

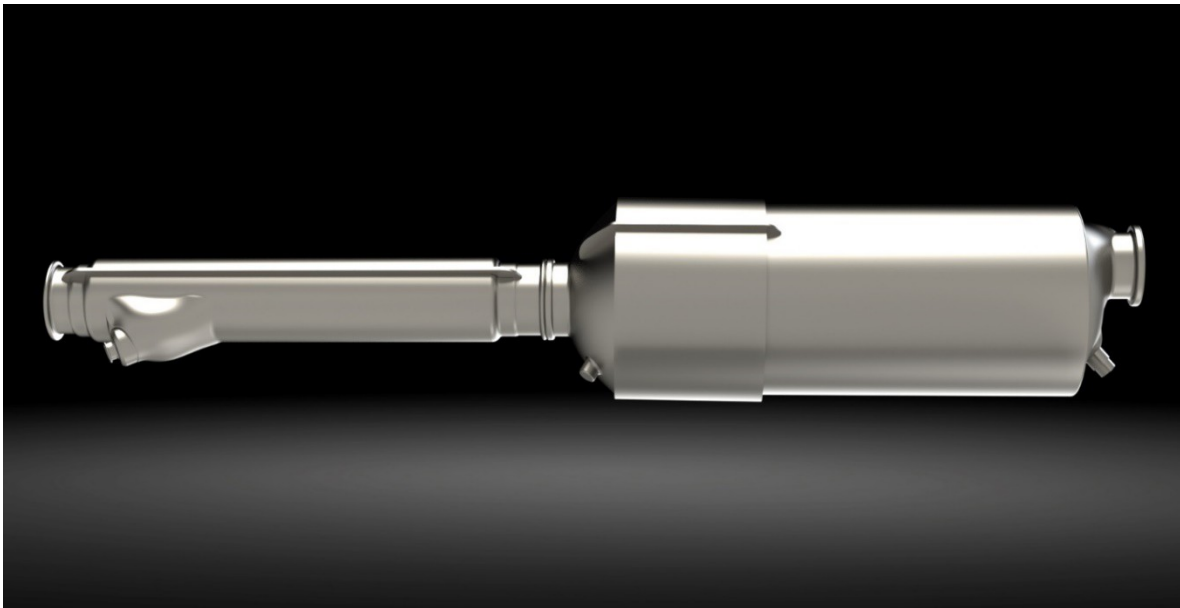


ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«Δημιουργία Τρισδιάστατων Εξαρτημάτων Που Συνθέτουν Μια  
Εξάτμιση Οχήματος»



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΔΗΜΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΒΒΑΣ ΓΚΕΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2020

## ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**ΘΕΜΑ:** «Δημιουργία Τρισδιάστατων εξαρτημάτων που συνθέτουν μία Εξάτμιση Οχήματος.»

### Σκοπός:

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η τρισδιάστατη σάρωση εξαρτημάτων που συνθέτουν μία εξάτμιση οχήματος με τεχνολογικά μέσα η επεξεργασία της σε πρόγραμμα CAD καθώς και η τρισδιάστατη εκτύπωση τους.

### ΣΤΟΧΟΙ:

- Βιβλιογραφική επισκόπηση των καυσαερίων αλλά και της εξάτμισης
- Σκανάρισμα εξαρτημάτων που συνθέτουν εξάτμιση οχήματος με τρισδιάστατο σαρωτή
- Επεξεργασία και ανασχεδιασμός των εξαρτημάτων εξάτμισης
- Αναφορά στα προγράμματα αλλά και στα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν
- 3D εκτύπωση των εξαρτημάτων που συνθέτουν την εξάτμιση οχήματος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ.....	7
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΞΑΤΜΙΣΗ; .....	7
1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ.....	8
1.3 ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ .....	9
1.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	12
1.5 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	15
1.5.1 ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ.....	15
1.5.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (ΛΗΠΤΗΣ Λ).....	16
1.5.3 ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ .....	17
.....	21
1.5.4 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ .....	29
1.5.5 ΣΙΓΑΣΤΗΡΑΣ.....	30
1.5.6 ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ.....	32
1.5.7 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	32
1.6 ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ/ΡΥΠΟΙ.....	34
1.6.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ .....	34
1.6.2 ΤΕΛΕΙΑ & ΑΤΕΛΗΣ ΚΑΥΣΗ.....	35
ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΚ.....	36
1.6.3 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO) .....	36
1.6.4 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO <sub>x</sub> ) .....	36
1.6.5 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC) .....	37
1.6.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO <sub>2</sub> ).....	38
1.6.7 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO <sub>2</sub> ).....	39
.....	39
1.6.8 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΑΙΘΑΛΗΣ (PM).....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ.....	40
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	40
2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ.....	42
2.3 ΣΑΡΩΣΗ.....	43
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	51

2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΑΡΩΤΕΣ.....	53
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	53
.....	54
3.2 ΤΥΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	54
3.3 ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ.....	60
3.4 Ο ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ ARTEC EVA.....	63
3.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	68
3.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΝ.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ/ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CAD.....	82
4.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΡΧΕΙΟΥ.....	82
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	91
5.1 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	92
5.2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ.....	93
5.3 ΥΛΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	97
ΠΛΑΣΤΙΚΑ.....	97
ΜΕΤΑΛΛΑ.....	99
5.4 ΟΦΕΛΗ & ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	99
ΟΦΕΛΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	100
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	100
5.5 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ.....	100
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ.....	101
5.6 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	103
5.6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	103
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	111
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ.....	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	116
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	116

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κοινωνία μας αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο με ταχείς ρυθμούς, οι οποίοι αναγκάζουν τις βιομηχανίες παραγωγής να προσπαθούν να επινοούν συνεχώς νέους τρόπους μείωσης του χρόνου παραγωγής. Για τον λόγο αυτόν οι βιομηχανίες στρέφονται ολοένα και περισσότερο σε διάφορα προγράμματα CAD-CAM, στην ταχεία πρωτοτυποποίηση (rapid prototyping) καθώς και σε κάθε είδους νέα τεχνολογία η οποία θα επιφέρει οικονομικές και πρακτικές λύσεις. Η Αντίστροφη Μηχανική (Reverse Engineering – RE, 3D scanning) καθώς και η 3D εκτύπωση είναι από τις τεχνολογίες αυτές, που μειώνουν σε μεγάλο βαθμό το χρόνο ανάπτυξης νέων προϊόντων. Η σημασία της αντίστροφης μηχανικής και της 3D εκτύπωσης είναι τόσο σημαντική σήμερα καθώς διαδικασίες που κάποτε ήταν πρακτικά αδύνατες να υλοποιηθούν σε σύντομο οικονομικό χρονικό διάστημα, πλέον δημιουργούνται πολύ γρηγορότερα, εξοικονομώντας, χρόνο και χρήμα. Επιπλέον, οι εφαρμογές της αντίστροφης μηχανικής και της 3D εκτύπωσης δεν περιορίζονται μόνο στον μηχανικό τομέα αφού βρίσκουν σημαντική απήχηση σε χώρους όπως η βιομηχανία, η αρχαιολογία, η ιατρική αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς. Επίσης ένα μεγάλο και σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών αυτών στο βιομηχανικό τομέα είναι πως κατεστραμένα μηχανολογικά σχέδια ή σχέδια τα οποία δεν μπορούν να βρεθούν από την επιχείρηση για κάποιο αντικείμενο που υπήρχε στην αγορά εργασίας και πρέπει να ξανά κυκλοφορήσει, με την χρήση της αποτύπωσης(3D scanning) από το αρχικό αντικείμενο μπορούμε και πάλι να έχουμε τα σχέδια με τις ακριβείς διαστάσεις. Πλέον οι χρήσεις των συγκεκριμένων τεχνολογιών βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς και βελτιώνουν σημαντικά την λειτουργικότητα της εργασίας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μας παρουσιάζει πως με την χρήση των τεχνολογιών αυτών μπορούμε να έχουμε πιστή αντιγραφή αντικειμένων οποιουδήποτε σχήματος με τις πραγματικές τους διαστάσεις να μπορούμε να τροποποιήσουμε εύκολα και ποιο γρήγορα τα αρχικά μας αντικείμενα να τα εκτυπώνουμε τρισδιάστατα με την χρήση εκτυπωτών να εντοπίζουμε τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν και να εξοικονομούμε αρκετό χρόνο. Εμείς θα

αποτυπώσουμε μία εξάτμιση οχήματος θα την επεξεργαστούμε με την χρήση παραμετρικών προγραμμάτων και θα την εκτυπώσουμε με την βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Ολοκληρώνοντας, παρατίθεται το περιεχόμενο των κεφαλαίων που πρόκειται να συναντήσει ο αναγνώστης, με το πρώτο κεφάλαιο να περιγράφει μια εισαγωγική αναφορά στην εξάτμιση στα επιμέρους εξαρτήματα που την αποτελούν στον καταλύτη, και τα καυσαέρια τα οποία εξάγει μια εξάτμιση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα περιγραφεί ο ορισμός της αντίστροφης μηχανικής και οι εφαρμογές που έχει.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα δούμε διάφορους τύπους απο τρισδιάστατους σαρωτές , τον σαρωτή που χρησιμοποιήσαμε εμείς, τα χαρακτηριστικά του, το αντικείμενο που αποτυπώσαμε και την διαδικασία της σάρωσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί πως επεξεργαζόμαστε τα αρχεία μας σε πρόγραμμα CAD.

Και τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην τρισδιάστατη εκτύπωση, θα δούμε μερικά είδη εκτυπωτών και υλικών εφαρμογές της τεχνολογίας, τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή που χρησιμοποιήσαμε και την τελική μορφή των τρισδιάστατων εξαρτημάτων που συνθέτουν μία εξάτμιση οχήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ

### 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΞΑΤΜΙΣΗ;

Η εξάτμιση είναι ένα σύστημα σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται για την καθοδήγηση των καυσαερίων αντίδρασης μακριά από μια ελεγχόμενη καύση μέσα σε μια μηχανή. Ολόκληρο το σύστημα μεταφέρει τα καυσαέρια από τον κινητήρα και περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σωλήνες εξαγωγής. Ανάλογα με το συνολικό σχεδιασμό του συστήματος, τα καυσαέρια μπορούν να ρέουν μέσω ενός ή περισσότερων από τα εξής εξαρτήματα [1]:

- Την κεφαλή του κυλίνδρου και την πολλαπλή εξαγωγής
- Τον υπερσυμπιεστή για την αύξηση ισχύος του κινητήρα
- Τον καταλυτικό μετατροπέα για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Το μεσαίο καζάνι για την ομαλή ροή των καυσαερίων
- Το τελικό καζάνι για την μείωση του θορύβου

**Σκοπός του συστήματος της εξάτμισης είναι:**

- Να περιορίζει το θόρυβο εξαγωγής του κινητήρα
- Να απομακρύνει τα καυσαέρια από την μηχανή και από το όχημα
- Να συνεισφέρει στη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα

- Να φιλοξενεί τους αισθητήρες του συστήματος διαχείρισης κινητήρα που άπτονται των λειτουργιών προετοιμασίας καυσίμου μίγματος (δηλαδή τους αισθητήρες λάμδα)
- Να ενσωματώνει τις διατάξεις καθαρισμού των καυσαερίων (καταλύτες, φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων κ.λ.π.)
- Να φιλοξενεί βοηθητικά συστήματα, όπως βαλβίδες και κυκλώματα ανακύκλωσης καυσαερίων
- Να συμπληρώνει την αισθητική του αμαξώματος

## *1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ*

Ο πρώτος και βασικός λόγος είναι ότι, συνήθως, ο οδηγός ή οι επιβάτες του εκάστοτε μηχανοκίνητου βρίσκονται πολύ κοντά στον κινητήρα και, ως εκ τούτου, πρέπει με κάποιον τρόπο να αποτραπεί το ενδεχόμενο να εισπνεύσουν τα βλαβερά και επικίνδυνα καυσαέρια. Τα καυσαέρια ενός βενζινοκινητήρα, πριν περάσουν από το όποιο σύστημα καθαρισμού τους (καταλυτικός μετατροπέας), περιέχουν δηλητηριώδες μονοξείδιο του άνθρακα (CO), καρκινογόνους άκαυτους υδρογονάνθρακες (HC), ασφυξιογόνο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και διάφορες άλλες ενώσεις, σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Στις μέρες μας πέρα από τη προστασία οδηγού και επιβατών, η εξάτμιση φροντίζει και για τη προστασία του περιβάλλοντος, ενσωματώνοντας όλα όσα χρειάζονται για τον εξαγνισμό των καυσαερίων και τη μετατροπή τους σε «αβλαβή» για τον άνθρωπο αέρια. Εξίσου σημαντική συνεισφορά του συστήματος εξαγωγής είναι πως μειώνει τρομερά τον παραγόμενο θόρυβο του κινητήρα, μιας και «κατευνάζει» την ηχητική ενέργεια των καυσαερίων και επαναφέρει τον θόρυβο του κινητήρα σε ανεκτά επίπεδα! Πέρα από όλα τα παραπάνω το σύστημα εξαγωγής φροντίζει και για την εύρυθμη λειτουργία του κινητήρα. Σε έναν τυπικό βενζινοκινητήρα, το 35-40% της ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο πάει «χαμένο» στην εξάτμιση, υπό μορφή θερμικής, κινητικής και ηχητικής ενέργειας. Το σύστημα εξάτμισης φροντίζει να αξιοποιεί μέρος αυτής της ενέργειας προς όφελος της απόδοσης του κινητήρα, αυξάνοντας την ογκομετρική απόδοση μέσω της βελτίωσης του ποσοστού πλήρωσης των κυλίνδρων [2].





Εικόνα 1.Σύστημα Εξάτμισης

### 1.3 ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- **Σκουριά:**

Η σκουριά είναι ένας σημαντικός εχθρός για το σύστημα της εξάτμισης. Συχνά κάνοντας μικρές άσκοπες μετακινήσεις η μηχανή και το σύστημα εξάτμισης δεν αποκτά την κατάλληλη θερμοκρασία με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να μην καίγονται αλλά να συλλέγονται σαν υδρατμοί στο σύστημα εξάτμισης. Σταδιακά η συμπύκνωση αυτή θα γυρίσει στη σκουριά και θα αρχίσει να διαβρώνει την εξάτμιση από μέσα προς τα έξω. Επίσης η σκουριά/διάβρωση μπορεί να οφείλεται και σε εξωτερικούς παράγοντες βροχή,χιόνι κ.λ.π [3].

- **Σφάλμα στον αισθητήρα οξυγόνου:**

Πολλά από τα σημερινά αυτοκίνητα έχουν πολυάριθμους αισθητήρες οξυγόνου, μια δυσλειτουργία σε έναν από αυτούς μπορεί να είναι αρκετή για να μπερδέψει τον υπολογιστή του αυτοκινήτου. Αν ο αισθητήρας οξυγόνου είναι ελαττωματικός, ο υπολογιστής του κινητήρα δεν μπορεί να δημιουργήσει το σωστά ισορροπημένο μίγμα καυσίμου αέρα. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα μείγμα που είναι χαμηλό στον αέρα και υψηλό σε καύσιμο, ένα μείγμα που είναι θερμότερο από το επιθυμητό και που μπορεί να προκαλέσει ένα φράξιμο στον καταλυτικό μετατροπέα [3].

- **Αύξηση θορύβου του κινητήρα:**

Το πρώτο αξιοσημείωτο σημάδι της διαρροής καυσαερίων είναι συνήθως η αύξηση του θορύβου του κινητήρα. Εάν η διαρροή βρίσκεται στην πολλαπλή, δεν θα αυξηθεί μόνο ο θόρυβος του κινητήρα, αλλά είναι πολύ πιθανό τα καυσαέρια να εισέλθουν στην καμπίνα των επιβατών[3].

- **Κραδασμοί:**

Πέρα από τις "αυτογενείς" ταλαντώσεις του κινητήρα, όπως π.χ. αυτές που βλέπουμε με το μάτι όταν το μοτέρ δουλεύει στο ρελαντί ή αυτές που νιώθουμε στο αμάξωμα, ιδίως σε αυτοκίνητα με σχετικά σκληρές βάσεις κινητήρα, έχουμε και τις "εξωγενείς" ταλαντώσεις, αυτές που προκαλούνται από την κίνηση του αυτοκινήτου. Το μοτέρ λοιπόν, κινείται πάνω στις ελαστικές του βάσεις εξαιτίας των ανωμαλιών του δρόμου, εξαιτίας της επιτάχυνσης/ επιβράδυνσης/ στροφής του αυτοκινήτου και φυσικά λόγω της σχέσης δράσης - αντίδρασης μεταξύ κινητηρίου συγκροτήματος και τροχών. Με άλλα λόγια, όταν πατάμε ή αφήνουμε γκάζι, οι ελαστικές βάσεις συγκρατούν τον κινητήρα, ώστε να περιστρέφονται οι ρόδες και όχι το μοτέρ μαζί με το σασμάν. Παρ' όλα αυτά, ο κινητήρας δεν είναι πακτωμένος στο αμάξωμα, και ως εκ τούτου η εξάτμιση, που είναι σταθερά συνδεδεμένη με τον κινητήρα, τον ακολουθεί. Ωστόσο, η εξάτμιση είναι "μπαλαντέρ" ανάμεσα σε δυο συστήματα: τον κινητήρα, που διαθέτει μια σχετική ελευθερία κίνησης, και το ακίνητο αμάξωμα, το οποίο τη φέρει και τη στηρίζει. Προκειμένου η εξάτμιση να μην κοπεί στα δυο, πρέπει να διαθέτει ελαστικά τμήματα και ελαστικές βάσεις [3].

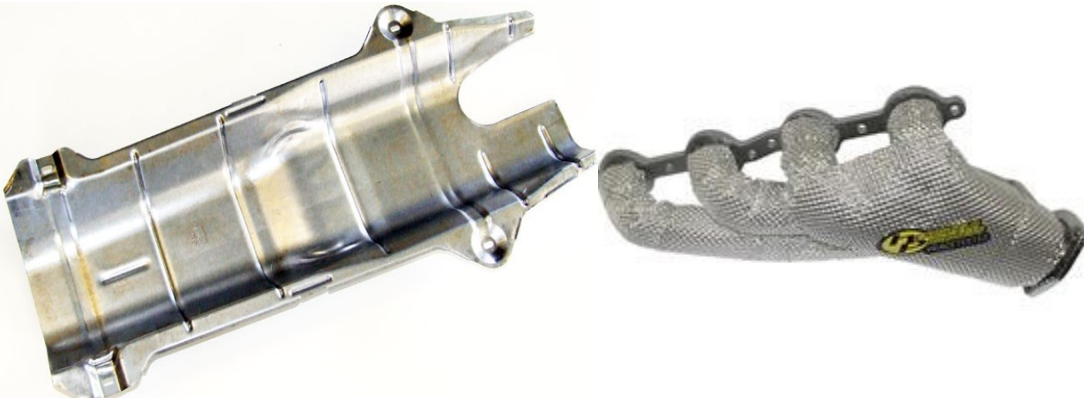
- **Θερμοκρασία:**

Οι αλλεπάλληλες αυξομειώσεις θερμοκρασίας καυσαερίων. Είτε μιλάμε για ένα συνεχές σταμάτα ξεκίνα για την κίνηση εντός πόλης, είτε για μία συνεχής μεγάλη διαδρομή με το γκάζι συνεχώς πατημένο, το σύστημα εξαγωγής ανεβάζει θερμοκρασίες τρομερά υψηλές. Αλλωστε όσο πιο πολύ γκάζι πατάς, τόσο περισσότερη βενζίνη και, ως εκ τούτου, τόσο περισσότερη θερμότητα στέλνεις στην εξάτμιση. Η θερμική καταπόνηση του συστήματος είναι μεγάλη. Όλες αυτές οι μεταβολές θερμοκρασίας προκαλούν σημαντικές διαστολές / συστολές στην εξάτμιση

δυσχαιρένοντας την αντοχή του μετάλλου, αφού ως γνωστόν, οι μηχανικές ιδιότητες οποιουδήποτε μετάλλου φθίνουν όσο αυξάνει η θερμοκρασία του [3].

#### ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Οι θερμοασπίδες είναι το πρώτο μέσο προστασίας της εξάτμισης αλλά και άλλων εξαρτημάτων του οχήματος μας όπως της πολλαπλής εξαγωγής του καταλύτη και γενικά του αμαξώματος. Οι θερμικές ασπίδες έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν τις κατασκευές από ακραίες θερμοκρασίες ανακλώντας ή απορροφώντας θερμότητα. Μια καλή θερμική ασπίδα πρέπει να έχει υψηλή θερμική αντίσταση και θερμική εκπομπή, έτσι ώστε να αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες και να αντανακλά και να απελευθερώνει τη θερμότητα μακριά από τον εαυτό της. Οι θερμικές ασπίδες χρησιμοποιούνται συνήθως στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην αεροδιαστημική βιομηχανία[4].



Εικόνα 2. Θερμοασπίδες

#### *1.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ*

Τα εξαρτήματα που αποτελούν ένα σύστημα εξάτμισης πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή στη διάβρωση για να αντέχουν στην εσωτερική επίθεση του συμπυκνωμένου νερού που περιέχει τα διαβρωτικά ιόντα αλλά και στην εξωτερική επίθεση διαφόρων στοιχείων. Τα εξαρτήματα που είναι πιο κοντά στον κινητήρα μπροστά από τον σιγαστήρα απαιτούν υψηλή αντοχή στην οξείδωση, επειδή θερμαίνονται σε περίπου 773K (500 οC) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Η πολλαπλή εξαγωγή, η οποία θερμαίνεται στην υψηλότερη θερμοκρασία, πρέπει να διαθέτει

τόσο αντοχή στην υψηλή θερμοκρασία όσο και αντίσταση στη θερμική κόπωση. Επίσης εκτός από αυτές τις προσπάθειες για τη βελτίωση της αντοχής στη διάβρωση, είναι επίσης απαραίτητο να επιτευχθούν οικονομικές βελτιώσεις μειώνοντας το βάρος του πλήρους συστήματος εξατμίσεως[5].

- **Ανοξείδωτο ατσάλι**

Τα εξαρτήματα εξαγωγής από ανοξείδωτο χάλυβα έχουν την καλύτερη αντίσταση στη σκουριά και την διάβρωση. Ανάλογα βέβαια με την επεξεργασία που έχει δεχτεί παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στις καταπονήσεις και τις υψηλές θερμοκρασίες για αυτό είναι και τόσο διαδεδομένο ως υλικό για την κατασκευή εξατμίσεων, τελικών ή ολόκληρων συστημάτων. Υπάρχουν διαφορετικές ποιότητες ανοξείδωτου χάλυβα. Το 409 και 304 είναι οι πιο δημοφιλείς ποιότητες που χρησιμοποιούνται στα εξαρτήματα εξατμίσεων. Παρότι και οι δύο θεωρούνται ανοξείδωτοι, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η διαφορά μεταξύ των τύπων ανοξείδωτου χάλυβα είναι η ποσότητα χρωμίου και νικελίου που υπάρχουν σε κάθε μία. Ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 περιέχει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό χρωμίου και νικελίου. Αυτό το καθιστά πολύ πιο ανθεκτικό στη σκουριά. Ο ανοξείδωτος χάλυβας 409 είναι ακόμα πιο ανθεκτικός στη σκουριά από τον αλουμινένιο χάλυβα. Ωστόσο, κανένα είδος μετάλλου δεν είναι 100% ανθεκτικό στη σκουριά [6].

- **Μαλακός χάλυβας**

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο μαλακός χάλυβας ήταν ένα δημοφιλές υλικό για μέρη εξατμίσεως. Είναι ελαφρύ, εύκολο στην εργασία και φθινό. Ωστόσο, σκουριάζει πολύ γρήγορα. Τα μέρη μαλακού χάλυβα έχουν μικρή διάρκεια ζωής, σε σύγκριση με άλλα υλικά [6].

- **Αλουμίνιο**

Το αλουμίνιο και τα κράματα του είναι το βασικότερο βιομηχανικό μέταλλο μετά το σίδηρο και τον χάλυβα. Ξεχωρίζει χάρη στο ιδιαίτερα χαμηλό του βάρος που βρίσκεται περίπου στο 1/3 σε σχέση με το ανοξείδωτο ατσάλι αλλά και στην ιδιότητα του να απάγει γρήγοτα τη θερμότητα. Πολύ καλή είναι η αντίσταση του στην διάβρωση. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή τελικών [6].

- **Τιτάνιο**

Το τιτάνιο ως κράμα για εφαρμογές εξάτμισης είναι ένα σχετικά ισχυρό και πολύ ελαφρύ υλικό με αντοχή στην διάβρωση και τις καταπονήσεις, επίσης διακρίνεται για την γρήγορη απαγωγή της θερμότητας. Ωστόσο, αυτό το πετυχαίνουν με σημαντικά μικρότερο βάρος που μπορεί να φτάσει ακόμη και το 40-45% σε σχέση με το ατσάλι. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να οξειδωθεί όταν το οξυγόνο διαχέεται στην επιφάνεια [7].

- **Ίνες άνθρακα**

Οι ίνες άνθρακα πλεγμένες μεταξύ τους και «βουτηγμένες» σε εποξική ρητίνη δημιούργησαν ένα από τα πιο ποθητά συνθετικά υλικά στο χώρο των δύο τροχών. Ανάλογα με την «ύφανσή», τον αριθμό των φύλλων, τα πρόσθετά στη ρητίνη αλλά και το «ψήσιμο», ο κατασκευαστής μπορεί να ρυθμίσει την αντοχή και την ελαστικότητα του υλικού. Με βάρος έως και 8 φορές μικρότερο από αυτό του ατσαλιού τα ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται συνήθως στα τελικά των εξατμίσεων [7].

- **Κράματα νικελίου**

Τα πιο ακριβά υλικά εξάτμισης είναι τα κράματα νικελίου. Τα υλικά αυτά δημιουργούνται ειδικά για χρήση σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας με αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και αντοχή. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον μηχανοκίνητο αθλητισμό [7].

## *1.5 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ*

### *1.5.1 ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ*

Η πολλαπλή εξαγωγή αποσκοπεί στην απαγωγή των καυσαερίων από του κυλίνδρους στο περιβάλλον, μέσω του συστήματος του σιγαστήρα(σιλανσιέ). Η πολλαπλή εξαγωγή κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα, αλλά έχει και προσμίξεις νικελίου και χρωμίου, ώστε να προστατεύεται από την διαβρωτική δράση των καυσαερίων. Ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα, αποτελείται από ένα η περισσότερα τεμάχια, συνήθως όταν οι κύλινδροι του κινητήρα

υπερβαίνουν τους τέσσερις. Υπάρχουν δύο είδη εξαγωγών, τα 4 σε 1 και τα 4-2-1. Το πρώτο ενώνει 4 σωλήνες, που λέγονται πρωτεύοντες, σε έναν κοινό συλλέκτη. Το δεύτερο ενώνει τους κυλίνδρους 1,4 και τους 2,3 σε δύο δευτερεύοντες αγωγούς που ενώνονται στον κοινό τελικό συλλέκτη. Το πρώτο σύστημα χρησιμοποιείται σε υψηλές στροφές(αποδίδει καλά πάνω από τις 7000 στροφές). Το άλλο σύστημα αποδίδει καλύτερα σε χαμηλές και μεσαίες στροφές, δηλαδή από 2000 ως 5000 στροφές ανά λεπτό. Για την σχεδίαση της πολλαπλής εξαγωγής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής στοιχεία [8]:

- A) Ο κυβισμός του κινητήρα
- B) Η γωνία χρονισμού του εκκεντροφόρου
- Γ) Οι στροφές λειτουργίας της μηχανής



Εικόνα 3. Πολλαπλή Εξαγωγής

### 1.5.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (ΛΗΠΤΗΣ Λ)

Όλα τα μοντέρνα αυτοκίνητα με έγχυση καυσίμου χρησιμοποιούν αισθητήρες οξυγόνου (O<sub>2</sub>) για να μετρήσουν πόσο οξυγόνο υπάρχει στην εξάτμιση. Από αυτές τις πληροφορίες, ο υπολογιστής μπορεί να προσθέσει ή να αφαιρέσει καύσιμο για να αποκτήσει το σωστό μείγμα για μέγιστη οικονομία καυσίμου και βέλτιστη απόδοση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχουν δύο αισθητήρες O<sub>2</sub> σε έναν τετρακύλινδρο κινητήρα. Το ένα βρίσκεται στην



πολλαπλή εξαγωγή πριν από τον καταλυτικό μετατροπέα. Το άλλο βρίσκεται μετά τον καταλυτικό μετατροπέα στον αγωγό εξαγωγής. Σήμερα, έχει αναπτυχθεί η Τρίτη γενιά που είναι ο τύπος θερμαινόμενου λήπτη λάμδα. Σε κινητήρες V6 ή V8 υπάρχουν τέσσερις αισθητήρες O<sub>2</sub>. Δύο αισθητήρες O<sub>2</sub> βρίσκονται πριν από τον καταλυτικό μετατροπέα σε κάθε τράπεζα κυλίνδρων. Οι άλλοι δύο αισθητήρες O<sub>2</sub> βρίσκονται μετά τον καταλυτικό μετατροπέα στις αντίστοιχες τράπεζες [9].



Εικόνα 4. Λήπτης Λάμδα

### 1.5.3 ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ

Οι καταλύτες αποτελούν σήμερα την οριστική τεχνολογική λύση στο πρόβλημα του ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις βενζινοκίνητες μηχανές εσωτερικής καύσης. Η αποτελεσματικότητα των καταλυτών έχει αποδειχθεί κατά την τελευταία δεκαετία, ενώ

καταβάλλονται συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης για οικονομικούς λόγους, αλλά και εξαιτίας της μεταβολής των συνθηκών χρήσης και της κίνησης των αυτοκινήτων.

Η εξουδετέρωση των αέριων ρυπαντών (CO, HC, NO<sub>x</sub>) στους καταλύτες οφείλεται στη δράση των πολύτιμων μετάλλων πλατίνας, παλαδίου και ροδίου. Τα μέταλλα αυτά είναι σπάνια και παράγονται κυρίως στην Νότια Αφρική (90% της παγκόσμιας παραγωγής). Για τον λόγο αυτό, η τιμή των καταλυτικών μετατροπών παραμένει υψηλή και αποτελεί σημαντική επιβάρυνση στο κόστος των αυτοκινήτων, όπως και τα νέα συστήματα τροφοδοσίας και έναυσης ( injection, ηλεκτρονική ανάφλεξη). Η απόδοση και η διάρκεια ζωής των καταλυτών εξαρτάται καθοριστικά από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Σε ότι αφορά στον ίδιο τον καταλύτη, σημαντική επίδραση ασκούν η ποσότητα και η διασπορά του πολύτιμου μετάλλου, το είδος και η ποσότητα του υποστρώματος και του κεραμικού υλικού και η θερμική καταπόνηση του. Ο καταλύτης τοποθετείται αμέσως μετά την εξαγωγή του κινητήρα και πριν το σιλανσιέ. Οι χημικές αντιδράσεις μπορεί να είναι [10]:

- Αντιδράσεις αναγωγής (καταλύτης το ρόδιον- Rh), κατά τις οποίες αφαιρείται οξυγόνο από τα NO<sub>x</sub> και σχηματίζονται N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.
- Αντιδράσεις οξείδωσης ( καταλύτες η πλατίνα ή λευκόχρυσος – Pt και το παλάδιον – Pd ), κατά τις οποίες καίγονται CO και HC και σχηματίζονται CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Η ιδανική σχέση πλατίνας – ροδίου σε έναν τριοδικό καταλύτη 5:1. Στην πρώτη ύλη, όμως, η αναλογία είναι μόλις 12:1. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη ύλη πρέπει να εμπλουτίζεται σε ρόδιον, η τιμή του οποίου συνεχώς αυξάνεται, με συνέπεια να καταβάλλονται σήμερα προσπάθειες υποκατάστασης του, χωρίς μείωση της απόδοσης του καταλύτη.

1. **Μονής κλίνης, οξειδωτικός.**
2. **Διπλής κλίνης, οξειδωτικός και αναγωγικός.**

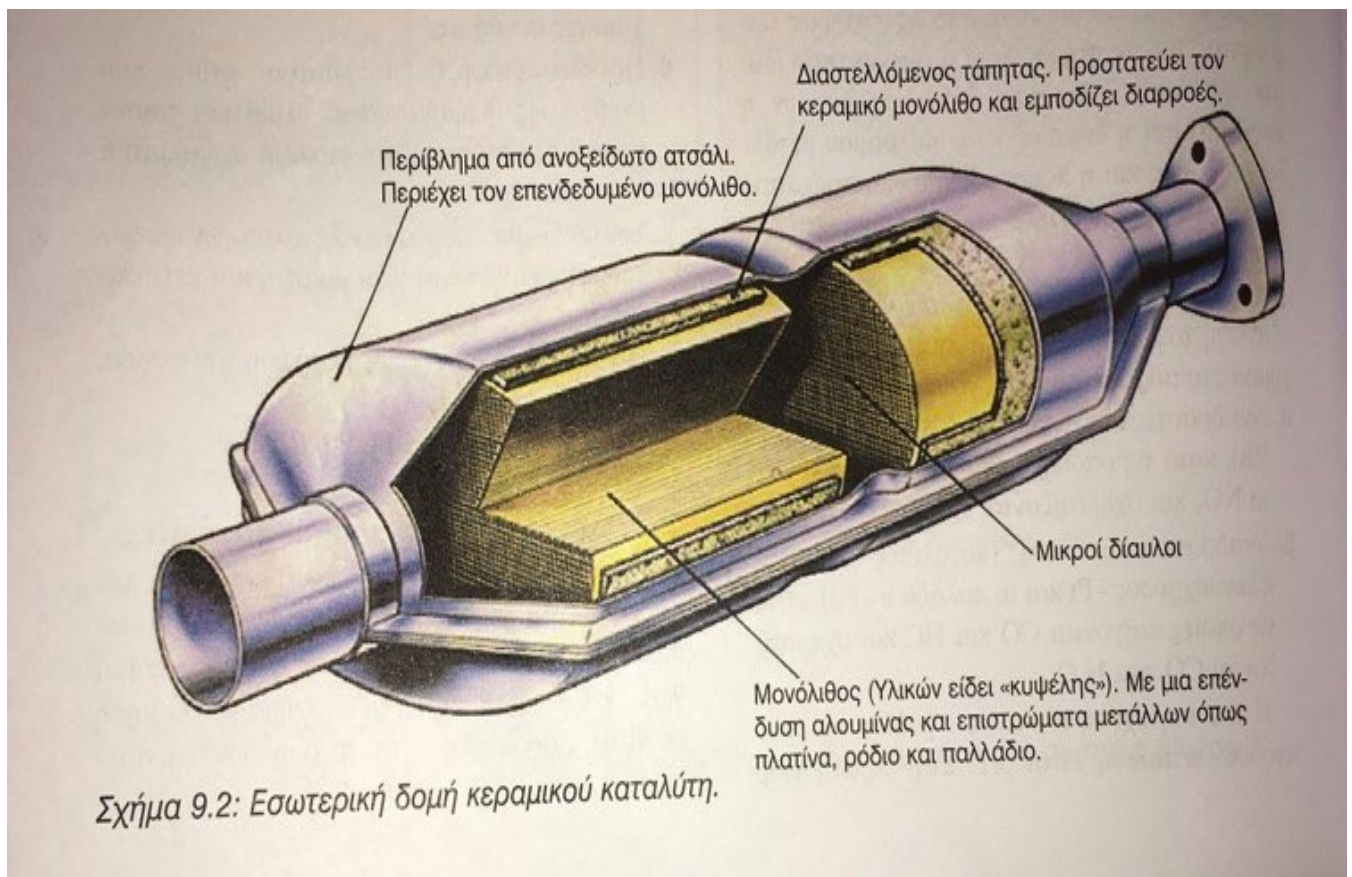
### 3. Μονής κλίνης, τριών δρόμων καταλύτης.

