 2.5 Ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου

### 2.5.1 Περιγραφή ηλεκτρονικού κυκλώματος

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την πίεση λειτουργίας των βαλβίδων «Pop Off» με ακρίβεια και με αυτόματο τρόπο, δεν χρειάζεται μόνο η δημιουργία ενός μηχανικού συστήματος ελέγχου αλλά απαιτείται η κατασκευή ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος ελέγχου, με ότι αυτό συνεπάγεται. Με άλλα λόγια, χρειάζονται αισθητήρες, μικροηλεκτρονικά, ελεγκτές ή αλλιώς μονάδες ελέγχου, ηλεκτρονικές συσκευές και άλλα παρελκόμενα εξαρτήματα. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που δημιουργήθηκε για τον έλεγχο και την λειτουργία της συσκευής ελέγχου βαλβίδων «Pop Off», αποτελείται περιληπτικά από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Μικροελεγκτή «Arduino Uno Rev3»
- Έγχρωμη οθόνη αφής 4,3'' (Nextion display)
- Αισθητήρα μέτρησης απόλυτης πίεσης (με όριο τα 3bar της Bosch)
- Αισθητήρα μέτρησης βαρομετρικής πίεσης και υψομέτρου (BMP280)
- Αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας (DHT22)
- Ηλεκτρικό κομπρεσέρ αέρος 12V
- Ηλεκτροβαλβίδα εκτόνωσης πίεσης αέρα 12V DC
- Ποτενσιόμετρο (ρυθμιστής ταχύτητας) ηλεκτρικού κινητήρα 12V DC
- Βεντιλατέρ ψύξης 12V DC



- Υποβιβαστής τάσης από 12V DC σε 5V DC
- Ρελέ 12V DC
- Μετασχηματιστής τάσης από 240V AC σε 12V DC
- Διάφορα μπουτόν και μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα

### 2.5.2 Μελέτη τροφοδοσίας κυκλώματος

Οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κύκλωμα για να λειτουργήσει, χρειάζεται ρεύμα και άρα μια πηγή τροφοδοσίας. Στο κύκλωμα της κατασκευής για τον έλεγχο των βαλβίδων «Pop Off», απαιτούνται δύο διαφορετικά είδη ρεύματος, τάσης 12V και 5V αντίστοιχα. Όμως, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για την κατασκευή, η τροφοδοσία της συσκευής, θα πρέπει να γίνεται είτε με την βοήθεια του οικιακού δικτύου (εναλλασσόμενο ρεύμα τάσης 240V), είτε από πηγή συνεχούς ρεύματος, τάσης 12V. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω στοιχεία, επιλέχθηκε κατάλληλος μετασχηματιστής τροφοδοσίας, ο οποίος δέχεται ρεύμα τάσης 240V (εναλλασσόμενο) και το μετασχηματίζει σε ρεύμα τάσης 12V (συνεχές). Για την ασφαλή λειτουργία όλων των στοιχείων του κυκλώματος, δεν αρκεί μόνο η σωστή τάση τροφοδοσίας σε κάθε περίπτωση, είναι αναγκαίο να υπάρχει επαρκής ένταση ρεύματος (I), έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ανεπανόρθωτων βλαβών. Με άλλα λόγια, θα πρέπει η ένταση ρεύματος που παρέχει στην έξοδό του το τροφοδοτικό, να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την συνολική ένταση ρεύματος που απαιτείται για να καλυφθούν οι ανάγκες όλου του κυκλώματος. Για τον λόγο αυτό, αφού συλλέχθηκαν πληροφορίες από τα τεχνικά εγχειρίδια όλων των επιμέρους στοιχείων του ηλεκτρονικού κυκλώματος, σχετικά με τις ανάγκες έντασης ρεύματος κατά την λειτουργία αυτών (κατανάλωση), υπολογίστηκαν οι συνολικές ανάγκες του κυκλώματος σε ρεύμα (άθροισμα καταναλώσεων), όπως φαίνεται παρακάτω:

**Καταναλώσεις ρεύματος στοιχείων**

- Κομπρεσέρ αέρα ⇔  $K1 = 10.000 \text{ mA}$
- Μικροελεγκτής (Arduino Uno) ⇔  $K2 = 0,6 \text{ mA}$
- Ψηφιακές θύρες (Arduino Uno) ⇔  $K3 = 14 \times 40 = 560 \text{ mA}$
- Αναλογικές θύρες (Arduino Uno) ⇔  $K4 = - 3 \times 0,5 = - 1,5 \text{ mA}$
- Αισθητήρας μέτρησης πίεσης ⇔  $K5 = 12,5 \text{ mA}$
- Αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης/υψομέτρου ⇔  $K6 = 0,00274 \text{ mA}$
- Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας/υγρασίας ⇔  $K7 = 0,5 \text{ mA}$
- Ηλεκτροβαλβίδα εκτόνωσης πίεσης ⇔  $K8 = 750 \text{ mA}$
- Οθόνη ⇔  $K9 = 500 \text{ mA}$
- Ρελέ (x3) ⇔  $K10 = 555 \text{ mA (5V)} / 225 \text{ mA (12V)}$
- Βεντιλατέρ ψύξης ⇔  $K11 = 170 \text{ mA}$
- Υποβιβαστής τάσης ⇔  $K12 = 2 \times 5 = 10 \text{ mA}$
- Διάταξη κάρτας αποθήκευσης «Micro SD» ⇔  $K13 = 100 \text{ mA}$
- Διάταξη ρολογιού (RTC) ⇔  $K14 = 2,2 \text{ mA}$
- Διάταξη ρύθμισης ταχύτητας κομπρεσέρ ⇔  $K15 = 25 \text{ mA}$

➤ Λοιπά μικροηλεκτρονικά στοιχεία κυκλώματος  $\Rightarrow K_{16} = 6 \text{ mA}$   
**Κατανάλωση ρεύματος στο κύκλωμα των 5V**

$$\sum_{i=1}^{10} K_i = 1.173,2 \text{ mA} = 1,1732 \text{ A} = K_{5V}$$

**Κατανάλωση ρεύματος στο κύκλωμα των 12V**

$$\sum_{i=1}^7 K_i = 11.173 \text{ mA} = 11,173 \text{ A} = K_{12V}$$

**Συνολική κατανάλωση ρεύματος**

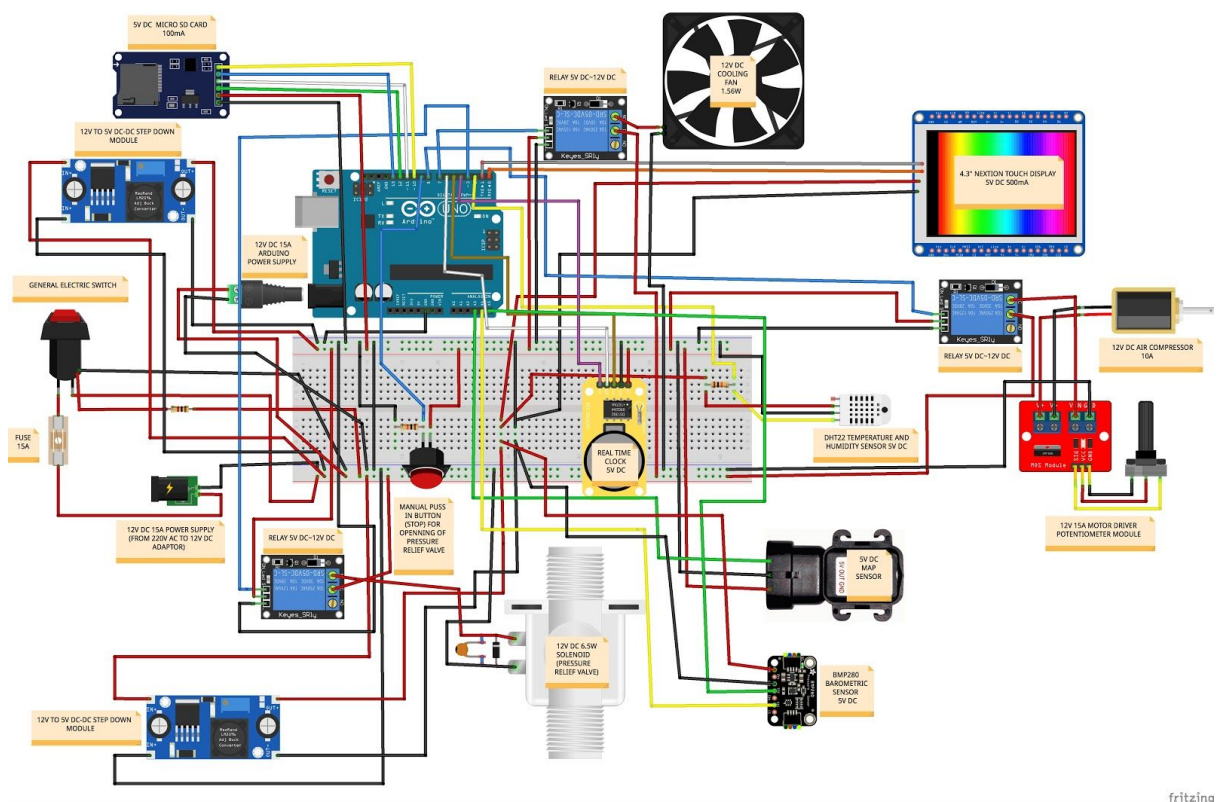
$$K_{ολ} = K_2 + K_3 + K_4 + K_{5V} + K_{12V} = 12,892 \text{ A}$$

Συντελεστής ασφαλείας = 1,16 συνεπώς,  $K_{ολ} = 14,955 \text{ A}$ .

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, επιλέχθηκε τροφοδοτικό το οποίο μετασχηματίζει τα 240 βόλτ (V) εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) δικτύου, σε 12 βόλτ (V) συνεχούς ρεύματος (DC), έντασης 15 αμπέρ (A), ώστε να καλύπτεται η συνολική κατανάλωση ρεύματος του κυκλώματος ( $K_{ολ}$ ), συμπεριλαμβανομένου του συντελεστή ασφαλείας. Με την παραπάνω μελέτη, διασφαλίζεται η υγιής λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος και των επιμέρους στοιχείων του, διότι έχουν υπολογιστεί όλες οι ανάγκες παροχής, στο μέγιστο βαθμό και επιπλέον, με την βοήθεια του συντελεστή ασφαλείας.

### 2.5.3 Αναπαράσταση ηλεκτρονικού κυκλώματος

Στο στάδιο του σχεδιασμού της συσκευής, έγινε αναπαράσταση του ηλεκτρονικού κυκλώματος με την βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης κυκλωμάτων και ηλεκτρονικών στοιχείων «Fritzing». Με τον τρόπο αυτό, αποτυπώθηκε η συνδεσμολογία μεταξύ των επιμέρους στοιχείων του κυκλώματος και έγινε μια πρόβλεψη των απαιτούμενων υλικών (μικροηλεκτρονικά, καλώδια κτλ). Τέλος, ελέγχθηκε η πληρότητα του μικροελεγκτή (Arduino Uno), όσον αφορά τις διαθέσιμες θύρες ανά είδος (ψηφιακές, αναλογικές κτλ) και επιβεβαιώθηκε η καταλληλότητα του μοντέλου, για τις ανάγκες του κυκλώματος (πλήθος διαθέσιμων θυρών).



**Εικόνα 39. Αναπαράσταση του ηλεκτρονικού κυκλώματος της συσκευής ελέγχου βαλβίδων «Pop Off», στο λογισμικό «Fritzing»**

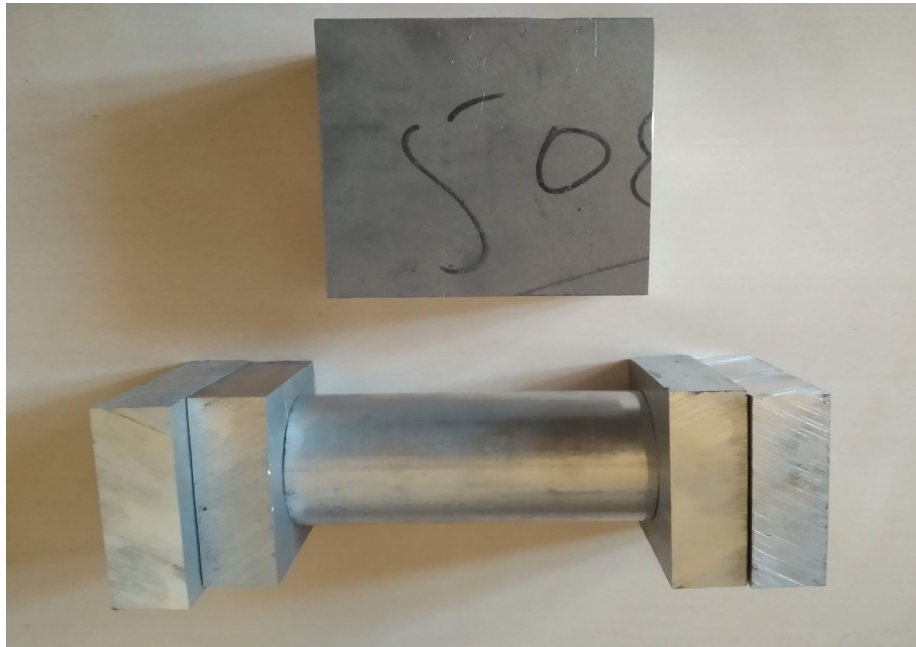
## Κεφάλαιο 3-Κατασκευή διάταξης

### 3.1 Επιλογή υλικών

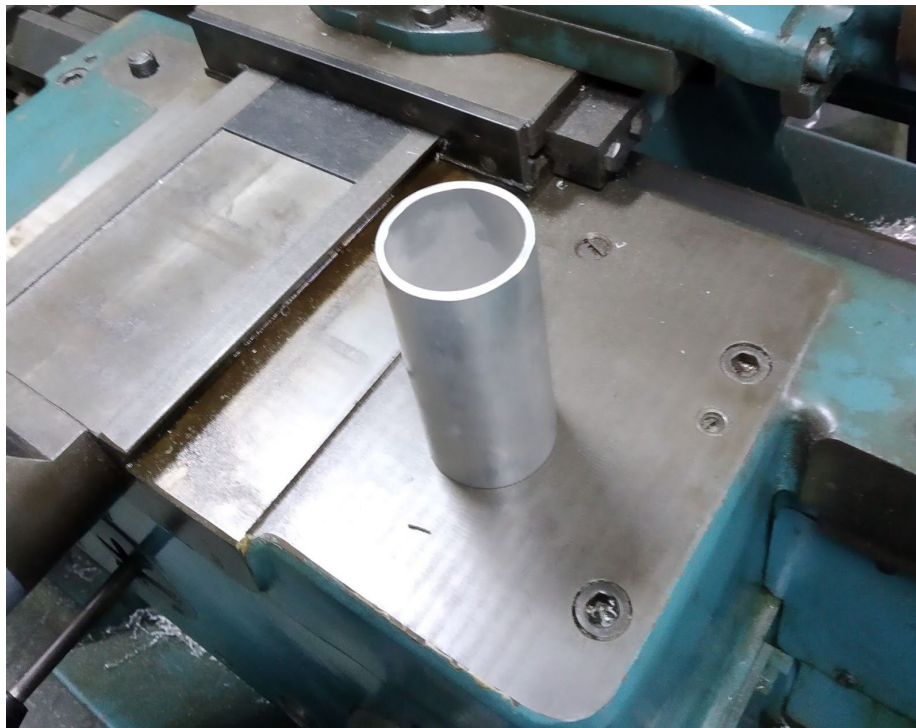
Κατά το στάδιο του σχεδιασμού, γίνεται ταυτόχρονη μελέτη για την επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην πορεία για να κατασκευαστεί κάθε εξάρτημα. Πρόκειται για μια πολύ σημαντική διαδικασία, η οποία καθορίζει πολλές παραμέτρους στο βήμα του σχεδιασμού (πάχος εξαρτημάτων, πολυπλοκότητα ανάλογη με δυνατές μεθόδους κατασκευής κτλ.), της κατασκευής (μέθοδος κατασκευής, παράμετροι κοπής κτλ.) και καθορίζει τελικά τόσο την ποιότητα του προϊόντος (αντοχή, αξιοπιστία στην χρήση κτλ.) όσο και το τελικό αποτέλεσμα συνολικά (αισθητική, βάρος κτλ.). Για την συγκεκριμένη εφαρμογή, αφού συνυπολογίστηκαν όλες οι απαιτήσεις (συμπεριλαμβανομένου και του κόστους σε λογικά πλαίσια), όπως και τα διαθέσιμα μέσα, επιλέχθηκε η χρήση κράματος αλουμινίου 5083 H111, για την κατασκευή όλων των εξαρτημάτων της διάταξης. Το κράμα αυτού του τύπου (χρησιμοποιείται κατά κόρον στην αεροπορική βιομηχανία), παρουσιάζει εξαιρετική δομή και άρα φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, χαμηλό βάρος και κόστος, με αποτέλεσμα όλα αυτά τα στοιχεία να το καθιστούν το πλέον κατάλληλο υλικό για την παρούσα κατασκευή.

### Βασικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του κράματος «Al 5083 H111», δείγματος πάχους μέχρι 6,4 mm

Σκληρότητα κατά Brinell	75 HB
Όριο διαρροής	125 MPa
Τάση εφελκυσμού (αντοχή σε εφελκυσμό)	275-350 MPa
Πυκνότητα	2.650 Kg/m <sup>3</sup>
Σημείο τήξης	570 °C
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	0,058 x 10 <sup>(-6)</sup> Ω.m



**Εικόνα 40. Τα δοκίμια κράματος αλουμινίου «Al 5083 H111», από τα οποία κατασκευάστηκε η διάταξη**



**Εικόνα 41. Το δοκίμιο κράματος αλουμινίου «Al 5083 H111», από το οποίο κατασκευάστηκε ο δοκιμαστικός σωλήνας της διάταξης**



### 3.2 Στοιχεία μηχανών

Δεδομένης της αρχής λειτουργίας της διάταξης (κύκλωμα το οποίο αυξάνει σταδιακά την πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό του), αποτελεί μείζον ζήτημα η στεγανότητα και η αντοχή αυτής (απαιτητικές συνθήκες λειτουργίας, ακρίβεια μετρήσεων και αξιοπιστία στον χρόνο). Για τον λόγο αυτό, η διάταξη σχεδιάστηκε μετά από πολύ μελέτη, με τέτοιο τρόπο ώστε να διαθέτει υψηλή στεγανότητα (περιορισμός διαρροών) και αντοχή σε μεγάλες πιέσεις (υποδομή και για μελλοντικές τροποποιήσεις λειτουργίας). Αυτό, επιτεύχθηκε με την συγκόλληση ακριβείας των σταθερών (πακτωμένων) μερών (συναρμογή φλαντζών τύπου 1 και 4 με σωλήνα) και με την χρήση στοιχείων μηχανών (O-ring, βίδες και ροδέλες ασφαλείας) στα υπόλοιπα μέρη (συναρμογή φλαντζών τύπου 3 με φλάντζες τύπου 1). Σημειώνεται στο σημείο αυτό το γεγονός ότι, ο σχεδιασμός της διάταξης με πολλαπλές φλάντζες στα άκρα του σωλήνα, έγινε προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση στον σωλήνα για τον καθαρισμό αυτού αλλά και για να είναι εύχρηστη η δομή της γενικότερα, ώστε να μπορεί να αποσυναρμολογηθεί με ευκολία για τον οποιονδήποτε λόγο (συντήρηση, επισκευή ή τροποποίηση). Στην πράξη, για να μπορεί να γίνει η χρήση των απαιτούμενων στοιχείων μηχανών, χρειάζεται μελέτη (εγχειρίδια κατασκευαστών) και προσαρμογή των σχεδίων των εξαρτημάτων (φλάντζες), ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε στοιχείου (O-ring, βίδες κτλ.). Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε μετά από αξιολόγηση των απαιτήσεων (διάμετρος σωλήνα, πάχος φλαντζών, κατεύθυνση εσωτερικής πίεσης και μέγιστη τιμή αυτής) το κατάλληλο στεγανοποιητικό ελαστικό δαχτυλίδι κατά πρότυπο «DIN / ISO 1629» (O-ring Silicone - VMO), στην συναρμογή των φλαντζών τύπου 3 με τύπου 1 και σχεδιάστηκε καταλλήλως η αυλάκωση τοποθέτησης του στοιχείου (O-ring) στις φλάντζες, λαμβάνοντας κατά νου την απαιτούμενη επιφάνεια σε τραχύτητα και τις ανοχές, για βέλτιστη στεγανοποίηση (σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή των

στεγανοποιητικών στοιχείων). Στην συνέχεια, μελετήθηκαν οι απαιτήσεις για την πρόσδεση των φλαντζών (κοχλιοσύνδεση) και επιλέχθηκαν τα κατάλληλα στοιχεία (βίδες και ροδέλες ασφαλείας), ώστε να μπορούν τα εξαρτήματα που σχεδιάστηκαν να συναρμολογηθούν με επιτυχία. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή, επιλέχθηκαν ανοξείδωτες βίδες τύπου «Allen» (ISO - DIN 912) και ροδέλες ασφαλείας τύπου «Grower spring washer» (ISO - DIN 127).

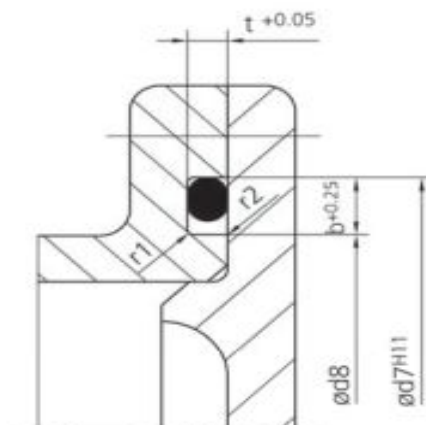
#### Static sealing, axial compression

With this type of installation, the cross section of the O-ring is compressed in axial direction.

If pressure acts from inside, the O-ring should make contact at the outer diameter of the groove and be slightly compressed about 1% to maximum 3%.

If pressure acts from outside, the O-ring should make contact at the inner diameter of the groove and be stretched slightly (up to max. 6%).

static, axial pressure from inside



**Εικόνα 42. Οι οδηγίες που προτείνει ο κατασκευαστής των «O-rings», για την εφαρμογή και την βέλτιστη τοποθέτησή τους (Πηγή: anyseals.com)**



**Εικόνα 43. Δείγμα ελαστικού στεγανοποιητικού δακτυλίου τύπου «O-ring»  
(Πηγή: G-market.gr)**



**Εικόνα 44. Δείγμα ανοξείδωτης βίδας τύπου «Allen» (Πηγή: inox-rvs.com)**



**Εικόνα 45. Δείγμα ανοξείδωτης ροδέλας ασφαλείας τύπου «Grower spring washer»  
(Πηγή: growermetal.com)**

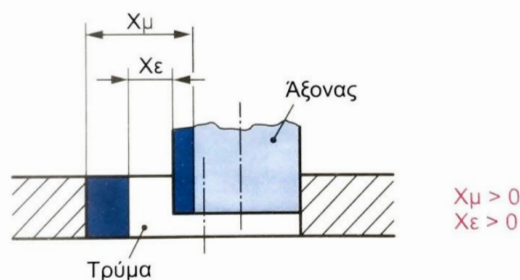


**Εικόνα 46. Τα κύρια μέρη της διάταξης, πριν την συναρμολόγησή τους**

### 3.3 Ανοχές και Ποιότητα Επιφάνειας

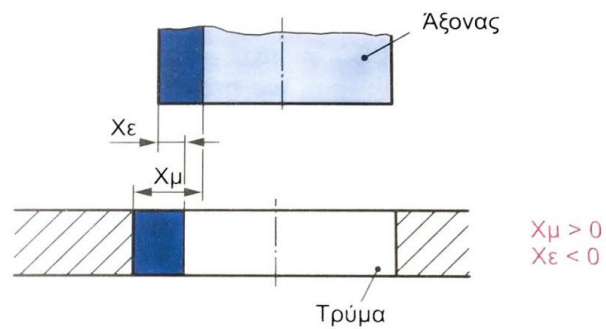
Για να μπορέσουν τελικά να συνδεθούν όλα τα εξαρτήματα μεταξύ τους και να υπάρχει τέλεια συναρμογή κατά το στάδιο της συναρμολόγησης, θα πρέπει να έχουν δημιουργηθεί οι κατάλληλες ανοχές μεταξύ των τεμαχίων, στο βήμα του σχεδιασμού. Ταυτόχρονα, για να υπάρξει άριστη και εύκολη συναρμογή, θα πρέπει η τραχύτητα των επιφανειών και άρα η ποιότητα αυτών, να είναι η κατάλληλη. Με τον όρο ανοχές, περιγράφουμε το κενό ή αλλιώς την χάρη που έχουν μεταξύ τους τα εξαρτήματα, όταν συνδέονται μεταξύ τους. Αντίστοιχα, με τον όρο τραχύτητα της επιφάνειας, αναφερόμαστε στις ανωμαλίες που παρουσιάζει αυτή, σύμφωνα με τις οποίες προκύπτει και ο συντελεστής τριβής της. Στην παρούσα εφαρμογή, οι ανοχές σχεδιάστηκαν ώστε η συναρμογή μεταξύ της φλάντζας νούμερο 4 και της προς έλεγχο βαλβίδας τύπου «Pop Off» να είναι αμφίβολης σύσφιξης και ελεύθερης σύσφιξης μεταξύ όλων των υπόλοιπων εξαρτημάτων. Όσον αφορά την τραχύτητα των επιφανειών, αυτή διαμορφώθηκε όμοια σε όλες τις φλάντζες, σύμφωνα με το άνω όριο τραχύτητας ( $R \leq 3,2 \mu\text{m}$ ) του κατασκευαστή των ελαστικών στεγανοποιητικών δακτυλίων (O-ring) μιας και οι βαλβίδες που δοκιμάζονται, διαθέτουν και αυτές «O-ring».

Στην ελεύθερη συναρμογή ο άξονας περιστρέφεται ελεύθερα μέσα στο τρύμα. Στο [σχήμα 11.4](#) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της συναρμογής αυτής. Στην ελεύθερη συναρμογή η ελάχιστη χάρη δεν πρέπει να είναι αρνητική.



**Σχήμα 11.4** Ελεύθερη συναρμογή

**Εικόνα 47. Σχηματική αποτύπωση της ελεύθερης συναρμογής με επεξήγηση**  
(Πηγή: Μηχανολογικό Σχέδιο, Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, 2η Έκδοση, Τζιόλα 2014)



**Σχήμα 11.5** Συναρμογή αμφίβολης σύσφιξης

**Εικόνα 48. Σχηματική αποτύπωση της συναρμογής αμφίβολης σύσφιξης**  
(Πηγή: Μηχανολογικό Σχέδιο, Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, 2η Έκδοση, Τζιόλα 2014)



### 3.3.1 Ανάλυση ανοχών και συναρμογών διάταξης

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (3.3), συναντώνται δύο είδη συναρμογών ανάλογα με τις ανοχές μεταξύ των τεμαχίων της διάταξης. Ειδικότερα, οι φλάντζες νούμερο 3 με τις φλάντζες νούμερο 1, είναι σχεδιασμένες ώστε να έχουν «Ελεύθερη» συναρμογή, ενώ η φλάντζα νούμερο 4 με την βαλβίδα προς έλεγχο, παρουσιάζουν συναρμογή «Αμφίβολης σύσφιξης». Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκαν οι ανοχές και άρα οι διαστάσεις των εξαρτημάτων, ώστε να επιτευχθούν οι συναρμογές που αναφέρθηκαν προηγουμένως:

Διάμετρος φλάντζας νούμερο 3 = 44,90 → 44,98 mm

Εσωτερική διάμετρος φλάντζας νούμερο 1 = 45,00 → 45,10 mm

- $X_e = 45,00 - 44,98 \text{ mm} = 0,02 \text{ mm} > 0$   
⇒ Ελεύθερη
- $X_\mu = 45,10 - 44,90 \text{ mm} = 0,20 \text{ mm} > 0$

Διάμετρος βαλβίδας τύπου «Pop Off» = 49,87 → 50,49 mm

Εσωτερική διάμετρος φλάντζας νούμερο 4 = 50,00 → 50,04 mm

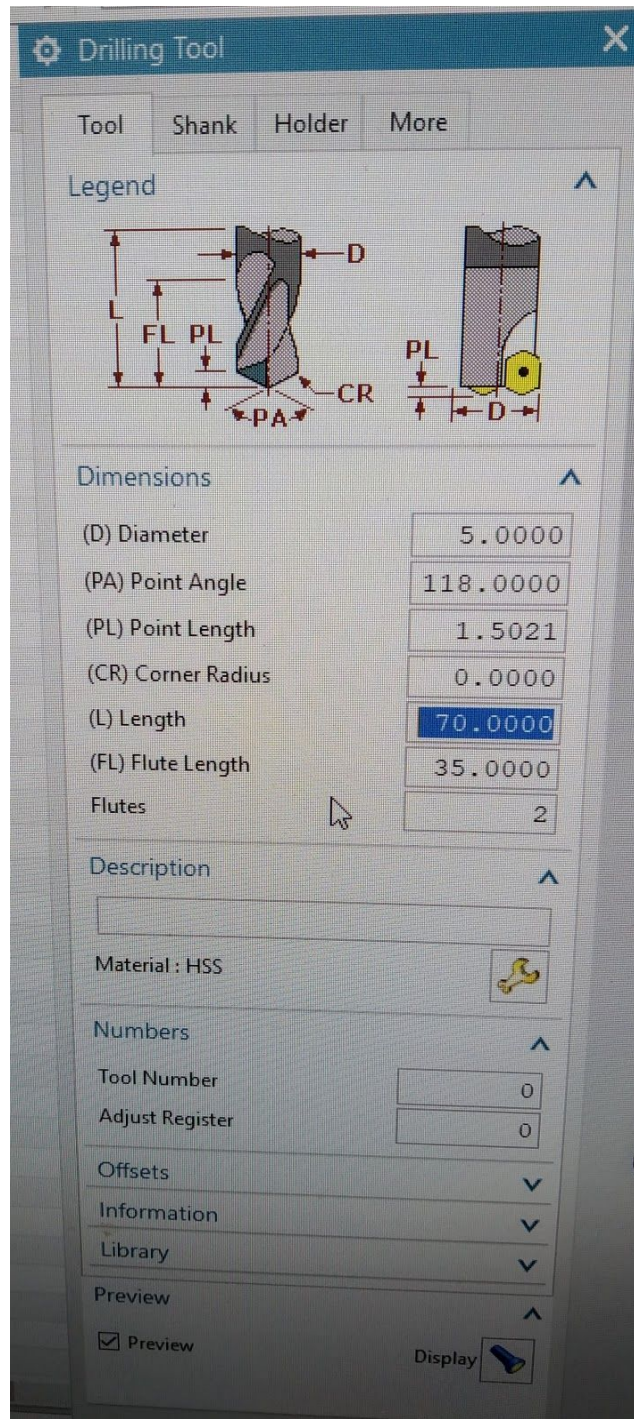
- $X_e = 50,00 - 50,49 \text{ mm} = - 0,49 \text{ mm} < 0$   
⇒ Αμφίβολης σύσφιξης
- $X_\mu = 50,04 - 49,87 \text{ mm} = 0,17 \text{ mm} > 0$