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις, απαιτείται η παροχή συμπληρωματικού ( δευτερεύοντα ) αέρα, ενώ στην Τρίτη η αναλογία του μίγματος καθορίζεται από τον αισθητήρα –λ της αναλογίας αέρα – καυσίμου.

#### *1.5.3.1 ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ*

Ο καταλύτης (βλ.εικόνα) αποτελείται από **[11]**:

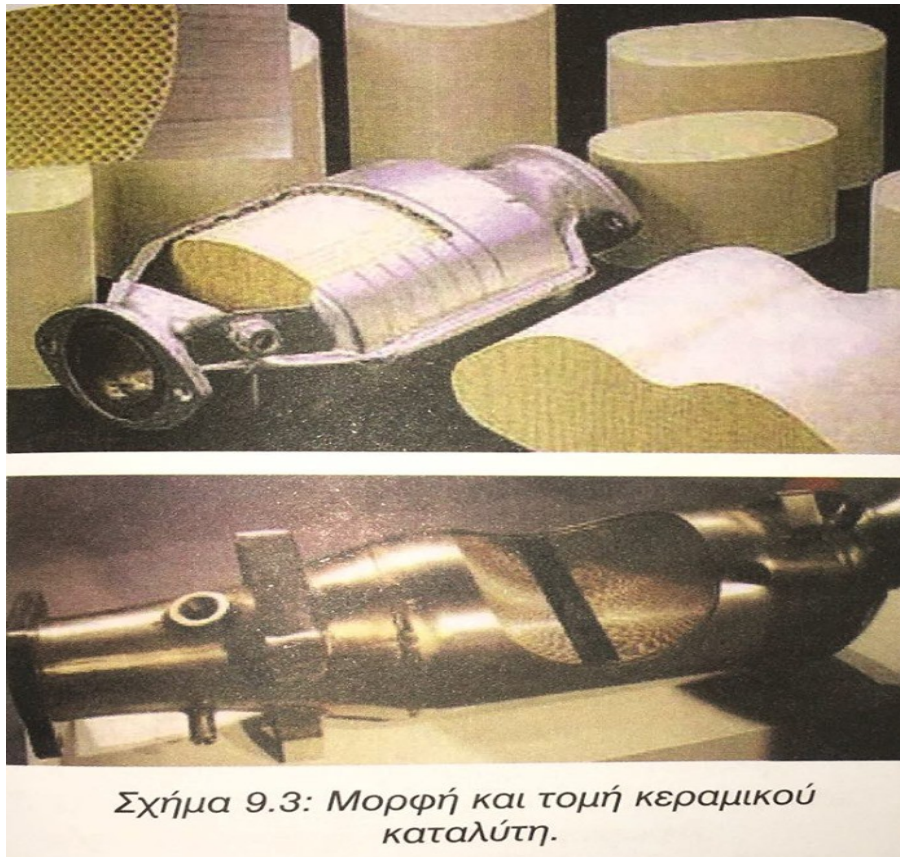
1. Το εξωτερικό κάλυμμα του από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να αποφεύγονται οι οξειδώσεις. Αποτελείται από δύο συμμετρικά τμήματα που συγκολλούνται μεταξύ τους με ακριβείς ελεγχόμενες συνθήκες.
2. Προστατευτική θερμοπλαστική ψάθα που ενεργεί ως θερμομονωτικό υλικό και ταυτόχρονα προστατεύει τα ευπαθή καταλυτικά υλικά από κραδασμούς.
3. Τον μονόλιθο – φορέα των καταλυτικών υλικών που μπορεί να είναι κεραμικός η και μεταλλικός.
4. Την ενδιάμεση (φέρουσα) στρώση του φορέα, που είναι αλουμίνα.
5. Τα καταλυτικά υλικά Pt, Pd, Rh.



Εικόνα 5. Εσωτερική δομή κεραμικού καταλύτη

### 1.5.3.2 ΚΕΡΑΜΙΚΟΙ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

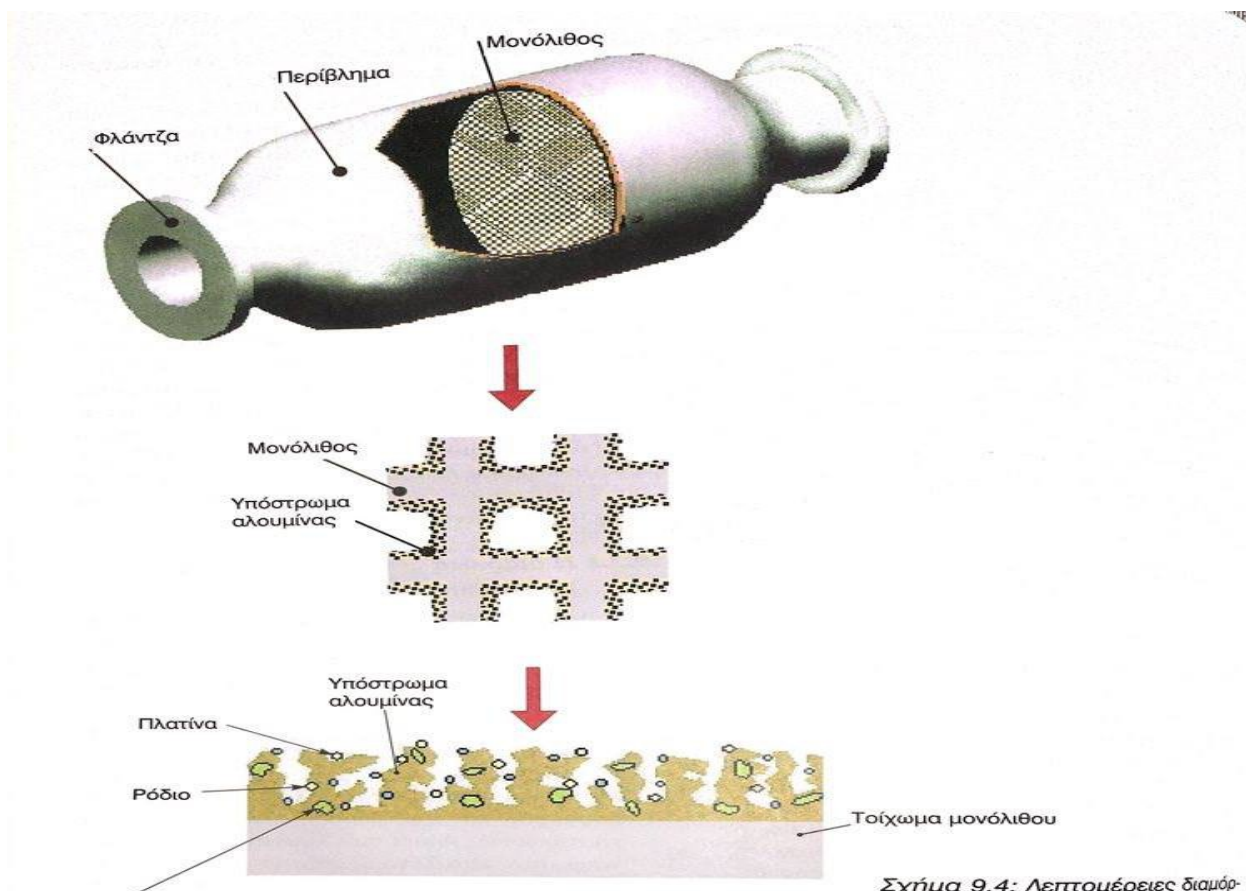
Ο τύπος αυτός των καταλυτών χρησιμοποιείται σήμερα από τις περισσότερες βιομηχανίες αυτοκινήτων. Ο κυψελωτός κεραμικός φορέας (σχήμα 9.3), έχει συνήθως κυλινδρικό σχήμα με διαμήκη κανάλια, παράλληλα προς τη ροή των καυσαερίων. Το πορώδες κεραμικό υλικό αποτελείται από τεχνητό κορδιερίτη που είναι πυριτικό άλας μίγματος μαγνησίου και αλουμινίου. Ο κορδιερίτης έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής, ώστε να αντέχει στις απότομες θερμοκρασίες μεταβολές του καταλύτη. Τα κανάλια έχουν συνήθως πυκνότητα  $60/\text{cm}^2$  ή  $400/\text{in}^2$  και πάχος τοιχώματος  $0.15 - 0.20\text{mm}$ . Το πορώδες του υλικού αυτού κυμαίνεται από 20.000 ως 30.000 Å.



Εικόνα 6. Μορφή και τομή κεραμικού καταλύτη

Η μορφοποίηση του μίγματος των πρώτων υλών σε μονόλιθο πραγματοποιείται με εκβολή. Στη συνέχεια, το υλικό ξηραίνεται και ψήνεται. Η παραγωγή γίνεται σε μακρείς κυλίνδρους οι

οποίοι στη συνέχεια κόβονται στο μέγεθος του καταλύτη. Οι κυψελωτοί κεραμικοί φορείς έχουν μεγάλη γεωμετρική επιφάνεια μικρή πτώση πίεσης και μικρή θερμοχωρητικότητα. Βέβαια, τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται από το πάχος των τοιχωμάτων και την πυκνότητα των κυψελίδων (σχήμα 9.4). Η επικάλυψη του κεραμικού με αλουμίνα  $Al_2O_3$  επιτυγχάνεται μέσω ενός υδατικού αιωρήματος. Το αιώρημα αυτό προέρχεται από την υγρή άλεση της αλουμίνας και απαιτείται να έχει χαμηλό ιξώδες και υψηλή συγκέντρωση στερεών. Τα ροολογικά χαρακτηριστικά των αιωρημάτων της αλουμίνας καθορίζονται από το ποσοστό των σωματιδίων κolloειδών διαστάσεων, την περιεκτικότητα του αιωρήματος σε στερεά και το PH. Το ποσοστό των σωματιδίων κolloειδών διαστάσεων καθορίζει τη σταθερότητα και την ομοιομορφία του αιωρήματος, καθώς και τη δυνατότητα πρόσφησης στο κεραμικό υλικό. Η τοποθέτηση των ευγενών μετάλλων γίνεται με απορρόφηση από τα αντίστοιχα υδατοδιάλυτα άλατα ή με ταυτόχρονη τοποθέτηση του καταλυτικού μετάλλου με το υπόστρωμα της αλουμίνας στο ίδιο στάδιο [12].



Σχήμα 9.4: Λεπτομέρειες διαμόρφωσης κεραμικού μονόλιθου

Εικόνα 7. Λεπτομέρειες διαμόρφωσης κεραμικού μονόλιθου

### 1.5.3.3 Η ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΟΛΙΘΟΥ

Η διάρκεια ζωής του καταλύτη είναι η ουσιαστικότερη παράμετρος για τον σχεδιασμό, την επιλογή των καταλυτικών υλικών και τη διαμόρφωση των οικονομικών όρων χρησιμοποίησης των συστημάτων αυτών.

Οι κυριότερες αιτίες φθοράς και γήρανσης του καταλύτη είναι οι εξής [13]:

1. Υπολείμματα μολύβδου της βενζίνης και άλλων προστιθέμενων στα λάδια ουσιών (ψευδάργυρος και φώσφορος), που δημιουργούν επιστρώσεις. Ατμοί του λιπαντικού που φθάνουν στον καταλύτη περιέχουν το αντιτριβικό Zddp (zink dialkyl diothiophosphate) που δημιουργεί ως τελικά προϊόντα διοξείδιο του θείου, οξείδιο του ψευδαργύρου και πεντοξείδιο του φωσφόρου. Τα δύο τελευταία δηλητηριάζουν μακροπρόθεσμα τον καταλύτη. Στο εμπόριο διατίθενται λιπαντικά απαλλαγμένα από φώσφορο.
2. Όταν η θερμοκρασία στον καταλύτη υπερβεί τους 900 C, τότε η γ-αλουμίνα, που αποτελεί το υπόστρωμα, μετατρέπεται στην πιο σταθερή μορφή της, την α-αλουμίνα (κούνδιο). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μόνιμη μείωση της ειδικής καταλυτικής επιφάνειας κατά 10 φορές και, συνεπώς, την κατακόρυφη πτώση της καταλυτικής ικανότητας του μετατροπέα. Επίσης, μειώνεται και η πρόσφυση του υποστρώματος στο κεραμικό υλικό, λόγω μείωσης του ειδικού όγκου. Η σταθεροποίηση της γ-αλουμίνας σε υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνεται με προσθήκη ανόργανων στοιχείων, όπως αλκαλικές γαίες, σπάνιες γαίες, ζirkόνιο, θόριο, τιτάνιο, πυρίτιο και βάριο. Η προσθήκη αυτή επιτυγχάνεται με ανάμιξη της αλουμίνας με τα αντίστοιχα οξείδια των στοιχείων ή με εμποτισμό της αλουμίνας με υδατικό διάλυμα που περιέχει ένα θερμικά ασταθές άλας του σταθεροποιητή. Μετά τον εμποτισμό γίνεται θερμική κατεργασία στους 600-900 C. Αντίθετα, προσθήκες σιδήρου, μαγγανίου, βαναδίου, κοβαλτίου, μολυβδενίου, ψευδαργύρου, και χρωμίου αποσταθεροποιούν τη γ-αλουμίνα και επιταχύνουν τη μετατροπή της σε κορούνδιο. Τέλος, ορισμένα οξείδια που χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές της αλουμίνας αυξάνουν και τη δραστηριότητα του καταλύτη, καθώς συμμετέχουν στην οξειδοαναγωγική χημική αντίδραση.
3. Κραδασμοί και χτυπήματα καταστρέφουν την κεραμική βάση και δημιουργούνται by bass ελεύθερης διαρροής των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα.

4. Όταν δεν διατηρείται η στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου ( $\lambda=1$ ), η αποτελεσματικότητα του καταλύτη μειώνεται.
5. Πολλές φορές, κατά την απαγωγή των NOX δημιουργείται αμμωνία NH<sub>3</sub> που οξειδώνονται πάλι προς NO.
6. Το φράξιμο των καναλιών έχει σαν αποτέλεσμα τον στραγγαλισμό της ροής των καυσαερίων και, συνεπώς, τη μείωση της ισχύος του κινητήρα και την αύξηση της κατανάλωσης.
7. Όταν η βενζίνη περιέχει θείο, δημιουργείται υδρόθειο με χαρακτηριστική μυρωδιά.
8. Η καταλυτική δράση αρχίζει από τους 250 C και άνω. Για τον λόγο αυτό γίνεται ηλεκτρική προθέρμανση του καταλύτη, ελεγχόμενη με θερμοστάτη.

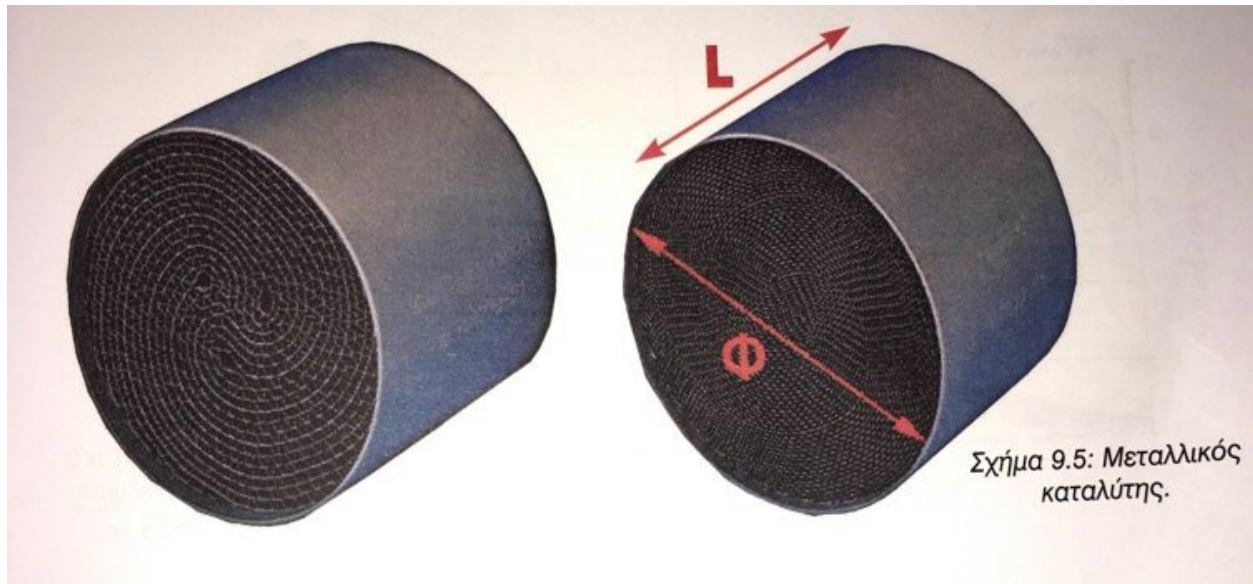
#### *1.5.3.4 ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ*

Η χρήση των καταλύτων αυτών έχει εισαχθεί τα τελευταία χρόνια. Είναι τεχνολογικά εξελιγμένοι και οι αυτοκινητοβιομηχανίες τους τοποθετούν στα κορυφαία μοντέλα τους. Ο μεταλλικός καταλύτης είναι πολύ ακριβότερος από τον κεραμικό, αλλά η χρήση του αναμένεται να επικρατήσει, όταν μειωθεί το κόστος του. Αρχικά, τοποθετούνταν σαν προκαταλύτης κοντά στον κινητήρα, ώστε να επιταχύνεται η καταλυτική διαδικασία, κυρίως στο κρύο ξεκίνημα του κινητήρα, δεδομένου ότι ο μεταλλικός μονόλιθος αντέχει περισσότερο από τον κεραμικό στις θερμικές καταπονήσεις. Βέβαια, η εφαρμογή αυτών ως κυρίως καταλυτών έχει ήδη προχωρήσει, παρά το αυξημένο κόστος, επειδή αυτοί συνδυάζουν και άλλα πλεονεκτήματα [14].



### 1.5.3.5 ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΜΟΝΟΛΙΘΟΣ

Αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα με πληθώρα κυψελών διάφορων σχημάτων(βλ. Σχήμα 9.5). Η κατασκευή του μοιάζει με σεραπατίνα και επιτρέπει στα κυματοειδή ελάσματα να περιτυλίσσονται ή να διαμορφώνονται κατά στρώσεις. Τα στρώματα αυτά συγκολλώνται με σκληρή συγκόλληση, ώστε να αποτελούν ένα συμπαγές σώμα, τον μεταλλικό μονόλιθο. Το υλικό του πλέγματος είναι ο χάλυβας, ανθεκτικός σε υψηλές θερμοκρασίες και διαβρώσεις και καταλλήλος για να δεχθεί την επίστρωση του ευγενούς καταλυτικού υλικού. Το πάχος των συρμάτων των ελασμάτων(τοιχωμάτων) του μονόλιθου αυτού κυμαίνεται από 0.04 ως 0.07 mm. Επίσης, η τοποθέτηση του στο κέλυφος γίνεται ευκολότερα από τον κεραμικό μονόλιθο, επειδή μονόλιθος και κέλυφος διαστέλλονται ανάλογα και δεν είναι απαραίτητη η ενδιάμεση προστατευτική ψάθα.



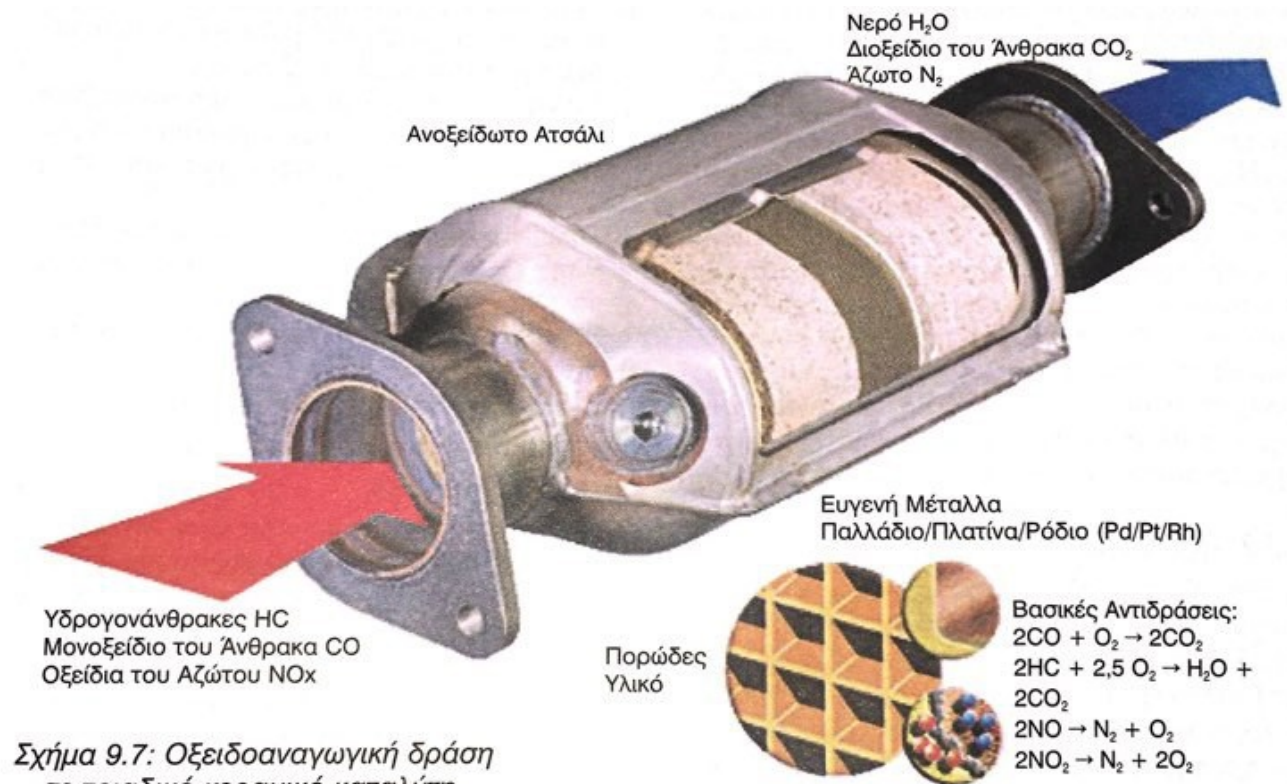
Εικόνα 8. Μεταλλικός καταλύτης

Ο μεταλλικός καταλύτης εμφανίζει μικρότερη αντίθλιψη καυσαερίων και, συνεπώς, αυξημένη ισχύ για την ίδια καταλυτική δράση, λόγω σημαντικά μικρότερου μέσου πάχους τοιχώματος ( 0.05 mm έναντι 0.2 mm ). Ο καταλύτης αυτός είναι περισσότερο ανθεκτικός σε θερμοκρασιακές αιχμές, επειδή ο μεταλλικός μονόλιθος εμφανίζει 10πλάσια θερμοαγωγιμότητα και συνεπώς αποβάλλει πολύ εύκολα την θερμότητα προς το περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής του. Ο μονόλιθος που εμφανίζει ίδια αντίθλιψη με τον κεραμικό έχει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα κυψελών και, επομένως, καταλυτική δράση για την πτώση ισχύος στον κινητήρα. Αντίστροφα, είναι δυνατή η μείωση του όγκου του μονόλιθου κατά 30%, με την ίδια καταλυτικά αποτελεσματικότητα.

Η έναρξη της καταλυτικής δράσης γίνεται γρηγορότερα στον μεταλλικό καταλύτη, επειδή η θερμοχωρητικότητα του είναι η μισή από αυτή του κεραμικού μονόλιθου. Ο καταλύτης φθάνει γρηγορότερα στην θερμοκρασία λειτουργίας του και η καταλυτική δράση κατά την εκκίνηση είναι αρκετά ικανοποιητική. Ο μεταλλικός καταλύτης έχει μεγαλύτερο κόστος, ενώ η μηχανική του αντοχή είναι μικρότερη από αυτή του κεραμικού, επειδή τα μεταλλικά ελασμάτινα στρώματα μπορεί να διαχωρισθούν το ένα από το άλλο. Ακόμη, σε θερμοκρασίες άνω των (1100 C ) το μεταλλικό πλέγμα μπορεί να υποστεί θερμική διάβρωση. Επίσης, σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης, ο μεταλλικός καταλύτης ψύχεται ευκολότερα, λόγω της μικρής του θερμοχωρητικότητας. Συμπερασματικά, είναι δυνατόν να λεχθεί ότι ο μεταλλικός καταλύτης μπορεί να εκτοπίσει στο μέλλον τον κεραμικό, καθώς μειώνεται και το κόστος του. Σήμερα πάντως, υπάρχουν και τριαδικοί καταλύτες με μεταλλικό μονόλιθο [15].

### 1.5.3.6 ΤΡΙΑΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ

Ο καταλύτης αυτός ρυθμιζόμενος ή μη, βρίσκει σήμερα τη μεγαλύτερη εφαρμογή.



Σχήμα 9.7: Οξειδοαναγωγική δράση σε τριαδικό κεραμικό καταλύτη.

Εικόνα 9. Οξειδοαναγωγική δράση σε τριαδικό κεραμικό καταλύτη

Οι σύγχρονοι βενζινοκινητήρες ηλεκτρονικής ανάφλεξης είναι εφοδιασμένοι με «τριοδικούς καταλύτες» οι οποίοι ονομάζονται έτσι επειδή μειώνουν τις εκπομπές τριών αέριων ρυπαντών: των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των οξειδίων του αζώτου (NOx). Ένας τριοδικός καταλύτης ουσιαστικά αποτελείται από δυο διαφορετικά «μέρη»: έναν αναγωγικό καταλύτη που διαχωρίζει το επιβλαβές μονοξείδιο του αζώτου NO σε αβλαβές άζωτο N<sub>2</sub> και οξυγόνο O<sub>2</sub> [2NO > N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>] και έναν οξειδωτικό καταλύτη ο οποίος

οξειδώνει τους επικίνδυνους ρύπους του CO και τους HC και τους μετατρέπει σε διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> και νερό H<sub>2</sub>O

Ο ρυθμιζόμενος καταλύτης μειώνει και τους τρεις ρύπους CO, HC και NO<sub>x</sub> κατά 95%. Ο καταλύτης τοποθετείται σε ένα σύστημα τροφοδοσίας με ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ ή ψεκασμό ( κεντρικό ή πολλαπλό ), με κλειστό κύκλωμα ρύθμισης. Στον καταλύτη αυτό, το O<sub>2</sub> που απελευθερώνεται από την αναγωγή των NO<sub>x</sub> οξειδώνει τα HC, CO. Για τον αυτό, το μίγμα πρέπει να είναι στοιχειομετρικό (  $\lambda=1$  ). Αν το μίγμα είναι πλουσιότερο ( $\lambda<0.99$ ), τα CO, HC αυξάνονται στο καυσαέριο. Αν το μίγμα γίνει φτωχότερο ( $\lambda>1.0$ ), αυξάνονται τα NO<sub>x</sub>.

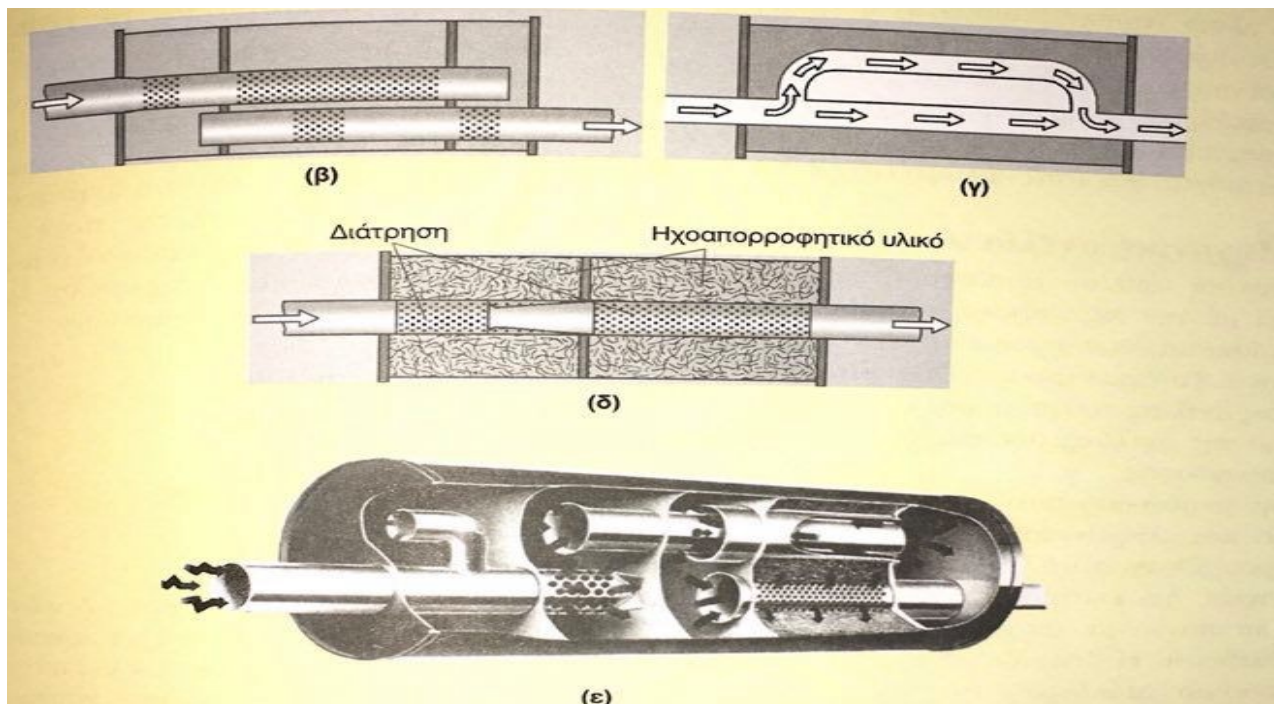
Η ρύθμιση του μίγματος έτσι, ώστε να διατηρείται στοιχειομετρικό, γίνεται με την βοήθεια ενός αισθητήρα οξυγόνου (  $\lambda$  – sensor,  $\lambda$  – sonde ). Ο αισθητήρας που τοποθετείται πριν τον καταλύτη στέλνει συνεχώς πληροφορίες για την σύνθεση του καυσαερίου σε μία κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία επεξεργάζεται τις πληροφορίες και δίνει συνεχείς εντολές διόρθωσης της αναλογίας του μίγματος αέρα – καυσίμου, προκειμένου να διατηρείται πάντοτε στοιχειομετρική ( $\lambda=1$ ). Ο αρρυθμιστος τριοδικός καταλύτης δεν απαιτεί την τοποθέτηση αισθητήρα  $\lambda$  και κλειστού κυκλώματος επιτήρησης [16].

#### 1.5.4 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ

1. Ο καταλύτης ενεργοποιείται άνω των 250 C. Πρέπει, λοιπόν, να αποφεύγονται συνεχές σύντομες διαδρομές με κρύο κινητήρα, επειδή τότε ο καταλύτης δεν λειτουργεί.
2. Η υπέρβαση των 900 C προκαλεί τη θερμική γήρανση του καταλύτη. Για το λόγο αυτό, απαιτείται άριστη λειτουργία του συστήματος τροφοδοσίας και του συστήματος έναυσης, ομαλός και σωστός τρόπος οδήγησης, ενώ πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση της μίζας παραπάνω από τρεις φορές, σε περίπτωση δυσκολίας εκκίνησης, το ξεκίνημα με σπρώξιμο, ιδίως με ζεστό κινητήρα, το σβήσιμο του κινητήρα σε υψηλές στροφές, ο έλεγχος του σπινθήρα με αφαίρεση των μπουζοκαλωδίων και το παρκάρισμα σε μέρη στα οποία υπάρχουν εύφλεκτα υλικά ή ξερά χόρτα.
3. Χρησιμοποιούνται λιπαντικά απαλαγμένα από φώσφορο.
4. Κατα την προθέρμανση ή σε μη ικανοποιητική λειτουργία, εκπέμπονται αυξημένοι αρωματικοί υδρογονάρθηκες.
5. Στις πολύ υψηλές στροφές μειώνεται η ιππόδυναμη του κινητήρα.
6. Επειδή ο κινητήρας λειτουργεί διαρκώς στην περιοχή  $\lambda=1$  η κατανάλωση καυσίμου είναι αυξημένη.
7. Η ύπαρξη θείου στην βενζίνη δημιουργεί υδρόθειο με χαρακτηριστική μυρωδιά, ιδίως όταν δεν επιτυγχάνεται η αναλογία  $\lambda=1$ .
8. Υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του καταλύτη από ισχυρές μηχανικές καταπονήσεις.
9. Ο καταλύτης αντικαθίσταται στα 80-100 χιλ. (km) [17].

*1.5.5 ΣΙΓΑΣΤΗΡΑΣ*

Η μείωση του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί με ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων μέσω των σιγαστήρων (επάνω σε πετάσματα – εκτροπή ροής καυσαερίων) (σχ. 7.7β), με διαχωρισμό και επανένωση από δρόμους διαφορετικού μήκους των καυσαερίων – φαινόμενο συμβολής (σχ. 7.7γ) και με απορρόφηση, κατά την οποία τα ηχητικά κύματα οδηγούνται μέσα από ένα πορώδες υλικό (σχ. 7.7δ). Η ηχητική ενέργεια απορροφάται διά της τριβής και μετατρέπεται σε θερμότητα στο ηχοαπορροφητικό υλικό (ορυκτοβάμβακας ή υαλοβάμβακας). Οι σιγαστήρες ανάκλασης είναι αποτελεσματικοί στις χαμηλές συχνότητες και οι σιγαστήρες απορρόφησης στις υψηλές συχνότητες. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, ακόμη και αν απαιτούνται χωριστά κελύφη (σχ.7.7ε)[18].