### 3.4 Προσομοίωση κατεργασιών στον Η/Υ (CAM)

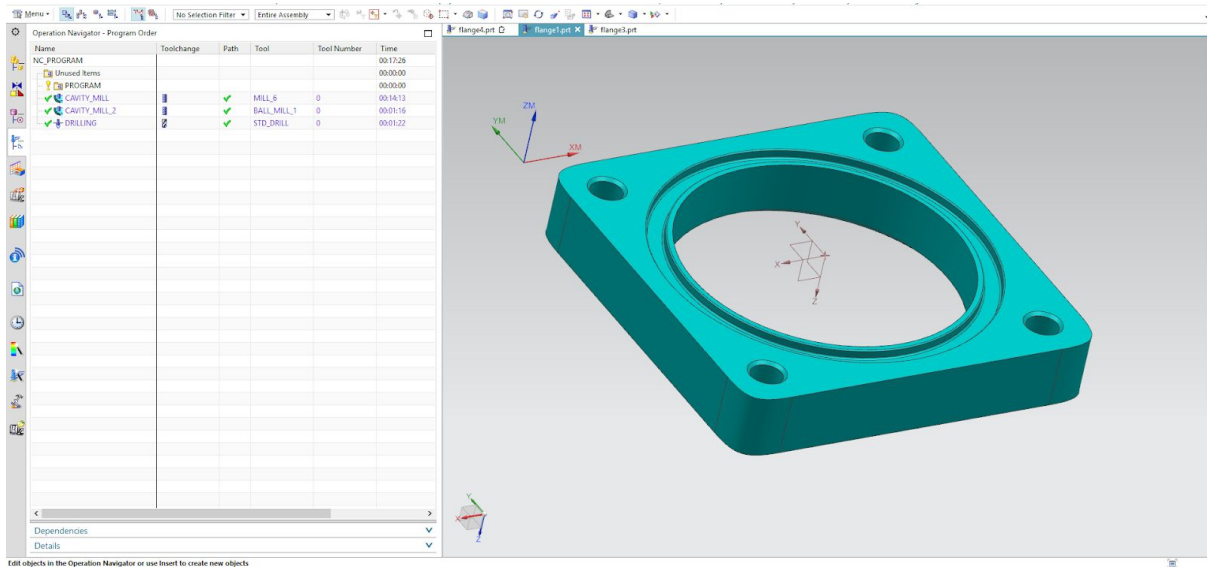
Αφού εκτελεστούν όλα τα στάδια που καταγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και επομένως μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της κατασκευής (CAD), το επόμενο βήμα πριν την εξαγωγή κώδικα εργαλειομηχανής, είναι η προσομοίωση στον ηλεκτρονικό υπολογιστή των κατεργασιών κοπής των τεμαχίων (προσομοίωση κατασκευής). Με την βοήθεια του σχεδιαστικού πακέτου της «SIEMENS» (SIEMENS NX Computer Aided Manufacturing), έγινε η προσομοίωση κατασκευής, η οποία επί της ουσίας, είναι προσομοίωση των μεθόδων (κοπή σε κέντρο κατεργασίας ψηφιακής καθοδήγησης - CNC) και των συνθηκών κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση ανά δόντι, βάθος κοπής κτλ.) για κάθε τεμάχιο ξεχωριστά (μέσα από στάδια), ώστε να προβλεφθούν τυχόν προβλήματα και να γίνει στην συνέχεια ασφαλής εξαγωγή του κώδικα για το μηχάνημα κοπής (μηχανή αριθμητικού ελέγχου - CNC). Μια προσομοίωση κατασκευής (Manufacturing) σε υπολογιστή, περιλαμβάνει όλα τα στάδια κοπής, από το ακατέργαστο δοκίμιο (χονδροειδής όγκος μετάλλου) μέχρι το τελικό τεμάχιο (ξεχόνδρισμα έως φινίρισμα). Ακόμη, με την εκτέλεση της προσομοίωσης κατασκευής στον υπολογιστή, προσδιορίζονται τα απαιτούμενα κοπτικά εργαλεία και ο χρόνος κοπής. Πρόκειται λοιπόν για ένα πολύ σημαντικό βήμα μιας και δίνεται η δυνατότητα με τον τρόπο αυτό, πλήρους οπτικοποίησης της διαδικασίας κοπής, σε πραγματικές συνθήκες και πέραν αυτού, αντλούνται σημαντικές πληροφορίες και δεδομένα για τις κατεργασίες και αναπαράγεται τελικά αυτόματα (εξάγεται από το πρόγραμμα) ο κώδικας σε γλώσσα «G», για την μηχανή κοπής (μηχανή αριθμητικού ελέγχου - Computer Numerical Control).

Για την προσομοίωση της κατασκευής των τεμαχίων στον υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες, δύο διαφορετικά κονδύλια κοπής (κοπτικά εργαλεία), ένα για το ξεχόνδρισμα και ένα για το φινίρισμα των επιφανειών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικής διαμέτρου

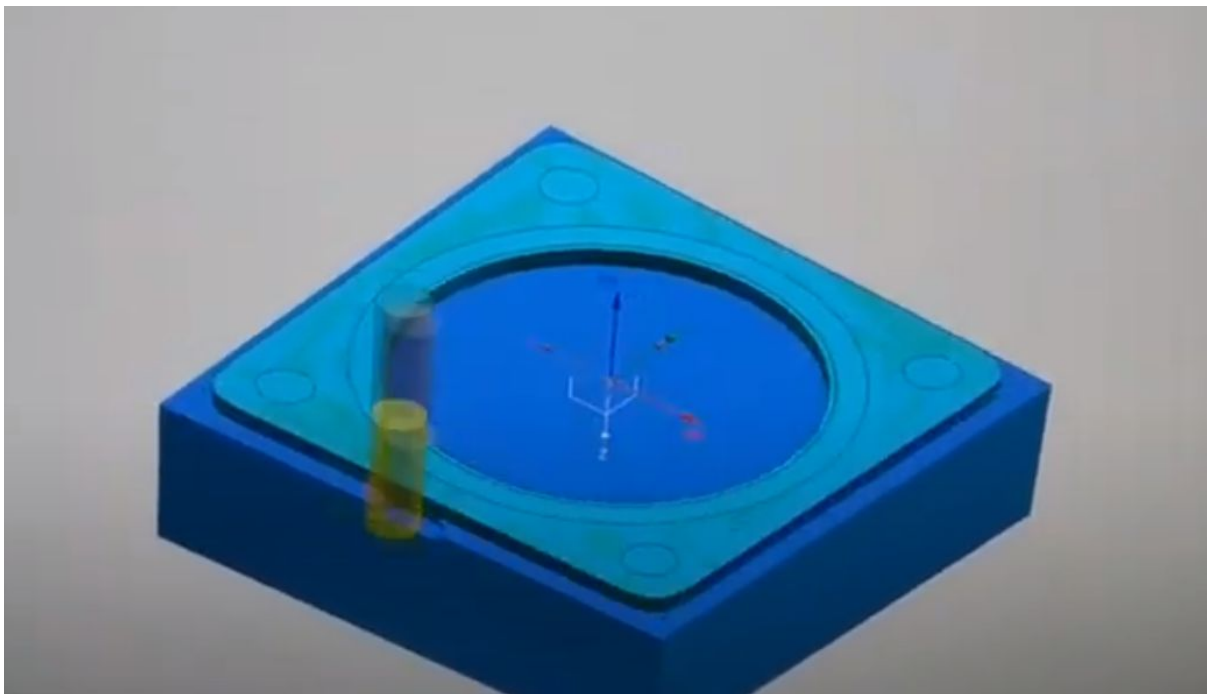
τρυπάνια (κοπτικά εργαλεία), για την διάνοιξη των οπών στις φλάντζες (οπές στις οποίες διαμορφώθηκε σπείρωμα με χειροκίνητο τρόπο).



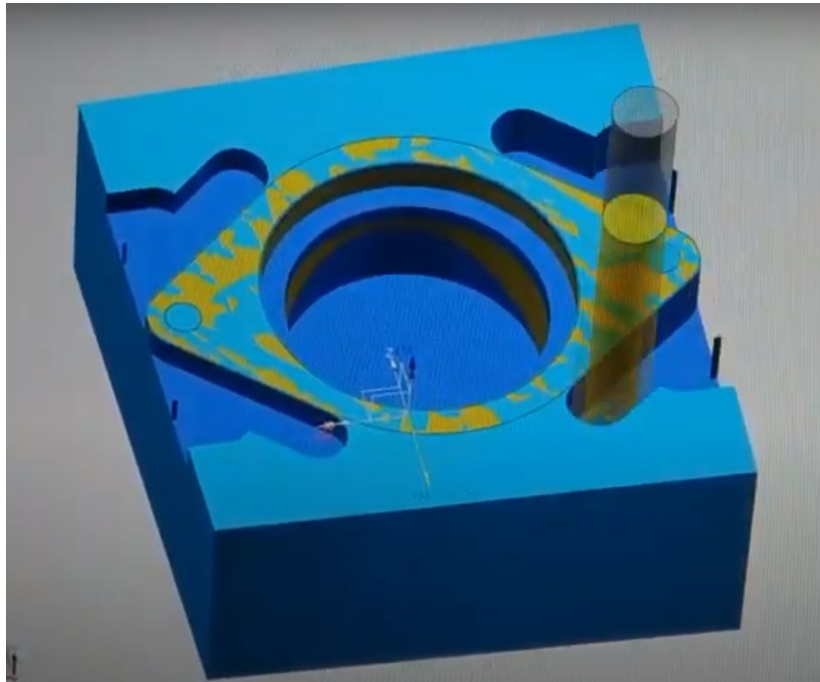
**Εικόνα 49. Η διαδικασία της εισαγωγής των δεδομένων κοπτικού εργαλείου (τρυπάνι), στο «CAM»**



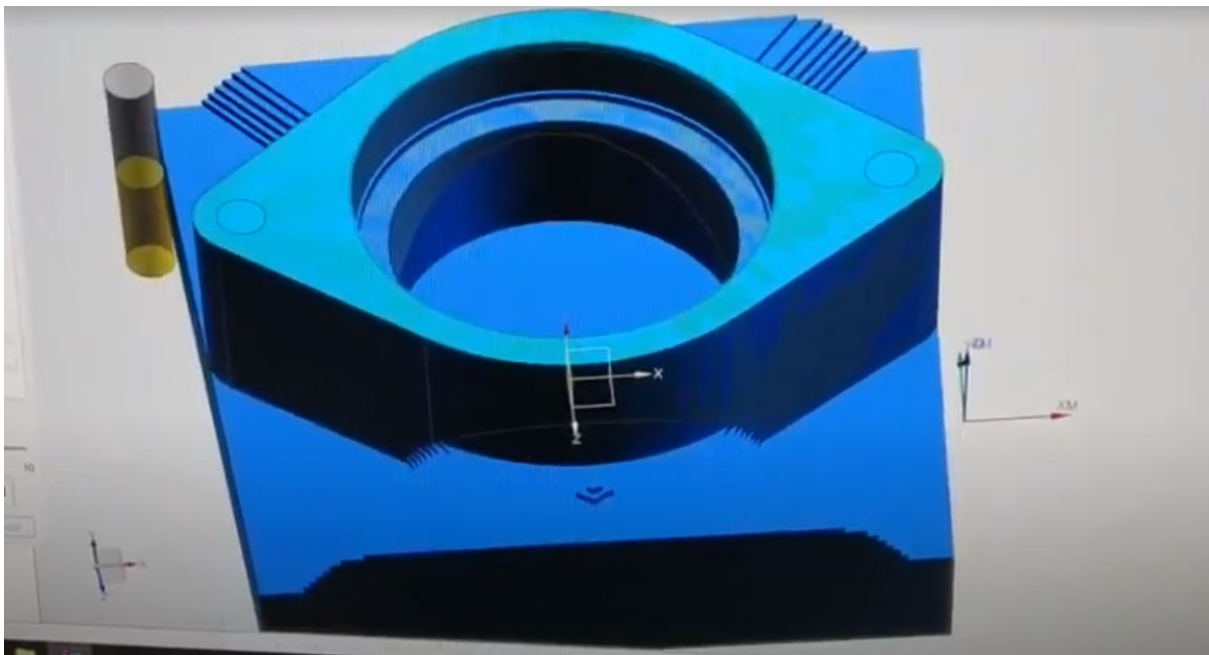
**Εικόνα 50. Στιγμιότυπο κατά την προσομοίωση κατασκευής (CAM), όπου διακρίνονται αριστερά κάποια δεδομένα των κατεργασιών (χρόνοι διάρκειας κατεργασιών) για την φλάντζα νούμερο 1**



**Εικόνα 51. Στιγμιότυπο της προσομοίωσης κατασκευής (CAM) της φλάντζας νούμερο 1 (διαδικασία ξεχονδρίσματος)**



**Εικόνα 52. Στιγμιότυπο της προσομοίωσης κατασκευής (CAM) της φλάντζας νούμερο 4 (διαδικασία ξεχονδρίσματος)**



**Εικόνα 53. Στιγμιότυπο της προσομοίωσης κατασκευής (CAM) της φλάντζας νούμερο 4 (διαδικασία φινιρίσματος)**



### 3.5 Εξαγωγή κώδικα εργαλειομηχανής

Εφόσον ολοκληρώθηκε με επιτυχία η προσομοίωση κατασκευής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (CAM) για κάθε εξάρτημα της διάταξης, ακολούθησε η εξαγωγή του κώδικα που διαβάζει το κέντρο κατεργασίας ψηφιακής καθοδήγησης ή αλλιώς η εργαλειομηχανή κοπής και κατασκευής των τεμαχίων. Όλες οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου (CNC), προγραμματίζονται με κώδικα γραμμένο σε γλώσσα «G». Τα προγράμματα προσομοίωσης κατασκευής σε υπολογιστή (CAM), έχουν την δυνατότητα εξαγωγής του κώδικα (συντάσσουν αυτόματα) για κάθε κατεργασία και για κάθε τεμάχιο ξεχωριστά. Έτσι, με τον τρόπο αυτό μεταφράστηκαν μέσω του λογισμικού προσομοίωσης οι διαδικασίες κοπής σε εντολές (κώδικα) και δημιουργήθηκαν τα αρχεία κώδικα, ώστε να προγραμματιστεί το κέντρο κατεργασίας ψηφιακής καθοδήγησης (CNC) και να υλοποιηθούν τελικά οι εργασίες που απαιτούνται στα δοκίμια κράματος αλουμινίου. Πολλές φορές βέβαια στην πράξη, ο χειριστής του μηχανήματος χρειάζεται να κάνει κάποιες τροποποιήσεις χειροκίνητα στον κώδικα σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να τον ταιριάξει απόλυτα με το μηχάνημα ή να ρυθμίσει διάφορες παραμέτρους (τις οποίες το λογισμικό προσομοίωσης ορίζει αυτόματα), μέσα από την εμπειρία του.

```

PROGRAM (MEM) 000025 N00000001
X16.2 Y0. Z-1.698 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-2.248 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-2.798 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-3.347 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-3.897 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-4.447 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-4.997 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-5.546 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-6.096 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-6.646 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-7.195 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-7.745 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-8.295 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-8.844 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-9.394 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-9.944 I-1. J0. ;
X16.2 Y0. Z-10.494 I-1. J0. ;
X16.197 Y0.073 Z-10.5 R1. ;
X16.197 Y0.073 I-0.997 J-0.073 F200. ;
X16.2 Y0. R-1. ;
X16.2 Y0. I-16.2 J0. ;
X10.2 Y6. R6. ;
G01 Y0. ;
G00 Z25. ;
X16.5 ;
Z10. ;
ENTER Oxxx AND F4 FOR BG EDIT
RUNNING RAPID 5%

```

Εικόνα 54. Ο κώδικας που συντάχθηκε στο «CAM», καθώς διαβάζεται από το «CNC»



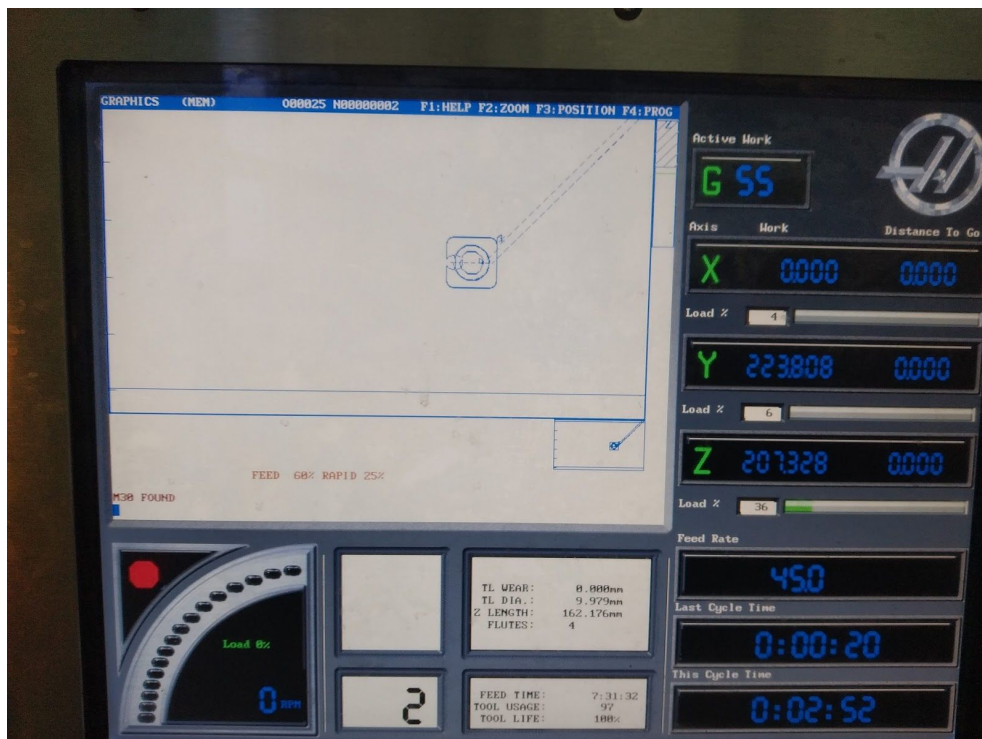
### 3.6 Κατεργασίες μετάλλων

Πρόκειται ουσιαστικά για το πρώτο βήμα υλοποίησης της κατασκευής. Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι μελέτες και ο σχεδιασμός της διάταξης, όπως παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, έφτασε η στιγμή της κοπής των δοκιμίων. Η κοπή των πρώτων υλών (δοκίμια αλουμινίου 5083 H111), έγινε σε κέντρο κατεργασίας ψηφιακής καθοδήγησης (CNC) πέντε αξόνων, της εταιρείας «HAAS» (HAAS VF 2), το οποίο διατέθηκε (στα πλαίσια υλοποίησης της παρούσας εργασίας) από το εργαστήριο εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα δοκίμια αλουμινίου, τοποθετήθηκαν και επεξεργάστηκαν κάθε ένα ξεχωριστά εντός του κέντρου κατεργασίας. Κάθε δοκίμιο, αφού πακτώθηκε στην τράπεζα της μηχανής με συγκεκριμένο τρόπο (διαδικασία συγκράτησης - πρόσδεσης δοκιμίου) και μετρήθηκε από το κέντρο κατεργασίας (διαδικασία μηδενισμού αξόνων), επεξεργάστηκε ανάλογα με τον κώδικα και τα διαθέσιμα κοπτικά εργαλεία του μύλου της μηχανής (κατάλληλα εργαλεία που εισάγαμε στον μύλο του κέντρου, κονδύλια, τρυπάνια κτλ., για να γίνουν οι απαιτούμενες κατεργασίες). Όλα τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις κοπές των δοκιμίων, ήταν κατασκευασμένα από ταχυχάλυβα (HSS) μιας και το αλουμίνιο είναι μαλακό μέταλλο (χαμηλή σκληρότητα). Οι συνθήκες κοπής για κάθε εργαλείο (παράμετροι κοπής), ορίστηκαν κατά την διαδικασία του «CAM» (βλέπε κεφάλαιο 3.4) και επιλέχθηκαν, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή τους (Mitsubishi Materials). Ο κώδικας για κάθε κατεργασία και δοκίμιο, εισήχθει στην εργαλειομηχανή (κέντρο κατεργασίας) με την βοήθεια εξωτερικού δίσκου αποθήκευσης μέσω (αποθηκεύτηκαν οι κώδικες σε «USB Stick» από τον υπολογιστή και μεταφέρθηκαν στην μηχανή) και ελέγχθηκαν πριν την υλοποίησή τους από την μηχανή, με την βοήθεια του ενσωματωμένου περιβάλλοντος προσομοίωσης κοπής της «HAAS», που διαθέτει το κέντρο κατεργασίας. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμίων, έγινε ταυτόχρονη ψύξη τους εντός του κέντρου, με την βοήθεια του συστήματος ψεκασμού ειδικού

ψυκτικού υγρού που διαθέτει η μηχανή, ώστε να μειωθούν οι τριβές κατά την κοπή, να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα επιφάνειας (ειδικά κατά την διαδικασία φινιρίσματος), να μειωθούν οι φθορές των κοπτικών εργαλείων καθώς και η θερμικά επηρεασμένη ζώνη των τεμαχίων (δοκίμια αλουμινίου), με ότι αυτό συνεπάγεται για τις μηχανικές τους ιδιότητες (δεν επηρεάζεται στην ουσία η δομή των υλικών).



**Εικόνα 55. Το κέντρο κατεργασίας ψηφιακής καθοδήγησης 5 αξόνων «HAAS VF 2»  
(Προσφορά του εργαστηρίου εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης)**



**Εικόνα 56. Προσομοίωση κοπής της φλάντζας νούμερο 1, στο περιβάλλον της εργαλειομηχανής ψηφιακής καθοδήγησης της «HAAS»**



**Εικόνα 57. Ενδεικτικά εργαλεία κοπής και μηδενισμού που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες των τεμαχίων (Προσφορά του Πολυτεχνείου Κρήτης)**





**Εικόνα 58. Πρόσδεση δοκιμίου στην τράπεζα και εκκίνηση κοπής αυτού**



**Εικόνα 59. Ρίψη ειδικού ψυκτικού υγρού κατά την διάρκεια της κοπής της φλάντζας 1**

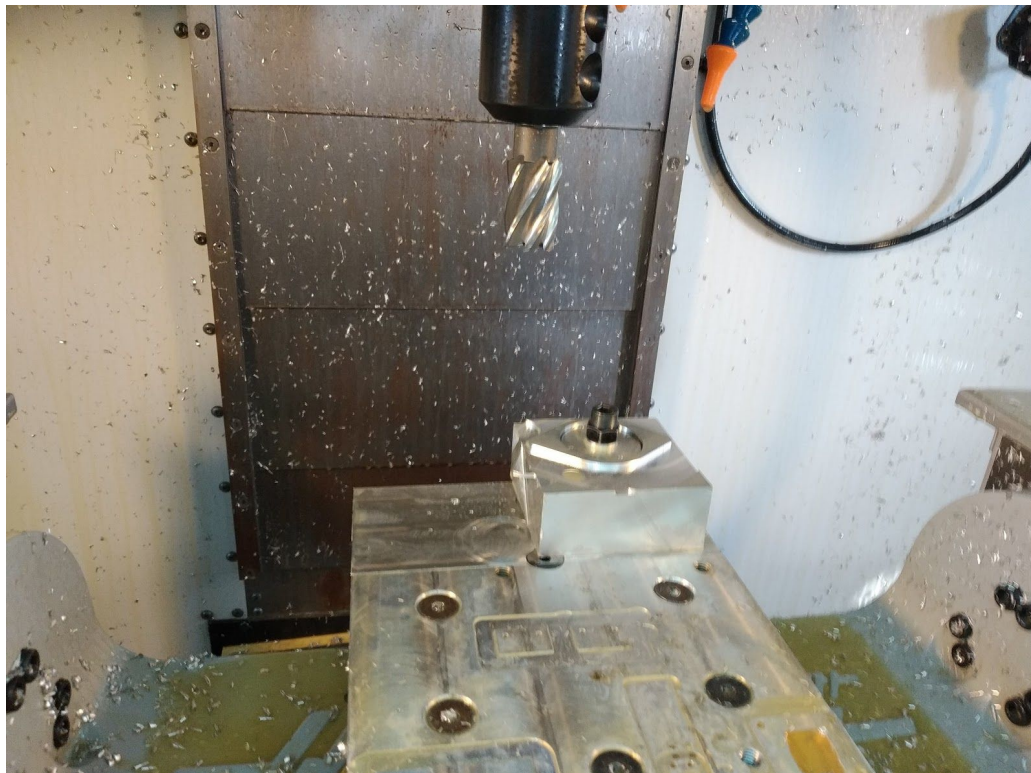




**Εικόνα 60. Πρόσδεση και κοπή του σωλήνα της διάταξης**



**Εικόνα 61. Η φλάντζα 1 με το πέρας των κατεργασιών στην εργαλειομηχανή**



***Εικόνα 62. Πρόσδεση και κοπή της φλάντζας 4***

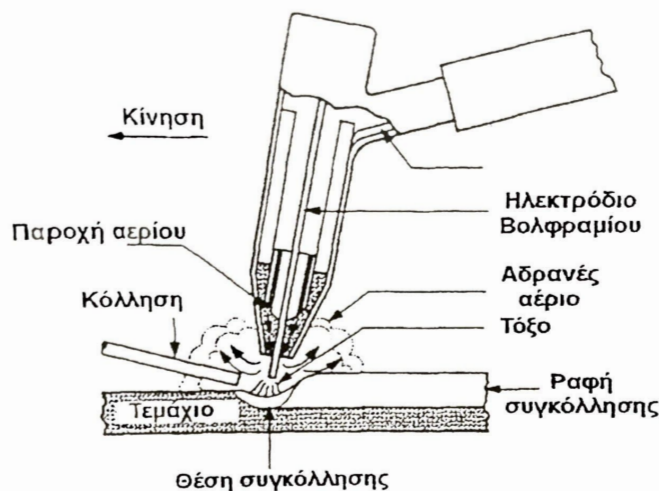


***Εικόνα 63. Στιγμιότυπο από την διαδικασία κοπής της φλάντζας 4***



### 3.7 Συγκολλήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγραφεί η μέθοδος συγκόλλησης με την οποία πακτώθηκαν μεταξύ τους τα σταθερά μέρη της διάταξης (σωλήνας με φλάντζες νούμερο 1 και 4). Στο χωρίο της επιλογής των υλικών (παράγραφος 3.1), αναφέρθηκε ότι τα εξαρτήματα της διάταξης κατασκευάστηκαν από κράμα αλουμινίου τύπου 5083 H111. Είναι γνωστό ότι το αλουμίνιο είναι μαλακό μέταλλο, όμως έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις κατά την συγκόλλησή του. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε η μέθοδος της συγκόλλησης με μη τηκόμενο ηλεκτρόδιο βολφραμίου, σε περιβάλλον προστατευτικών αερίων (Tungsten Inert Gas ή Gas Tungsten-Arc Welding), με ταυτόχρονη προσθήκη συγκολλητικού υλικού (ράβδος αλουμινίου). Το προστατευτικό αέριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το αργό (αδρανές αέριο). Η δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας κατά την διαδικασία της συγκόλλησης, συνεισφέρει στην αποτροπή της οξείδωσης καθώς και στην ψύξη των προς συγκόλληση μετάλλων, προκειμένου να μειωθεί η θερμικά επηρεασμένη ζώνη τελικά.



Σχ.3.32: Συγκόλληση T.I.G

**Εικόνα 64. Σχηματική απεικόνιση με επεξήγηση, της μεθόδου συγκόλλησης «T.I.G»**  
**(Πηγή: Σημειώσεις Τεχνολογίας Παραγωγής II, Εργαστήριο, Νεκτάριος Μ. Χαιρέτης,**  
**Λάμπρος Γ. Σπάρταλης, Πολυτεχνείου Κρήτης 2009)**



**Εικόνα 65. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία της συγκόλλησης με την μέθοδο «T.I.G», των δομικών μεταλλικών τεμαχίων της διάταξης**





*Εικόνα 66. Άποψη της δομής της ραφής της συγκόλλησης της φλάντζας 4*



*Εικόνα 67. Η διάταξη ημιτελώς συγκολλημένη (διακρίνονται οι πόντες στις φλάντζες 1)*

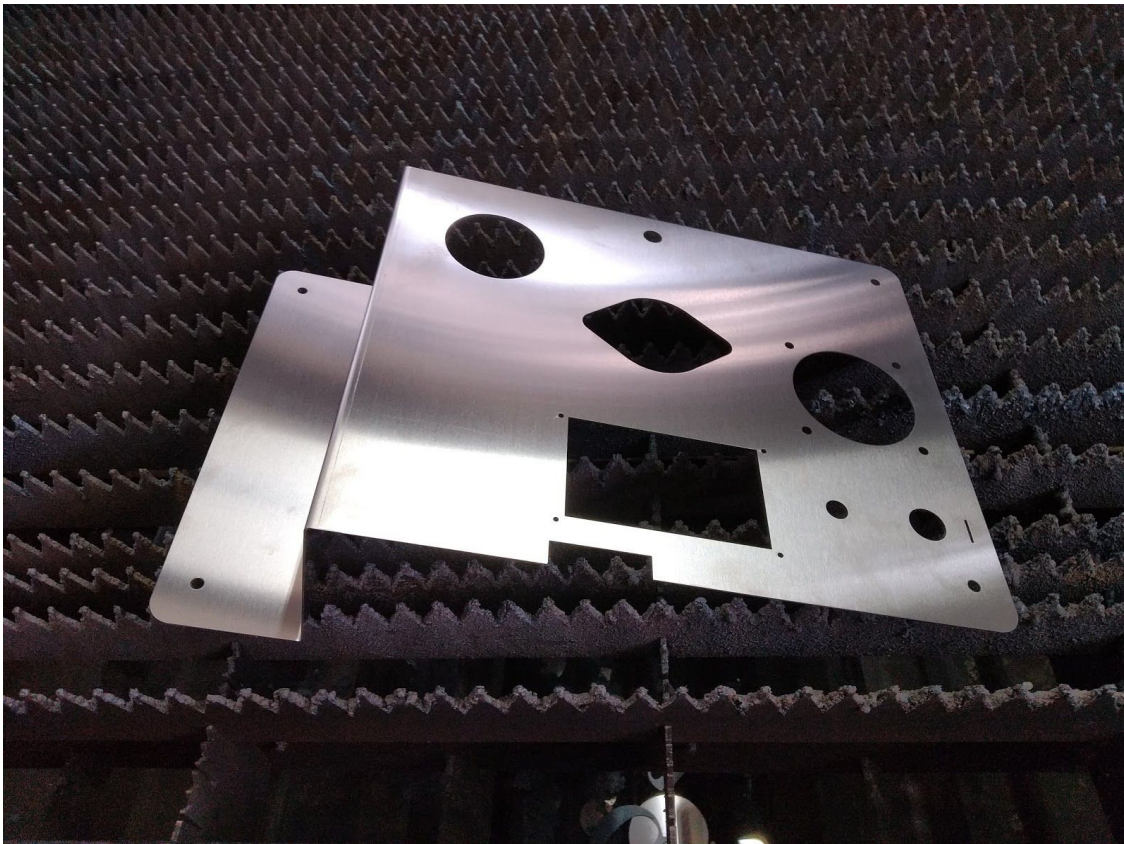
### 3.8 Κατασκευή τεμαχίου με κοπή σε μηχάνημα «Laser»

Στις παραγράφους που αφορούν τον σχεδιασμό της κατασκευής (βλέπε κεφάλαιο 2), παρουσιάστηκε το κάλυμμα της διάταξης (εικόνα 34). Πρόκειται για ένα φύλλο ανοξείδωτης λαμαρίνας (επιλέχθηκε για λόγους σταθερότητας και αντοχής στην οξείδωση), το οποίο περιλαμβάνει καμπές και περίπλοκα σχήματα στην επιφάνεια του. Η κοπή και διαμόρφωσή της εν λόγω λαμαρίνας λοιπόν, έγινε σε ειδικό μηχάνημα κοπής, με τεχνολογία υψηλής δέσμης ενέργειας (Laser). Για να υλοποιηθεί η κατασκευή της λαμαρίνας από το μηχάνημα κοπής με «Laser», χρειάστηκε να χρησιμοποιήσω το πρόγραμμα «Siemens NX Sheet Metal». Με το πέρας των κοπών στην επιφάνεια της λαμαρίνας, ακολούθησε η κάμψη αυτής, ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία της κατασκευής.