Εικόνα 10. Εσωτερική μορφή σιγαστήρα

### *1.5.6 ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ*

Οι συντονιστές απόρριψης είναι συνήθως πρόσθετα χαρακτηριστικά στα συστήματα εξάτμισης. Τοποθετούνται μαζί με τους σιγαστήρες κατά μήκος του σωλήνα εξάτμισης και λειτουργούν κυρίως για τη μείωση του θορύβου εξάτμισης. Ο θόρυβος της εξάτμισης περνάει μέσα από το θάλαμο συντονισμού, ο οποίος με τη σειρά του συντονίζει τον ήχο για να προκαλέσει καταστροφικές παρεμβολές, προκειμένου να ακυρωθεί από τα αντίθετα ηχητικά κύματα. Οι συντονιστές απόρριψης παρέχουν μια ευρεία ποικιλία πλεονεκτημάτων. Εκτός από τη μείωση του θορύβου από το σύστημα εξάτμισης του κινητήρα, η αντηχεία βελτιώνει επίσης τη συνολική απόδοση του κινητήρα και την ομαλότερη οδήγηση, επειδή παράγεται περισσότερη ιπποδύναμη χωρίς να σπαταλάτε τόσο πολύ καύσιμο. Η καταστολή θορύβου συμβάλλει επίσης στη διεξαγωγή δοκιμών εκπομπής καυσίμων, καθώς ο αντηχείο εμποδίζει το κλονισμό του πλαισίου, αποτέλεσμα που συνήθως οδηγεί σε μολυσμένες εκπομπές καυσίμων[19] .

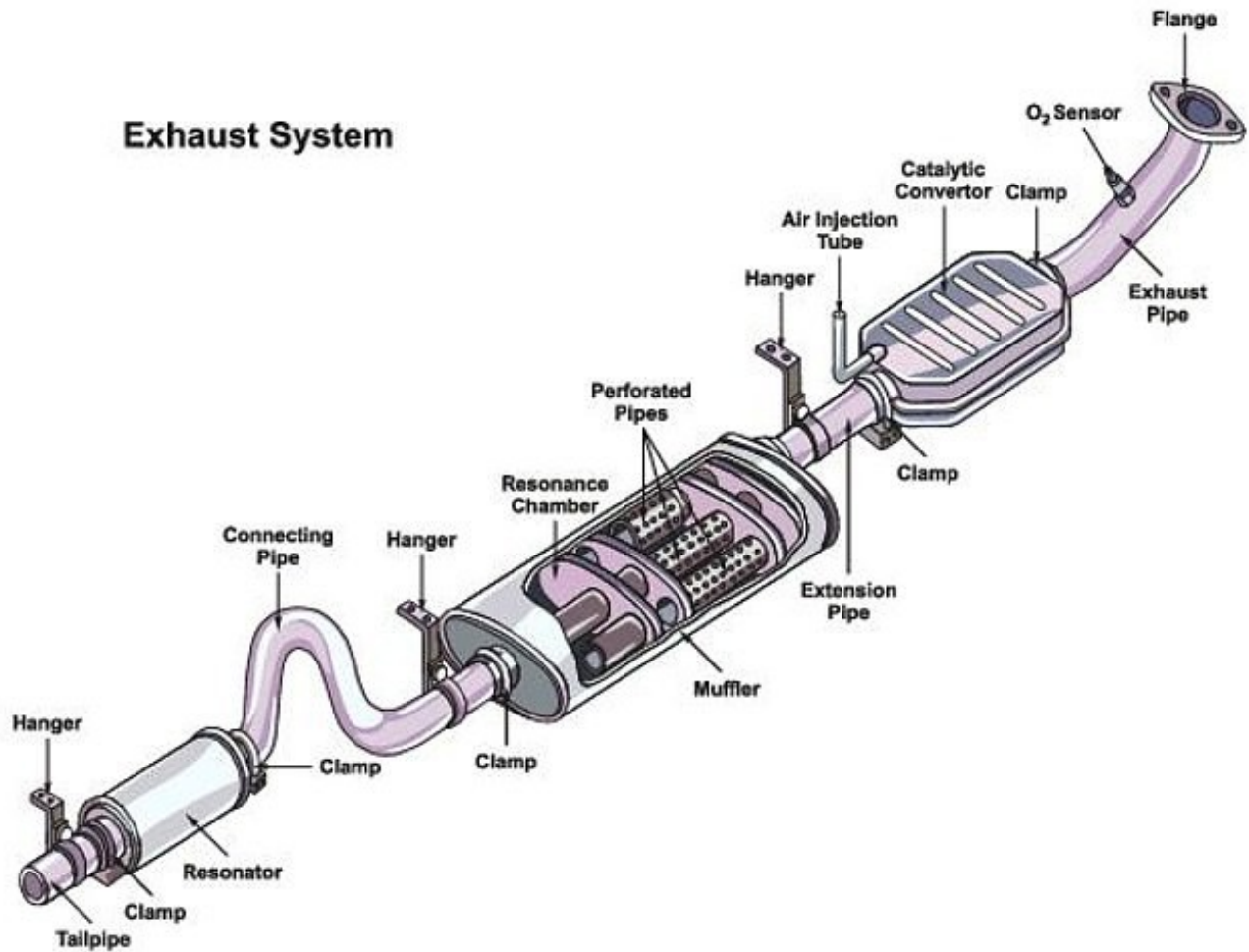
### *1.5.7 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ*

Οι σωλήνες συνδέουν όλα τα εξαρτήματα του συστήματος εξάτμισης. Έχουν σχεδιαστεί για να κατευθύνουν την εξάτμιση με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο καθώς ταξιδεύει προς το πίσω μέρος του οχήματος και να διατηρούν τα θερμά καυσαέρια μακριά από ευαίσθητα εξαρτήματα στο χώρο του κινητήρα και κατά μήκος του πλαισίου του οχήματος. Οι σωληνώσεις εξάτμισης κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα, αλλά μπορούν να είναι σωλήνες από αλουμίνιο ή από ανοξείδωτο χάλυβα, οι οποίες διαρκούν περισσότερο λόγω της αντοχής τους στη διάβρωση. Οι συνδέσεις τους με τα υπόλοιπα εξαρτήματα γίνονται με φλάτζες, σφικτήρες ή συγκολλήσεις[19].



### *1.5.7.1 ΣΩΛΗΝΑΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ*

Ο σωλήνας εξαγωγής καυσαερίων είναι το τελικό τμήμα του σωλήνα στο σύστημα εξάτμισης. Μεταφέρει καυσαέρια στο πίσω μέρος του οχήματος, όπου εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Ορισμένα οχήματα ενδέχεται να έχουν περισσότερες από μία οπές εξαγωγής. Ο σωλήνας εξάτμισης συχνά τελειώνει με μια απλή ή γωνιακή κοπή, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει μια πιο φανταχτερή άκρη. Ο σωλήνας εξάτμισης είναι συχνά μεγαλύτερος σε διάμετρο από το υπόλοιπο σύστημα εξαγωγής. Αυτό παράγει μια τελική μείωση της πίεσης καυσαερίων αλλά και του θορύβου και μερικές φορές χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την εμφάνιση του οχήματος[19].



Εικόνα 11. Σύστημα Εξάτμισης

## 1.6 ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ/ΡΥΠΟΙ

Τα αυτοκίνητα που κινούνται στους δρόμους είναι η κατά κύρια αιτία μόλυνσης του πλανήτη μας, καθώς καθένα από αυτά εκπέμπει καυσαέρια. Ειδικά στις μεγάλες πόλεις το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι μεγάλο. Τα κράτοι επιβάλλουν όλο και πιο αυστηρά μέτρα στις αυτοκινητοβιομηχανίες, όμως ο αυξανόμενος αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνει συνεχώς το πρόβλημα. Οι βενζινοκινητήρες που μας απασχολούν περισσότερο έχουν κάνει μεγάλα βήματα βελτιώσεις των καυσαερίων αλλά αυτό δεν είναι ακόμα αρκετό.

### 1.6.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ

Οι πρωτογενείς ρύποι είναι προϊόντα που περιέχονται στα καυσαέρια και εκπέμπονται απ' ευθείας από τις πηγές τους δηλαδή τα αυτοκινήτα. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι προϊόντα που προκύπτουν από την αλληλοεπίδραση ή το μετασχηματισμό των πρωτογενών εκπομπών και δεν εκπέμπονται από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Πρωτογενείς εκπομπές είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), ο μόλυβδος (Pb) και οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O)[20].

### 1.6.2 ΤΕΛΕΙΑ & ΑΤΕΛΗΣ ΚΑΥΣΗ

Με τον όρο καύση χαρακτηρίζεται πλέον οποιαδήποτε εξώθερμη χημική αντίδραση που συνδυάζεται με την εμφάνιση φλόγας και την έκλυση θερμών αέριων προϊόντων και συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη. Έτσι, η οξείδωση του σιδήρου π.χ. στο περιβάλλον, η οποία είναι εξώθερμη χημική αντίδραση του σιδήρου με το οξυγόνο του αέρα, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως καύση, επειδή ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας κατά τη διάρκεια της είναι πρακτικά μηδενικός. Οι καύσεις διακρίνονται σε πλήρεις ή τέλειες και σε ατελείς ανάλογα με την ποσότητα του O<sub>2</sub> που είναι διαθέσιμη και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια τους[21].

- Πλήρης ή τέλεια είναι η καύση που γίνεται με περίσσεια οξυγόνου και δεν περισεύει άκαυστη χημική ουσία. Η πλήρης καύση είναι πολύ δύσκολη να επιτευχθεί και σχεδόν πάντα παραμένει άκαυστη έστω και ελάχιστη ποσότητα χημικής ουσίας.

- Ατελής καύση πραγματοποιείται συνήθως όταν η διαθέσιμη ποσότητα O<sub>2</sub> είναι μικρότερη από όση απαιτείται σύμφωνα με τη στοιχειομετρική εξίσωση της χημικής αντίδρασης που περιγράφει την τέλεια καύση. Είναι πιθανό, ωστόσο, ενώ υπάρχει διαθέσιμη αρκετή ποσότητα οξυγόνου, ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η καύση να είναι τέτοιος, ώστε να μη χρησιμοποιείται τελικά ολόκληρη η ποσότητα του οξυγόνου. Τα προϊόντα της ατελούς καύσης δεν είναι γενικά καθορισμένα, αλλά εξαρτώνται από την ουσία που καίγεται, τις επικρατούσες συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κ.ά.).

## ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΚ

### 1.6.3 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και δηλητηριώδες αέριο το οποίο παράγεται από μία μηχανή που τροφοδοτείται με πλούσιο μείγμα αέρα – καυσίμου, όταν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να μετα-στοιχειώσει όλη την διαθέσιμη ποσότητα άνθρακα σε CO<sub>2</sub> ένα μέρος του καυσίμου δεν θα καεί ενώ ένα μέρος του άνθρακα θα καεί ατελώς παράγοντας CO. Συνήθως, στα καυσαέρια μιας μηχανής ανάφλεξης με σπινθήρα περιέχει ποσότητα CO μεταξύ 0.2% και 5%. Το CO δεν είναι απλώς ένας ανεπιθύμητος ρύπος, αλλά αντιπροσωπεύει κι ένα μέρος της χημικής ενέργειας του καυσίμου που δεν αξιοποιήθηκε πλήρως.[22].

### 1.6.4 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>x</sub>)

Το άζωτο (N<sub>2</sub>), αν και αδρανές, κάτω από τις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της καύσης, σχηματίζει χημικές ενώσεις με το οξυγόνο O<sub>2</sub> δημιουργώντας οξείδια αζώτου (NO<sub>x</sub>). Υπάρχουν διάφορες χημικές ενώσεις του αζώτου (N<sub>2</sub>) με το οξυγόνο (O<sub>2</sub>), όπως NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, κλπ. Όλα αυτά ονομάζονται χάρη ευκολίας οξείδια του αζώτου και εκφράζονται ως NO<sub>x</sub>.

Πιο συγκεκριμένα, τα οξείδια του αζώτου αποτελούν χημική ένωση του αζώτου με το οξυγόνο του μίγματος, όταν η θερμοκρασία μέσα στο θάλαμο καύσης ξεπεράσει τους 1800 °C.

Για να συμβεί αυτό, απαιτείται υψηλή θερμοκρασία, καθώς και μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου. Συνεπώς τα NO<sub>x</sub> σχηματίζονται σε φτωχά κυρίως μίγματα κατά τη διάρκεια πλήρους και όχι ατελούς καύσης.

Το μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται γρήγορα από το ήδη υπάρχον οξυγόνο και σχηματίζει το διοξείδιο του αζώτου, έναν από τους πιο επιβλαβείς ρυπαντές, αφού συμμετέχει σημαντικά στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους[23].

Οι παράγοντες που επιδρούν περισσότερο για τη συγκέντρωση των σχηματιζόμενων NO<sub>x</sub> κατά την καύση είναι:

- Η μέγιστη θερμοκρασία που δημιουργείται στο θάλαμο καύσης
- Η σχέση αέρα - καυσίμου.

Ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί η ποσότητα των εξερχόμενων NO<sub>x</sub> είναι:

- Να εμποδιστεί η ανύψωση της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο καύσης πάνω από τους 1800 °C.
- Να μειωθεί ο χρόνος κατά τον οποίο επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες με κατάλληλη ρύθμιση του χρονισμού ανάφλεξης.
- Να μειωθεί η ποσότητα συγκέντρωσης οξυγόνου με ρύθμιση της σχέσης αέρα - καυσίμου.

#### *1.6.5 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC)*

Ένας άλλος πρωτογενής ρυπαντής είναι οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), οι οποίοι στην πράξη είναι άκαυστη βενζίνη που εξέρχεται από την εξάτμιση χωρίς να λάβει μέρος στη διαδικασία της καύσης. Όπως προαναφέρθηκε και στο CO, αν η βενζίνη καεί πλήρως στο θάλαμο καύσης, οι HC δεν εκπέμπονται ως καυσαέρια. Στην πραγματικότητα όμως ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, εξέρχονται συχνά άκαυστοι HC[24].

Οι HC προέρχονται από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- **Παλάντζο βαλβίδων:** Κατά τη διάρκεια που οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτοχρόνως ανοικτές, κάποια ποσότητα HC βγαίνει έξω από το θάλαμο καύσης διαμέσου της βαλβίδας εξαγωγής, χωρίς να καεί.
- **Κακή ανάφλεξη:** Άκουστα αέρια μπορεί να παραμείνουν μέσα στο θάλαμο καύσης μετά από κακή ανάφλεξη, όταν το αυτοκίνητο ρολλάρει ή όταν ο κινητήρας φρενάρει, οπότε η πεταλούδα γκαζιού είναι κλειστή. Αυτό γίνεται γιατί δεν διοχετεύεται καθόλου αέρας μέσα στους κυλίνδρους, αν και υπάρχει κάποιο καύσιμο που παρέχεται, όταν το αυτοκίνητο είναι στο ρελαντί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλή συμπίεση και συγκριτικά πλούσιο μίγμα. Χαμηλή συμπίεση και έλλειψη οξυγόνου προκαλεί όμως ατελή καύση του καυσίμου, που έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή HC από την εξάτμιση.
- **Λανθασμένη αναλογία μίγματος αέρα – καυσίμου:** Όταν το μίγμα αέρα - καυσίμου γίνεται πλουσιότερο, η ποσότητα των HC στα καυσαέρια αυξάνει πέρα από ένα ορισμένο σημείο. Αυτό προκαλείται λόγω ατελούς καύσης (έλλειψης οξυγόνου), Αν το μίγμα είναι πολύ φτωχό, η συγκέντρωση των HC θ' αρχίσει να αυξάνεται πάλι αντί να μειώνεται..

#### *1.6.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO<sub>2</sub>)*

Το διοξείδιο του άνθρακα ή το CO<sub>2</sub> είναι ένα αέριο θερμοκηπίου που είναι φυσικό και αβλαβές σε μικρές ποσότητες, αλλά καθώς αυξάνονται τα επίπεδα μπορεί να επηρεάσει την παραγωγικότητα και τον ύπνο, επίσης συμμετέχει σημαντικά στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Το CO<sub>2</sub> συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρά μας από την καύση ορυκτών καυσίμων.

Εξ' αιτίας του συνεχούς αυξανόμενου αριθμού των οχημάτων η ποσότητα του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα συνεχώς αυξάνεται. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) λειτουργεί σαν ασπίδα καθώς

είναι ένα σημαντικό αέριο παγίδευσης της θερμότητας (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Η ασπίδα αυτή επιτρέπει λιγότερη θερμική ακτινοβολία να διαφύγει από τη Γη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά τι η μέση θερμοκρασία της Γης. Ο πλέον δόκιμος τρόπος ελάττωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι η ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμων (μέσω της χρήσης μηχανών με υψηλότερο θερμικό βαθμό απόδοσης). Το CO<sub>2</sub> εκτός από τις φυσικές πηγές παραγωγής του (π.χ. ηφαίστεια), παράγεται σε μεγάλες ποσότητες από τις δραστηριότητες του ανθρώπου[25].

### *1.6.7 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO<sub>2</sub>)*

Είναι ένα άχρωμο, καυστικής οσμής, άκαυστο αέριο με έντονη οσμή. Είναι υγρό όταν βρίσκεται υπό πίεση και διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό. Το διοξείδιο του θείου στον αέρα προέρχεται κυρίως από δραστηριότητες όπως η καύση άνθρακα και πετρελαίου. Μειώνοντας το ποσοστό θείου στο καύσιμο μπορεί να μειωθεί αντίστοιχα η εκπομπή οξειδίων του θείου στα καυσαέρια. Έχει σημαντική ευθύνη στη δημιουργία του νέφους[26].

### *1.6.8 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΑΙΘΑΛΗΣ (PM)*

Η Αιθάλη είναι ακάθαρτα σωματίδια άνθρακα που προκύπτουν από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων. Κάτω από συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα όπως ψυχρή εκκίνηση, επιτάχυνση και υψηλού φορτίου η διαδικασία καύσης του κινητήρα ντίζελ είναι ατελής, με αποτέλεσμα μία αυξημένη δημιουργία σωματιδίων αιθάλης. Αυτά τα μικροσκοπικώς μικρά σωματίδια έχουν μία διάμετρο μόνον περίπου 0,05 μm. Η ίδια η αιθάλη δεν έχει βλαβερή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι υδρογονάνθρακες που προέρχονται από το καύσιμο και τα λιπαντικά, καθώς επίσης και το νερό και τα θειικά άλατα, προσκολλώνται σε αυτούς τους κόκκους, αυξάνοντας το μέγεθός τους στα 0,09 μm. Με τον τρόπο αυτόν δημιουργούνται τα βλαβερά σωματίδια αιθάλης. Σωματίδια (PM) είναι ο όρος για τα σωματίδια και τα υγρά σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα. Τα σωματίδια που εκπέμπονται απευθείας στον αέρα είναι γνωστά ως “άμεσα” ή “κύρια” PM. Τα άλλα σωματίδια που σχηματίζονται έμμεσα στην ατμόσφαιρα από τη χημική αντίδραση των αέριων ρύπων είναι γνωστά ως “πρόδρομες ουσίες”[27].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

### *2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ*

Η αντίστροφη μηχανική ξεκινά με το τελικό προϊόν και λειτουργεί προς τα πίσω για να αναδημιουργήσει τις έννοιες της μηχανικής αναλύοντας το σχεδιασμό του συστήματος. Η αντίστροφη μηχανική (reserve engineering) είναι η γενική ονομασία της ψηφιακής τεχνολογίας



του μοντέλου CAD, η τεχνολογία ανασυγκρότησης του γεωμετρικού μοντέλου και της τεχνολογικής κατασκευής, η οποία διαφέρει από τη δημιουργία του παραδοσιακού γεωμετρικού μοντέλου. Στην πρακτική εφαρμογή της βιομηχανικής περιοχής, η αντίστροφη μηχανική περιλαμβάνει το σχεδιασμό νέων εξαρτημάτων, την αναπαραγωγή των υφιστάμενων εξαρτημάτων, την αποκατάσταση των κατεστραμμένων ή φθαρμένων εξαρτημάτων, τη βελτίωση της ακρίβειας του μοντέλου και την ανίχνευση του ψηφιακού μοντέλου. Η Αντίστροφη μηχανική διαμορφώνεται από το πραγματικό αντικείμενο, το οποίο διαφέρει από τη γενική διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής και αποτελεί μια από τις βασικές επιλογές στην δημιουργία, στην κατασκευή και στην επιδιόρθωση μηχανολογικών αντικειμένων ή μη, με πάρα πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως στην βιομηχανική παραγωγή και σχεδιασμό, στην αρχαιολογία στο σχεδιασμό κοσμημάτων, και ιδιαίτερα πλέον σε μεγάλο βαθμό στην ιατρική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραγωγή ενός αυτοκινήτου. Όταν μια αυτοκινητοβιομηχανία προωθεί στην αγορά ένα νέο μοντέλο αυτοκινήτου, ανταγωνιστικές εταιρείες μπορεί να το αγοράσουν και να το αποσυναρμολογήσουν ψάχνοντας τον τρόπο κατασκευής του αλλά και τον τρόπο λειτουργίας του. Στο βιομηχανικό σχεδιασμό αυτοκινήτων συγκεκριμένα, οι σχεδιαστές δίνουν μορφή και σχήμα στις ιδέες τους χρησιμοποιώντας ξύλο, πηλό και άλλα υλικά ώστε να κατασκευάσουν ένα υπό κλίμακα ή πραγματικό αυτοκίνητο που ανταποκρίνεται πλήρως στις ιδέες τους. Αυτό βέβαια απαιτεί ένα μοντέλο CAD, το οποίο θα μειώσει τόσο τις δυσκολίες που πιθανόν να συναντηθούν όσο και τον χρόνο και το κόστος. Όσο όμως τα προϊόντα γίνονται οργανικά στο σχήμα και στην μορφή τους, η αποτύπωση αυτή σε ένα σχέδιο CAD γίνεται περισσότερο πολύπλοκη και δύσκολη και δεν μπορούμε κάπως να εξασφαλίσουμε ότι το σχέδιο αυτό θα είναι σε θέση να αντιπροσωπεύσει επάξια το λαξευμένο πρωτότυπο. Η Αντίστροφη Μηχανική δίνει λύση σε ακριβώς αυτό το πρόβλημα επειδή το φυσικό μοντέλο είναι η μοναδική πηγή πληροφοριών για το σχέδιο CAD. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επίσης και physical-to-digital process. Μια κοινή παρανόηση σχετικά με την αντίστροφη μηχανική είναι ότι χρησιμοποιείται για λόγους κλοπής ή αντιγραφής της εργασίας κάποιου άλλου[28].

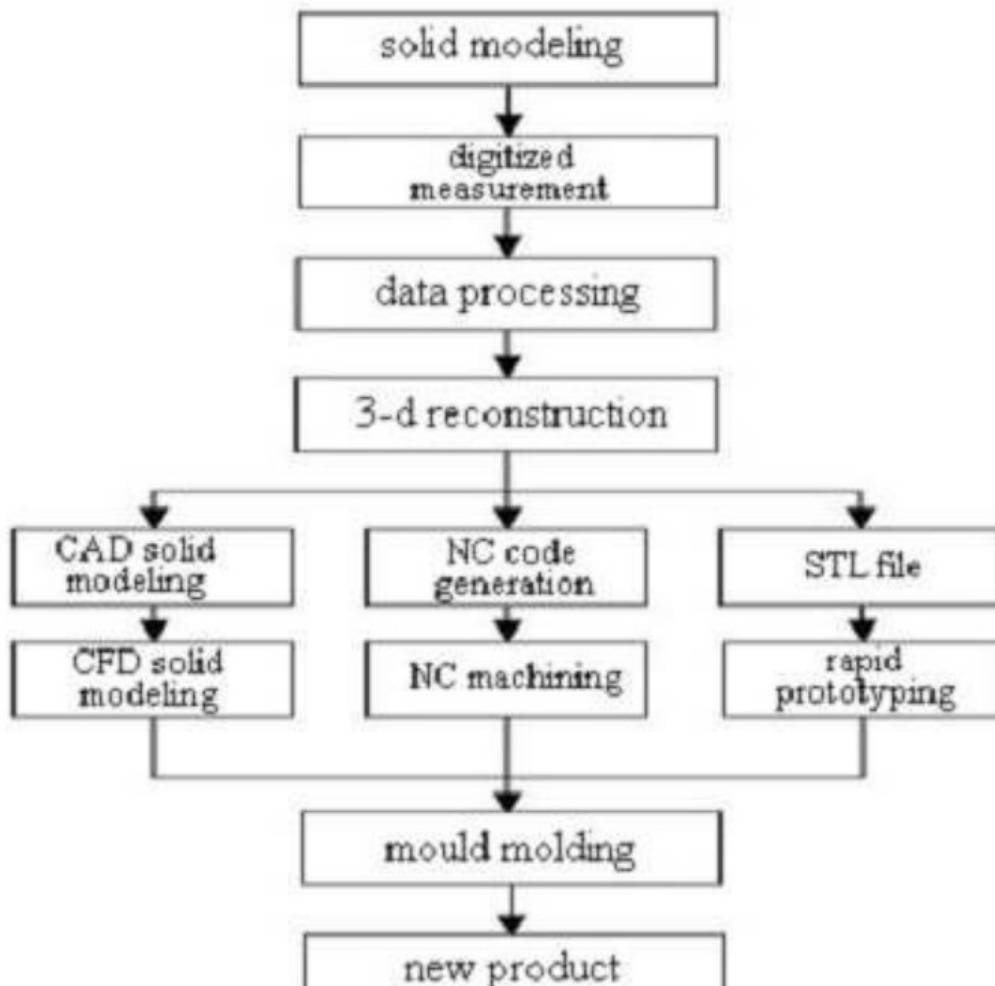
**Κάποια παραδείγματα των διαφορετικών χρήσεων της αντίστροφης μηχανικής:**

- Το γνήσιο βιομηχανικό σχέδιο δεν υπάρχει ή έχει χαθεί.
- Η κατασκευάστρια εταιρία δεν παράγει πλέον αυτό το προϊόν (π.χ. το προϊόν μπορεί να θεωρείται ξεπερασμένο).
- Ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των προϊόντων άλλων ανταγωνιστικών εταιριών.
- Ψηφιοποίηση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Εφαρμογή στην ιατρική για τη δημιουργία οδοντικών ή χειρουργικών ανθρώπινων μερών.
- Μετατροπή ξεπερασμένων προϊόντων σε χρήσιμα, προσαρμόζοντάς τα σε νέα συστήματα.
- Αρχιτεκτονική και κατασκευαστική μοντελοποίηση.

## *2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ*

Η γρήγορη ανάπτυξη του CAD σε πολλούς τομείς επέτρεψε στην αντίστροφη μηχανική να γίνει μια πολύ αξιόπιστη μέθοδος στην δημιουργία ενός 3D ψηφιακού μοντέλου από ένα

υπαρκτό φυσικό αντικείμενο μελέτης για χρήση, από CAD, CAE, CAM. Για την διαδικασία αυτή απαιτούνται τρία στάδια και περιλαμβάνουν: την σάρωση (scanning), την επεξεργασία σημείων (point processing) και την γεωμετρική ανάπτυξη του μοντέλου (geometry model development)[29].



Εικόνα 12. Γενική διαδικασία αντίστροφης μηχανικής

### 2.3 ΣΑΡΩΣΗ

Η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια διαδικασία ανάλυσης ενός αντικειμένου από τον πραγματικό κόσμο, για τη συλλογή όλων των δεδομένων προκειμένου να αναδημιουργηθεί ψηφιακά το σχήμα και η εμφάνισή του. Χάρη σε αυτήν τη διαδικασία, το αντικείμενο μπορεί να γίνει τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο θα μπορούσε να βοηθήσει ως βάση για το έργο 3D

που πρόκειται να αναπτυχθεί, αλλά μπορεί επίσης να είναι χρήσιμο για την ανακατασκευή, την ανάλυση ή την προσομοίωση ιδεών. Η διαδικασία της σάρωσης αποτελεί το πρώτο στάδιο στην αντίστροφη μηχανική και περιλαμβάνει την επιλογή του τρόπου σάρωσης και την προετοιμασία του αντικειμένου μελέτης που πρόκειται να σαρωθεί.

Η λειτουργία της σάρωσης στηρίζεται στην χρήση τρισδιάστατων σαρωτών. Η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την καταγραφή του σχήματος ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο σαρωτή. Το αποτέλεσμα είναι ένα τρισδιάστατο αρχείο του αντικειμένου το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί, να επεξεργαστεί, ακόμη και να εκτυπωθεί τρισδιάστατα. Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες τρισδιάστατης σάρωσης ανάλογα με το σκοπό και την χρήση που θέλουμε. Η τεχνολογία αυτή έχει γίνει πλέον πιο δημοφιλής από ποτέ και οι επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο αγκαλιάζουν αυτήν την ευέλικτη τεχνολογία για να αυξήσουν την παραγωγικότητα, να εξαλείψουν το περιττό κόστος και να δημιουργήσουν νέα προϊόντα[30].

Ακολούθως παραθαίτουμε πιο συγκεκριμένα κάποια ερωτήματα για την τρισδιάστατη σάρωση αλλά και για τους σαρωτές:

- **Τι είναι η τρισδιάστατη σάρωση;** Η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια τεχνολογία για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων υψηλής ακρίβειας αντικειμένων πραγματικού κόσμου. Πως λειτουργεί; Ένας τρισδιάστατος σαρωτής λαμβάνει πολλά στιγμιότυπα ενός αντικειμένου. Οι λήψεις στη συνέχεια συγχωνεύονται σε ένα μοντέλο 3D το οποίο μπορούμε να κάνουμε διάφορες ενέργειες.
- **Τι κάνει ένας τρισδιάστατος σαρωτής.** Ένας τρισδιάστατος σαρωτής δημιουργεί τρισδιάστατες σαρώσεις. Ένας σαρωτής λειτουργεί σαν μια βιντεοκάμερα, που σημαίνει ότι τραβάει φωτογραφίες ενός αντικειμένου. Μια φωτογραφική μηχανή, ωστόσο, κάνει δισδιάστατες φωτογραφίες, ενώ ο σαρωτής καταγράφει τη γεωμετρία της επιφάνειας του αντικειμένου και οι λήψεις που έκανε μπορούν να επεξεργαστούν σαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο.

- **Που χρησιμοποιείται η τρισδιάστατη σάρωση;** Η τρισδιάστατη σάρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς όπως στην βιομηχανία την ιατρική την κοσμηματολογία και σε πολλούς άλλους τομείς.

Για τους τρισδιάστατους ψηφιακούς σαρωτές παραθέτουμε συγκεκριμένα:

- **Σαρωτές επαφής:** Οι σαρωτές αυτοί εξετάζουν το αντικείμενο μέσω φυσικής επαφής δίνοντας σχετικές συντεταγμένες σε ένα ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει κυρίως τα συστήματα CMM ( coordinate measuring machine ). Τα συστήματα αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα από την άποψη της ακρίβειας. Τα μειονεκτήματα τους όμως είναι σημαντικά καθώς απαιτούν την φυσική επαφή με το αντικείμενο γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην μεταβολή ή ακόμα και στην καταστροφή του προς εξέταση αντικειμένου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό όταν τα αντικείμενα που σαρώνουμε είναι ευαίσθητα όπως για παράδειγμα ιστορικά έργα τέχνης ή ευαίσθητα όργανα και εξαρτήματα. Ένα άλλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι σχετικά χρονοβόρα συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Η κίνηση του βραχίονα σάρωσης οδηγεί σε χαμηλές ταχύτητες. Ακόμα και τα ταχύτερα των οργάνων δεν καταφέρνουν σάρωση μεγαλύτερη από μερικές εκατοντάδες σημείων το λεπτό. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι δεν χρειάζονται ( ανάλογα με τις εφαρμογές ) περαιτέρω μετρήσεις ώστε να γεωαναφερθούν τα μοντέλα που δημιουργούνται. Επίσης παρά το γεγονός της αργής συλλογής στοιχείων η σάρωση γίνεται απόλυτα ελεγχόμενη από τον άνθρωπο ο οποίος ορίζει τα σημεία αποτύπωσης αποφεύγοντας έτσι αρκετή από την διαδικασία της επεξεργασίας και κυρίως την διαγραφή των άχρηστων σημείων[31].



Εικόνα 13. Σαρωτής επαφής

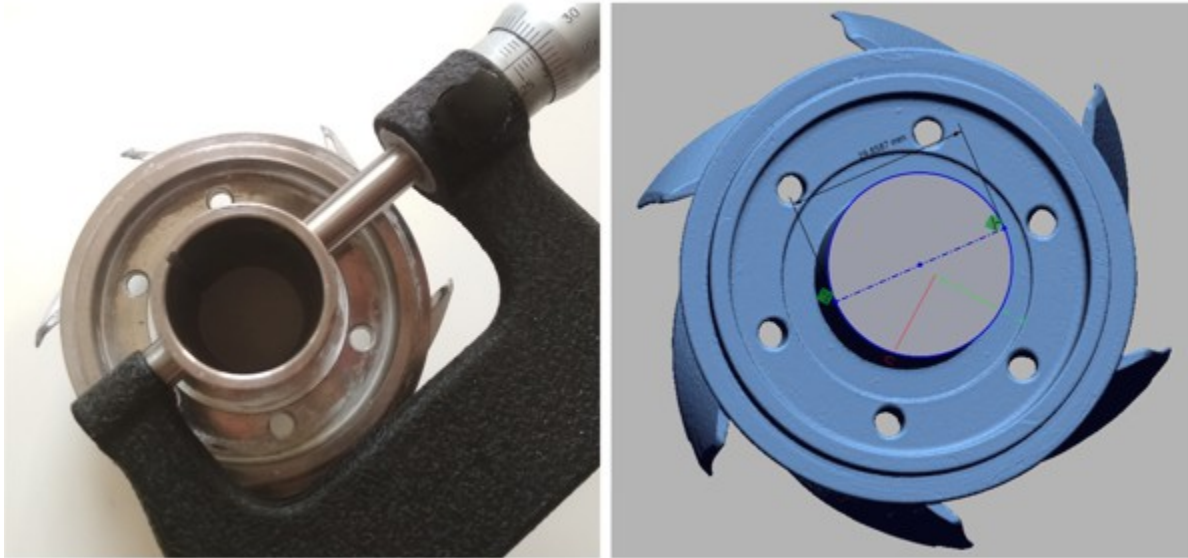
- **Σαρωτές χωρίς επαφή:** Οι σαρωτές αυτού του τύπου αντίθετα με την τεχνολογία των σαρωτών επαφής χρησιμοποιούν κάποιο είδος ακτίνας λέιζερ ή την τεχνολογία δομημένου

φωτός για να εντοπίσουν την θέση των σημείων που θα μετρηθούν. Τα τελευταία χρόνια, η παρουσία συστημάτων σάρωσης χωρίς επαφή έχει αυξηθεί συνεχώς στον κλάδο. Ο κύριος λόγος είναι ότι αυτά τα συστήματα οδηγούν σε σημαντική μείωση του χρόνου επιθεώρησης και κατά συνέπεια μείωση του κόστους κατασκευής, διατηρώντας παράλληλα τα επίπεδα ποιότητας[32].