**Εικόνα 68. Το μηχάνημα κοπής «Laser» που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του καλύμματος της διάταξης (Προσφορά της εταιρείας «Μούγλαλης»)**



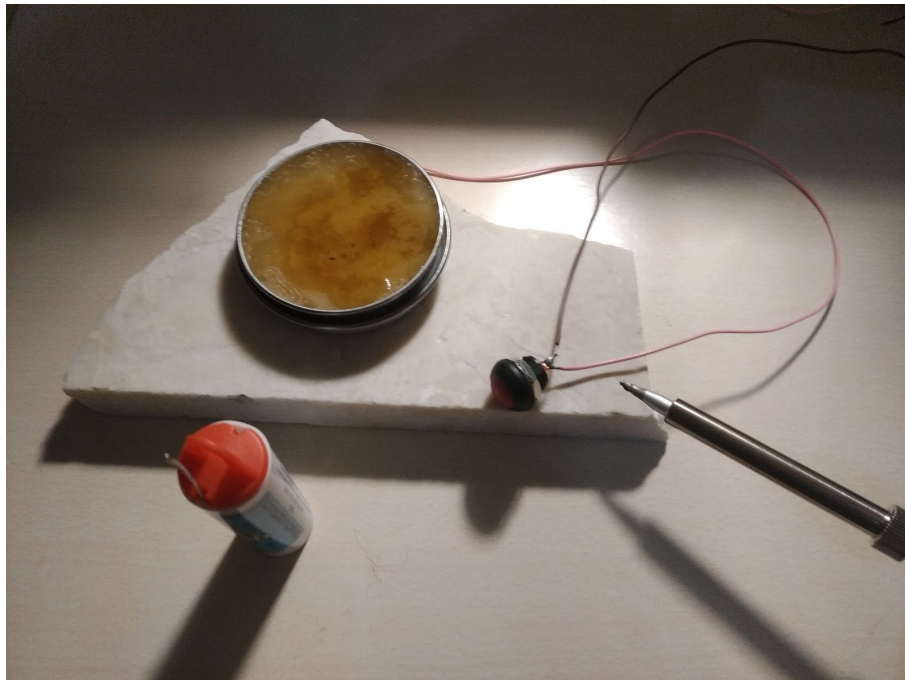


***Εικόνα 69. Το κάλυμμα της διάταξης, με το πέρας των διαδικασιών κοπής και διαμόρφωσης***

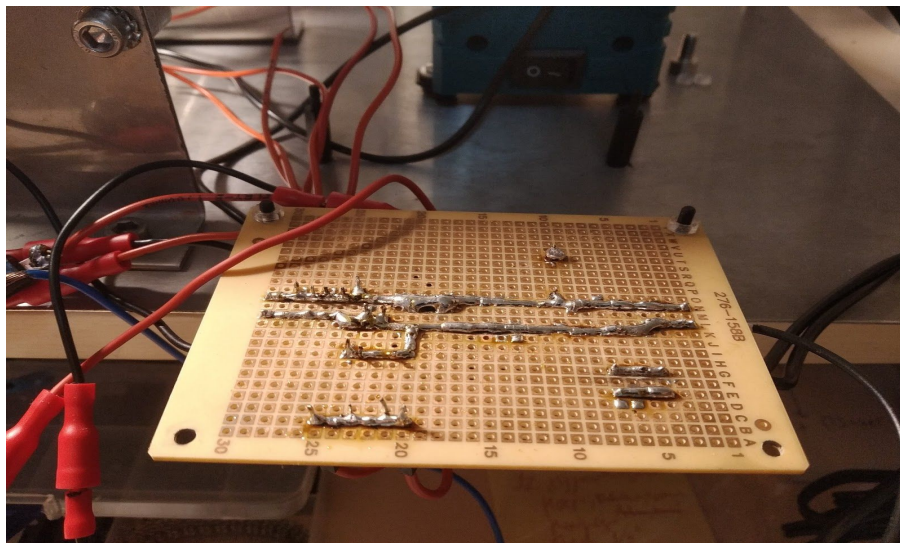
### 3.9 Κατασκευή και σύνδεση ηλεκτρονικού κυκλώματος

Το ηλεκτρικό κύκλωμα της συσκευής ελέγχου βαλβίδων τύπου «Pop Off», περιλαμβάνει δύο υποκυκλώματα. Αυτό αναπαρίσταται στο σχέδιο που παρατίθεται στο κεφάλαιο 2.5.3 (εικόνα 39), στο οποίο η πλακέτα διασύνδεσης χωρίς κολλήσεις (Breadboard), τροφοδοτείται στα άκρα της (βλέπε γραμμές τροφοδοσίας ρεύμα-γείωση) με δύο διαφορετικής τάσης ρεύματα (5V και 12V), προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες όλων των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Στην πράξη, το κύκλωμα τάσης 12V αναπτύχθηκε επάνω σε μια διαφορετική πλακέτα, με μόνιμες κολλήσεις, ώστε να εξαλειφθεί κάθε πιθανότητα αποσύνδεσης (δεδομένης της φορητότητας της συσκευής), βραχυκυκλώματος ή πυρκαγιάς (υψηλή τάση και ρεύμα, απευθείας από το τροφοδοτικό). Η πλακέτα η οποία χρησιμοποιήθηκε, είναι μία διάτρητη πλακέτα υποστήριξης πρωτότυπων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, πάνω στην οποία δημιουργήθηκαν μόνιμες κολλήσεις και γραμμές από κασσίτερο (καλάι). Όλα τα μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα που απαιτούνται για την ορθή και ασφαλή λειτουργία του κυκλώματος των 12V και των εξαρτημάτων του (πυκνωτές, δίοδοι, ασφάλειες κτλ.), πακτώθηκαν πάνω στην διάτρητη πλακέτα με κολλήσεις. Αντίστοιχα, το κύκλωμα των 5V αναπτύχθηκε πάνω στο «Breadboard», με την διαφορά ότι εκεί όλα τα μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα πακτώθηκαν με την βοήθεια σιλικόνης. Και τα δύο υποκυκλώματα έχουν κοινή γείωση και συνθέτουν ένα κύκλωμα. Όλα τα ηλεκτρονικά της συσκευής στηρίχθηκαν είτε στον σκελετό, είτε στο κάλυμμα της διάταξης. Οι συνδέσεις έγιναν όλες με συνδέσμους γρήγορης σύνδεσης και αποσύνδεσης, με σκοπό την απλοποίηση των διαδικασιών μελλοντικής τροποποίησης ή αλλαγής κάποιας συνδεσμολογίας ή εξαρτήματος (συνηθισμένες ενέργειες κατά την ανάπτυξη πρωτοτύπων).

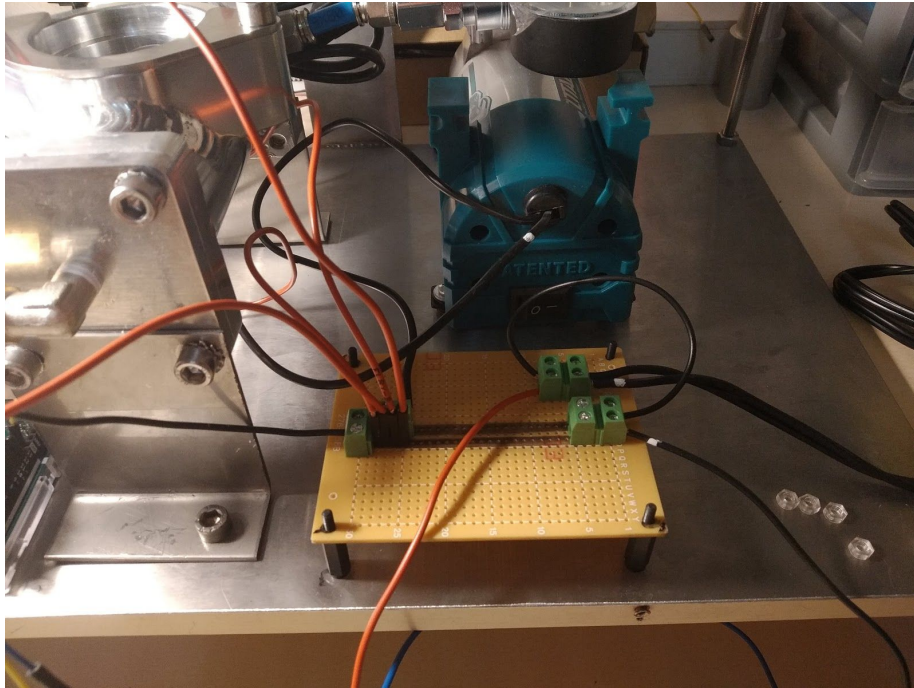




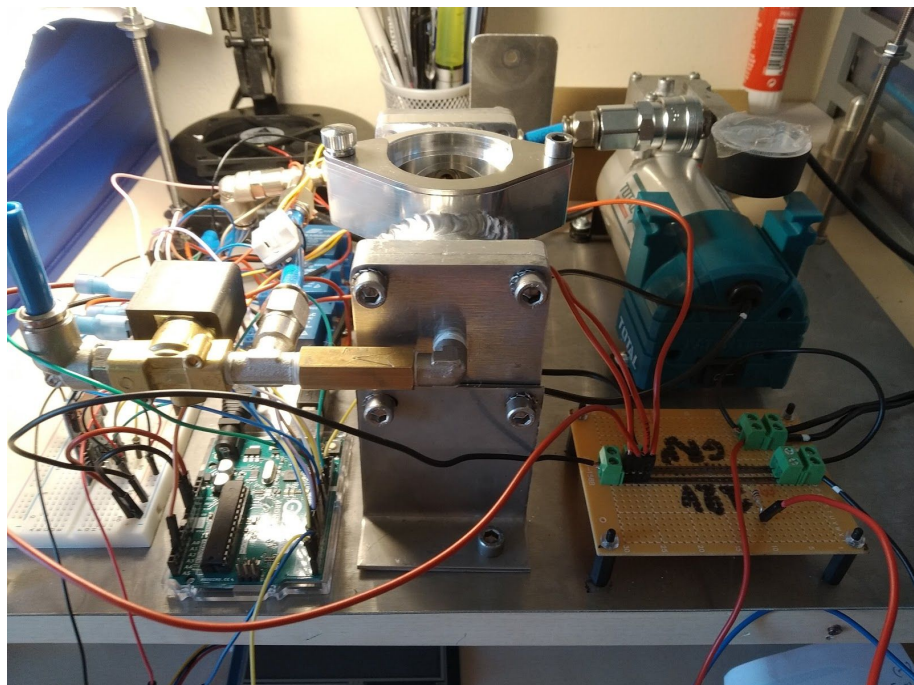
**Εικόνα 70. Στιγμιότυπο κατά την κασσιτεροκόλληση ενός διακόπτη της συσκευής**



**Εικόνα 71. Η διάτρητη πλακέτα του κυκλώματος των 12V και οι γραμμές από κασσίτερο (κάτω όψη)**



**Εικόνα 72. Η πλακέτα των 12V τοποθετημένη στον σκελετό της συσκευής (άνω όψη)**



**Εικόνα 73. Στιγμιότυπο από την διάταξη, κατά την διάρκεια κατασκευής του ηλεκτρονικού κυκλώματος**



### 3.10 Συναρμολόγηση

Για να αποκτήσει μορφή και άρα «σάρκα και οστά» η συσκευή, θα πρέπει να συναρμολογηθούν μεταξύ τους όλα τα εξαρτήματα που την συνθέτουν (σκελετός, ηλεκτρονικά, όργανα, κάλυμμα κτλ.). Με το βήμα αυτό, ολοκληρώθηκε ουσιαστικά η κατασκευή της συσκευής μέτρησης βαλβίδων τύπου «Pop Off».



**Εικόνα 74. Η συσκευή μέτρησης βαλβίδων «Pop Off», με το πέρας της διαδικασίας συναρμολόγησης**

## Κεφάλαιο 4-Προγραμματισμός, ρύθμιση και λειτουργία διάταξης

### 4.1 Προγραμματισμός «Arduino» και ψηφιακής οθόνης

Ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή (Arduino) και ο συντονισμός της ψηφιακής οθόνης της συσκευής (δημιουργία περιβάλλοντος διεπαφής), αποτελούν πολύ σημαντικές διαδικασίες για να αποκτήσει ζωή η συσκευή και να μπορεί τελικά να γίνει η μέτρηση ακριβείας των βαλβίδων τύπου «Pop Off». Με άλλα λόγια, πρόκειται για την ανάπτυξη του λογισμικού λειτουργίας της διάταξης (Software), με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης, για την εκτέλεση των λειτουργιών (εντολές) και την ανάγνωση των διαθέσιμων πληροφοριών (πληροφορίες αισθητήρων και αποτελέσματα μετρήσεων). Η πολυπλοκότητα και η δυσκολία αυτού του βήματος, εμπεριέχεται σε ασυμβατότητες συντονισμού μεταξύ των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και συνεργασίας του μικροελεγκτή και της οθόνης. Ο κώδικας του μικροελεγκτή, αναπτύχθηκε στην διαδικτυακή πλατφόρμα ανάπτυξης κώδικα που διαθέτει δωρεάν στο κοινό η εταιρεία κατασκευής του (Arduino Web Editor). Όλες οι εντολές του κώδικα, συντάχθηκαν σε γλώσσα που μπορεί να αντιληφθεί ο μικροελεγκτής, με την βοήθεια του οδηγού συναρτήσεων, μεταβλητών και δομών που προσφέρει η εταιρεία κατασκευής του μικροελεγκτή (Arduino) και της οθόνης (Nextion) της συσκευής. Στον κώδικα, για να επιτευχθεί ο συντονισμός και άρα η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του μικροελεγκτή και της οθόνης, χρειάστηκε η εισαγωγή κατάλληλων βιβλιοθηκών, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της οθόνης (Nextion). Η οθόνη που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα κατασκευή (Nextion), επιλέχθηκε για τον πρωτότυπο τρόπο λειτουργίας και επικοινωνίας της και για τις χαμηλές απαιτήσεις που έχει από τον μικροελεγκτή (δεν απαιτεί πολλές θύρες σύνδεσης και ανταλλαγή δεδομένων γραφικών). Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει ενσωματωμένο επεξεργαστή και κάρτα αποθήκευσης γραφικών, με αποτέλεσμα οι μόνες πληροφορίες που

ανταλλάσσει με τον μικροελεγκτή, να είναι εισερχόμενες εντολές και δεδομένα αισθητήρων από και προς την οθόνη (Rx, Tx σειριακή επικοινωνία). Σημειώνεται ότι η οθόνη, διαθέτει τεχνολογία αφής, ώστε η επικοινωνία μεταξύ συσκευής και χρήστη, να είναι σύγχρονη και να υπάρχει διεπαφή. Η δημιουργία των γραφικών και άρα του γραφικού περιβάλλοντος της οθόνης (χρώματα, εικόνες, σελίδες, μπουτόν κτλ.) αναπτύχθηκαν στην εφαρμογή «Nextion Editor». Στην συνέχεια, αποθηκεύτηκαν σε εξωτερικό μέσο αποθήκευσης (SD κάρτα μνήμης), το οποίο ενσωματώθηκε και φορτώθηκε στην οθόνη (On board memory).

```
.
#include <Nextion.h>
#include <DHT.h>

//varometrinos
#include "Adafruit_BMP280.h"
//Setup connection of the sensor
Adafruit_BMP280 bmp; // I2C
//Variables BMP
float atmPressure = 0.0; //To store the barometric pressure (Pa)
int altimeter = 0; //To store the altimeter (m) (you can also use it as a float variable)
float presOffset = 0;

#define COMPRESSORSWITCH 10
#define COMPRESSORRELAY 8
#define SWITCHPIN 9 //pin for the switch
#define RELAYPIN 3 //pin for the relay
int voltagePin = A3; //pin for voltage

#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); /// Initialize DHT sensor for normal 16mhz Arduino

NexText t0 = NexText(1,4,"t0");
NexText t1 = NexText(1,5,"t1");
NexText t2 = NexText(1,6,"t2");
NexText t3 = NexText(1,7,"t3");
NexText t4 = NexText(1,8,"t4");

NexText ar[6] = {NexText(2,4,"ar1"), NexText(2,5,"ar2"), NexText(2,6,"ar3"), NexText(2,7,"ar4"), NexText(2,8,"ar5"), NexText(2,9,"ar6")};
char savedValues[6][20] = {" ", " ", " ", " ", " ", " "};

//Variables DHT
float hum; //Stores humidity value
float temp; //Stores temperature value
int delayTimer = 0;
```

**Εικόνα 75. Απόσπασμα του κώδικα του μικροελεγκτή που αναπτύχθηκε στο «Arduino Web Editor»**

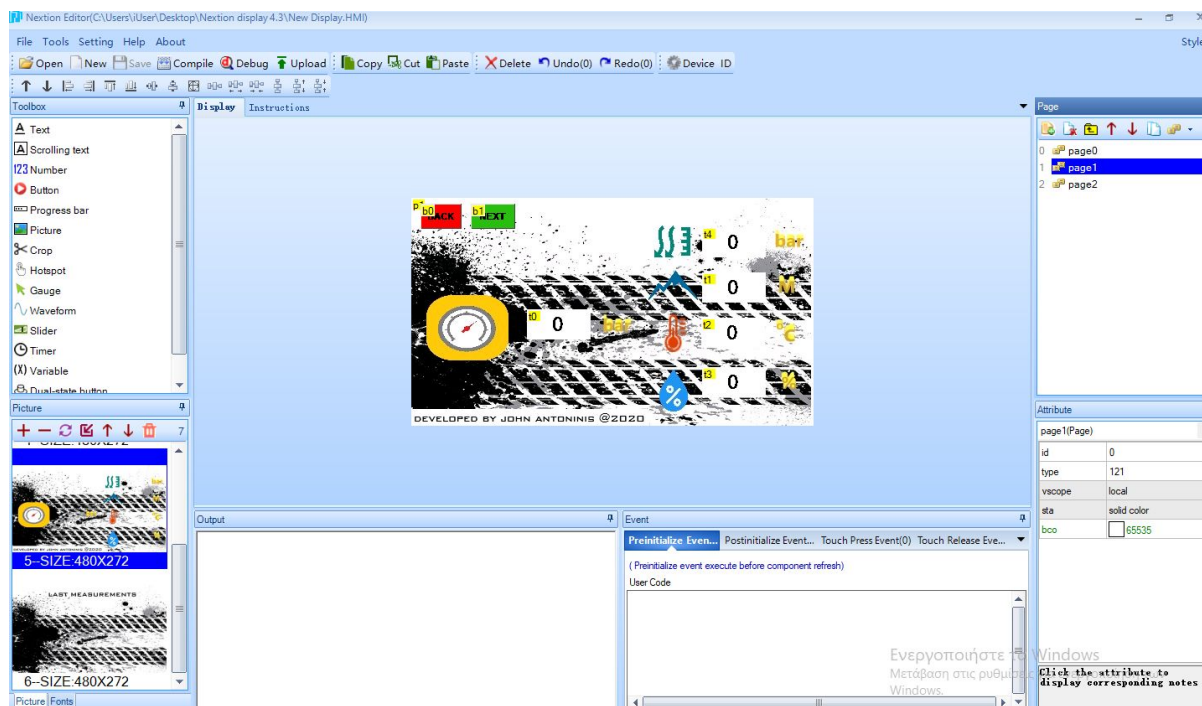


**Εικόνα 76. Η οθόνη της «Nextion» που χρησιμοποιήθηκε στην συσκευή  
(Πηγή: [nextion.tech](http://nextion.tech))**



**Εικόνα 77. Αναλυτική απεικόνιση της ενσωματωμένης πλακέτας της οθόνης  
(Πηγή: [nextion.tech](http://nextion.tech))**





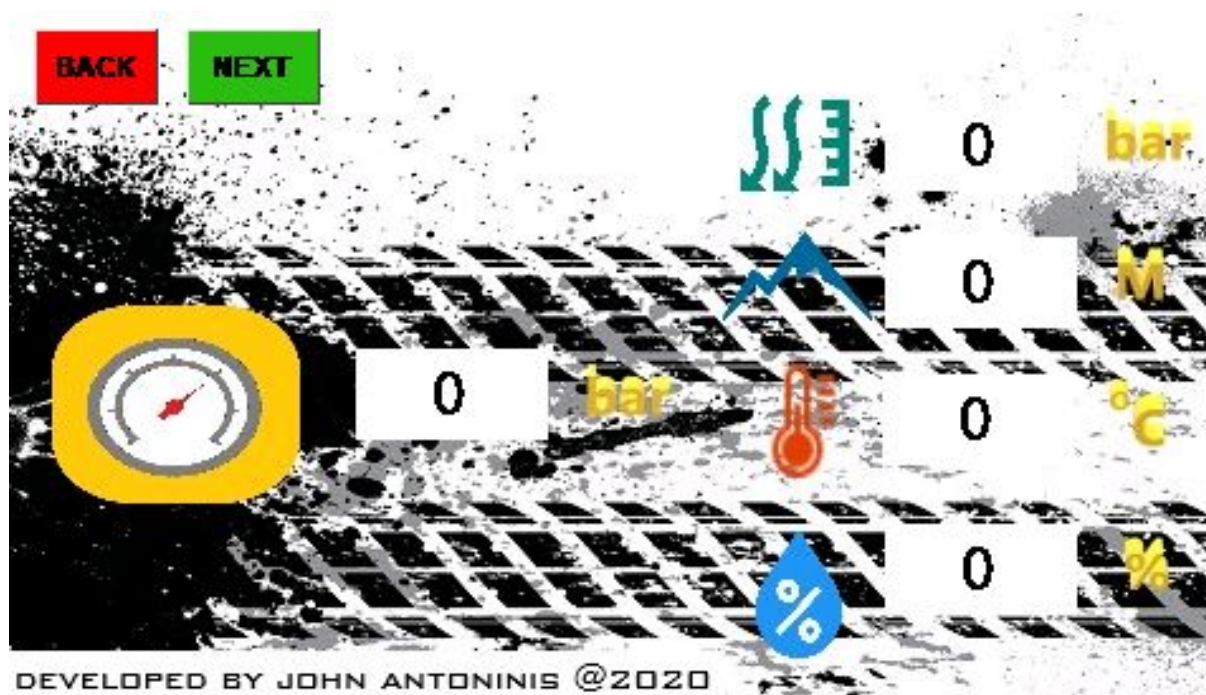
**Εικόνα 78. Η εφαρμογή ανάπτυξης γραφικού περιβάλλοντος της «Nextion»**



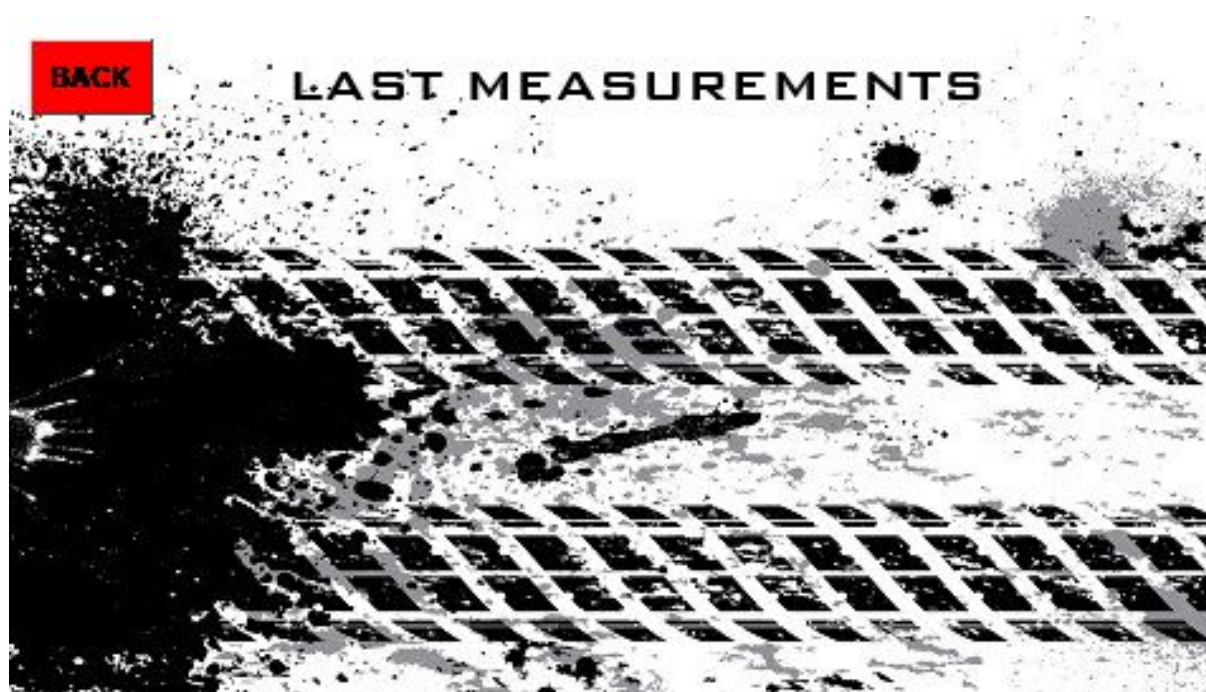
**PRESS TO START**



**Εικόνα 79. Το περιβάλλον υποδοχής της συσκευής (έναρξη - σελίδα 1)**



Εικόνα 80. Το περιβάλλον της κύριας σελίδας της συσκευής (σελίδα 2)



Εικόνα 81. Το περιβάλλον αποθήκευσης μετρήσεων (σελίδα 3)

## 4.2 Καλιμπράρισμα ψηφιακών μετρήσεων και αισθητήρα «MAP»

Ο όρος αισθητήρας «MAP», είναι συντομογραφία και προέρχεται από τον Αγγλικό ορισμό «Air Pressure Meter», που μεταφράζεται ως μετρητής πίεσης αέρα. Στα πλαίσια της παρούσας κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας μέτρησης απόλυτης πίεσης αέρα, της εταιρείας «Bosch». Ο συγκεκριμένος αισθητήρας, έχει δυνατότητα μέτρησης μέχρι 3 bar απόλυτης πίεσης (με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων), γεγονός το οποίο μεταφράζεται αν υποθέσουμε ότι η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι της τάξης των 1 bar, ότι μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια σχετική πίεση περί τα 2 bar (εξαρτάται από την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης). Η σχετική πίεση του κυκλώματος και άρα της βαλβίδας που ελέγχεται σε κάθε περίπτωση (Pop Off), υπολογίζεται αφαιρώντας από την μέτρηση του αισθητήρα «MAP», την μέτρηση του αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης (εξαρτάται από το υψόμετρο σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας). Ο αισθητήρας «MAP», λειτουργεί υπό τάση 5V και η τάση που επιστρέφει στον μικροελεγκτή ανάλογα με την πίεση που διαβάζει στην είσοδό του, επεξεργάζεται και εμφανίζεται στην οθόνη με την μορφή μέτρησης πίεσης δοκιμής. Η συνάρτηση της τάσης σε σχέση με την απόλυτη πίεση για τον αισθητήρα «MAP», προσφέρεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα (τροποποιήθηκε για να υπολογίζει την σχετική πίεση). Παρ' όλα αυτά, από τον αισθητήρα μέχρι την οθόνη στην οποία εμφανίζονται τα αποτελέσματα, υπεισέρχονται σφάλματα (σφάλμα = |μετρούμενη - πραγματική τιμή|). Για τον λόγο αυτό, χρειάστηκε πλήθος δοκιμών και συγκρίσεων με το πιστοποιημένο αναλογικό μανόμετρο γλυκερίνης που διαθέτει η διάταξη (προστιθέμενο εξάρτημα - όργανο στο κύκλωμα), για να καλιμπραριστεί με ακρίβεια η ψηφιακή μέτρηση και ο αισθητήρας «MAP» (πειραματική διαδικασία). Κατά την διάρκεια της διαδικασίας των δοκιμών και των συγκρίσεων των αποτελεσμάτων (αναλογική και ψηφιακή μέτρηση), μελετήθηκαν τα σφάλματα καθώς και το είδος αυτών (τυχαία, συστηματικά κτλ.) και τροποποιήθηκε ο κώδικας, ώστε να εξαλειφθούν οι διαφορές και να



έχουμε την βέλτιστη ακρίβεια των ψηφιακών μετρήσεων. Για να τροποποιηθεί ο κώδικας κατάλληλα, σε όλο το φάσμα μέτρησης της πίεσης (0 μέχρι 2 bar περίπου, σχετική πίεση), αξιοποιήθηκε πειραματικά και εφαρμόστηκε η θεωρία σφαλμάτων και μετρήσεων που αφορά τα τυχαία σφάλματα (χρησιμοποιήθηκε ο τύπος της μέσης τιμής). Πιο ειδικά, δεδομένου του ελάχιστου χρόνου μεταξύ 2 διαδοχικών μετρήσεων που μπορεί να καταγράψει με επιτυχία ο αισθητήρας «MAP» (επαναληψιμότητα 20 ms), υπολογίστηκε η μέση τιμή μεταξύ 5 διαδοχικών μετρήσεων και άρα η ένδειξη που εμφανίζεται στην οθόνη κατά την διάρκεια μιας δοκιμής (ενδιάμεσες τιμές), ακολουθεί αυτόν τον κανόνα. Το βέλτιστο πλήθος στον τύπο της μέσης τιμής (5), βρέθηκε πειραματικά, λαμβάνοντας υπόψη την ένδειξη του πιστοποιημένου αναλογικού μανομέτρου (πειραματικές καταγραφές δοκιμών) όπως και την ακρίβεια του αισθητήρα πίεσης (δεδομένα κατασκευαστή). Τέλος, το τελικό αποτέλεσμα που καταγράφεται (όριο εκτόνωσης) και αποθηκεύεται με το πέρας ελέγχου μιας βαλβίδας τύπου «Pop Off» στην οθόνη (παγώνει η ένδειξη του ψηφιακού μανομέτρου), προκύπτει από την μέγιστη τιμή (μεταβλητή maxPressure) όλων των καταγραφών σε μια δοκιμή (κάθε εμφανιζόμενη τιμή στην οθόνη, η οποία υπολογίζεται από τον κανόνα της μέσης τιμής, αποθηκεύεται σε μια μεταβλητή (maxPressure) που έχει για τιμή της την μέγιστη τιμή κάθε φορά, μέσω της μεθόδου των επαναλαμβανόμενων άμεσων συγκρίσεων των τιμών).