Μερικοί λόγοι για τους οποίους οι σαρώτες χωρίς επαφή έχουν μεγάλη ζήτηση στην αγορά είναι:

### 1. ΑΚΡΙΒΕΙΑ

Η ακρίβεια ενός φορητού σαρωτή 3D κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,01 mm και 0,1 mm. Στην πραγματικότητα, αναφέρεται στο πόσο κοντά στο πραγματικό αντικείμενο έχουμε φτάσει με την δημιουργία του εικονικού αντιγράφου του. Η ακρίβεια είναι εξαιρετικά σημαντική όταν πρέπει να ληφθούν βασικές αποφάσεις με βάση τα δεδομένα της τρισδιάστατης σάρωσης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για βιομηχανικές εφαρμογές, όταν η ακρίβεια είναι ύψιστης σημασίας.



Εικόνα 14. Πραγματικό και 3D μοντέλο κυλίνδρου φτερωτής μετρημένο με μικρόμετρο  $-29.80\text{mm}$ ,  $29.85\text{mm}$

## 2. ΑΝΑΛΥΣΗ

Αν και η ακρίβεια είναι μια από τις βασικές πτυχές είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η ανάλυση της συσκευής σάρωσης. Ενώ η ακρίβεια είναι η μέτρηση του βαθμού απόλυτης ορθότητας της συσκευής, η ανάλυση είναι η ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ οποιωνδήποτε δύο δεδομένων σημείων σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο και συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστά ή μικρά. Η δυνατότητα μεγάλης ανάλυσης που έχουν οι σαρωτές χωρίς επαφή είναι ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές ελέγχου ποιότητας, αντίστροφης μηχανικής, κινούμενων σχεδίων και εικονικής πραγματικότητας, διατήρησης της κληρονομιάς, εγκληματολογίας, κοσμημάτων και πολλών άλλων. Επιλεγμένα προχωρημένα μοντέλα μπορούν να σαρώσουν αντικείμενα 3D με ανάλυση έως  $0,1\text{ mm}$ .





Εικόνα 15. Αριστερά: ανάλυση 0.15mm, δεξιά: ανάλυση 0.3mm

### 3. ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Η ταχύτητα είναι ένα χαρακτηριστικό που διακρίνει τους σαρωτές χωρίς επαφή, ο τρόπος μέτρησης της ταχύτητας διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί η συσκευή. Για παράδειγμα, η ταχύτητα ενός σαρωτή 3D δομημένου φωτός υπολογίζεται από την ποσότητα των καρτέ και τον αριθμό των σημείων που συλλαμβάνονται ανά δευτερόλεπτο. Ορισμένοι προηγμένοι λευκοί σαρωτές με λευκό φως χρειάζονται μόνο ένα δευτερόλεπτο για να φτιάξουν 16 καρτέ και να συλλάβουν 2 εκατομμύρια σημεία του αντικειμένου ενώ ένας φορητός σαρωτής με τεχνολογία VCSEL (**vertical-cavity surface-emitting laser**) είναι ικανός να φτάσει έως και 80 καρτέ ανά δευτερόλεπτο και να καταγράψει έως και 4 εκατομμύρια σημεία σε ένα φλας. Η ταχύτητα των συγκεκριμένων σαρωτών επιτρέπει

στους χρήστες να συλλάβουν γρήγορα οποιοδήποτε αντικείμενο, εξαλείφοντας το περιττό κόστος και αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μεγάλα και δαπανηρά έργα με αυστηρό χρονοδιάγραμμα.



Εικόνα 16. Σαρωτής τεχνολογίας VCSEL υψηλής ποιότητας με ενσωματωμένη οθόνη αφής, μπαταρία και μεταφορά δεδομένων Wi-Fi

#### 4. ΦΟΡΗΤΟΤΗΤΑ

Οι φορητοί τρισδιάστατοι σαρωτές προσφέρουν άλλα πλεονεκτήματα. Δίνουν πολύ υψηλότερο βαθμό ελέγχου στον χειριστή, καθιστώντας τον μια πιο ευέλικτη λύση. Με δυνατότητα λήψης των δυσπρόσιτων σημείων, οι φορητές λύσεις είναι ευκολότερες στον χειρισμό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κόπο γύρω από δύσκολες γωνίες.



*Εικόνα 17. Φορητός σαρωτής με μπαταρία για συνεχή λήψη δεδομένων 3D*

#### *2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ*

Έχοντας ολοκληρώσει την διαδικασία της σάρωσης, ακολουθεί το στάδιο επεξεργασίας των σημείων, όπου εισάγονται τα νέφη σημείων που δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια της

σάρωσης, στο λογισμικό του τρισδιάστατου σαρωτή. Τα νέφη θα μελετηθούν και πιθανόν το λογισμικό αυτό να ελαττώσει τον “θόρυβο” και τον αριθμό των σημείων. Πολύ σημαντικό γεγονός που λαμβάνει χώρα στο στάδιο αυτό είναι το γεγονός ότι ενώνονται και συνδυάζονται κατάλληλα πολλές διαφορετικές σαρώσεις ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ψηφιακή αποτύπωση του αντικειμένου μελέτης. Σε πολλά αντικείμενα μελέτης είναι απαραίτητη η λήψη πολλαπλών και επιμέρους σαρώσεων από διάφορες γωνίες λήψης ώστε να αποτυπωθούν με ακρίβεια όλα τα στοιχεία του αντικειμένου που εξετάζεται. Γι’ αυτό πρέπει να σαρώνεται το αντικείμενο μελέτης, στο πρώτο στάδιο, με μελετημένη σειρά ώστε να μειωθεί η διαδικασία επεξεργασίας των σημείων αλλά και να αποφευχθούν πιθανά λάθη κατά την ένωση των επιμέρους σαρώσεων. Αποτέλεσμα του δεύτερου σταδίου είναι ένα καθαρό και με ξεκάθαρη συνοχή νέφος σημείων το οποίο έχει την δομή που επιθυμούν. Όσον αφορά το νέφος σημείων, πρόκειται για ένα σύνολο από κορυφές που αναπαριστώνται στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Με άλλα λόγια το νέφος σημείων αντιπροσωπεύει το σύμπλεγμα σημείων που μετρά και βλέπει ο ψηφιακός τρισδιάστατος σαρωτής.

Στη συνέχεια, έπεται η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, δηλαδή ένα σύνολο ενεργειών που είναι απαραίτητες για να προκύψει το σωστό ψηφιακό μοντέλο του μνημείου ξεκινώντας από το νέφος των μετρημένων σημείων. Το νέφος σημείων από μόνο του δεν είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα από τον χρήστη και για αυτό πρέπει να υποστεί κάποια τροποποίηση σε κάποιο μοντέλο CAD ώστε να είναι αξιοποιήσιμο από άλλα λογισμικά[33].

## *2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ*

Το στάδιο της γεωμετρικής ανάπτυξης του μοντέλου αποτελεί το στάδιο με την μεγαλύτερη ανάπτυξη καθώς παίζει πρωταρχικό ρόλο στην εξοικονόμηση χρόνου, κόστους και φόρτου εργασίας στις βιομηχανίες. Όπως ακριβώς η ταχεία πρωτοτυποποίηση παίζει καταλυτικό ρόλο

στην μείωση του χρόνου δημιουργίας φυσικών μοντέλων από σχέδια CAD, έτσι και η Αντίστροφη Μηχανική μέσω της τρισδιάστατης σάρωσης συμβάλλουν στην μείωση του χρόνου δημιουργίας ενός σχεδίου CAD από ένα πραγματικό αντικείμενο μελέτης. Στην βιομηχανική παραγωγή ιδιαίτερα που ο χρόνος κοστίζει είναι απαραίτητη η δημιουργία σχεδίων CAD από φυσικά αντικείμενα μελέτης σε κάθε εισαγωγή ενός προϊόντος στην διαδικασία παραγωγής. Για τον λόγο αυτόν κατασκευάστηκαν πολύπλοκοι και κατάλληλοι αλγόριθμοι, οι οποίοι δημιουργούν επιφάνειες που αναπαριστούν πλήρως τις τρισδιάστατες συντεταγμένες που βρίσκονται τα νέφη σημείων. Οι αλγόριθμοι αυτοί εξελίσσονται διαρκώς για να καλύψουν τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς σχετικά με τον χρόνο κατασκευής του μοντέλου CAD και της ακρίβειας στην ποιότητα που εμφανίζει η σάρωση. Φυσικά, σε κάθε περίπτωση το στάδιο αυτό προσαρμόζεται κατάλληλα στον σκοπό της εφαρμογής που έχει η Αντίστροφη Μηχανική. Μία εφαρμογή της Αντίστροφης Μηχανικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου CAD μέσω της διαδικασίας σάρωσης και η σύγκρισή του με το υπάρχον μοντέλο με σκοπό την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει επίσης τη σάρωση ανθρώπινων αρθρώσεων για το σχεδιασμό πρόσθετων που θα είναι πανομοιότυπες με τις πραγματικές, ειδικά σχεδιασμένες για κάθε ασθενή. Όλα τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε μια από τις διαθέσιμες εμπορικές μορφές όπως : IGES, VDA, STL, DXF, OBJ, VRML, κ.α. Αξίζει να σημειωθεί πως με τον όρο ταχεία πρωτοτυποποίηση εννοούμε την αυτόματη κατασκευή πραγματικών αντικειμένων χρησιμοποιώντας βιομηχανική τεχνολογία. Αυτό γίνεται με την χρήση τόσο του CAD όσο και παραγωγικών μηχανών ώστε να δημιουργείται ένα φυσικό αντικείμενο. Βασικό κλειδί για την εναλλαγή μεταξύ CAD και μηχανών είναι το αρχείο STL, το οποίο αντιλαμβάνεται το σχήμα του αντικειμένου μελέτης χρησιμοποιώντας τριγωνικές επιφάνειες. Πρόκειται δηλαδή για την διαδικασία τριγωνισμού των επιφανειών του αντικειμένου μελέτης, οι οποίες προκύπτουν κατάλληλα από σύγχρονους μαθηματικούς αλγόριθμους[34].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΑΡΩΤΕΣ

### 3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΑΡΩΤΩΝ

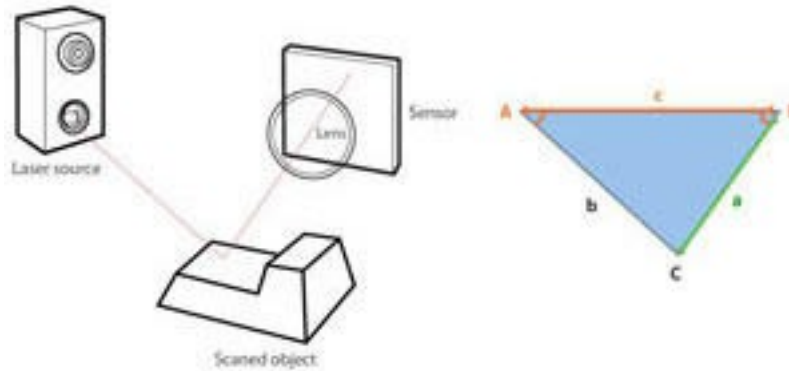
Ο σκοπός του σαρωτή είναι να δημιουργήσει ένα “νέφος σημείων” (point cloud) αποτυπώνοντας πολύ πυκνά διακριτά σημεία της επιφάνειας του αντικειμένου. Αυτά τα σημεία μετά από την επεξεργασία τους μπορούν να σχηματίσουν μία πιστή εικόνα του αντικειμένου. Φυσικά όσο πυκνότερα είναι τα σημεία τόσο πιστότερη αναπαράσταση έχουμε. Η “εικονά” που καταγράφεται έτσι αποτελείται από στοιχεία της απόστασης των σημείων από τον σαρωτή και δεδομένα σχετικά με την θέση τους στον χώρο. Ορίζεται έτσι ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων με αρχή τον αισθητήρα του σαρωτή και με τιμές  $\varphi=0$  και  $\theta=0$  για το διάνυσμα που ξεκινάει από τον αισθητήρα και κατευθύνεται προς τα μπροστά του σαρωτή. Τα  $\varphi$  και  $\theta$  μαζί με την απόσταση του κάθε σημείου (η οποία αντιπροσωπεύει το  $r$ , την τρίτη παράμετρο των σφαιρικών συντεταγμένων) είναι οι σφαιρικές συντεταγμένες που περιγράφουν πλήρως την θέση του αντικειμένου σε ένα σύστημα σχετικό με τον σαρωτή. Στις περισσότερες περιπτώσεις μία σάρωση δεν θα μπορέσει να δημιουργήσει σωστή και ολοκληρωμένη απεικόνιση του αντικειμένου. Συνήθως απαιτούνται αρκετές σαρώσεις από διαφορετικές γωνίες και όψεις ώστε να δημιουργηθεί μία σωστή απεικόνιση. Αυτές οι διαφορετικές σαρώσεις πρέπει να αναφερθούν σε ένα ενιαίο, κοινό σύστημα αναφοράς (alignment ή registration ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείται) για να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο μοντέλο. Όλη αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω ειδικών λογισμικών και είναι απαραίτητη για την δημιουργία του τελικού μοντέλου[35].

### *3.2 ΤΥΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ*

Οι διαφορετικοί τρισδιάστατοι σαρωτές λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους. Ανάλογα με τις μεθόδους χρήσης του τρισδιάστατου σαρωτή, η απόδοση και οι δυνατότητες διαφέρουν. Κάποιος μπορεί να κάνει χρήση οποιασδήποτε από τις διαθέσιμες μεθόδους που ταιριάζουν

καλύτερα στην επιθυμητή εφαρμογή. Μερικές από τις διάφορες τεχνολογίες τρισδιάστατης σάρωσης είναι οι εξής[36]:

➤ **Τρισδιάστατοι λέιζερ σαρωτές τριγωνισμού(μικρού εύρος μικρότερους του 1m):** Οι τρισδιάστατοι σαρωτές λέιζερ τριγωνισμού χρησιμοποιούν είτε ένα μόνο σημείο λέιζερ είτε μια γραμμή λέιζερ για τη σάρωση του αντικειμένου σε όλες τις διαστάσεις τους. Η δέσμη λέιζερ κατασκευάζεται για να πέσει πάνω στο αντικείμενο και καθώς αντανακλάται από το τρισδιάστατο σαρωμένο αντικείμενο, η αλλαγή στην τροχιά της καταγράφεται από έναν αισθητήρα. Η τεχνολογία χρησιμοποιεί τριγωνομετρικό τριγωνισμό μαζί με τα δεδομένα από την αναθεώρηση της τροχιάς λέιζερ για να αποκτήσει μια συγκεκριμένη γωνία απόκλισης. Αυτή η γωνία συνδέεται με την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του σαρωτή. Μόλις ο σαρωτής συλλέξει σχεδόν όλες τις απαραίτητες αποστάσεις ώστε να χαρτογραφήσει την επιφάνεια του αντικειμένου, η τρισδιάστατη σάρωση ολοκληρώνεται. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η υψηλή ανάλυση που είναι πολύ ακριβής και βοηθά στην ακριβή χαρτογράφηση του αντικειμένου. Υπάρχει ωστόσο ένα πρόβλημα κατά τη σάρωση με την τεχνολογία τριγωνισμού λέιζερ. Η σάρωση είναι ευαίσθητη στις επιφανειακές ιδιότητες και μπορεί να υπάρξουν προβλήματα στην σάρωση ενός αντικειμένου που είναι διαφανές ή γυαλιστερό.

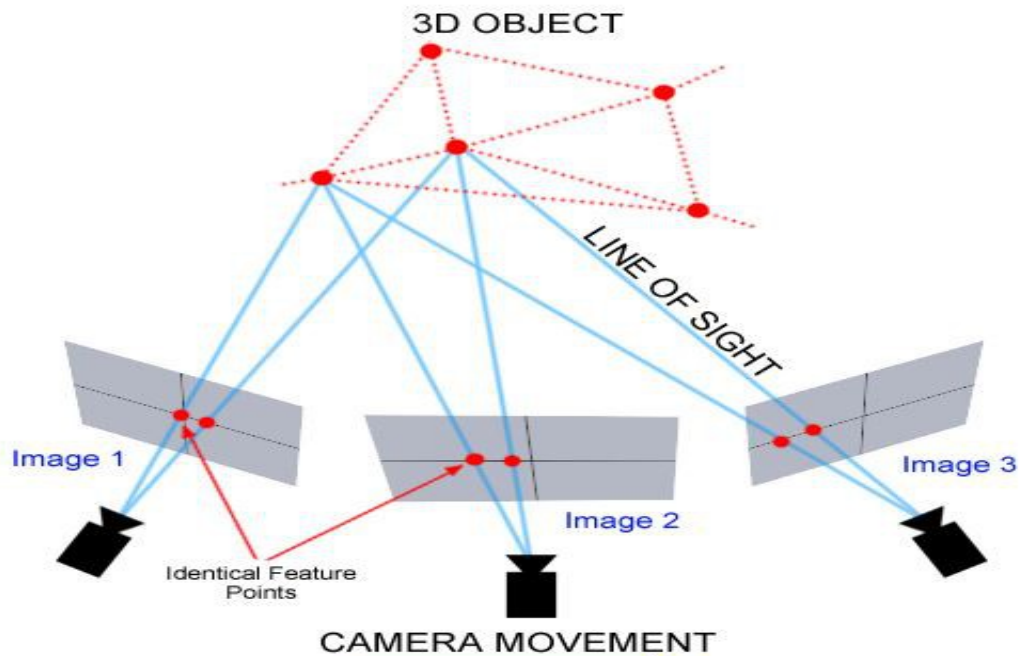


Εικόνα 18. Σάρωση με την μέθοδο τριγωνοποίησης

➤ **Τεχνολογία τρισδιάστατης σάρωσης φωτογραμμετρίας:** Η φωτογραμμετρία είναι επίσης γνωστή ως φωτογραφία. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί φωτογραφίες για να μετρήσει τις διαστάσεις των αντικειμένων. Αυτό βοηθά στην πραγματοποίηση των ακριβών αποστάσεων των επιφανειακών σημείων. Η φωτογραμμετρία λαμβάνει υπόψη τη δύναμη των αλγορίθμων υπολογιστικής γεωμετρίας και το όραμα του υπολογιστή για να φτάσει στο τελικό ψηφιακό αρχείο. Για να γίνει αυτό, η μέθοδος χρησιμοποιεί την ανάλυση διαφόρων φωτογραφιών ενός στατικού αντικειμένου που έπρεπε να σαρωθεί. Αυτές οι φωτογραφίες πρέπει να ληφθούν από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Αυτή η μέθοδος ανιχνεύει αυτόματα εικονοστοιχεία ισοδύναμα με παρόμοιο φυσικό σημείο. Η αρχή απαιτεί από τον χρήστη να αναφέρει τις παραμέτρους της κάμερας. Για παράδειγμα, το εστιακό μήκος, παραμόρφωση φακού κ.λπ. Αυτή η τεχνολογία είναι σίγουρα εντυπωσιακή. Ωστόσο, έχει τους περιορισμούς του. Η μεγάλη πρόκληση έρχεται όταν υπάρχει ανάγκη για ανάλυση πολλών φωτογραφιών και εκατοντάδων και χιλιάδων επιφανειακών σημείων λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια. Εκτός από τον τρισδιάστατο σαρωτή, πρέπει να διαθέτουμε έναν υπολογιστή προηγμένης τεχνολογίας για την εκτέλεση αλγορίθμων φωτογραμμετρίας. Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα απόκτησης. Η φωτογραμμετρική τεχνολογία μπορεί ακόμη και να αναδημιουργήσει αντικείμενα με διαφορετικές κλίμακες. Η τεχνολογία

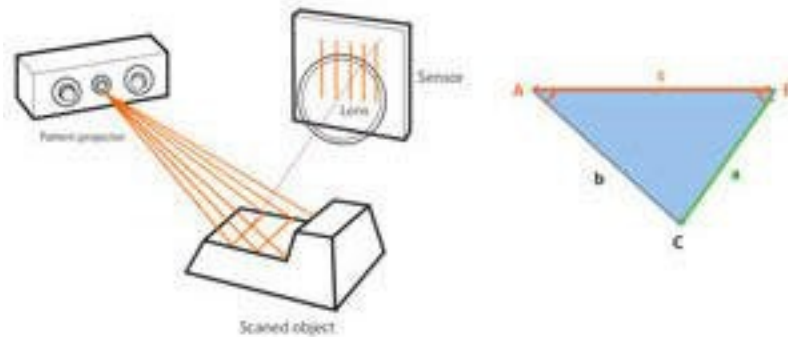


έχει επίσης πρόβλημα με την ευαισθησία ανάλυσης, επομένως, μπορεί να έχει προβλήματα με φωτογραφίες χαμηλής ανάλυσης.



Εικόνα 19. Σάρωση με την μέθοδο φωτογραμμετρίας

➤ **Τεχνολογία σάρωσης δομημένου φωτός(μικρού εύρος μικρότερους του 1m):** Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί το μοτίβο ελαφριάς παραμόρφωσης σε ένα αντικείμενο για την κατανόηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας του. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές χρησιμοποιούν τριγωνομετρική μέθοδο τριγωνισμού αντί για LASER. Λειτουργούν προβάλλοντας μια σειρά φωτός σε γραμμικά μοτίβα πάνω σε ένα αντικείμενο. Στη συνέχεια, το σύστημα εξετάζει τα άκρα κάθε γραμμής στο μοτίβο και υπολογίζει έμμεσα την απόσταση από το σαρωτή στην επιφάνεια του αντικειμένου. Το δομημένο φως που χρησιμοποιείται γενικά είναι χρώματος λευκού ή μπλε. Το φως παράγεται με τη χρήση διαφόρων τύπων προβολέων, όπως η τεχνολογία DLP (Digital Light Processing). Η προβαλλόμενη ακτίνα φωτός είναι γενικά είτε σε μοτίβο σειράς ή θα μπορούσε επίσης να είναι τυχαία κουκίδα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η καλή ανάλυση και η ταχύτητα καθώς και η αποτύπωση του χρώματος των αντικειμένων(η λεγόμενη υφή). Το κύριο μειονέκτημα της σάρωσης με δομημένο φωτισμό είναι η ευαισθησία του στις συνθήκες φωτισμού και σε ορισμένες περιπτώσεις η δυσκολία σάρωσης γυαλιστερών επιφανειών.

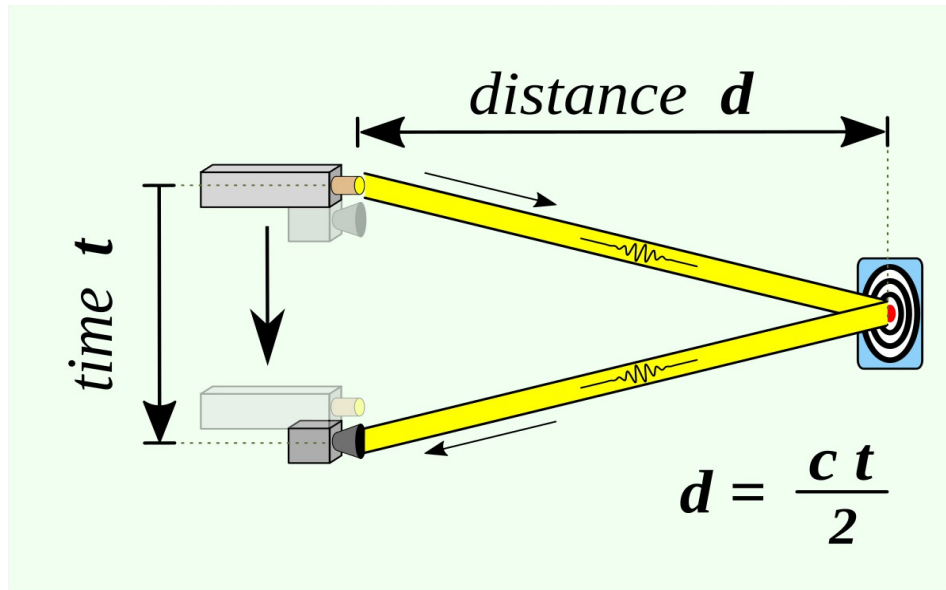


Εικόνα 20. Σάρωση με την μέθοδο δομημένου φωτός

➤ **Τεχνολογία σάρωσης παλμού λέιζερ (μεγάλου εύρους σάρωσης 2-1000m):** Οι συσκευές αυτές βρίσκουν χρήση στην αποτύπωση κτιρίων, σχηματισμών του εδάφους για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων. Οι συσκευές αυτές ( γνώστες και ως LIDAR- laser induced differential absorption radar ή light detection and ranging ) έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν σημεία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ μέσω της κίνησης τους μπορούν να αποτυπώσουν μεγάλο εύρος του οπτικού τους πεδίου. Η κεφαλή του μηχανήματος έχει την δυνατότητα για οριζόντια κίνηση ενώ ειδικά κάτοπτρα μπορούν να κατευθύνουν την δέσμη κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Η δέσμη χρησιμοποιείται στην μέτρηση της απόστασης.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αντανάκλαση μίας ακτίνας λέιζερ που σαρώνει το αντικείμενο αποτύπωσης. Η βασική μονάδα του οργάνου αυτού στηρίζεται στην λειτουργία μίας συσκευής η οποία μπορεί να μετρήσει τις αποστάσεις μέσω ακτινοβολίας λέιζερ. Στην ουσία δηλαδή τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν ένα αποστασιόμετρο λέιζερ. Αυτή η συσκευή μετράει την απόσταση υπολογίζοντας με ακρίβεια τον χρόνο που χρειάζεται μία ακτίνα λέιζερ που εκπέμπεται από τον σαρωτή λέιζερ, να ανακλαστεί στο αντικείμενο και να

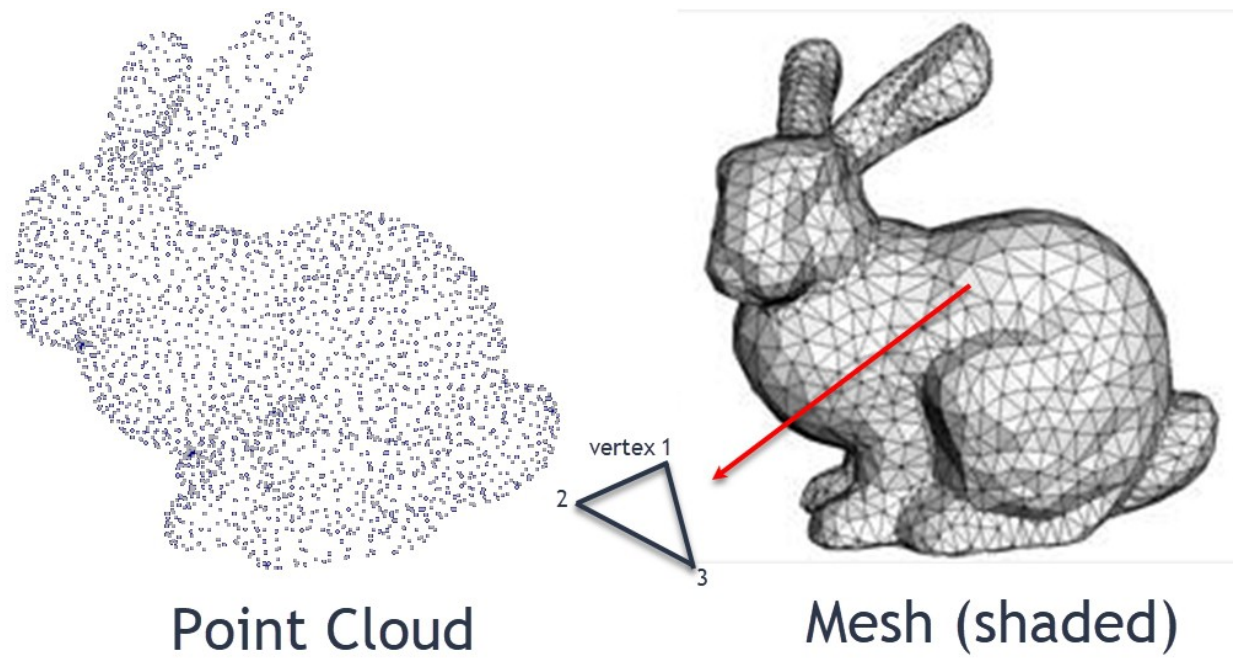
επιστρέφει πίσω στην πηγή της. Η λειτουργία της είναι σχετικά απλή. Η συσκευή εκπέμπει μία ακτίνα λέιζερ και υπολογίζει τον ακριβή χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει σε έναν αισθητήρα που βρίσκεται στο όργανο. Με δεδομένο ότι η ταχύτητα διάδοσης του λέιζερ είναι σταθερή (ίση με την ταχύτητα του φωτός  $c$ ), ο χρόνος της μετάβασης της ακτίνας από την πηγή στον αισθητήρα μπορεί να μας δώσει την απόσταση από τον τύπο  $s=(c*t)/2$ . Φυσικά υπάρχουν παράμετροι διόρθωσης όπως είναι η πορεία της ακτίνας μέσα στην συσκευή και απόσταση της πηγής και του αισθητήρα από το νοητό κέντρο του οργάνου αλλά αυτά είναι παράμετροι της συσκευής που υπολογίζονται εύκολα. Για να γίνει κατανοητή η ακρίβεια των οργάνων που απαιτείται αρκεί να σκεφτούμε ότι σήμερα η ακρίβεια μπορεί να φτάσει τα 3,3 picosecond χρόνος στον οποίο η ακτίνα λέιζερ καλύπτει μία απόσταση 1mm. Η ακτίνα λέιζερ υπολογίζει την απόσταση ενός σημείου κάθε φορά. Γι αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η αλλαγή διεύθυνσης της ακτίνας σε κάθε μέτρηση. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: με την κίνηση της κεφαλής του οργάνου ή με την κίνηση κατόπτρων στο εσωτερικό του οργάνου. Στην πράξη χρησιμοποιείται η διάταξη με τα κάτοπτρα γιατί μας δίνει ευκολότερη κίνηση τους ( τα κάτοπτρα είναι σαφώς ελαφρύτερα και ευκολότερα στον χειρισμό από την κεφαλή του οργάνου ) και μεγαλύτερη ακρίβεια στις μικρομετακινήσεις που απαιτούνται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε ακρίβεια και ταχύτητα στις μετρήσεις.



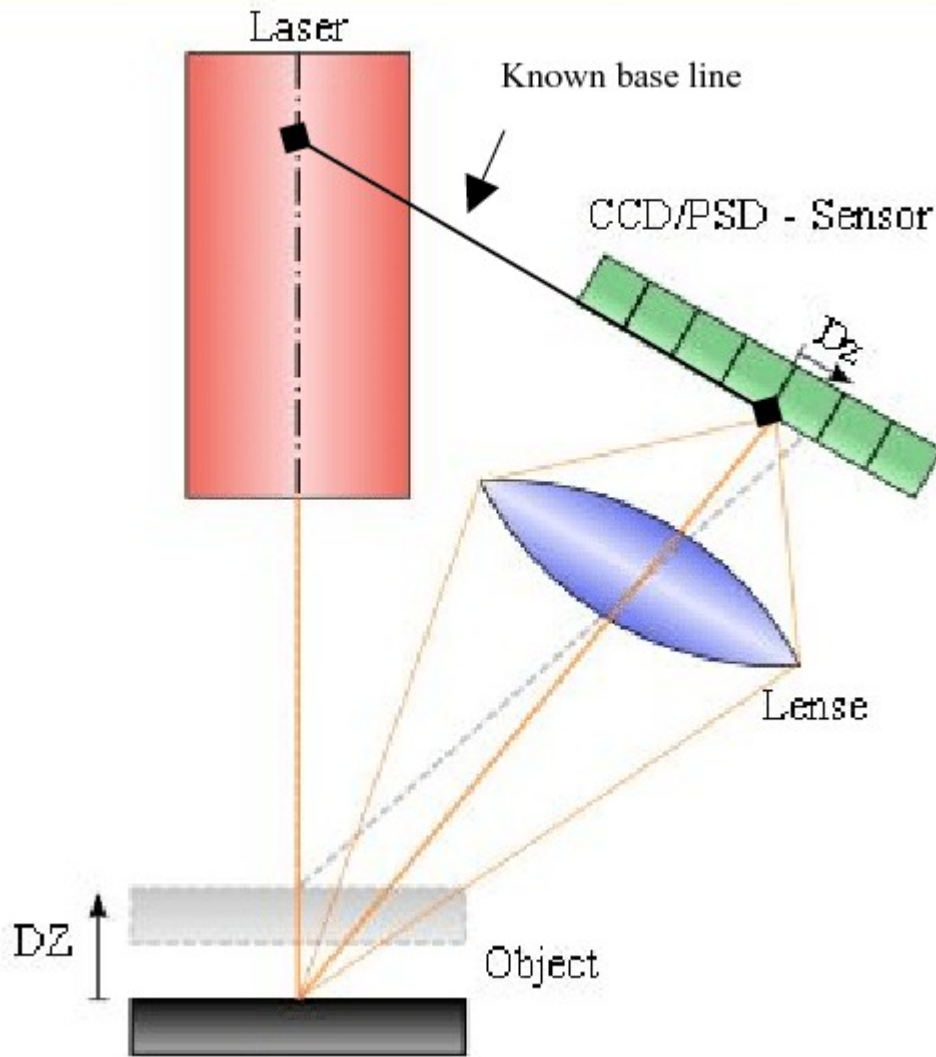
Εικόνα 21. Σάρωση με την μέθοδο Παλμού λέιζερ

### 3.3 ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές οι οποίοι είναι βασισμένοι στην μέθοδο της τριγωνοποίησης διαθέτουν κατάλληλα όργανα μέσω των οποίων εντοπίζουν τα σημεία του αντικειμένου μελέτης και τα αναπαριστούν στο εκάστοτε λογισμικό πρόγραμμα με την βοήθεια αναπτυγμένων αλγορίθμων. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία έχει αναπτυχθεί πλήρως μια τεχνική η οποία εκτελεί την λεγόμενη διαδικασία “τριγωνισμού”, δηλαδή η αποτύπωση του νέφους σημείων σε μορφή τριγώνων πάνω στην επιφάνεια του 3D μοντέλου. Το νέφος σημείων είναι το αντικείμενο που ψηφιοποιούμε και εμφανίζεται με την μορφή κουκίδων που είναι πολύ πυκνές. Δυστυχώς, το νέφος σημείων από μόνο του δεν επαρκεί για την αξιοποίηση του όσο πυκνό και αν είναι. Τα τελευταία χρόνια όμως έχει αναπτυχθεί η μέθοδος της τριγωνοποίησης η οποία μπορεί να μας δώσει περισσότερη πληροφορία για το αντικείμενο αφού με την χρήση συγκεκριμένων αλγορίθμων μπορεί να ενώνει τις κουκίδες αυτές. Αυτή η τεχνική καλείται τριγωνισμός γιατί το αντικείμενο μελέτης, η κάμερα και η πηγή λέιζερ που εκπέμπει σχηματίζουν ένα τρίγωνο[37].