**Εικόνα 82.** Ο αισθητήρας «MAP» της «Bosch» που χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη  
(Πηγή: nerings.com)

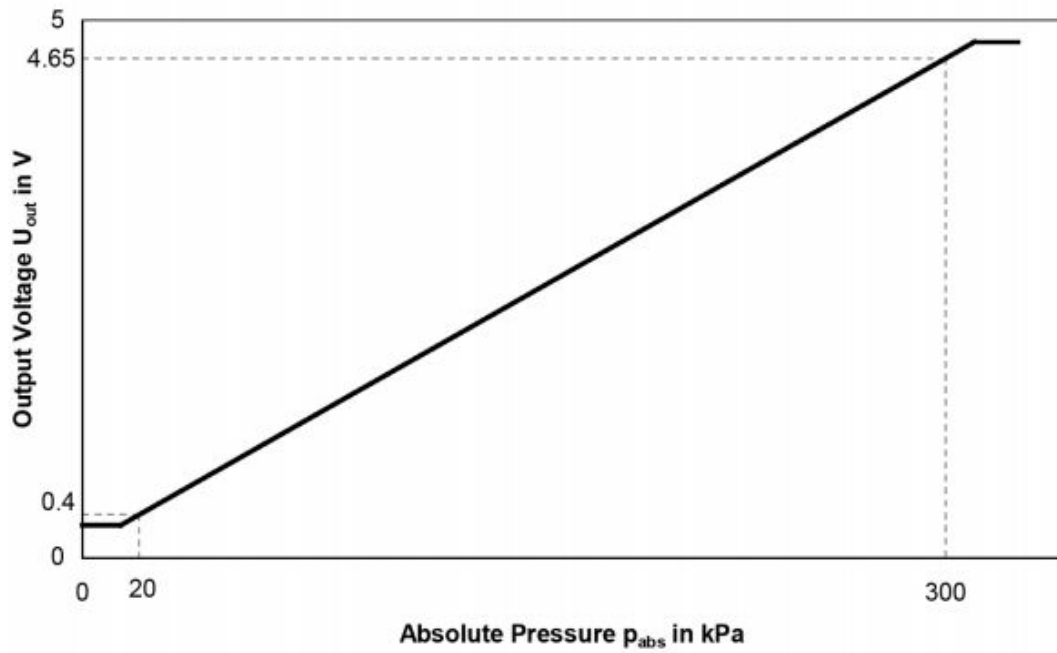
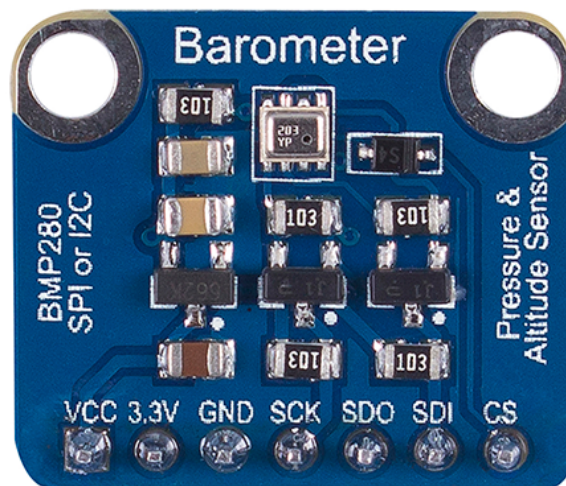


Figure 2. Characteristic at  $U_s = 5.000\text{ V}$

**Εικόνα 83. Η συνάρτηση τάσης (V) - απόλυτης πίεσης ( $P_{abs}$ ) του αισθητήρα «MAP», όπως παρουσιάζεται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή (Πηγή: Bosch)**

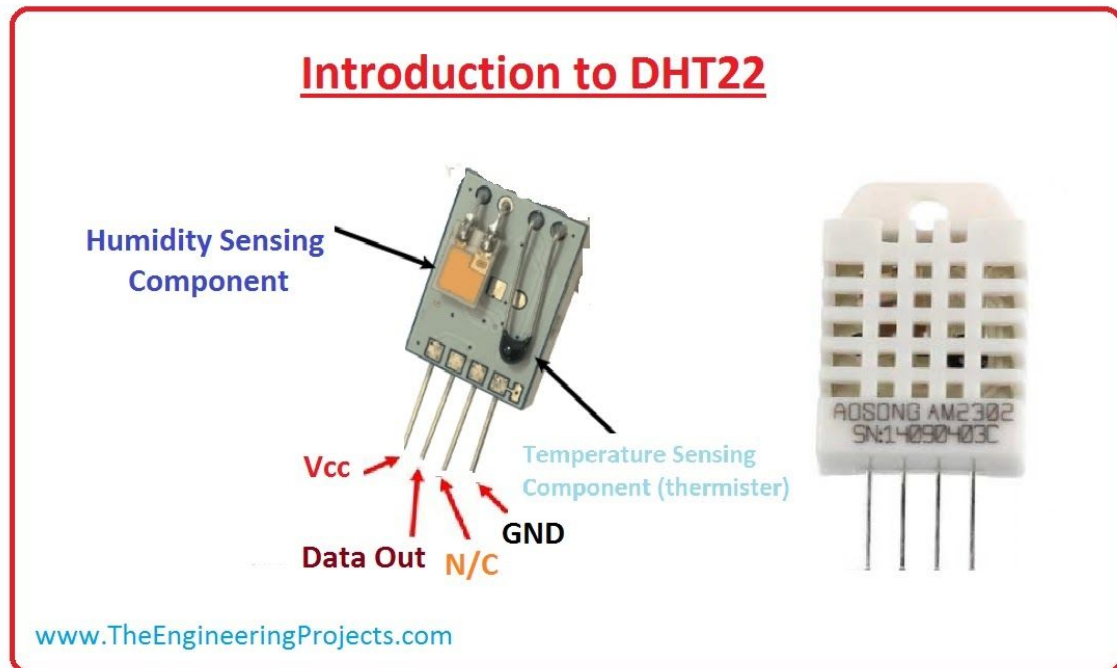
### 4.3 Συγχρονισμός και ρύθμιση μετρητικής διάταξης

Πέραν του μικροελεγκτή (Arduino), της οθόνης και του αισθητήρα μέτρησης απόλυτης πίεσης (MAP), η διάταξη περιλαμβάνει και άλλους αισθητήρες και όργανα (βλέπε κεφάλαιο 2.5.1), τα οποία για επιτευχθεί ένα άριστο αποτέλεσμα και μια πλήρως λειτουργική συσκευή, ήταν απαραίτητος ο συγχρονισμός και η ρύθμισή τους. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας, αξιοποιήθηκαν όλες οι πληροφορίες από τα εγχειρίδια των κατασκευαστών των εξαρτημάτων, τεχνικές, συναρτήσεις και βιβλιοθήκες. Όλα τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τα εγχειρίδια, χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα του μικροεπεξεργαστή με κατάλληλο τρόπο, ώστε η διάταξη να λειτουργεί σωστά. Για την ρύθμιση του αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης (καλιμπράρισμα), αξιοποιήθηκαν πληροφορίες από το διαδίκτυο, σχετικά με την τοποθεσία στην οποία έγινε η αρχικοποίηση των παραμέτρων αυτού (υψόμετρο και βαρομετρική πίεση γεωγραφικής θέσης).

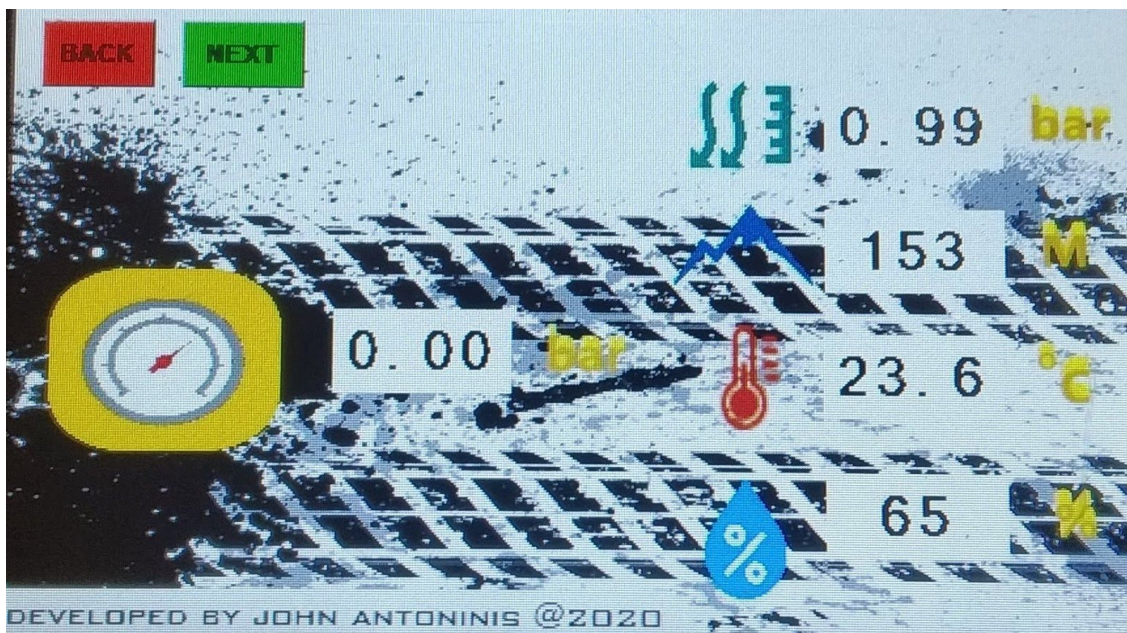


**Εικόνα 84.** Ο αισθητήρας μέτρησης βαρομετρικής πίεσης και υψομέτρου «BMP280»  
(Πηγή: [wiki.sunfounder.cc](http://wiki.sunfounder.cc))





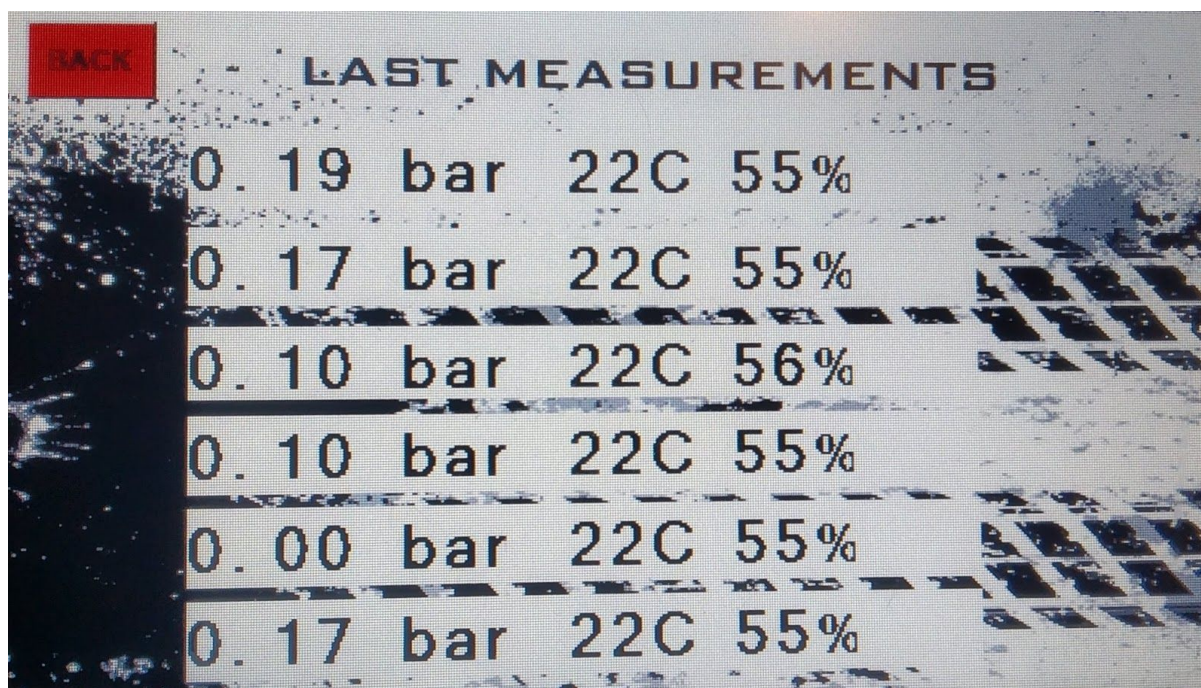
**Εικόνα 85.** Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας «DHT22»  
(Πηγή: [theengineeringprojects.com](http://theengineeringprojects.com))



**Εικόνα 86.** Στιγμιότυπο κατά την ρύθμιση της συσκευής (απεικονίζονται οι μετρήσεις των αισθητήρων)

#### 4.4 Αποθήκευση μετρήσεων

Μια από τις βασικές απαιτήσεις που έπρεπε να ικανοποιεί η συσκευή μέτρησης βαλβίδων τύπου «Pop Off» (βλέπε κεφάλαιο 2.1), ήταν να μπορεί να αποθηκεύει τις μετρήσεις των δοκιμών. Έτσι, δημιουργήθηκε κατάλληλο περιβάλλον εντός της οθόνης (σελίδα 3 οθόνης) με την βοήθεια κώδικα (στον μικροεπεξεργαστή), στο οποίο μπορεί ο χρήστης να μεταβεί (έχει πρόσβαση) και να πληροφορηθεί για τα δεδομένα των τελευταίων 10 δοκιμών, που έγιναν από την συσκευή. Σημειώνεται ότι, η συσκευή αποθηκεύει βασικές παραμέτρους (πίεση αέρα, θερμοκρασία περιβάλλοντος και υγρασία) για λόγους εξοικονόμησης χώρου αποθήκευσης. Επί της ουσίας, αποθηκεύονται με το πέρας κάθε δοκιμής, παράμετροι που σχετίζονται άμεσα με την απόδοση των βαλβίδων που ελέγχονται.