Εικόνα 22. Εικονική αναπαράσταση αντικειμένου μελέτης ως προς νέφος σημείων και μέθοδος τριγωνισμού



Εικόνα 23. Μέθοδος τριγωνποίησης

### *3.4 Ο ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ ARTEC EVA*

Παρόλο που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 2012, ο Artec Eva που κατασκευάστηκε στο Λουξεμβούργο παρέμεινε ένας από τους φορητούς τρισδιάστατους σαρωτές στην επαγγελματική αγορά, τροφοδοτούμενο εν μέρει από το συνεχώς εξελισσόμενο και εξαιρετικά ισχυρό λογισμικό Artec Studio. Ως το κορυφαίο μοντέλο στη σειρά προϊόντων σάρωσης της Artec, ο Artec Eva είναι ένας έγχρωμος σαρωτής 3D που καταγράφει αντικείμενα μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους σε υψηλή ανάλυση.

Με κόστος στα 13.700 €, αυτός ο σαρωτής λευκού φωτός είναι λίγο ακριβός για τους καταναλωτές, αλλά η απίστευτη ακρίβεια το καθιστά ιδανικό για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την αυτοκινητοβιομηχανία έως την ανακατασκευή ιστορικών αντικειμένων και όχι μόνο. Από την κατασκευή του το 2012, η πραγματική σχεδίαση του σαρωτή δεν έχει αλλάξει. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να παρακολουθείτε τον υπολογιστή κατά τη σάρωση για να μάθετε πώς εξελίσσεται η διαδικασία (ο ίδιος ο σαρωτής δεν προσφέρει υποδείξεις), κάτι που απαιτεί ταυτόχρονη συγκράτηση και των δύο αντικειμένων. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία σάρωσης 3D έγινε πιο προσιτή με αποτέλεσμα την εισροή νέου υλικού σάρωσης στην αγορά. Αυτό διευκόλυνε τόσο τους καταναλωτές όσο και τους επαγγελματίες να συλλάβουν αντικείμενα πραγματικού κόσμου και να τα αναδημιουργήσουν σε ψηφιακή μορφή. Είτε πρόκειται για ένα σπάνιο χειροποίητο αντικείμενο μουσείου είτε για εξάρτημα παραγωγής αυτοκινήτων, οι ολοένα αυξανόμενες δυνατότητες της τεχνολογίας χειρός τρισδιάστατης σάρωσης έχουν αλλάξει τον τρόπο προσέγγισης της ψηφιακής κατασκευής.

Ο Artec Eva, ένας έγχρωμος τρισδιάστατης σαρωτής μπορεί να συλλάβει αντικείμενα γρήγορα σε υψηλή ανάλυση και με υφή. Το μηχάνημα χρησιμοποιεί τεχνολογία δομημένου φωτός για σάρωση με ακρίβεια και ασφάλεια (ακόμη και στα μάτια). Ο σαρωτής είναι ιδανικός

για τη λήψη αντικειμένων μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους, όπως εξαρτήματα αυτοκινήτων, ανθρώπινη προτομή, ιατρικές συσκευές και πραγματικά οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο που μπορείτε να φανταστείτε.



*Εικόνα 24. Ο τρισδιάστατος σαρωτής Artec Eva*

Ο σαρωτής είναι εξοπλισμένος με μόνο δυο κουμπιά: ένα για την έναρξη και παύση του σαρωτή και ένα άλλο για να σταματήσει εντελώς η διαδικασία. Διαθέτει επίσης μια ένδειξη LED που δείχνει στους χρήστες εάν βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής, λειτουργίας προεπισκόπησης ή λειτουργίας εγγραφής. Ο Artec Eva έχει τη δυνατότητα λήψης έως και 16 καρέ ανά δευτερόλεπτο και 2 εκατομμυρίων σημείων καθένα από τα οποία ευθυγραμμίζεται αυτόματα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό καθιστά ολόκληρη τη διαδικασία σάρωσης 3D πολύ εύκολη και γρήγορη, ακόμη και για αντικείμενα που έχουν μαύρη ή γυαλιστερή επιφάνεια (καθώς και τα δύο τείνουν να προκαλούν προβλήματα). Σε αντίθεση με άλλα κοινά συστήματα σάρωσης 3D, ο Artec Eva δεν απαιτεί τη χρήση δεικτών ή βαθμονόμησης. Η μη βαθμονόμηση του μηχανήματος είναι ένα συγκεκριμένο πλεονέκτημα και αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία αναμονή μεταξύ ενεργοποίησης του σαρωτή και έναρξης της σάρωσης. Ωστόσο, η απαίτηση δεικτών ή η τοποθέτηση στόχων μπορεί να είναι απαραίτητη μερικές φορές. Τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν είναι κατάλληλος για σάρωση μικρών αντικειμένων και επιπέδων στο χώρο



καθώς και τα περίπλοκα σχήματα μπορούν να κάνουν δύσκολη και κουραστική την σάρωση[38].

#### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- **3D resolution:** Up to 0.5 mm
- **3D point accuracy:** Up to 0.1 mm
- **3D accuracy over distance:** Up to 0.03% over 100 cm
- **Colors:** 24 bpp
- **Texture resolution:** 1.3 MP
- **Scanning technology:** Structured light
- **Structured light source:** Flashbulb (no laser)
- **Object size:** Starting from 10 cm
- **Working distance:** 0.4 – 1 m
- **Linear field of view:** Closest range 214 x 148 mm
- **Linear field of view:** Furthest range 536 x 371 mm
- **Angular field of view:** 30 x 21°
- **Video frame rate:** Up to 16 fps
- **Exposure time:** 0.0002 sec
- **Data acquisition speed:** Up to 2 million points/second

- **Multi-core processing:** Yes

#### ΕΞΑΓΩΜΕΝΑ FORMATS

- **3D mesh formats:** OBJ, PLY, STL, WRL, AOP, ASC, PTX, E57, XYZRGB
- **3D point cloud formats:** BTX, PTX
- **Formats for measurements:** CSV, DXF, XML

#### ΚΟΙΝΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- **Weight:** 0.9 kg (2 lbs.)
- **Dimensions:** 262 x 158 x 63 mm
- **Power consumption:** 12V, 48W
- **Interface:** USB 2.0, USB 3.0 compatible
- **Processing capacity:** 40 mln triangles / 1 GB RAM

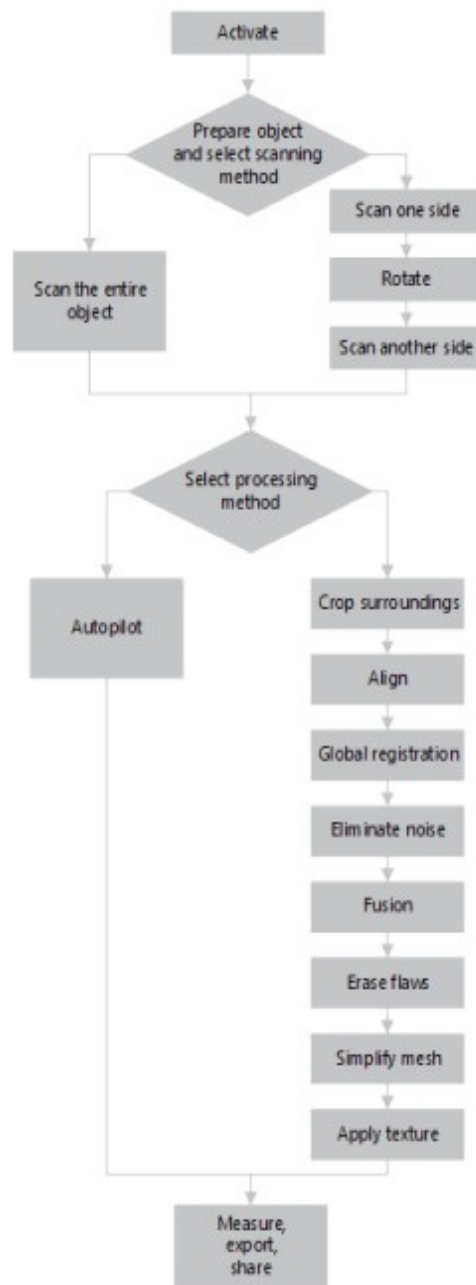
#### ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- **Processor:** Intel I5 or I7
- **Memory:** 12 GB
- **Video cards:** NVIDIA or AMD
- **OS:** Windows 7, 8, 10 – x64



### *3.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ*

Στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας σαρώσαμε μερικά εξαρτήματα που αποτελούν μια εξάτμιση οχήματος (σωλήνα σύνδεσης, σιλανσιέ/καζανι) η οποία ήταν εκτός οχήματος και αποσυναρμολογημένη. Μέσω αυτής θα παρουσιαστεί πως ξεκινάει η διαδικασία της σάρωσης καθώς και η επεξεργασία της στο ειδικό λογισμικό Artec studio 9[39].



Εικόνα 25. Διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης

Η προετοιμασία για την πρώτη σάρωση μόλις εγκατασταθεί το λογισμικό είναι πολύ εύκολη, το μόνο που χρειάζεται είναι να συνδέσουμε το καλώδιο USB του σαρωτή με τον υπολογιστή μας και το καλώδιο της τροφοδοσίας ρεύματος του σαρωτή με μία μπρίζα, στη συνέχεια μπορούμε να ανοίξουμε το λογισμικό του σαρωτή μας και να το προετοιμάσουμε για την σάρωση. Στα αριστερά της οθόνης υπάρχουν πολλά εικονίδια που



ενεργοποιούν το διαφορετικό βήμα της διαδικασίας σάρωσης 3D, από την απόκτηση έως τη δημοσίευση, περνώντας όλα τα βήματα προετοιμασίας και βελτιστοποίησης. Μόλις συνδεθεί ο τρισδιάστατος σαρωτής, μπορούμε να ενεργοποιήσουμε την λειτουργία προεπισκόπησης και να καταχωρίσουμε τις σαρώσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κάνοντας κλικ στο κουμπί στη διεπαφή λογισμικού ή απευθείας από το μπροστινό επάνω κουμπί του σαρωτή, σηματοδοτημένο με ένα μικρό βέλος, παρόμοιο με το κουμπί "Αναπαραγωγή". Ένα ακόμα πλεόνεκτημα του Artec Eva είναι ο'τι δεν χρειάζεται πριν την σάρωση κάποιο καλιμπράρισμα ή κάποια ρύθμιση να πραγματοποιήσουμε ώστε να ξεκινήσουμε να

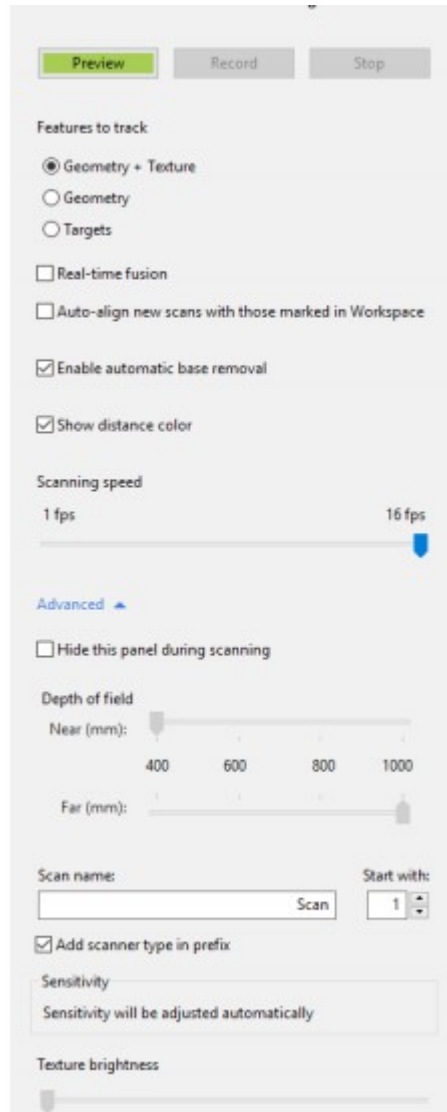
σαρώνουμε. Ανοίγοντας το λογισμικό Artec studio 9 βλέπουμε στο κύριο "μενού" του προγράμματος, την πράσινη γραμμή στα αριστερά μας που λειτουργεί ως ένδειξη για την εύρεση του σωστού εύρους σάρωσης. Ο χρήστης κρατώντας τον τρισδιάστατο σαρωτή πρέπει να παραμείνει σε σταθερή απόσταση μεταξύ 400mm και 1000 mm από το αντικείμενο όπως εξάλλου μας δείχνει και η πράσινη γραμμή ώστε ο σαρωτής μας να μπορεί να συλλέξει όλα τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.



*Εικόνα 27. Κύριο μενού του Artec studio 9*

Ξεκινώντας για την πρώτη τρισδιάστατη σάρωση αλλά και για τις επόμενες που κάναμε χρησιμοποιήσαμε τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις του προγράμματος Artec studio 9 καθώς δεν ήταν απαραίτητο να κάνουμε κάποιες αλλαγές. Συγκεκριμένα οι κυριότερες προκαθορισμένες ρυθμίσεις που πρέπει να προσαρμόζουμε ανάλογα με το αντικείμενο που σαρώνουμε είναι, πόσα Frames(fps) ή αλλιώς τα καρτέ που χρειαζόμαστε ανά δευτερόλεπτο δηλαδή πόση λεπτομέρεια χρειαζόμαστε να έχει το αντικείμενο, να επιλέξουμε ανάλογα πάντα με την δυνατότητα του σαρωτή εάν θέλουμε να σαρώσουμε μόνο την γεωμετρία του αντικειμένου ή την γεωμετρία του μαζί με την υφή(χρώμα),μπορούμε επίσης να επιλέξουμε μετά την ολοκλήρωση των σαρώσεων μας η ευθυγραμμίση να γίνει αυτόματα μόνη της και την επιλογή οπού βάζουμε εμείς σημάδια στο αντικείμενο που σαρώνουμε ώστε να γίνει ποιο εύκολα η ευθυγράμμιση αν αυτό είναι περίπλοκης γεωμετρίας.Μία άλλη προκαθορισμένη ρύθμιση είναι το βάθος πεδίου δηλαδή την απόσταση που μπορεί ο σαρωτής να “συλλάβει” πληροφορία(ελάχιστη-μέγιστη), ο δικός μας σαρωτής είναι κατάλληλος να σαρώνει από 400mm έως 1000mm προτεινόμενη είναι μια μέση απόσταση μικρότερη ή μεγαλύτερη απόσταση δημιουργεί προβλήματα στην σάρωση, ακόμα μπορούμε να ρυθμίσουμε την υφή της φωτεινότητας από την λειτουργία προεπισκόπησης χρησιμοποιώντας την ρύθμιση αυτή γίνεται να αυξήσουμε η να μειώσουμε τη φωτεινότητα των

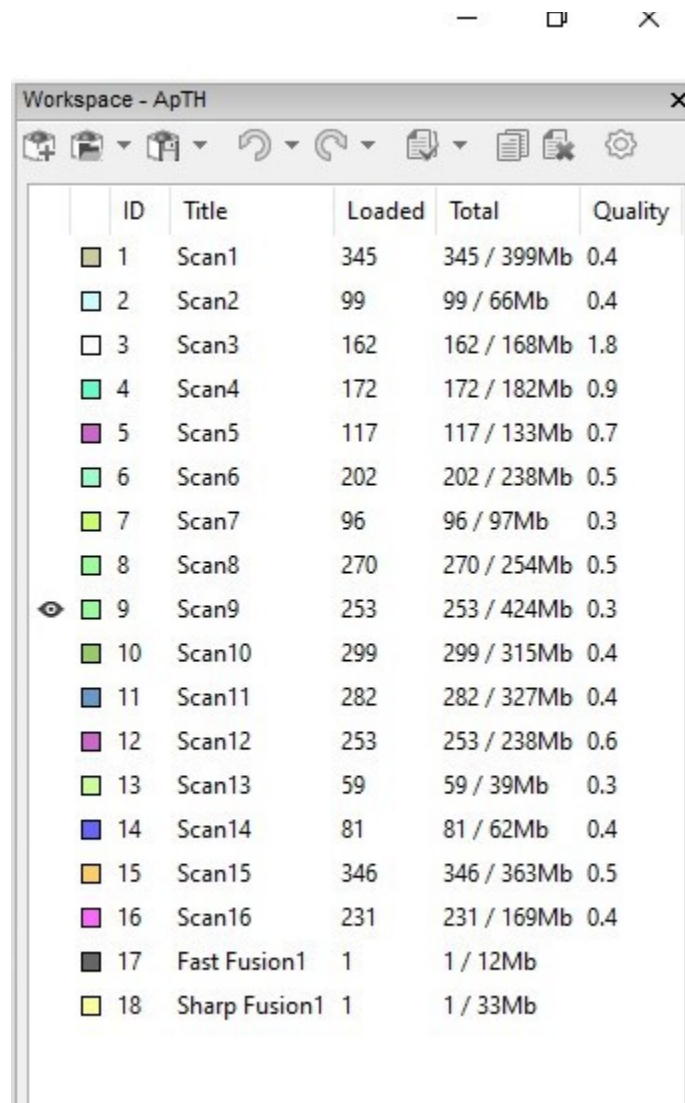
καρέ που καταγράφονται από την έγχρωμη κάμερα του σαρώτη(Σημείωση ότι η φωτεινότητα της υφής επηρεάζει την ποιότητα της υφής καθώς και την αντοχή στην παρακολούθηση της σάρωσης).



Εικόνα 28. Το βασικό πάνελ του Artec studio με τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις



Ολοκληρώντας τις τρισδιάστατες σαρώσεις που κάναμε στο αντικείμενο μας μπορούμε να τις δούμε όλες στο λογισμικό του σαρωτή μας στα δεξιά.



ID	Title	Loaded	Total	Quality
1	Scan1	345	345 / 399Mb	0.4
2	Scan2	99	99 / 66Mb	0.4
3	Scan3	162	162 / 168Mb	1.8
4	Scan4	172	172 / 182Mb	0.9
5	Scan5	117	117 / 133Mb	0.7
6	Scan6	202	202 / 238Mb	0.5
7	Scan7	96	96 / 97Mb	0.3
8	Scan8	270	270 / 254Mb	0.5
9	Scan9	253	253 / 424Mb	0.3
10	Scan10	299	299 / 315Mb	0.4
11	Scan11	282	282 / 327Mb	0.4
12	Scan12	253	253 / 238Mb	0.6
13	Scan13	59	59 / 39Mb	0.3
14	Scan14	81	81 / 62Mb	0.4
15	Scan15	346	346 / 363Mb	0.5
16	Scan16	231	231 / 169Mb	0.4
17	Fast Fusion1	1	1 / 12Mb	
18	Sharp Fusion1	1	1 / 33Mb	

Εικόνα 29. Οι τρισδιάστατες σαρώσεις που πραγματοποιήσαμε

Οι σαρώσεις είναι πολλές για τον λόγο οτι δεν μπορούμε μόνο με μία σάρωση να σαρώσουμε ολόκληρο το αντικείμενο. Με πολλές σαρώσεις μπορούμε να παίρνουμε περισσότερες πληροφορίες απο διάφορα περίπλοκα σημεία του αντικειμένου που σαρώνουμε να μπορούμε να

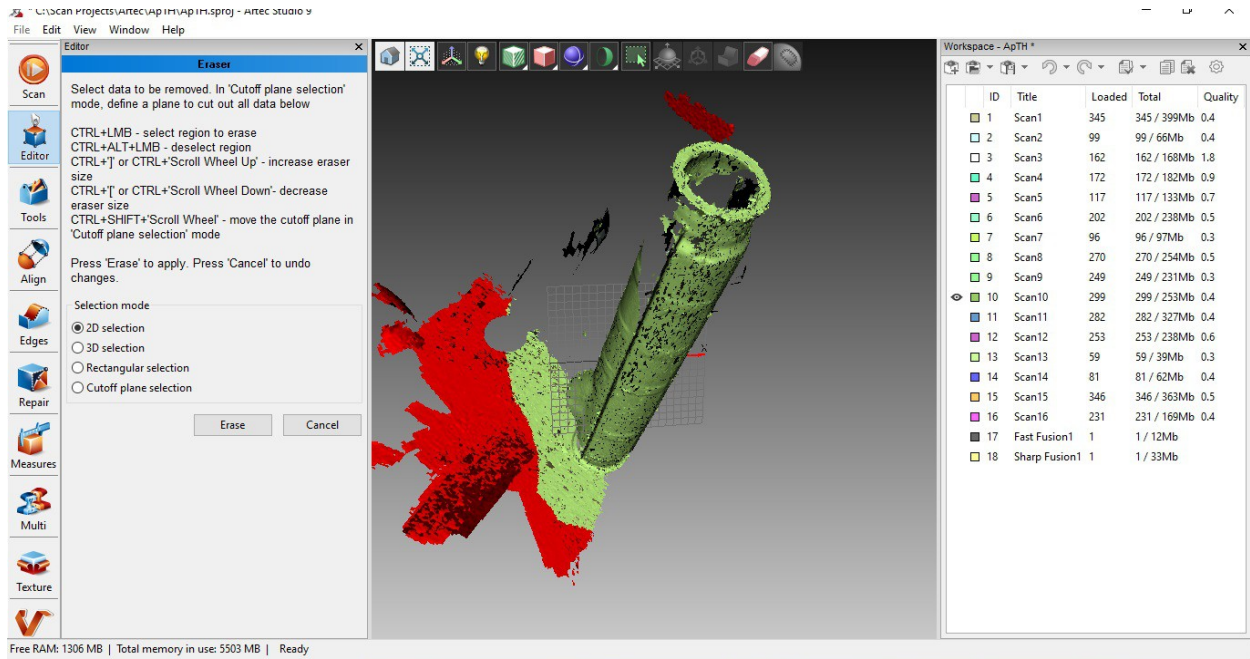
το μετακινήσουμε ή να το περιστρέψουμε αν χρειαστεί και να ξεκινήσουμε και πάλι την σάρωση μας απο το σημείο που σταματήσαμε και αναλόγως πάντα και με το μέγεθος που έχει, αν είναι μεγάλων διαστάσεων είναι σίγουρο πως θα χρειαστεί να κάνουμε περισσότερες σαρώσεις.

### *3.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΝ*

Η επεξεργασία των σαρώσεων είναι και το πιο σημαντικό κομμάτι της όλης διαδικασίας καθώς αν δεν επέξεργαστούμε τις σαρώσεις μας αν δεν τις ενώσουμε μεταξύ τους δεν θα έχουμε και το πιστό αντίγραφο του αντικείμενου που σαρώσαμε. Ακολούθως θα δούμε τα βήματα που χρειάστηκαν να γίνουν έτσι ώστε η πρώτη τρισδιάστατη σάρωση που έγινε στον σωλήνα σύνδεσης μιας εξάτμισης οχήματος δημιουργήθηκε με μεγάλη ακρίβεια και εν συνεχεία επεξεργάστηκε από το ειδικό λογισμικό Artec studio. Η διαδικασία επεξεργασίας των σαρώσεων είναι η ίδια και για το σιλανσιε/καζάνι χωρίς να γίνει κάποια αλλαγή[40].

#### **1. Erasing Portions of Scans (διαγραφή τμημάτων σάρωσης)**

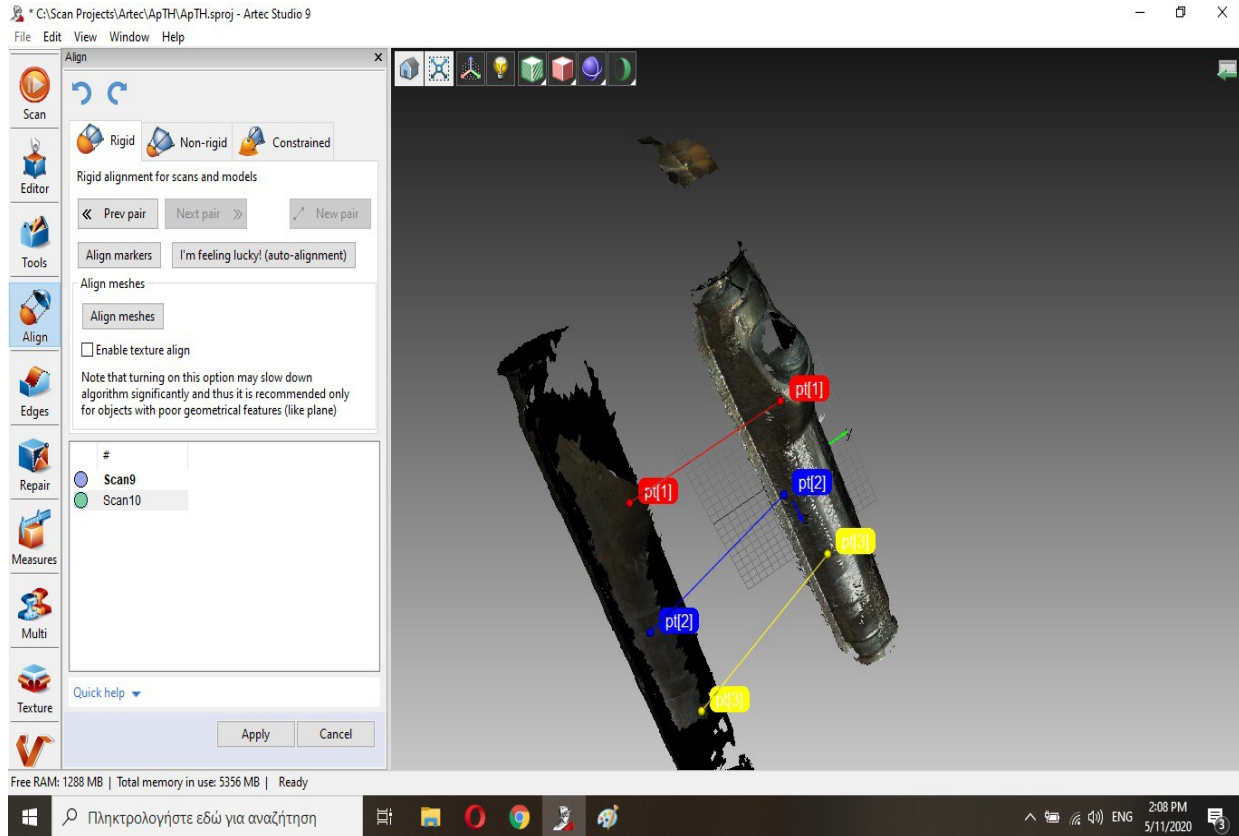
Κατά την διαδικασία της τρισδιάστατης σάρωσης ο σαρωτής θα συλλάβει ανεπιθύμητα στοιχεία, όπως τοίχους, επιφάνειες στις οποίες βρίσκεται το αντικείμενο που σαρώνουμε και άλλα διάφορα πράγματα που βρίσκονται στον χώρο. Αυτά τα ανεπιθύμητα δεδομένα μπορούν να εμποδίσουν τη μετεπεξεργασία. Γι' αυτό πρέπει να τα απομακρύνουμε με την συγκεκριμένη επιλογή που μας δίνει το λογισμικό ώστε να μην υπάρχουν στο τρισδιάστατο μοντέλο που θέλουμε να δημιουργήσουμε.



Εικόνα 30. Διαγραφή ανεπιθύμιτων τμημάτων σάρωσης

## 2. Align (ευθυγράμμιση)

Με το πέρας του καθαρισμού και το σβήσιμο των άχρηστων επιφανειών που έχει συλλέξει ο σαρώτης μας σειρά έχει η ευθυγράμμιση των σαρώσεων. Πρόκειται δηλαδή να κάνουμε Align, δηλαδή την βασική διεργασία ένωσης όλων των σαρώσεων του μοντέλου μας. Παρατηρούμε στην βασική μπάρα εργασιών την εντολή Align, την οποία και επιλέγουμε. Βρισκόμαστε πλέον στο παράθυρο align.

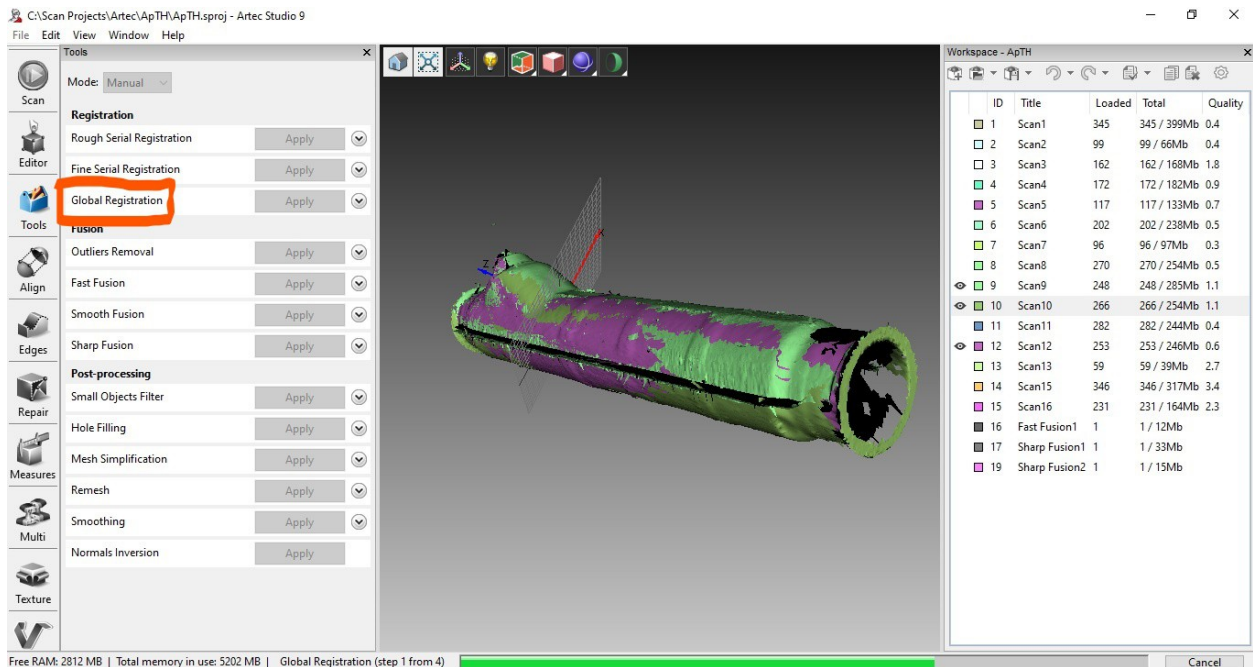


Εικόνα 31. Ευθυγράμμιση σαρώσεων

Η διαδικασία του Align είναι ίδια για όλες τις σαρώσεις. Η ευθυγράμμιση των σαρώσεων μπορεί να γίνει με αρκετούς τρόπους, εμείς επιλέξαμε την άκαμπτη (rigid) επιλογή στην οποία βάζουμε επάνω στον σωλήνα σύνδεσης που σαρώσαμε τα λεγόμενα σημεία (pins) ώστε η ευθυγράμμιση να γίνει με βάση αυτά. Εφόσον έχουμε επιλέξει στην εντολή align και έχουμε εισάγει τις σαρώσεις που θέλουμε να ευθυγραμμίσουμε (βλ. Scan9 και scan10) μας ζητείται να τοποθετήσουμε το κόκκινο Pin τόσο στην σάρωση (9) όσο και στην σάρωση (10). Επιλέγουμε δυο ίδια σημεία στην σάρωση(9) και (10) ώστε να μπορέσει το λογισμικό μας να αναγνωρίσει βάσει ποιών σημείων θα γίνει η ευθυγράμμιση των επιφανειών. Κάνουμε το ίδιο για 2 ακόμα pins (κίτρινο και μπλε) σε κάθε επιφάνεια αντίστοιχα όπως κάναμε με το κόκκινο pin. Έχοντας τοποθετήσει 3 pins επιλέγουμε την εντολή apply που αναγράφεται στο πλαίσιο ώστε να ξεκινήσει το align.