*Εικόνα 87. Οι αποθηκευμένες μετρήσεις, όπως εμφανίζονται στο περιβάλλον της οθόνης (σελίδα 3)*



## Κεφάλαιο 5-Πιστοποίηση συσκευής

### 5.1 Πιστοποίηση μετρήσεων


Για να θεωρούνται οι μετρήσεις της συσκευής απόλυτα αξιόπιστες και να είναι αποδεκτές από την Διεθνή Ομοσπονδία Μηχανοκίνητου Αθλητισμού (FIA) και ταυτόχρονα στους αγώνες του μηχανοκίνητου αθλητισμού, απαιτείται έκδοση πιστοποιητικού, από εξειδικευμένο επίσημο φορέα πιστοποίησης. Η διακρίβωση και πιστοποίηση της συσκευής, έγινε από τα εργαστήρια «ΔΕΚΑ». Τα αποτελέσματα της διακρίβωσης, παρατίθενται αναλυτικά στο πιστοποιητικό της συσκευής ελέγχου βαλβίδων τύπου «Pop Off»:

Συνθήκες περιβάλλοντος <i>Ambient conditions</i>		Τόπος διακρίβωσης <i>Place of calibration</i>	
■ Θερμοκρασία <i>Temperature</i>	(22,2 ± 0,4) °C	■ Πειραιάς <i>Piraeus</i>	g = (9,8 ± 0,0001) m/s <sup>2</sup>
■ Ατμοσφαιρική πίεση <i>Atmospheric pressure</i>	(1018,3 ± 0,1) mbar		
■ σχετ. υγρασία <i>rel. humidity</i>	(41 ± 2) %		
Συνθήκες μέτρησης <i>Measurement conditions</i>			
Πρότυπο αναφοράς (Π.Α.) Ψηφιακός μετρητής πίεσης <i>Reference standard (RS) Electrical pressure gauge</i>			
Τύπος <i>Model</i>	WIKA D-10-P		
Αριθμός διακρίβωσης <i>Calibration mark</i>	04431063		
Εύρος κλίμακας <i>Scale range</i>	(0 ... 4) bar g		
Ακρίβεια <i>Accuracy</i>	0,05 % FS		

ΔΕΚΑ ΑΕΒΕ / DEKA SA Πολυδεύκου 40 / Polidefkous 40 185 45 Πειραιάς / Piraeus Ελλάδα / Greece	Tel.: 2104222325 Fax: 2104118107 E-Mail: deka@deka.gr www.deka.gr	Σελίδα 1 / 2 Page
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	----------------------

**Εικόνα 88. Οι συνθήκες υπό τις οποίες έγινε η διακρίβωση και πιστοποίηση της συσκευής στα εργαστήρια «ΔΕΚΑ»**

<b>Πιστοποιητικό διακρίβωσης</b> <i>Calibration certificate</i>			
		Αρ. Πιστοποιητικού <i>Certificate no.</i>	2000000392
<b>Αποτελέσματα μετρήσεων</b> <i>Measurement results</i>			
Ένδειξη DUT <i>Reading DUT</i> bar	Τιμή προτύπου Π.Α. <i>Reference value RS</i> bar		
	↑	↓	
0,0	0,001	0,001	
0,5	0,493	0,486	
1,0	0,987	0,986	
1,5	1,489	1,474	
2,0	1,986	1,984	
2,5	2,482	2,482	
Ένδειξη DUT <i>Reading DUT</i> bar	Απόκλιση <i>Deviation</i> bar		
	↑	↓	
0,0	-0,001	-0,001	
0,5	0,007	0,014	
1,0	0,013	0,014	
1,5	0,011	0,026	
2,0	0,014	0,016	
2,5	0,018	0,018	

**Εικόνα 89. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων, με το πέρας της διακρίβωσης της συσκευής**

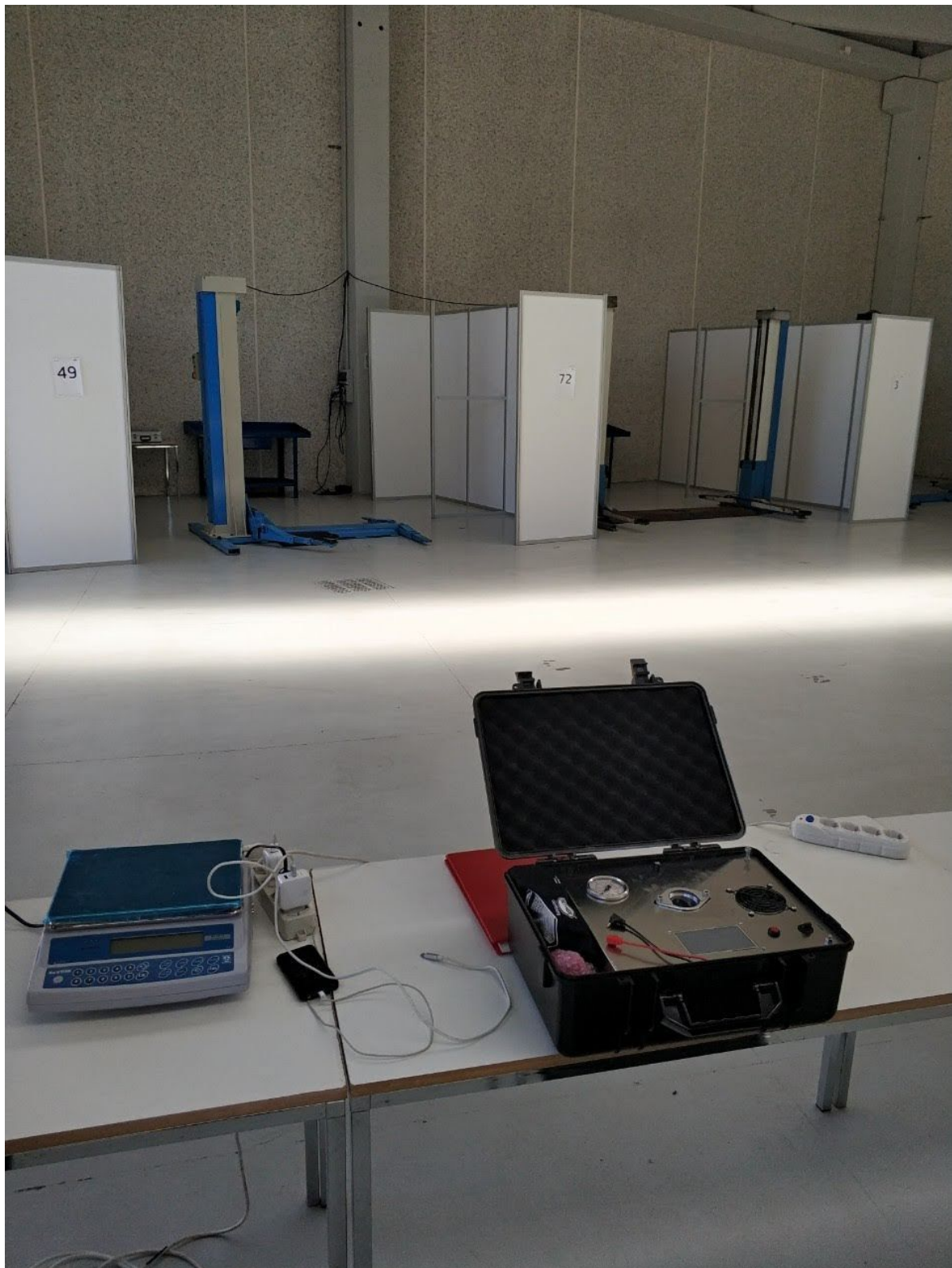


## **Παράρτημα**

**Υλικό από τις δοκιμές της συσκευής σε πραγματικές συνθήκες:**

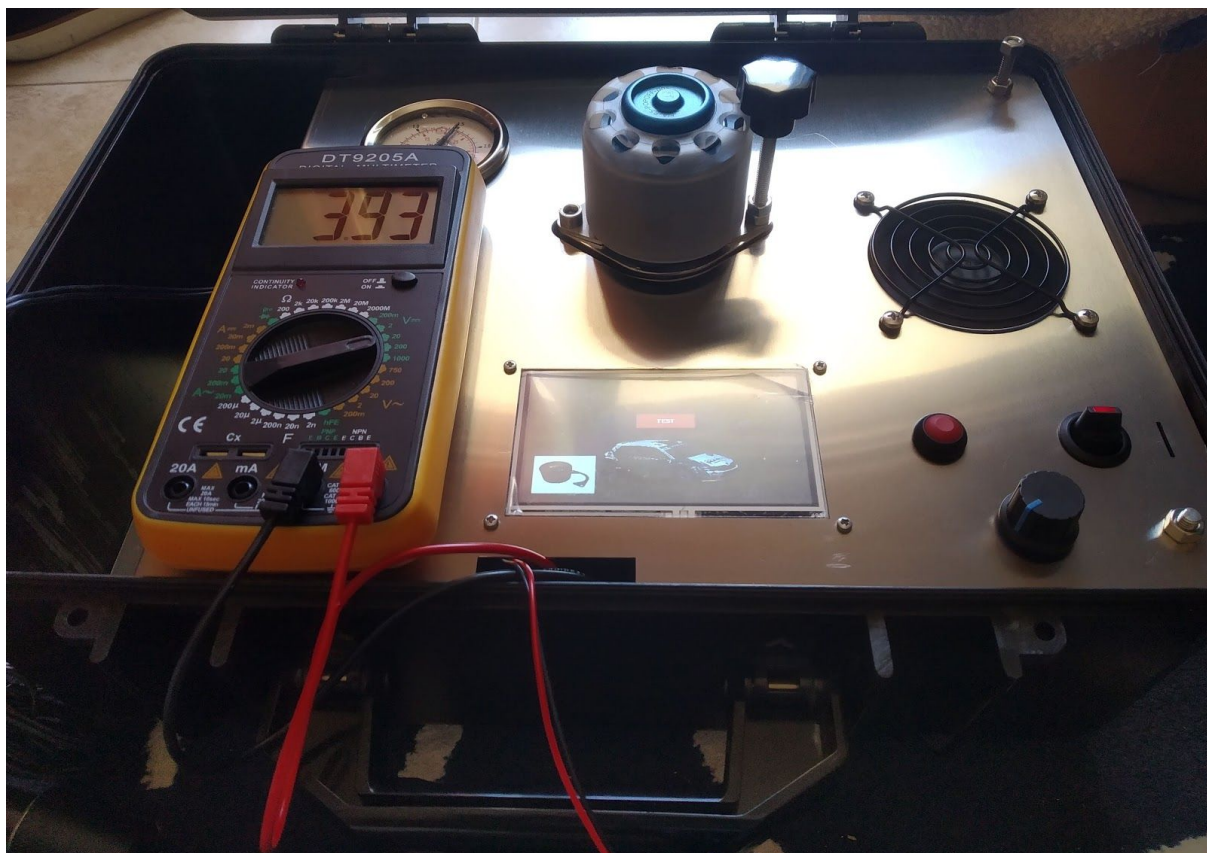


***Εικόνα 90. Η συσκευή κατά την διάρκεια των δοκιμών της στο Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Ράλλυ (WRC), στην Σαρδηνία της Ιταλίας***



**Εικόνα 91. Η συσκευή τοποθετημένη στον ειδικά διαμορφωμένο (από την «FIA») χώρο του τεχνικού ελέγχου, κατά την διάρκεια του Παγκόσμιου Πρωταθλήματος Ράλλυ στην Ιταλία**





**Εικόνα 92. Έλεγχος βαλβίδας και δοκιμαστική λειτουργία της συσκευής, κατά την διάρκεια του αγώνα του Παγκόσμιου Πρωταθλήματος Ράλλυ στην Ιταλία**

## **Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία:**

1. «Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων», William H. Hayt Jr, Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin, 8η Έκδοση, Τζιόλα 2014
2. «Ανάπτυξη Εφαρμογών με το Arduino», Παπάζογλου Παναγιώτης, Λιωνής Σπυρίδων Πολυχρόνης, 2η Έκδοση, Τζιόλα 2017
3. «Βιομηχανικά Κράματα», Αγγελική Λεκάτου, Παπασωτηρίου 2005
4. «C Από τη Θεωρία στην Εφαρμογή», Γ.Σ. Τσελίκης - Ν.Δ. Τσελίκας, Β' Έκδοση 2012
5. «Εισαγωγή στην Έννοια του Αλγορίθμου και στον Προγραμματισμό», Αλεξάνδρα Χρυσανθακοπούλου 2013
6. «Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών», William D. Callister, Jr., 5η Έκδοση, Τζιόλα 2008
7. «Ευφυής Έλεγχος», Ροβέρτος - Ε. Κίνγκ, Τζιόλα 2004
8. «Μηχανική των Υλικών», Ferdinand Beer, E. Russel Johnston, John DeWolf, David Mazurek, 7η Έκδοση, Τζιόλα 2016
9. «Μηχανολογικό Σχέδιο», Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, 2η Έκδοση, Τζιόλα 2014
10. «Μηχανουργική Τεχνολογία», Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, 3η Έκδοση, Τζιόλα 2018
11. «Περί Συστημάτων Ελέγχου», Αναστάσιος Πουλιέζος, Τζιόλα 2014
12. «Ρευστομηχανική», Γεώργιος Γκαϊντατζής 2017
13. «Σημειώσεις Τεχνολογίας Παραγωγής II», Εργαστήριο, Νεκτάριος Μ. Χαιρέτης, Λάμπρος Γ. Σπάρταλης, Πολυτεχνείου Κρήτης 2009
14. «Στοιχεία Μηχανών», Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, 2η Έκδοση, Τζιόλα 2013
15. «Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων», Παπακωνσταντίνου Χαράλαμπος, Ίων 1996



16. «Τεχνολογίες Παραγωγής», Νικόλαος Τσουρβελούδης, Ιωάννης Νικολός, Πολυτεχνείου Κρήτης 2014
17. «Θεωρία μετρήσεων και σφαλμάτων», Στέιος Στάθης, Συμμετρία 2010

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:**

1. «Basic Welding Macmillan», Stuard Gibson, Alan Smith, 2nd Edition, Palgrave Macmillan 1993
2. «Beginning Arduino Programming», Brian Evans, Apress 2011
3. «CNC Machining Handbook», Alan Overby, McGraw - Hill Education - Europe 2010
4. «Mechanical Engineer's Reference Book», Edward H. Smith, 12th Edition, Butterworth - Heinemann 1994
5. «Siemens NX 12.0 for Designers, 11th Edition», Sham Tickoo, 11th Edition, CADCIM Technologies 2018

### Ιστοσελίδες:

1. <https://www.fia.com/>
2. <https://www.oma-e-epa.gr/>
3. <https://el.wikipedia.org/wiki/>
4. <https://www.cleanpng.com/>
5. <https://www.skoda-motorsport.com/en/>
6. <https://www.academia.edu/>
7. <https://www.angleconsulting.com/>
8. <http://www.oralengineering.com/>
9. <https://gcg.com.au/>
10. <https://stmtuned.com/>
11. <https://raceandrally.com/>
12. <https://www.autocar.co.uk/>
13. <https://www.garage88.com.au/>
14. <https://www.turbocharger.mtee.eu/>
15. <https://www.hks-power.co.jp/>

16. <https://www.m-sport.co.uk/>
17. <https://www.turbosmart.com/>
18. <https://www.courtenaysport.co.uk/>
19. <https://www.do88.se/>
20. <https://www.arduino.cc/>
21. <https://tinkrlearnr.com>
22. <https://www.etmm-online.com/cadcam-creating-machines-and-products-with-computer-aided-techniques-a-793562/>
23. <https://journals.sagepub.com/>
24. <https://scholar.google.com/>
25. <http://www.aerospacealuminiumalloys.com/aluminium-alloy-5083-h111.html>
26. <https://www.makeitfrom.com/material-properties/5083-H111-Aluminum>
27. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2804>
28. <http://www.anyseals.org/en/>
29. <https://www.reisser-screws.com/en/divisions/industry/what-we-can-do/>
30. <https://www.growermetal.com/>

31. <https://www.inox-rvs.com/en/allen-screw.html>
32. <https://www.theengineeringprojects.com/2019/02/introduction-to-dht22.html>
33. <https://nextion.tech/>
34. <https://www.bosch.com/>
35. <https://www.g-market.gr/spare-parts/wider-use/o-rings>
36. [https://nerings.com/en/home/elektriba/deveji\\_sledzi\\_releji/iepludes\\_trakta\\_deveji/p-14957-intake\\_manifold\\_sensor\\_der](https://nerings.com/en/home/elektriba/deveji_sledzi_releji/iepludes_trakta_deveji/p-14957-intake_manifold_sensor_der)
37. [http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=BMP280\\_Pressure\\_Sensor\\_Module](http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=BMP280_Pressure_Sensor_Module)
38. <https://www.deka.gr/el/>