### 3. Global Registration (καθολική εγγραφή)

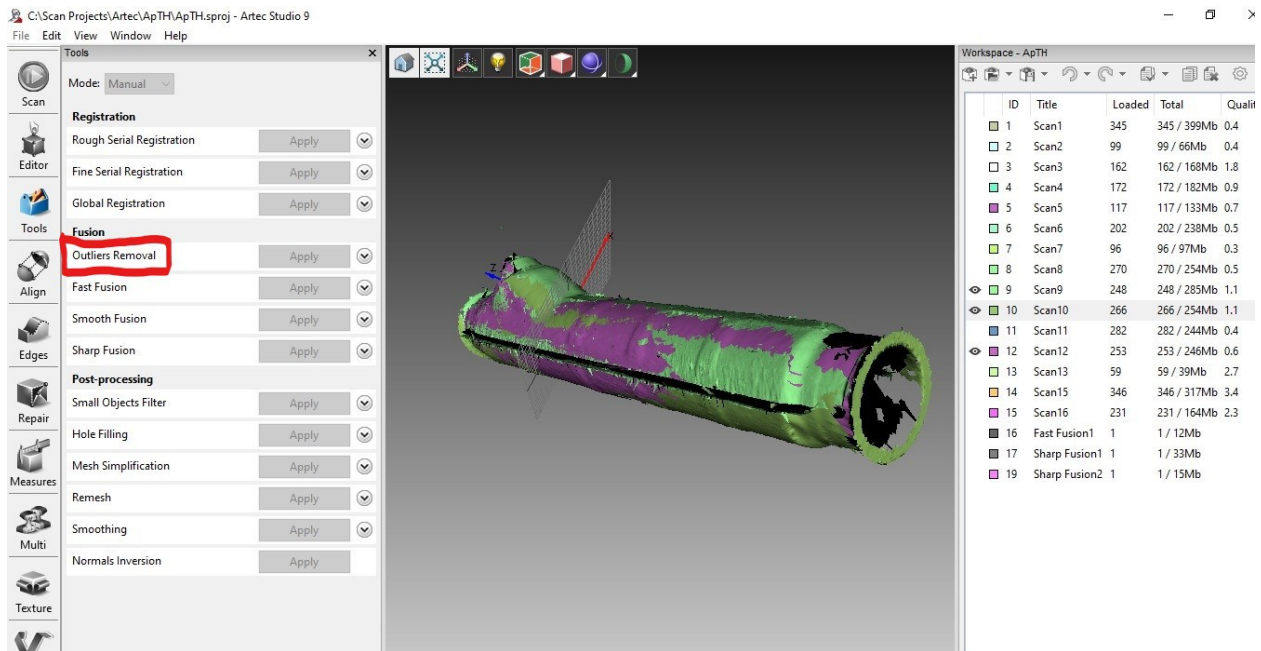
Μόλις ευθυγραμμιστούν όλες οι σαρώσεις, το επόμενο στάδιο είναι αυτό της καθολικής εγγραφής. Ο αλγόριθμος παγκόσμιας καταχώρησης μετατρέπει όλες τις επιφάνειες ενός πλαισίου σε ένα σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με την αμοιβαία θέση κάθε ζεύγους επιφανειών. Για να γίνει αυτό, επιλέγει ένα σύνολο ειδικών σημείων γεωμετρίας σε κάθε καρτέ, ακολουθούμενο από αναζήτηση ζευγών αντιστοιχιών μεταξύ σημείων σε διαφορετικά καρτέ. Για να εκτελεστεί αυτό σωστά, ο αλγόριθμος απαιτεί μία αρχική προσέγγιση, την οποία έχουμε διασφαλίσει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας Align.



Εικόνα 32. Καθολική εγγραφή

#### 4. Eliminate Noise (εξάλειψη θορύβου)

Ένα πολύ σύνηθες φαινόμενο λάθους είναι το γεγονός ότι πάρα πολλά σημεία σαρώνονται παραπάνω από μια φορά καθώς χρησιμοποιούνται πολλές γωνίες λήψης, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σε ανεπιθύμητες θέσεις ή να αλληλεπικαλύπτονται με λανθασμένο τρόπο. Μάλιστα, κατά την συγχώνευση επιφανειών το μοντέλο περιλαμβάνει τα σημεία αυτά που δεν θα έπρεπε. Ακριβώς για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η λεγόμενη “μείωση του θορύβου”, δηλαδή η απομάκρυνση όλων των ατελειών αυτού του είδους μέσω κατάλληλων εργαλείων που προσφέρει το λογισμικό. Πέρα από την καθεαυτό μείωση του θορύβου, άλλες βελτιωτικές κινήσεις είναι να μειώσουμε τον αριθμό των σημείων του νέφους σημείων και να έχουμε πλέον ένα νέφος σημείων πιο εύκολο στην χρήση του.



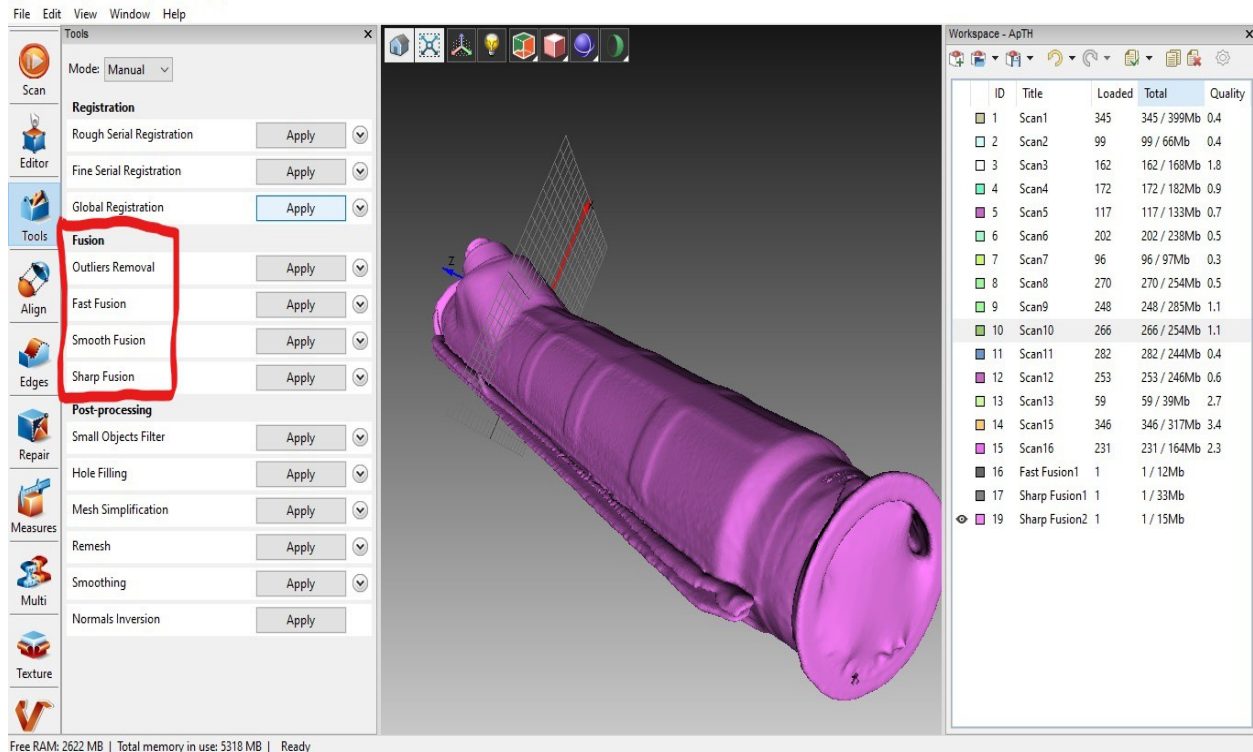
Εικόνα 33. Εξάλειψη θορύβου

## 5. Fusion (συγχώνευση/σύντηξη)

Η συγχώνευση (Fusion) είναι μια διαδικασία που δημιουργεί ένα πολυγωνικό τρισδιάστατο μοντέλο. Λιώνει και στερεοποιεί αποτελεσματικά τα ληφθέντα και επεξεργασμένα πλαίσια. Η συγχώνευση είναι το πιο ενδιαφέρον μέρος της επεξεργασίας γιατί ένα πολυγωνικό τρισδιάστατο μοντέλο είναι αυτό που οι περισσότεροι άνθρωποι περιμένουν να δουν κατά την εκτέλεση της τρισδιάστατης σάρωσης. Το λογισμικό του σαρωτή μας Artec studio μας παρέχει τρεις επιλογές με τις οποίες μπορούμε να κάνουμε την διαδικασία της συγχώνευσης:

- Την γρήγορη σύντηξη που παράγει γρήγορα αποτελέσματα.
- Την ομαλή σύντηξη που είναι κατάλληλη για τη σάρωση του ανθρώπινου σώματος λόγω της ικανότητάς της να αντισταθμίζει τις ελαφρές κινήσεις από το άτομο που σαρώνετε.
- Την αιχμηρή σύντηξη που ανακατασκευάζει τέλεια χαρακτηριστικά και ταιριάζει τόσο σε βιομηχανικά αντικείμενα όσο και σε ανθρώπινα σώματα.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εμείς χρησιμοποιήσαμε την αιχμηρή σύντηξη( sharp fusion ).



Εικόνα 34. Συγχώνευση/σύντηξη

## 6. Simplify mesh (απλοποίηση πλέγματος)

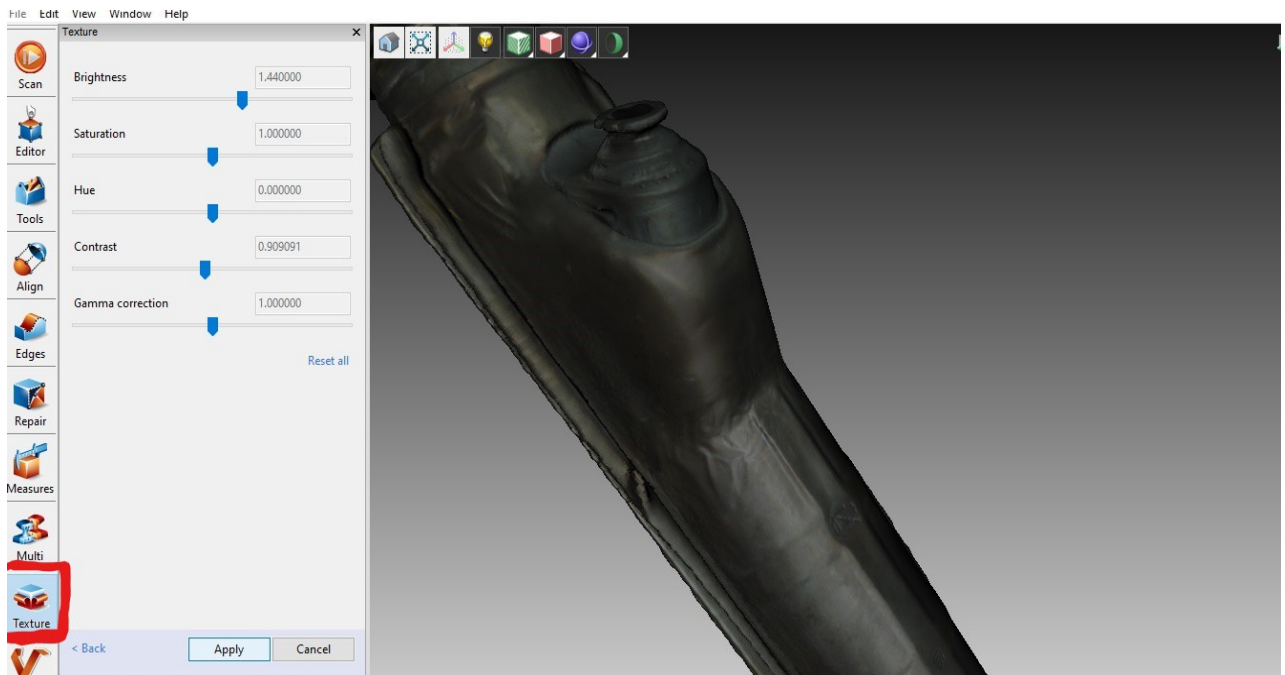
Το πλέγμα που παράγεται μετά τη συγχώνευση των σαρώσεων μπορεί να είναι λιγότερο πυκνό από το βέλτιστο για ορισμένες εφαρμογές επειδή θα περιέχει μεγάλο αριθμό πολυγώνων. Αν το αντικείμενο που πρόκειται να σαρώσουμε είναι μεγάλων διαστάσεων και περίπλοκο στην γεωμετρία του θα περιέχει και μεγάλο αριθμό πολυγώνων και αυτό με την σειρά του θα κάνει δύσκολη την μετεπεξεργασία του γιατί θα αυξήσει το ποσό της μνήμης που καταλαμβάνει το μοντέλο μας στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μας. Στην δικιά μας περίπτωση και συγκεκριμένα στα εξαρτήματα της εξατμίσης που σαρώσαμε δεν χρειάστηκε να απλοποιήσουμε το πλέγμα τους γιατί δεν ήταν μεγάλα και περίπλοκης γεωμετρίας

## 7. Texturing (υφή/χρώμα)

Ο σαρωτής επειδή είναι εξοπλισμένος με έγχρωμη κάμερα, επιτρέπει να τραβάμε τρισδιάστατες επιφάνειες με υφή. Για τον λόγο αυτό μετά το πέρας όλων των προηγούμενων



διεργασιών μπορούμε να δώσουμε στον σωλήνα σύνδεσης που σαρώσαμε την υφή δηλαδή το αρχικό χρώμα που είχε.



Εικόνα 35. Υφή/χρώμα

Το τελευταίο στάδιο της τρισδιάστατης σάρωσης είναι να αποθηκεύσουμε τα αρχεία που έχουμε επεξεργαστεί στο περιβάλλον του του Artec studio με την κατάλληλη μορφή (**STL**) έτσι ώστε το πρόγραμμα CAD που θα το επεξεργαστούμε περαιτέρω να μπορεί να το αναγνωρίσει. Η διαδικασία επεξεργασίας των σαρώσεων και για τα υπόλοιπα εξαρτήματα εξάτμισης ήταν ακριβώς η ίδια χωρίς να χρειαστεί να αλλάξουμε κάποια ρύθμιση στον σαρώτη μας ή στο λογισμικό του Artec studio.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ/ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CAD

### 4.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΡΧΕΙΟΥ

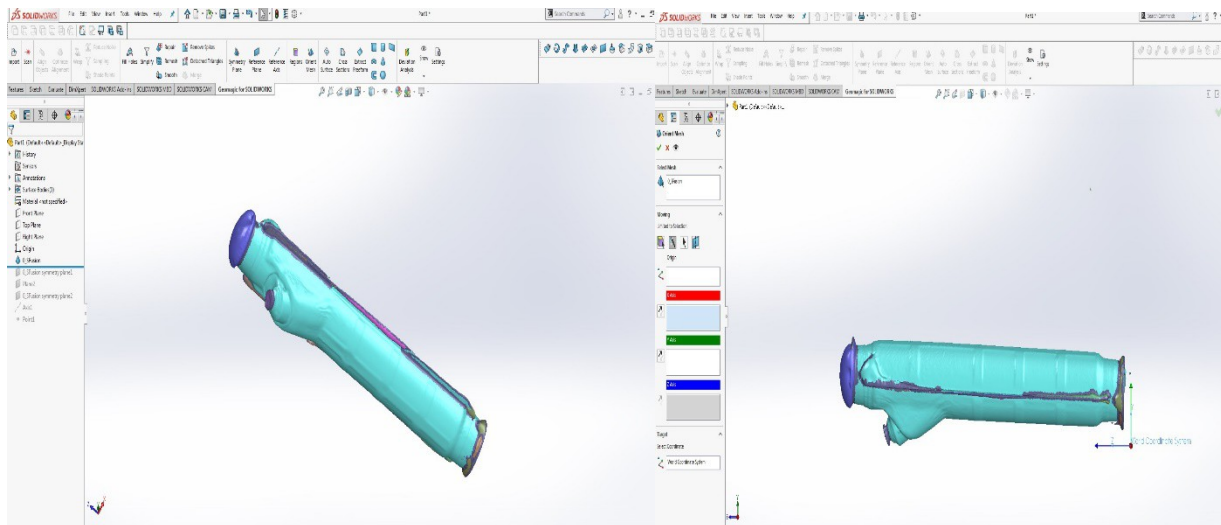
Εφόσον έχουμε τελειώσει με την διαδικασία της τρισδιάστατης σάρωσης των εξαρτημάτων που συνθέτουν μία εξάτμιση οχήματος σειρά έχει η μετεπεξεργασία τους απο συγκεκριμένα προγράμματα CAD ώστε να ανασχεδιαστούν και να βελτιωθούν από τυχόν ελαττωματικές επιφάνειες ακόμα και από ελαττωματική λειτουργία. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αρχείων μας ήταν το παραμετρικό πρόγραμμα **Solidworks** αλλά και το **Geomagic for Solidworks** το οποίο ενσωματώνεται στο **Solidworks** και είναι ειδικό στην επεξεργασία αρχείων από τρισδιάστατες σαρώσεις. Η χρήση του **Solidworks** έγινε από την εταιρία οπού πραγματοποιήθηκε η πρακτική μου άσκηση (G-Code Workspace, <https://gcode.gr/> ) στην Θεσσαλονίκη ενώ για να χρησιμοποιήσουμε το **Geomagic for Solidworks** κατεβάσαμε από το διαδύκτιο την δωρεάν δεκαπενθήμερη δοκιμή του [www.3dsystems.com/software/geomagic-solidworks/free-trial.](http://www.3dsystems.com/software/geomagic-solidworks/free-trial)

- **Geomagic for Solidworks:** Το Geomagic for Solidworks είναι μια γέφυρα μεταξύ των φυσικών μερών που μας περιβάλλουν και του προγράμματος CAD που επιτρέπει τον γρήγορο σχεδιασμό. Η χρήση του παρέχει την απρόσκοπτη δυνατότητα τρισδιάστατης σάρωσης απευθείας στο Solidworks και χρησιμοποιεί ενσωματωμένα αποδεδειγμένα από τη βιομηχανία εργαλεία για να δημιουργήσει συμπαγή μοντέλα απευθείας και με ακρίβεια στο περιβάλλον σχεδίασής[41].
  
- **Solidworks:** Το λογισμικό Solidworks είναι πρόγραμμα αυτοματισμού μηχανολογικού σχεδιασμού που επιτρέπει στους σχεδιαστές να σχεδιάζουν γρήγορα ιδέες, και παράγουν προϊόντα, μοντέλα και λεπτομερή σχέδια. Το Solidworks είναι ένας “σταθερός δημιουργός μοντέλων” και χρησιμοποιεί μια παραμετρική προσέγγιση. Οι παράμετροι αναφέρονται σε περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα ή τη γεωμετρία του μοντέλου. Η κατασκευή ενός σχεδίου στο SolidWorks ξεκινά συνήθως με ένα δισδιάστατο σχέδιο. Οι διαστάσεις προστίθενται στο σχέδιο για να καθορίσουν το μέγεθος και τη θέση της γεωμετρίας. Οι σχέσεις χρησιμοποιούνται για να ορίσουν τα χαρακτηριστικά όπως την εφαπτομένη, τον παραλληλισμό, την ομοκεντρία κ.π.α[42].

#### 4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

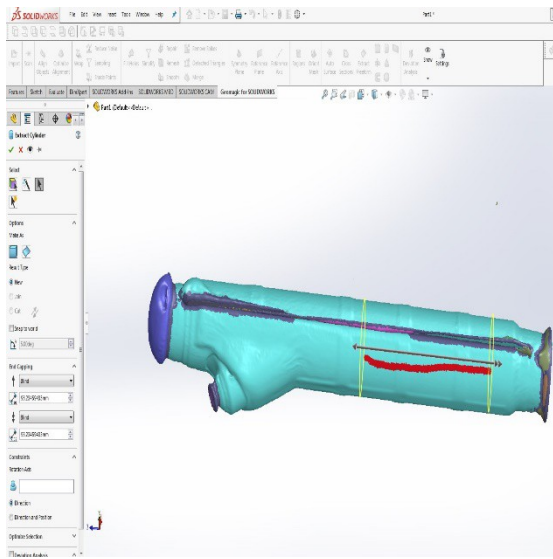
Η διαδικασία επεξεργασίας ξεκινά από την στιγμή που εισάγουμε το ψηφιακό αρχείο από την τρισδιάστατη σάρωση στο πρόγραμμα CAD και εφόσον είναι αποθηκευμένο με την μορφή STL. Οι εντολές που χρησιμοποιήσαμε για να μπορέσουμε να έχουμε τα ‘σταθερά μοντέλα’ από τα ψηφιακά STL της σάρωσης ήταν οι εξής:

- Orient Mesh
- Extract Cylinder
- Shell
- Cut Cylinder/Extrude
- Cross Section
- Plane
- Fillet
- Combine
- Extract Freeform
- Boss-Extrude
- Intersect
- Reference Plane
- Sketch Circle
- Body-Move/Copy

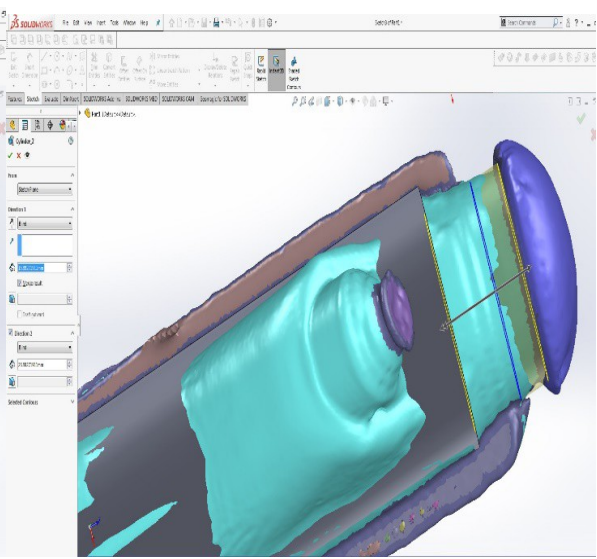


EIKONA 36. IMPORT STL FILE

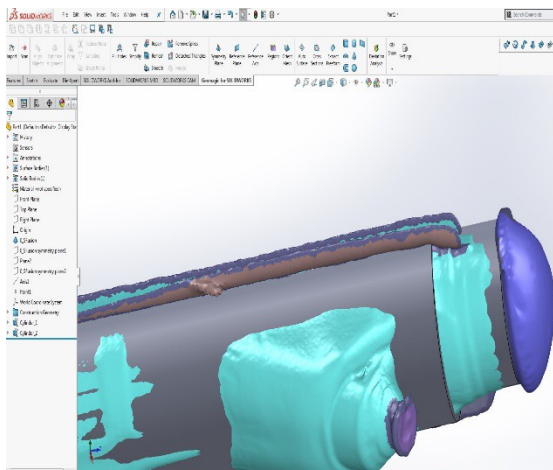
EIKONA 37. ORIENT MESH



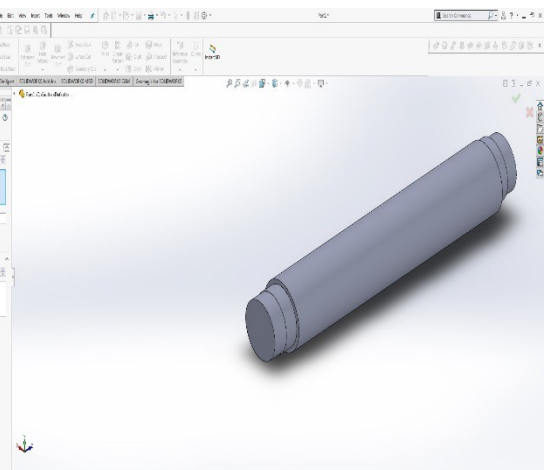
EIKONA 38. EXTRACT CYLINDER



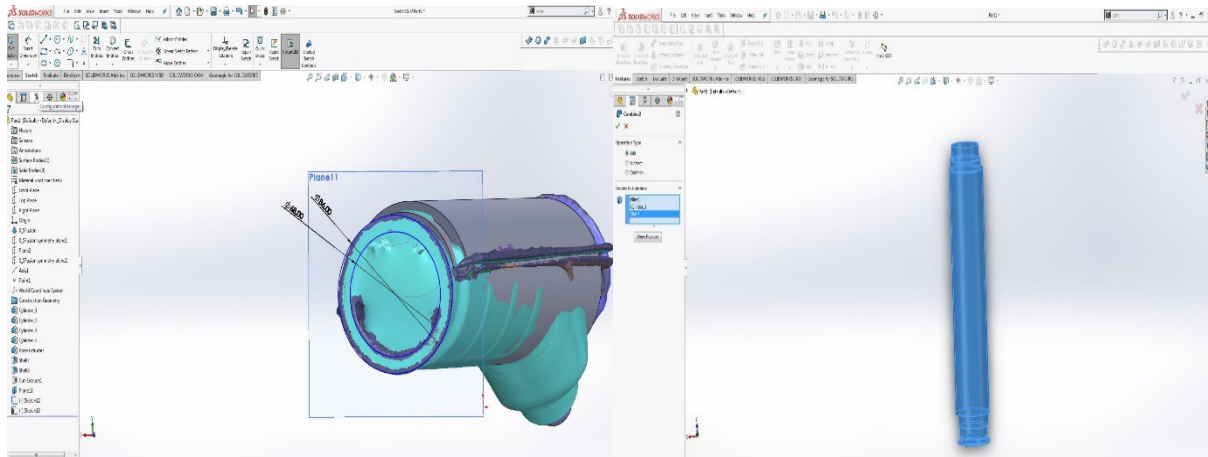
EIKONA 39. BOSS-EXTRUDE



EIKONA 40. BOSS-EXTRUDE

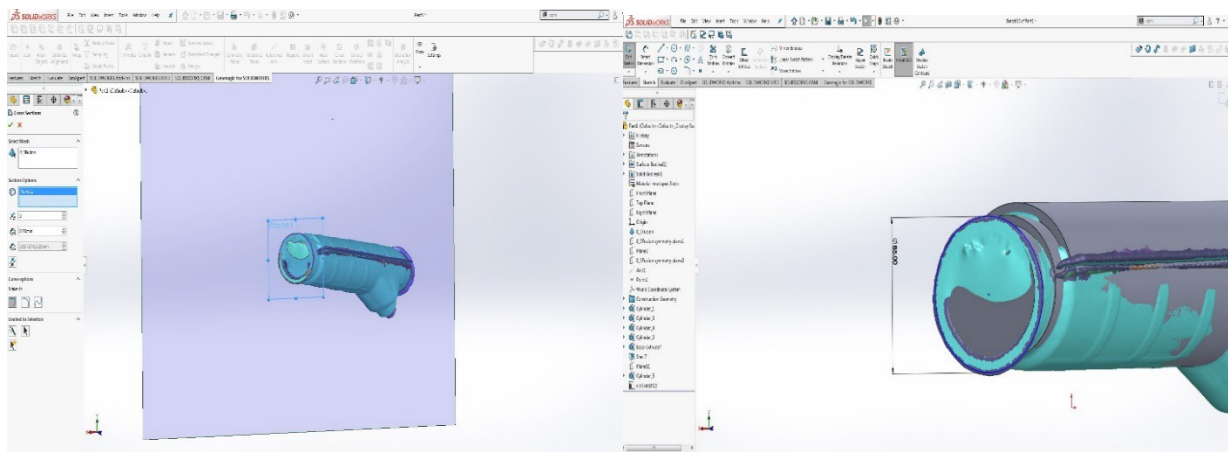


EIKONA 41. SHELL



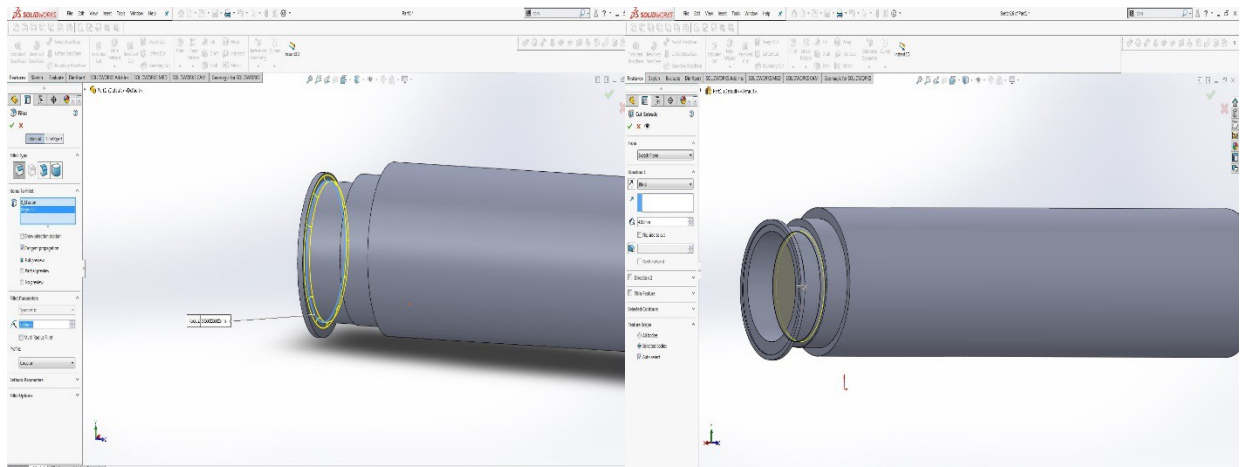
EIKONA 42. PLANE

EIKONA 43. COMBINE



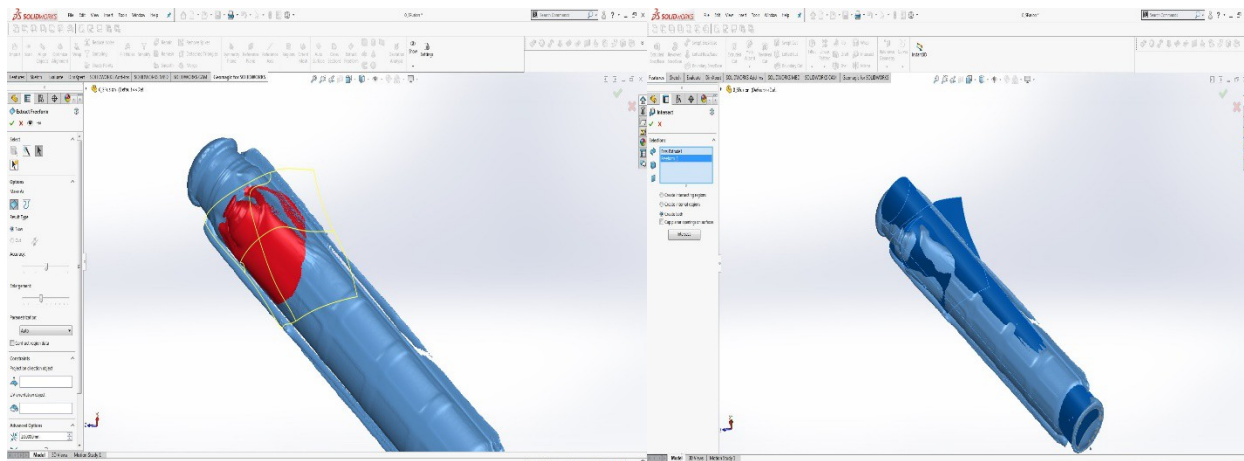
EIKONA 44. CROSS SECTION

EIKONA 45. SKETCH CIRCLE



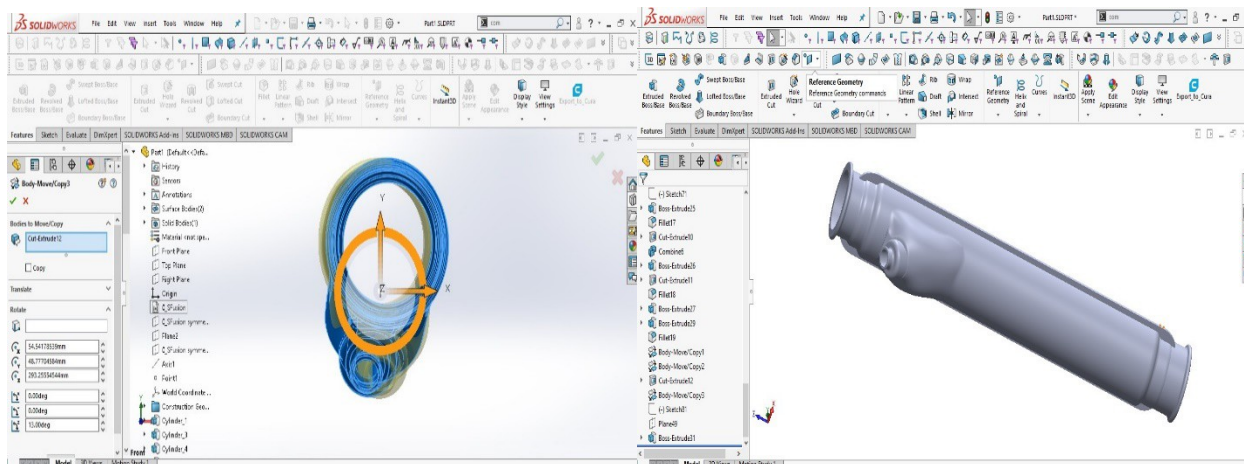
EIKONA 46. FILLET

EIKONA 47. CUT-CYLINDER



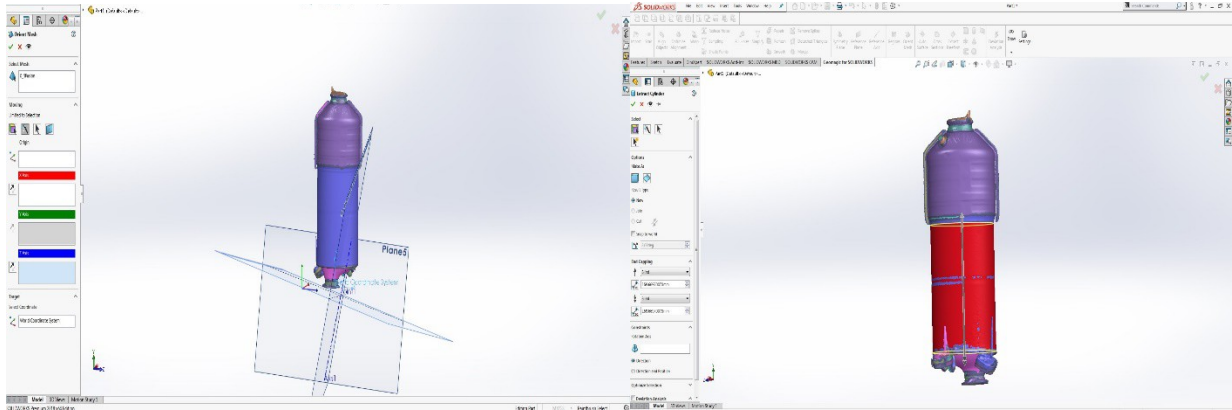
EIKONA 48. EXTRACT FREEFORM

EIKONA 49. INTERSECT



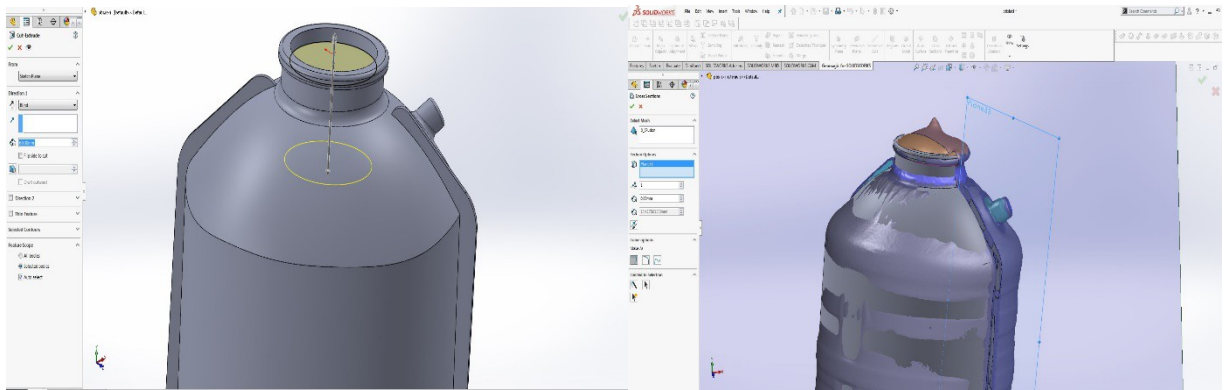
EIKONA 50. BODY-MOVE/COPY

EIKONA 51. FINAL PART



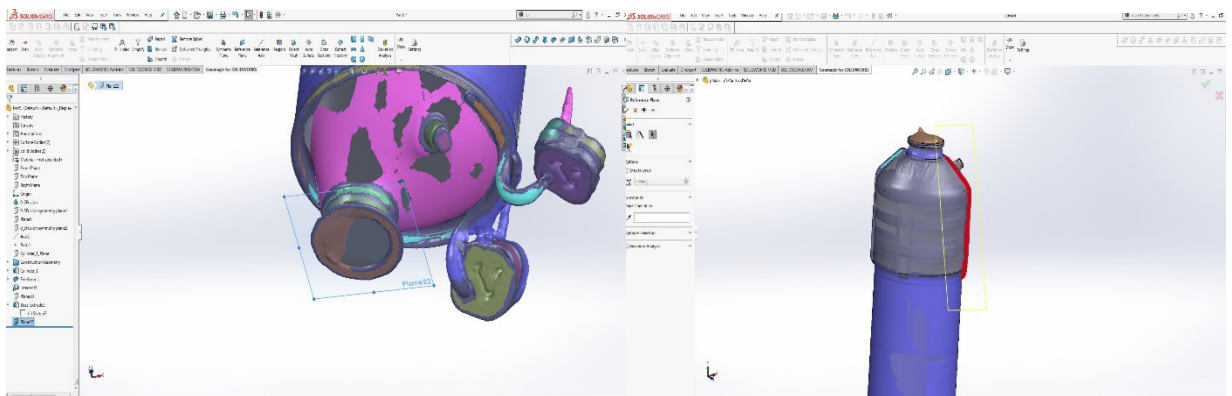
EIKONA 52. ORIENT MESH

EIKONA 53. EXTRACT CYLINDER



EIKONA 54. CUT EXTRUDE

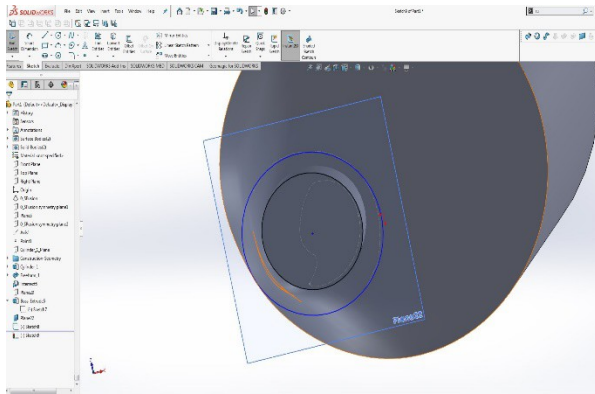
EIKONA 55. CROSS SECTION



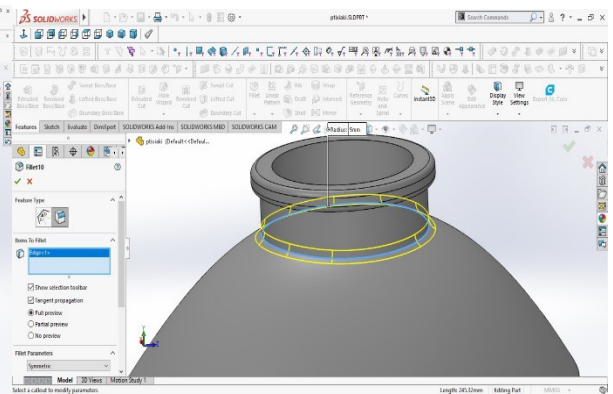
EIKONA 56. PLANE

EIKONA 57. REFERENCE PLANE

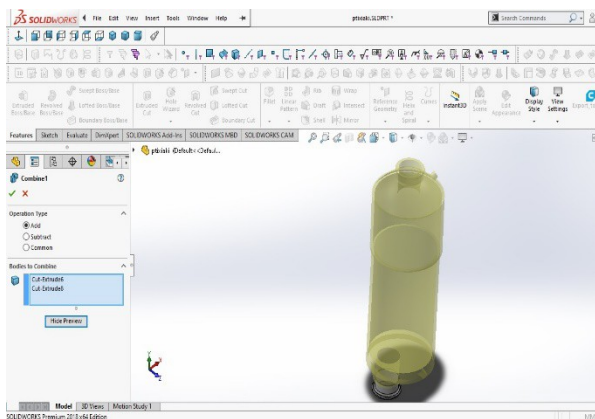




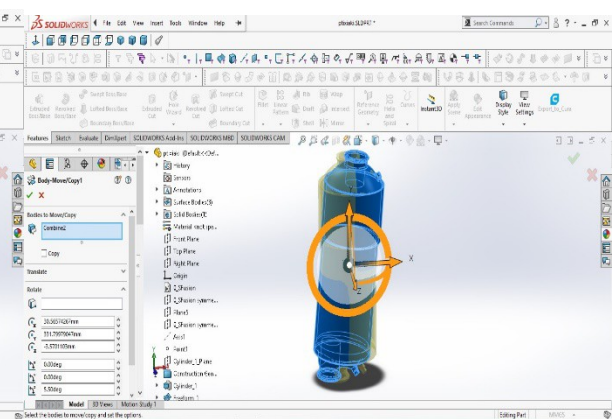
EIKONA 58. SKETCH CIRCLE



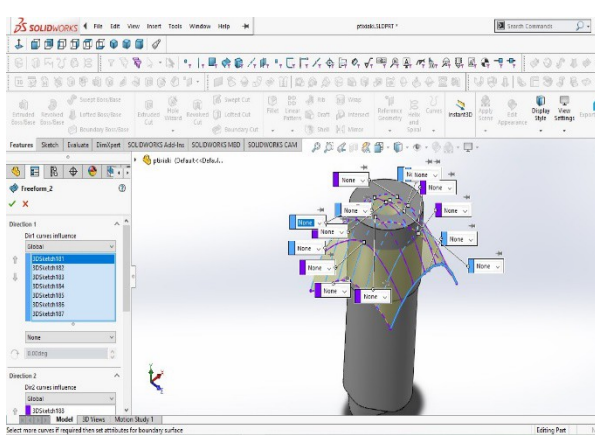
EIKONA 59. FILLET



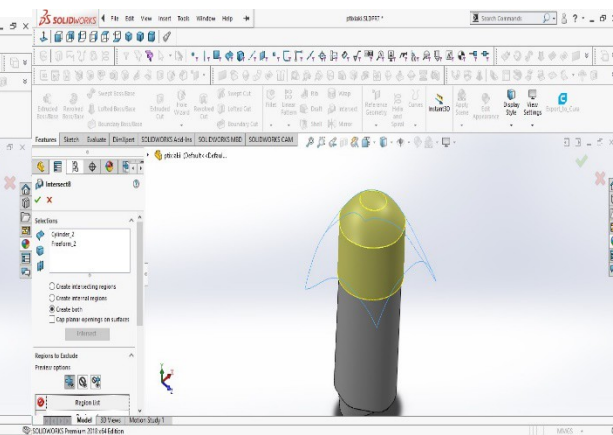
EIKONA 60. COMBINE



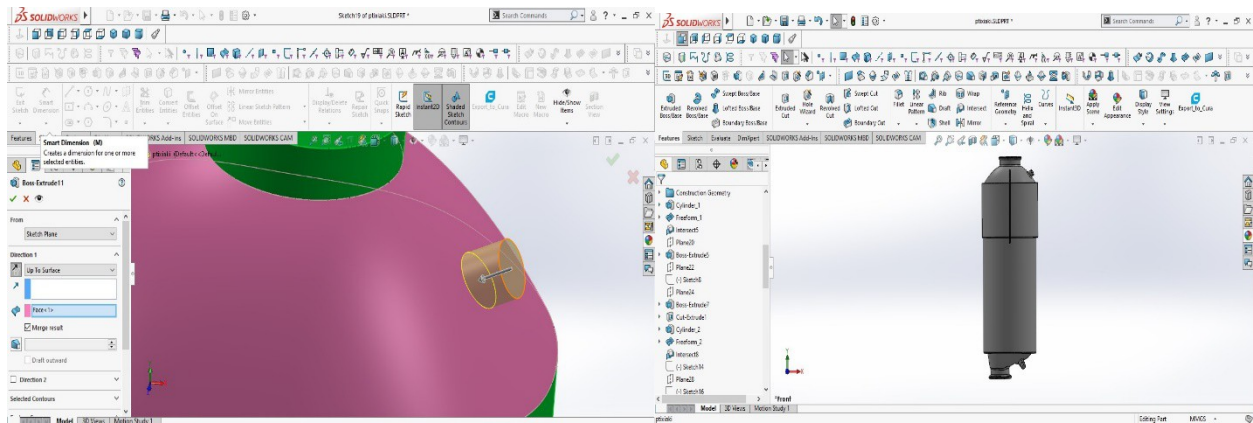
EIKONA 61. BODY-MOVE/COPY



EIKONA 62. EXTRACT FREEFORM



EIKONA 63. INTERSECT



EIKONA 64. BOSS-EXTRUDE

EIKONA 65. FINAL PART

Μόλις τελειώσουμε με την επεξεργασία αποθηκεύουμε τα αρχεία με την προτεινόμενη μορφή που μας υποδεικνύει το πρόγραμμα CAD η οποία είναι (**SLDPRT**). Το επόμενο στάδιο είναι αυτό της τρισδιάστατης εκτύπωσης οπότε για να γίνει αυτό είναι σημαντικό το αρχείο μας να έχει την μορφή **STL** την οποία αναγνωρίζει το λειτουργικό λογισμικό που θα χρησιμοποιήσουμε για να το εκτυπώσουμε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, επίσης γνωστή ως προσθετική κατασκευή, είναι μια μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατου αντικειμένου μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού το οποίο έχει δημιουργηθεί με την βοήθεια ενός υπολογιστή σε πρόγραμμα CAD. Η τρισδιάστατη εκτύπωση η οποία επινοήθηκε την δεκαετία του 1980 και αρχικά ονομαζόταν << γρήγορο πρωτότυπο >> είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που επιτρέπει να δημιουργηθεί ένα φυσικό αντικείμενο από ένα ψηφιακό μοντέλο. Η τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών βρίσκει χρήση στους τομείς της κοσμηματολογίας, των υποδημάτων, του βιομηχανικού σχεδιασμού, της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών, την αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική και ιατρική βιομηχανία, την εκπαίδευση και σε πολλά άλλα. Ένα στρατηγικό πλεονέκτημα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η δυνατότητα παραγωγής περισσότερο εξατομικευμένων και περίπλοκων αντικειμένων χρησιμοποιώντας ακριβώς όσο υλικό είναι αναγκαίο. Επίσης, η τρισδιάστατη εκτύπωση βοηθά στην τοπικοποίηση της παραγωγής μειώνοντας την ανάγκη παρουσίας γραμμής παραγωγής και συντελεί στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω λιγότερων μετακινήσεων. Η εφεύρεση της τρισδιάστατης εκτύπωσης μειώνει τον χρόνο παραγωγής της πρώτης έκδοσης ενός προϊόντος και μας απελευθερώνει από ποικίλα εμπόδια τα οποία συναντάμε στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να τυπώσουμε σύνθετα γεωμετρικά σχήματα και να συμπλέξουμε μέρη χωρίς κάποιο δεσμό. Είναι επίσης δυνατόν να παραγάγουμε μοναδικά αντικείμενα, σε μικρές ποσότητες, με χαμηλό κόστος και γρήγορη διανομή. Επιταχύνεται ο κύκλος σχεδιασμού, παραγωγής και ελέγχου επιτρέποντας στον σχεδιαστή να αξιολογήσει άμεσα τη βιωσιμότητα ενός προϊόντος και να ενσωματώσει αλλαγές σχεδιασμού όπου τυχόν απαιτούνται. Η δυνατότητα να τροποποιήσει κανείς ένα σχέδιο σε απευθείας σύνδεση και αμέσως να δημιουργήσει το αντικείμενο -χωρίς σπατάλη χύτευσης ή διάτρησης- καθιστά την προσθετική κατασκευή έναν οικονομικό τρόπο για τη δημιουργία μεμονωμένων αντικειμένων, μικρών παρτίδων. Τα αντικείμενα μπορούν να κατασκευαστούν μόλις δημιουργηθεί το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο, εξαλείφοντας την ανάγκη για ακριβές και χρονοβόρο εργαλειικό εξοπλισμό και κατασκευή πρωτοτύπου. Οι τεχνικές της προσθετικής τεχνολογίας

επιτρέπουν την ταχεία αντίδραση στις αγορές και δημιουργούν νέες δυνατότητες παραγωγής[43].

## 5.1 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Κάθε τρισδιάστατος εκτυπωτής κατασκευάζει εξαρτήματα με βάση την ίδια βασική αρχή: ένα ψηφιακό μοντέλο μετατρέπεται σε φυσικό τρισδιάστατο αντικείμενο προσθέτοντας επαναληπμένες στρώσεις υλικού κάθε φορά. Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ένας θεμελιώδης διαφορετικός τρόπος παραγωγής εξαρτημάτων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες κατασκευής αφαιρετικών (CNC κατεργασίας) ή διαμορφωτικών (Injection molding). Στην τρισδιάστατη εκτύπωση, δεν απαιτούνται ειδικά εργαλεία (για παράδειγμα, εργαλείο κοπής με συγκεκριμένη γεωμετρία ή καλούπι). Αντ' αυτού, το τμήμα κατασκευάζεται απευθείας στην ενσωματωμένη πλατφόρμα “στρώμα-στρώμα”, το οποίο οδηγεί σε ένα μοναδικό σύνολο πλεονεκτημάτων και περιορισμών - περισσότερα σχετικά με αυτό παρακάτω[44].

Η διαδικασία ξεκινά πάντα με ένα ψηφιακό μοντέλο 3D - το σχεδιάγραμμα του φυσικού αντικείμενου. Αυτό το μοντέλο τεμαχίζεται από το λογισμικό του εκτυπωτή σε λεπτά, δισδιάστατα στρώματα και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ένα σύνολο οδηγιών στη γλώσσα του μηχανήματος (G-code) για την εκτέλεση του εκτυπωτή.

Ο τρόπος λειτουργίας ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ποικίλλει ανάλογα με τη διαδικασία. Για παράδειγμα, οι επιτραπέζιοι εκτυπωτές FDM λιώνουν πλαστικά νήματα και τα τοποθετούν στην πλατφόρμα εκτύπωσης μέσω ενός ακροφυσίου (όπως ένα πιστόλι κόλλας υψηλής ακρίβειας, ελεγχόμενο από υπολογιστή). Μεγάλες βιομηχανικές μηχανές SLS χρησιμοποιούν λέιζερ για να λιώσουν (ή πυροσυσσωματώσουν) λεπτά στρώματα μεταλλικών ή πλαστικών σκονών.

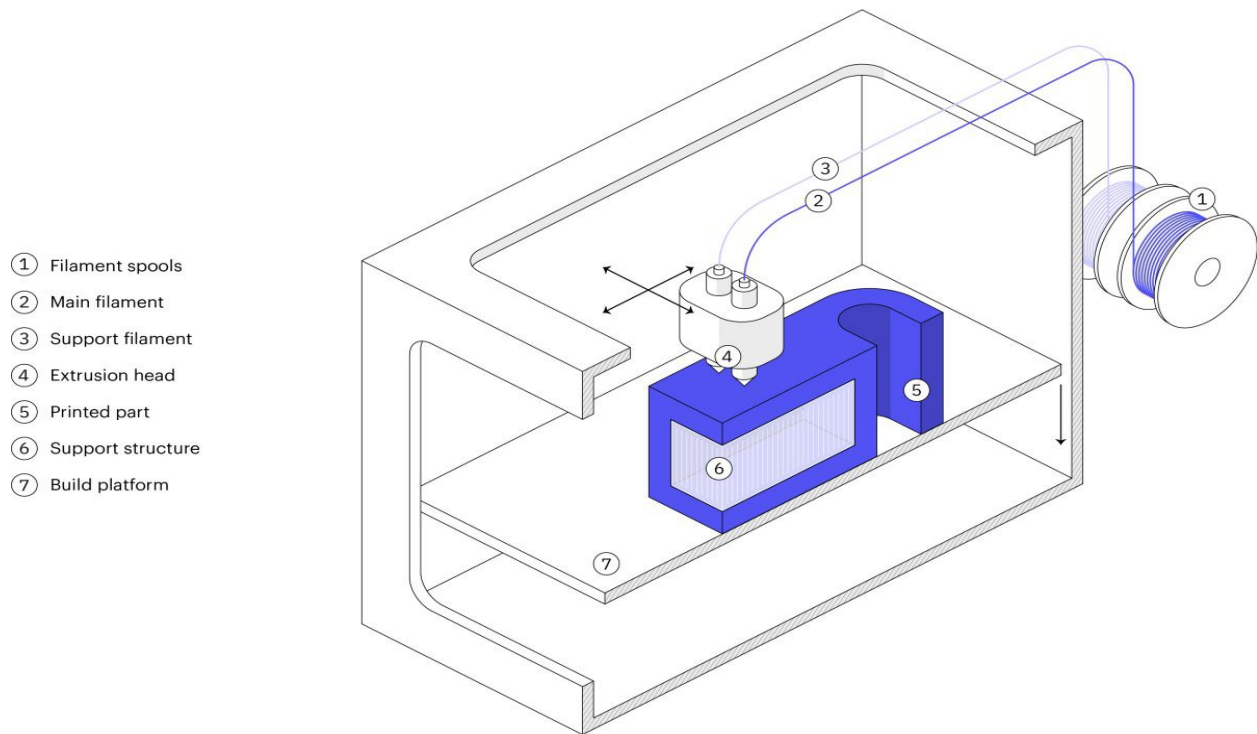
Τα διαθέσιμα υλικά διαφέρουν επίσης ανάλογα με τη διαδικασία. Τα πλαστικά είναι μακράν τα πιο συνηθισμένα, αλλά τα μέταλλα μπορούν επίσης να εκτυπωθούν. Ανάλογα με το μέγεθος του εξαρτήματος και τον τύπο του εκτυπωτή, μια εκτύπωση συνήθως χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί. Ωστόσο, τα τυπωμένα τρισδιάστατα μέρη σπάνια είναι έτοιμα προς χρήση από το μηχάνημα. Συχνά απαιτούν κάποια μετα-επεξεργασία για να επιτευχθεί το

επιθυμητό επίπεδο φινιρίσματος επιφάνειας. Αυτά τα βήματα απαιτούν επιπλέον χρόνο και (συνήθως μη αυτόματη) προσπάθεια.

## 5.2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ

- **Fused Deposition Modelling (FDM)**

Στην τεχνολογία FDM, ένα καρούλι νήματος τοποθετείται στον εκτυπωτή και στη συνέχεια τροφοδοτείται στην κεφαλή εξώθησης, η οποία είναι εξοπλισμένη με θερμαινόμενο ακροφύσιο. Μόλις το ακροφύσιο φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία, ένας κινητήρας οδηγεί το νήμα μέσα από αυτό, το οποίο το λιώνει. Ο εκτυπωτής μετακινεί την κεφαλή εξώθησης, τοποθετώντας λιωμένο υλικό σε ακριβείς τοποθεσίες, όπου ψύχεται και στερεοποιείται (όπως ένα πολύ ακριβές πιστόλι ζεστής κόλλας). Όταν ολοκληρωθεί ένα επίπεδο, η πλατφόρμα κατασκευής μετακινείται προς τα κάτω και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί το τμήμα. Μετά την εκτύπωση, το εξάρτημα είναι συνήθως έτοιμο για χρήση, αλλά μπορεί να απαιτεί κάποια μετα-επεξεργασία, όπως αφαίρεση των δομών στήριξης ή εξομάλυνση της επιφάνειας[44].

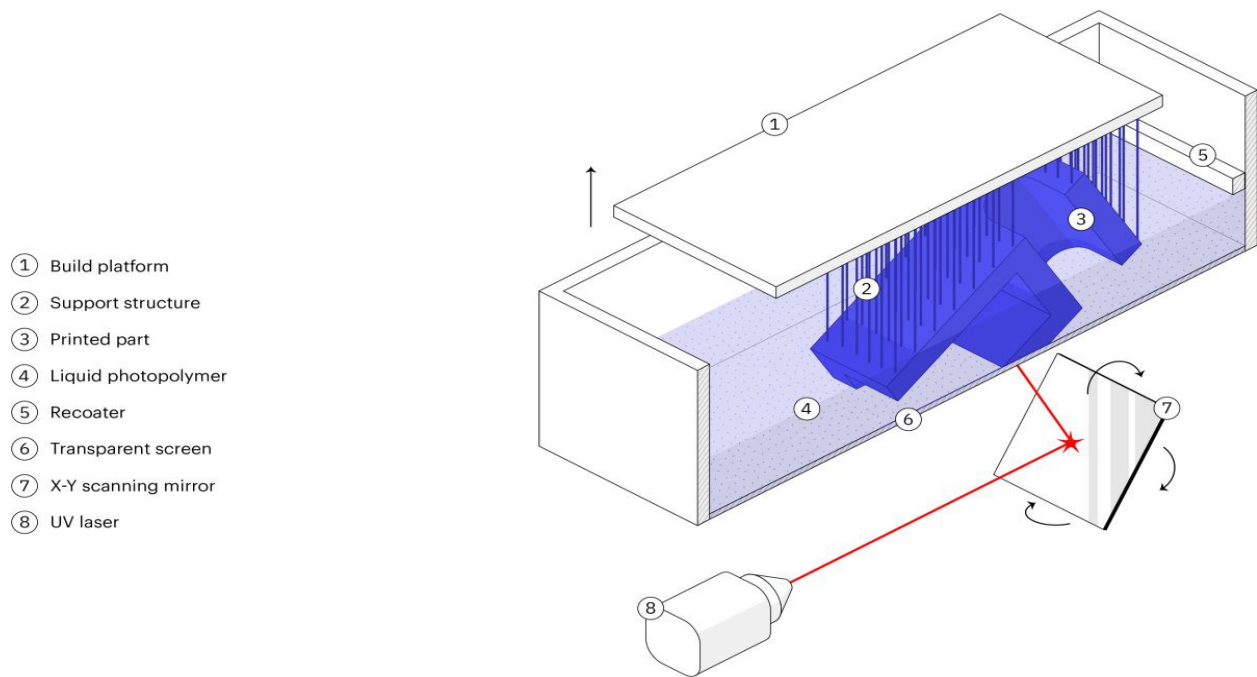


ΕΙΚΟΝΑ 66. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΥΠΩΤΗ FDM

Η τεχνολογία FDM είναι ο πιο οικονομικός τρόπος παραγωγής προσαρμοσμένων θερμοπλαστικών εξαρτημάτων και πρωτοτύπων. Ένα ευρύ φάσμα θερμοπλαστικών υλικών είναι διαθέσιμο για τους εκτυπωτές FDM, κατάλληλο τόσο για πρωτότυπα όσο και για ορισμένες λειτουργικές εφαρμογές. Όσον αφορά τους περιορισμούς, η τεχνολογία FDM έχει τη χαμηλότερη ακρίβεια και ανάλυση διαστάσεων σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τα εκτυπώμενα αντικείμενα με την μέθοδο αυτή είναι πιθανό να έχουν ορατές γραμμές στρώματος, επομένως απαιτείται συχνά η μετα-επεξεργασία για ένα ομαλό φινίρισμα επιφάνειας. Επιπλέον, ο μηχανισμός προσκόλλησης στρώματος καθιστά τα τμήματα FDM εγγενώς ανισοτροπικά. Αυτό σημαίνει ότι θα είναι πιο αδύναμα σε μία κατεύθυνση και είναι γενικά ακατάλληλα για κρίσιμες εφαρμογές.

- **Stereolithography & Digital Light Processing (SLA)**

Η τεχνολογία SLA χρησιμοποιεί μια πηγή υπεριώδους φωτός για τη σκλήρυνση (στερεοποίηση) υγρής ρητίνης, η οποία είναι τοποθετημένη σε ένα κεντρικό δοχείο του εκτυπωτή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί λέιζερ ενός σημείου για να σκληρύνει τη ρητίνη. Μετά την εκτύπωση, το εξάρτημα πρέπει να καθαριστεί από τη ρητίνη και να εκτεθεί σε μια πηγή UV για να βελτιωθεί η αντοχή του. Στη συνέχεια οι δομές στήριξης αφαιρούνται και εάν απαιτείται ένα υψηλής ποιότητας φινίρισμα επιφάνειας πραγματοποιούνται πρόσθετα στάδια μετά την επεξεργασία[44].

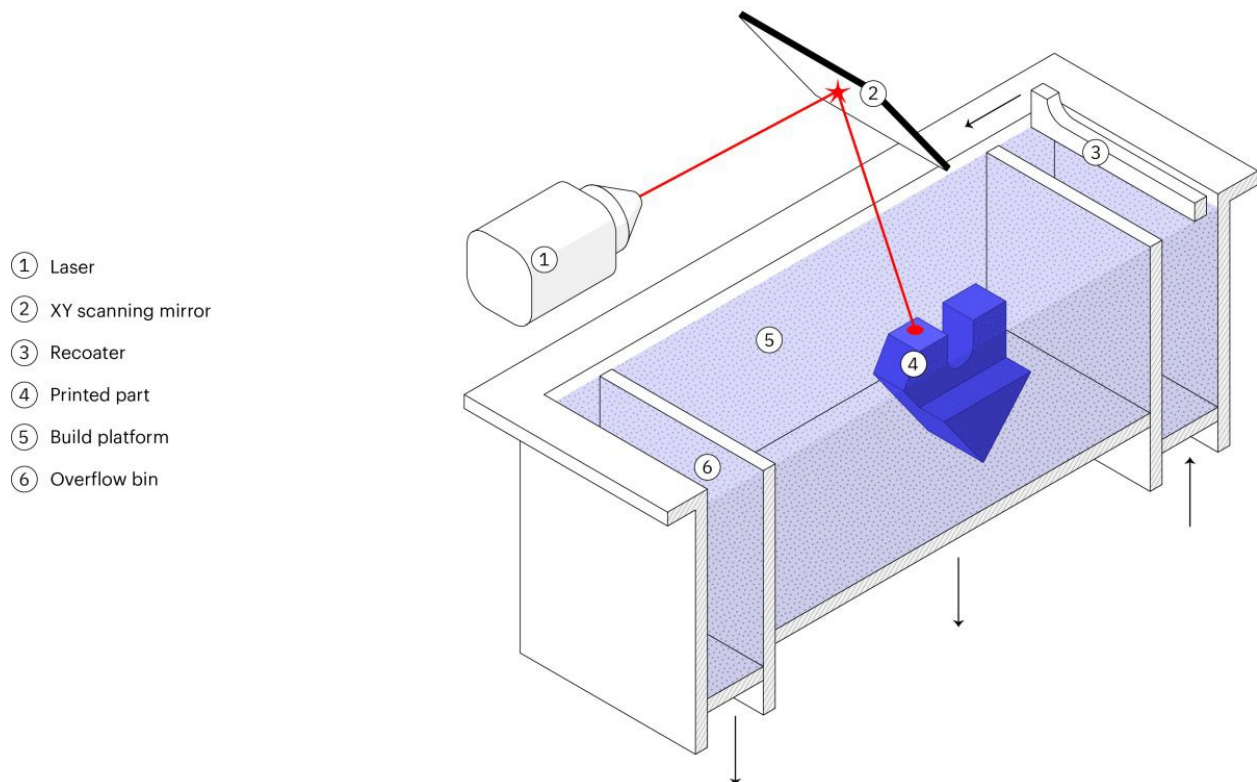


ΕΙΚΟΝΑ 67. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΥΠΩΤΗ SLA

Η τεχνολογία SLA μπορεί να παράγει εξαρτήματα με πολύ υψηλή ακρίβεια διαστάσεων, περίπλοκες λεπτομέρειες και πολύ λείο επιφανειακό φινίρισμα ιδανικό για οπτικά πρωτότυπα. Διατίθεται επίσης μεγάλη γκάμα ειδικών υλικών, όπως διαφανείς, εύκαμπτες, χυτεύσιμες και βιοσυμβατές ρητίνες ή υλικά προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές.

- **Selective Laser Sintering (SLS)**

Η διαδικασία SLS ξεκινά με την θέρμανση ενός δοχείου από πολυμερή σκόνη σε θερμοκρασία ακριβώς κάτω από το σημείο τήξης του υλικού. Στη συνέχεια, μια λεπίδα ή ένας κύλινδρος επικάλυψης εναποθέτει μια πολύ λεπτή στρώση σκόνης - συνήθως πάχους 0,1 mm - στην πλατφόρμα κατασκευής. Μία ακτίνα λέιζερ σαρώνει την επιφάνεια της κλίνης σε σκόνη και εκκρίνει επιλεκτικά τα σωματίδια ενώνοντας τα μεταξύ τους. Όταν σαρώνεται ολόκληρη η διατομή, η πλατφόρμα του κάδου με την σκόνη μετακινείται προς τα κάτω σε ένα επίπεδο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Το αποτέλεσμα είναι ένας κάδος γεμάτος με μέρη που περιβάλλονται από αδιάλειπτη σκόνη. Μετά την εκτύπωση, ο κάδος πρέπει να κρυώσει πριν αφαιρεθούν τα μέρη από την αδιάλυτη σκόνη και καθαριστούν[44].



ΕΙΚΟΝΑ 68. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΥΠΩΤΗ SLS

Τα εξαρτήματα SLS έχουν πολύ καλές σχεδόν ισοτροπικές μηχανικές ιδιότητες, επομένως είναι ιδανικά για λειτουργικά εξαρτήματα και πρωτότυπα. Δεδομένου ότι δεν



απαιτούνται δομές στήριξης (η αδιάλειπτη σκόνη λειτουργεί ως στήριγμα), μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα σχέδια με πολύ περίπλοκες γεωμετρίες. Η τεχνολογία SLS είναι επίσης εξαιρετική για παραγωγή μικρής έως μεσαίας παρτίδας (έως 100 μέρη), καθώς ο κάδος μπορεί να γεμίσει σε όλο τον όγκο του και πολλά μέρη μπορούν να εκτυπωθούν σε μία μόνο παραγωγή παραγωγής. Οι εκτυπωτές SLS είναι συνήθως βιομηχανικά συστήματα υψηλών προδιαγραφών. Αυτό περιορίζει τη διαθεσιμότητα της τεχνολογίας και αυξάνει το κόστος και τους χρόνους περιστροφής (για παράδειγμα σε σύγκριση με το FDM ή το SLA). Τα εξαρτήματα SLS έχουν μια φυσικά κοκκώδη επιφάνεια και κάποιο εσωτερικό πορώδες. Εάν απαιτείται ομαλή επιφάνεια ή στεγανότητα απαιτούνται επιπλέον βήματα μετά την επεξεργασία. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται όταν υπάρχουν μεγάλες επίπεδες επιφάνειες καθώς και μικρές τρύπες διότι είναι επιρρεπείς σε θερμική στρέβλωση και υπερσύνδεση.

### 5.3 ΥΛΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Κάθε διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι συμβατή με διαφορετικά υλικά. Τα πλαστικά και τα θερμοπλαστικά είναι μακράν τα πιο κοινά, υπάρχουν όμως και τα μέταλλα. Ορισμένα σύνθετα υλικά, και τα κεραμικά μπορούν επίσης να εκτυπωθούν[44].

#### ΠΛΑΣΤΙΚΑ

Τα πλαστικά τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ελαφριά υλικά με ευρύ φάσμα φυσικών ιδιοτήτων, κατάλληλα τόσο για πρωτότυπους όσο και για λειτουργικές εφαρμογές. Τα πλαστικά είναι είτε θερμοπλαστικά ( FDM ή SLS), τα οποία είναι γενικά πιο κατάλληλα για λειτουργικές εφαρμογές, ή τα θερμοσυστήματα ( SLA ), τα οποία είναι γενικά πιο κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν καλή οπτική εμφάνιση. Μερικά είδη πλαστικών είναι τα εξής[44]:

**PLA:** Το PLA είναι ένα βιοαποικοδομήσιμο θερμοπλαστικό χαμηλού κόστους με υψηλή ακαμψία, καλή λεπτομέρεια εκτύπωσης αλλά πιο εύθραυστο. Ακατάλληλο για υψηλές θερμοκρασίες, και μη λειτουργικό πρωτότυπο.

**ABS:** Έχει βελτιωμένες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες σε σύγκριση με το PLA. Το ABS είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό με καλές μηχανικές ιδιότητες και εξαιρετική αντοχή σε κρούση, ανώτερο από το PLA αλλά με λιγότερο καθορισμένες λεπτομέρειες στην εκτύπωση.

**RESIN:** Η ρητίνη χρησιμοποιείται από εκτυπωτές με τεχνολογία SLS. Τα αντικείμενα μπορούν να εκτυπωθούν με υψηλή λεπτομέρεια και λεία επιφάνεια. Οι ρητίνες είναι θερμοσκληρυνόμενα φωτοπολυμερή που στερεοποιούνται όταν εκτίθενται σε φως παράγοντας εξαρτήματα υψηλής λεπτομέρειας με ομαλό φινίρισμα επιφάνειας.

**NYLON:** Χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση λειτουργικών με έγχυση εξαρτημάτων, με καλή χημική αντοχή. Το νάιλον ή το πολυαμίδιο (PA) είναι ένα θερμοπλαστικό με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή στις χημικές ουσίες και στην τριβή. Ιδανικό για λειτουργικές εφαρμογές.

**PETG:** Είναι καλό για μηχανικά εξαρτήματα με υψηλή αντοχή σε κρούση και ευελιξία. Το PETG είναι ένα θερμοπλαστικό με βελτιωμένες ιδιότητες έναντι του PLA, με εξαιρετική αντοχή σε χημικά και υγρασία. Το PETG μπορεί να αποστειρωθεί.

**TPU:** Είναι υλικό από καουτσούκ, κατάλληλο για σωλήνες, λαβές, σφραγίδες και φλάτζες. Το TPU είναι ένα θερμοπλαστικό ελαστομερές με χαμηλή σκληρότητα και μια ελαστική αίσθηση που μπορεί εύκολα να κάμπτεται και να συμπιέζεται.

**ASA:** Είναι σταθερό στην έκθεση από UV και έχει υψηλή χημική αντοχή, προτιμώμενο υλικό για εξωτερικές εφαρμογές. Το ASA είναι ένα θερμοπλαστικό με ιδιότητες παρόμοιες με το ABS αλλά με βελτιωμένη θερμική, χημική και ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες. Ιδανικό για εξωτερικές εφαρμογές.

**PEI:** Μηχανικό πλαστικό με εφαρμογές υψηλής απόδοσης με ικανότητα επιβράνδυσης της φλόγας. Το PEI είναι ένα θερμοπλαστικό μηχανικής με καλές μηχανικές ιδιότητες και εξαιρετική αντοχή στη θερμότητα, τις χημικές ουσίες και τη φλόγα.

## ΜΕΤΑΛΛΑ

Ο αριθμός των διαθέσιμων μεταλλικών υλικών για τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων αυξάνεται ραγδαία. Μερικά από αυτά είναι[44]:

- Ανοξείδωτοι χάλυβες
- Κράματα τιτανίου
- Κράματα αλουμινίου
- Κράματα με βάση το νικέλιο
- Κράματα κοβαλτίου-χρωμίου
- Κράματα με βάση το χαλκό
- Πολύτιμα μέταλλα ( χρυσός, ασήμι, πλατίνα )
- Εξωτικά μέταλλα ( παλλάδιο, ταντάλιο )

### 5.4 ΟΦΕΛΗ & ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία. Έρχεται με το μοναδικό της σύνολο πλεονεκτημάτων, αλλά επίσης υστερεί σε σχέση με την παραδοσιακή κατασκευή. Εδώ συνοψίζουμε τα πιο σημαντικά οφέλη

και τους περιορισμούς της τρισδιάστατης εκτύπωσης, λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα όλων των τρισδιάστατων τεχνολογιών εκτύπωσης που διατίθενται σήμερα[44].

### ΟΦΕΛΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

- Γεωμετρική πολυπλοκότητα χωρίς επιπλέον κόστος
- Χαμηλό κόστος εκκίνησης
- Πρωτότυπο χαμηλού κόστους με γρήγορο χρόνο παράδοσης
- Μεγάλο εύρος υλικών

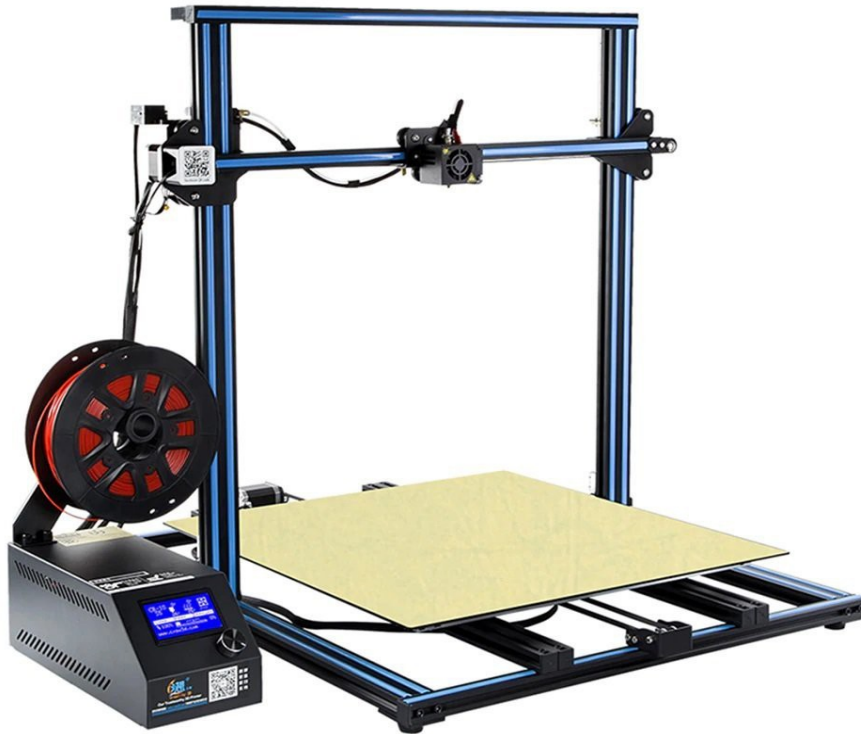
### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

- Χαμηλότερη αντοχή και ιδιότητες ανισοτροπικού υλικού
- Λιγότερη ανταγωνιστική για υψηλές παραγωγές
- Περιορισμένη ακρίβεια και ανοχές
- Μετ' επεξεργασία και αφαίρεση υποστηρικτικού υλικού

### 5.5 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των εξαρτημάτων μας ήταν ο Creality CR-10 S5. Ο Creality CR-10 S5 είναι ο μεγαλύτερος τρισδιάστατος εκτυπωτής της Creality και επίσης ένας από τους ανταγωνιστικότερους εκτυπωτές μεγάλου μεγέθους που διατίθενται σήμερα στην αγορά με κόστος περίπου στα 1000 ευρώ. Διαθέτει θερμαινόμενο γυάλινο κρεβάτι εκτύπωσης το οποίο βοηθάει την προσκόληση των εκτυπώσεων με μεγαλύτερη ευκολία αλλά συμβάλει και στην επιλογή περισσότερων υλικών προς εκτύπωση, επίσης οι

διαστάσεις του γυάλινου κρεβατιού 500 x 500 500 mm μας επιτρέπουν να μπορούμε να εκτυπώνουμε μεγάλα αντικείμενα[45].



EIKONA 69. CREALITY CR-10 S5

## ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Μέγεθος εκτύπωσης: 500 x 500 x 500 mm
- Τύπος εκτύπωσης: FDM ( fused deposition modeling )
- Διάμετρος ακροφύσιου: 0,4 mm ή 0,3 mm
- Διάμετρος νήματος: 1,75mm

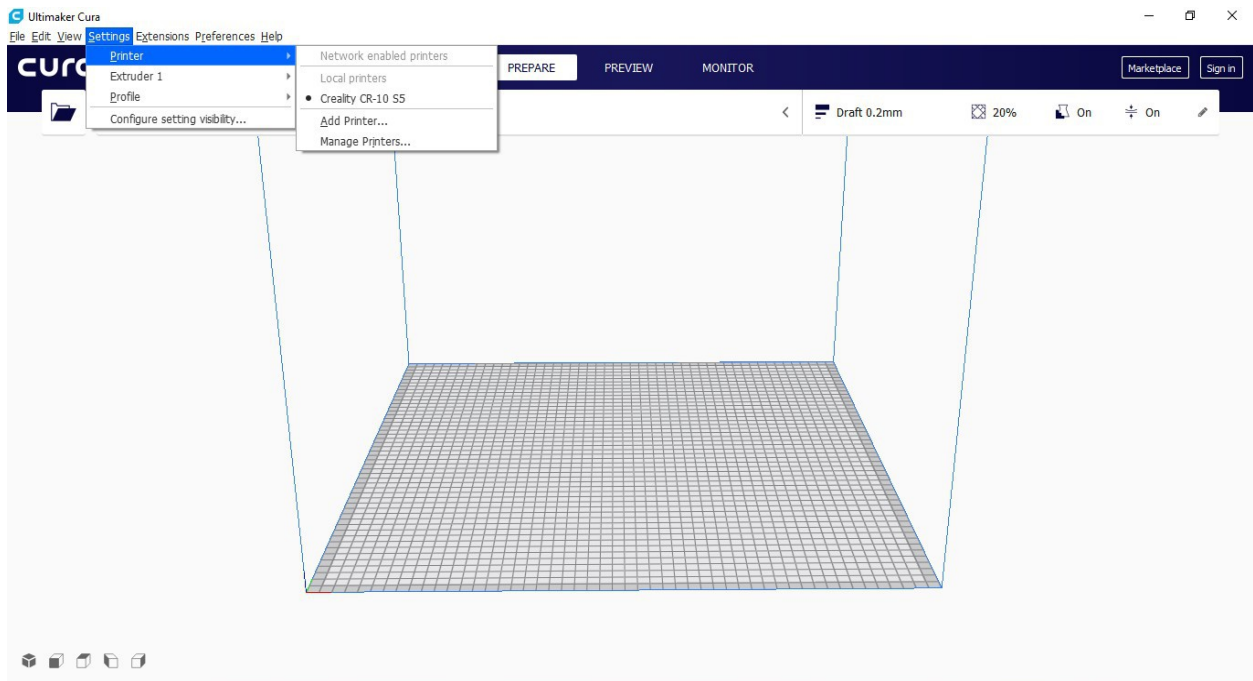
- Ταχύτητα εκτύπωσης: 30-100 m/s
- Ακρίβεια εκτύπωσης:  $\pm 0.1\text{mm}$
- Τροφοδοσία: είσοδος 110-220V δυνατότητα εναλλαγής, έξοδος 24V
- Πραγματική ισχύς: 160-200W
- Γλώσσα λειτουργίας: Αγγλικά/Κινέζικα
- Μέγιστη θερμοκρασία ακροφύσιου: 260 °C
- Μέγιστη θερμοκρασία κρεβατιού: 60 °C
- Θερμαινόμενο κρεβάτι εκτύπωσης: Ναι
- Υλικό εκτύπωσης κρεβατιού: Γυαλί
- Οθόνη LCD: Ναι
- Απαιτήσεις περιβάλλοντος: 10-30 ° C, υγρασία 20-50%
- Υλικά εκτύπωσης: PLA, ABS, WOOD, TPU, PETG
- Μέθοδος εκτύπωσης: SD card, USB
- Λειτουργικό σύστημα: Linux, Windows, OSX
- Λειτουργικό λογισμικό: CURA, Repetier-Host, simplify 3D
- Μορφή αποθήκευσης (format): STL, OBJ, G-Code, JPG
- Διαστάσεις πλαισίου: 690 x 800 x 715 mm
- Βάρος: 14,6 κιλά

## 5.6 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Το τελευταίο στάδιο είναι αυτό της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Για να μπορέσουμε να εκτυπώσουμε τρισδιάστατα τα αρχεία που σαρώσαμε και έπειτα επεξεργαστήκαμε στο κατάλληλο πρόγραμμα CAD χρησιμοποιήσαμε το λειτουργικό λογισμικό CURA. Το λογισμικό CURA είναι ένα λογισμικό που έχει αναπτύξει η εταιρία ULTIMAKER για να μπορούμε να προετοιμάζουμε αρχεία με την μορφή STL, OBJ, G-CODE που είναι προς τρισδιάστατη εκτύπωση όπως να ορίζουμε την αντοχή τους, την ανάλυση που θα έχουν καθώς και μια πληθώρα εντολών που μας παρέχει το λογισμικό. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι συμβατό με κάθε είδους τρισδιάστατο εκτυπωτή του οποίου δεν παρέχεται από την εκάστοτε εταιρία η οποία αναλαμβάνει την παραγωγή του. Η χρήση του έγινε με την δωρεάν παροχή που είναι διαθέσιμη από την ηλεκτρονική σελίδα της ULTIMAKER που βρίσκεται στο διαδύκτιο <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura> .

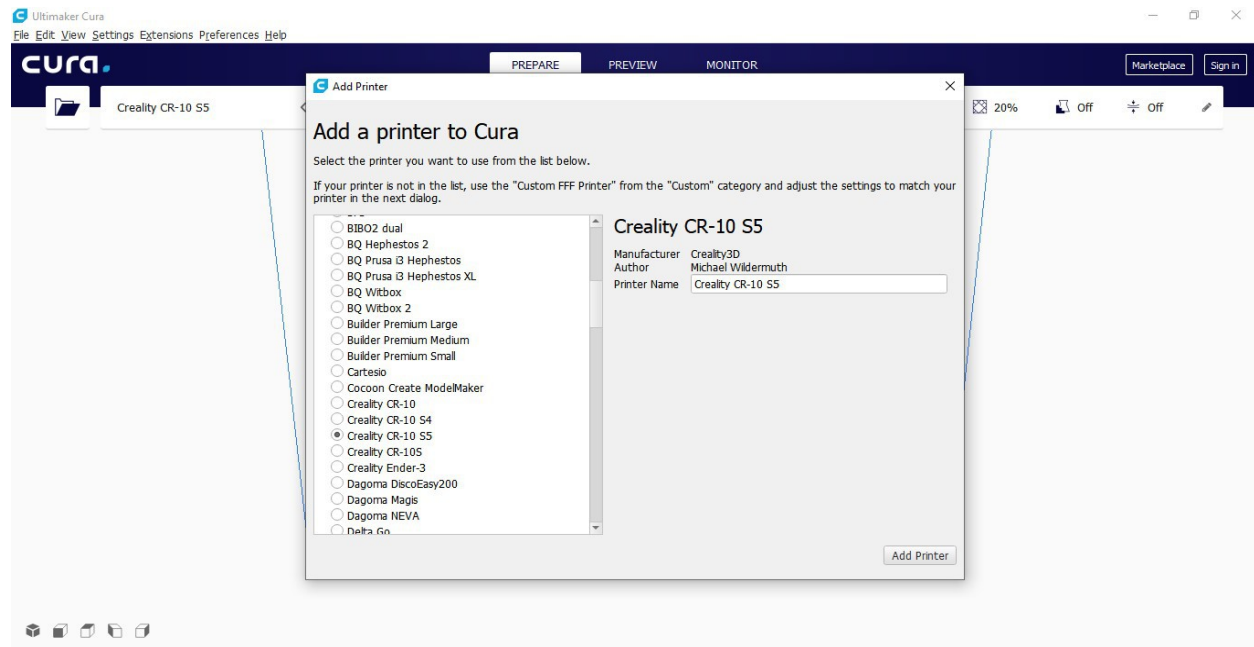
### 5.6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Το πρώτο βήμα που πρέπει να κάνουμε για να μπορέσουμε να εκτυπώσουμε τα STL αρχεία μας είναι να εισάγουμε στο λειτουργικό λογισμικό CURA τον τρισδιάστατο εκτυπώτη που θα χρησιμοποιήσουμε. Για να γίνει αυτό κάνουμε την εξής διαδικασία, αφού ανοίξουμε το λογισμικό πατάμε την επιλογή **settings** όπου μας ανοίγει μία καρτέλα με τέσσερις επιλογές στην οποία πατάμε **Printer** έπειτα **Add printer** και στην συνέχεια επιλέγουμε το μοντέλο του τρισδιάστατου εκτυπωτή που διαθέτουμε ώστε να ενσωματωθούν τα χαρακτηριστικά του στο λογισμικό.



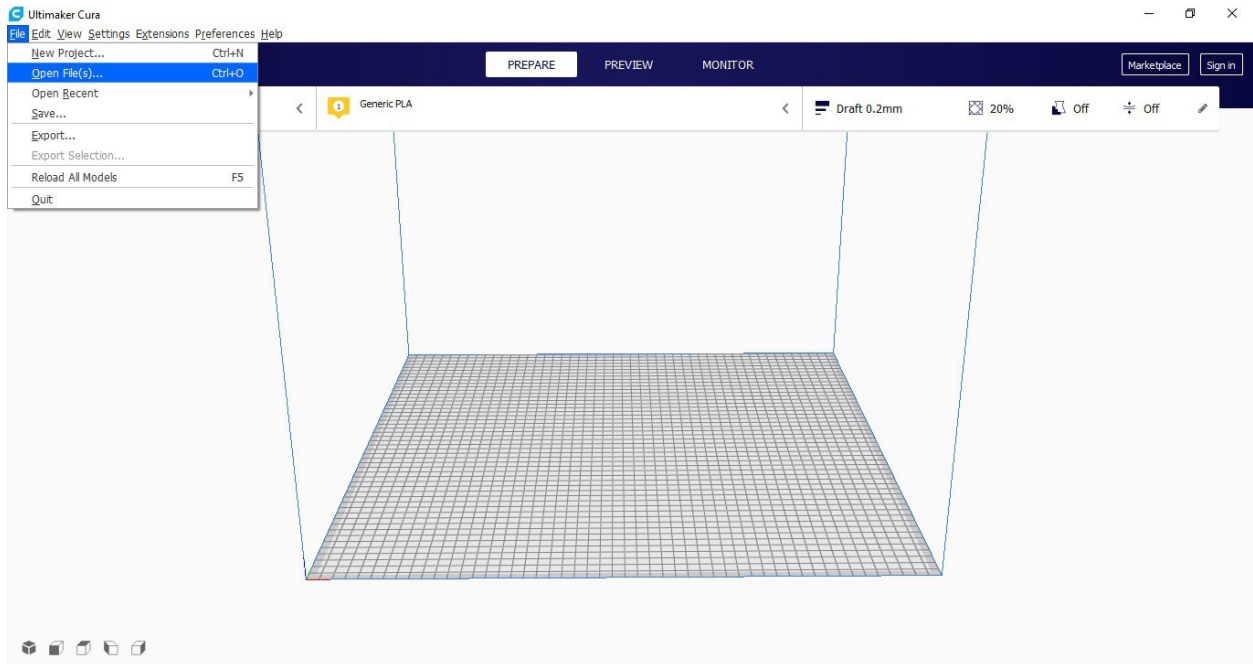
EIKONA 56. Add printer



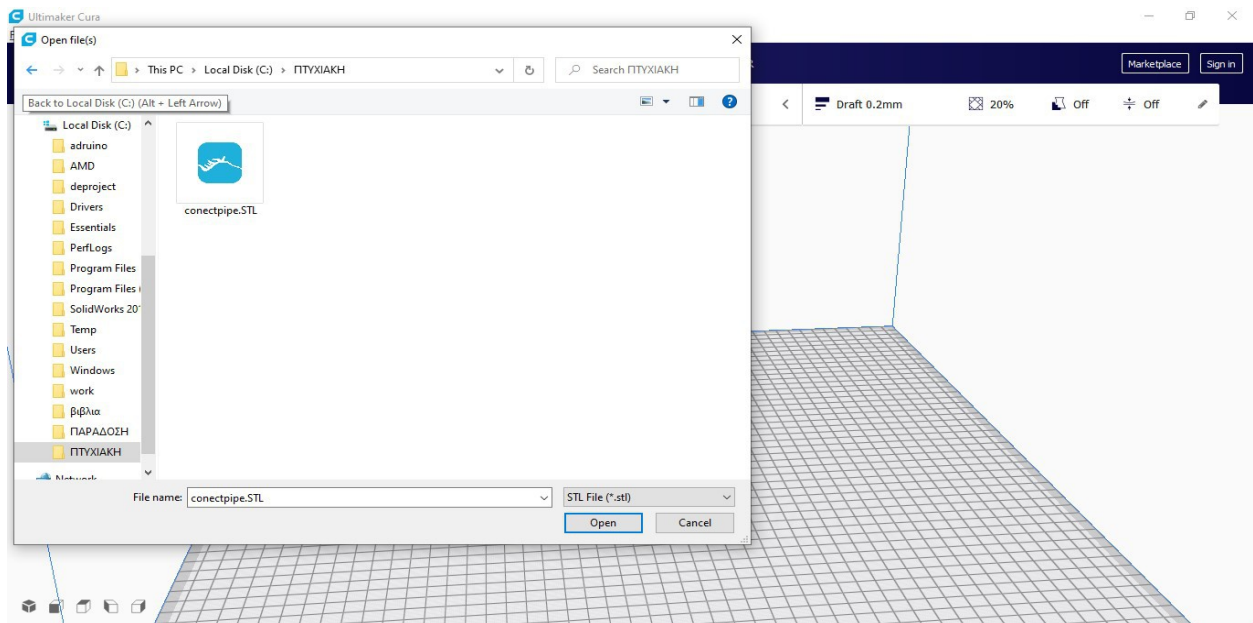


*EIKONA 57. Add printer*

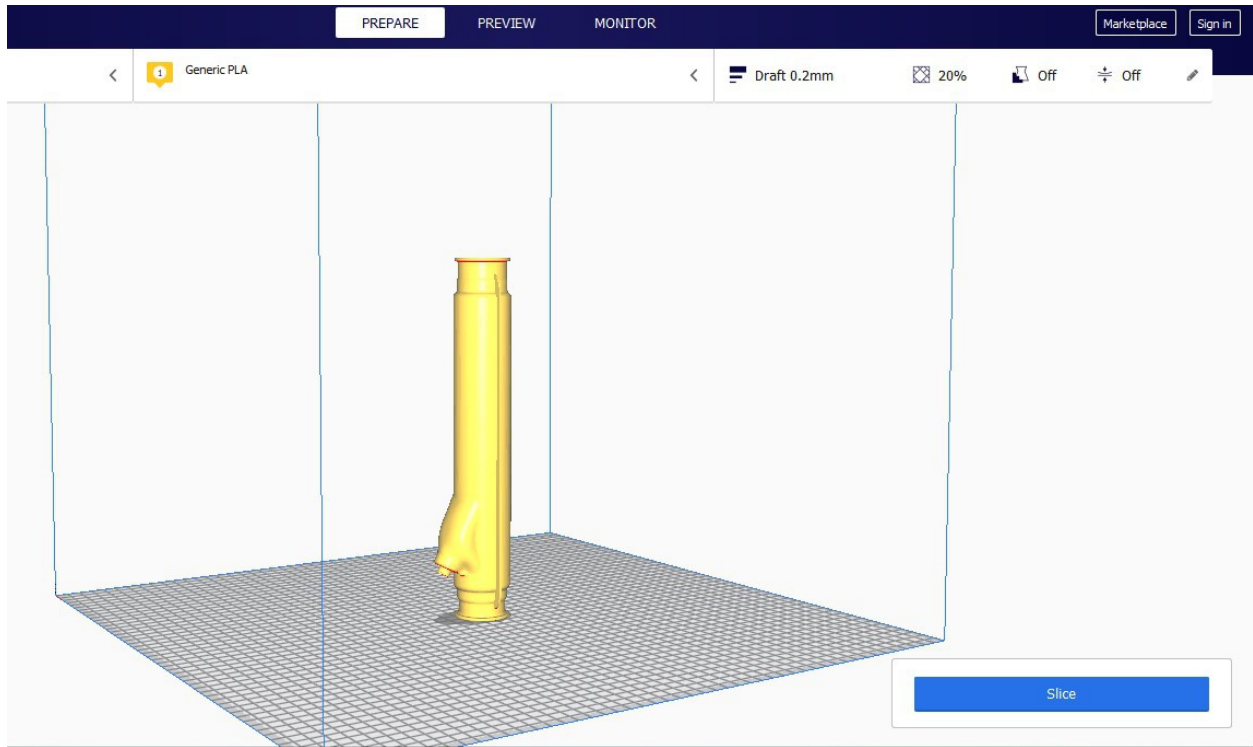
Το δεύτερο βήμα είναι να εισάγουμε στο λογισμικό το αρχείο STL έτσι ώστε να ξεκινήσουμε την μετέπειτα επεξεργασία του για να είναι έτοιμο προς εκτύπωση. Για να γίνει αυτό πατάμε την επιλογή **File** και στην συνέχεια **Open File(s)** για να μας εμφανίσει ποιο αρχείο θέλουμε να επιλέξουμε.



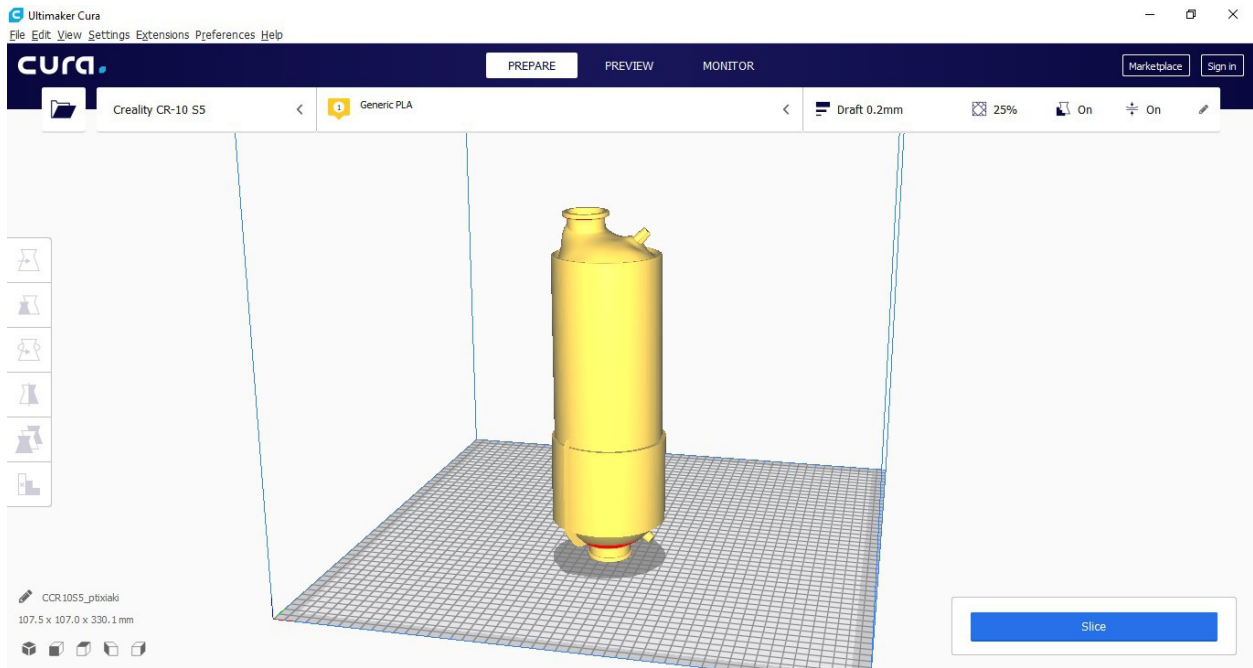
EIKONA 58. Open File(s)



EIKONA 59. Select File

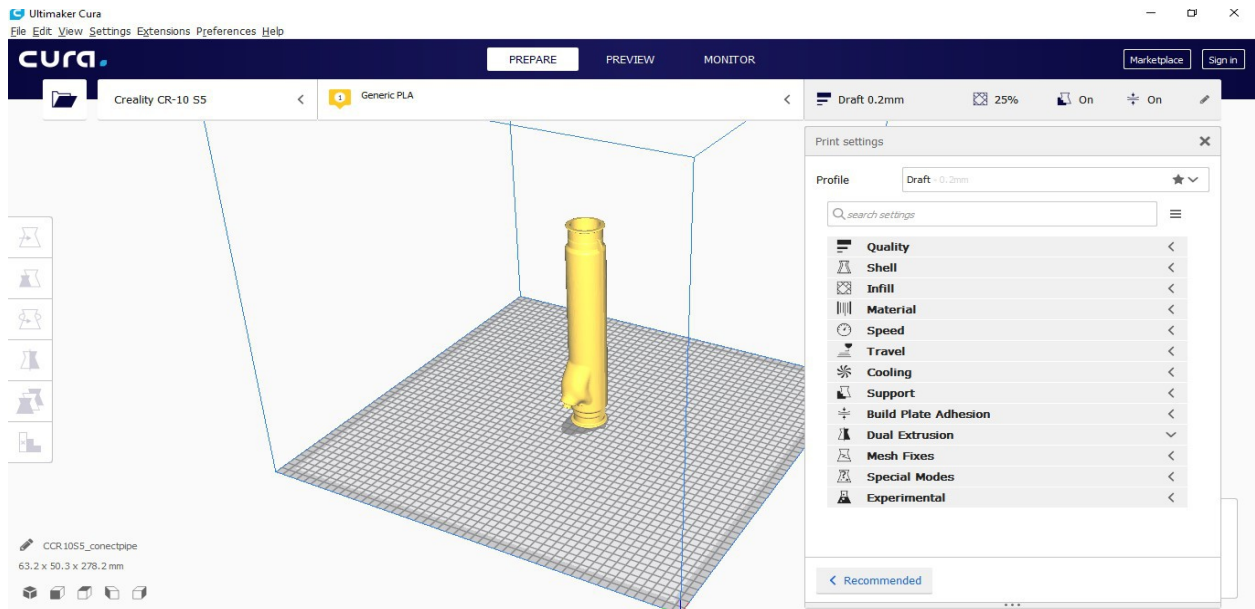


EIKONA 60. STL FILE-ΣΩΛΗΝΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ



EIKONA 61. STL FILE-ΣΙΛΑΝΣΙΕ/ΚΑΖΑΝΙ

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πως εμφανίζεται το αρχείο STL στο λειτουργικό λογισμικό CURA, καθώς και να αρχίσουμε να το επεξεργαζόμαστε για να είναι έτοιμο για την τρισδιάστατη εκτύπωση.



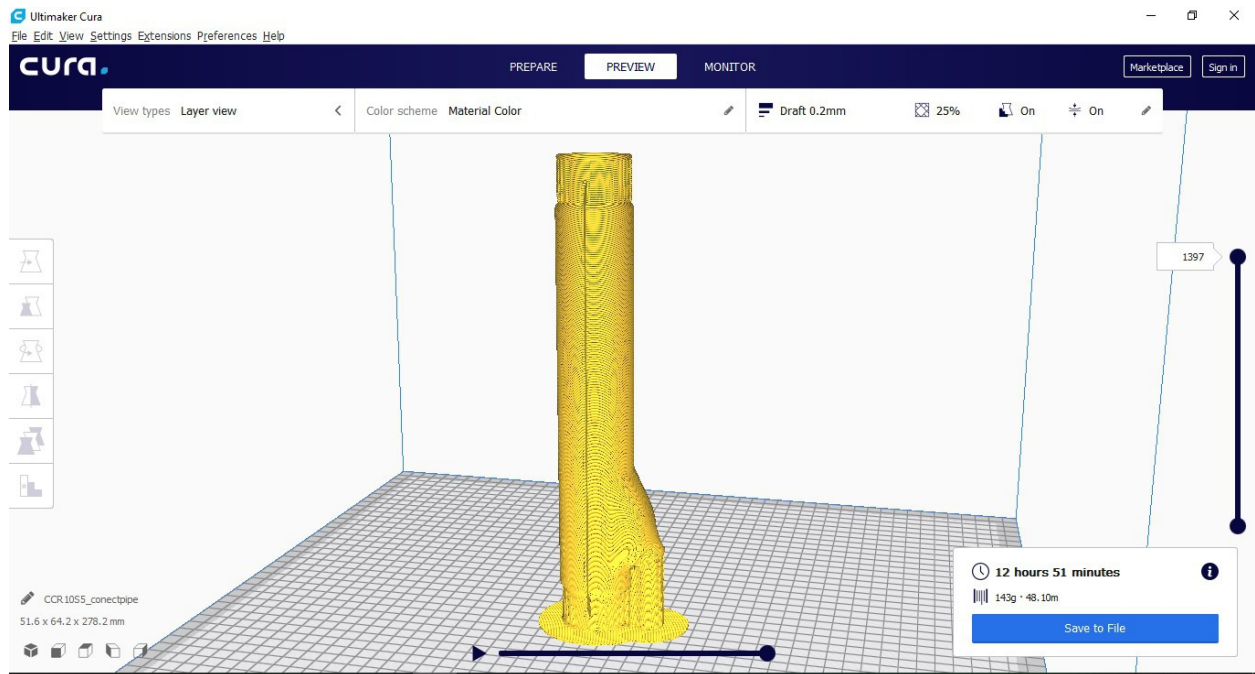
ΕΙΚΟΝΑ 62. Settings in CURA

Στα δεξιά της εικόνας 61 βλέπουμε τις ρυθμίσεις που έχει το λειτουργικό λογισμικό CURA με τις οποίες μπορούμε να επεξεργαστούμε το αρχείο μας και να κάνουμε διάφορες αλλαγές εάν αυτό είναι αναγκαίο όπως π.χ η αντοχή, ανάλυση που θα θέλαμε να υπάρχει στο τελικό τρισδιάστατο αποτέλεσμα.

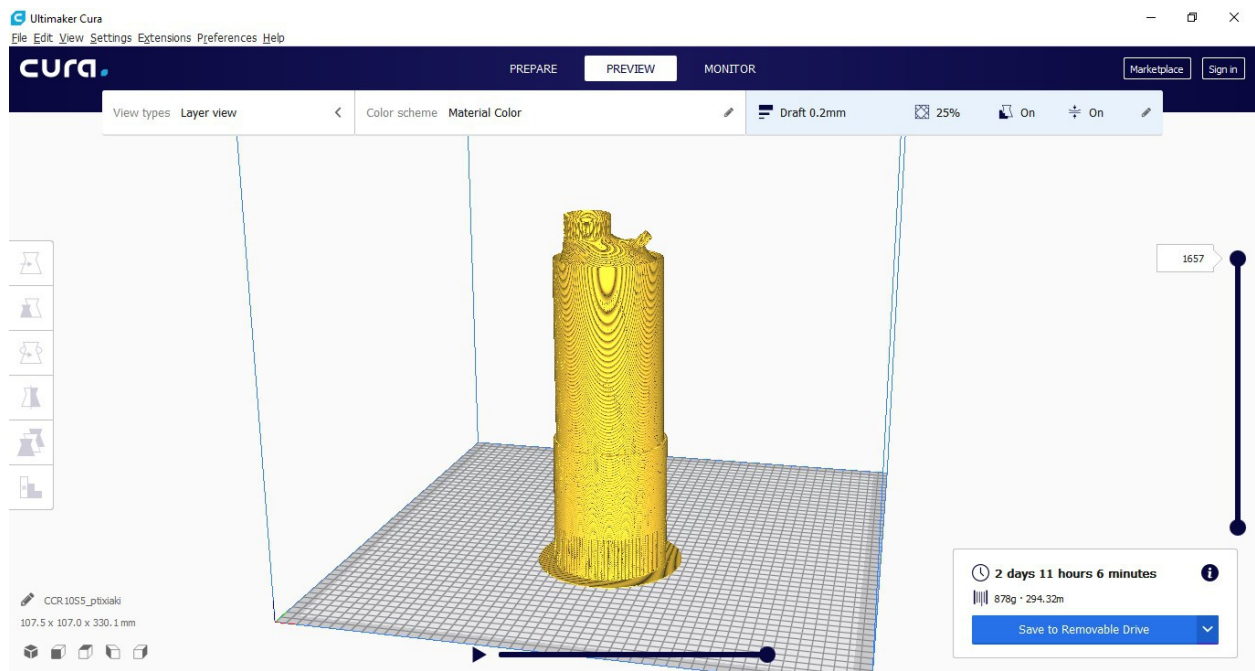
Συγκεκριμένα οι ρυθμίσεις που ενεργοποιήσαμε και τροποποιήσαμε από τις προκαθορισμένες του λογισμικού για τα δύο αρχεία μας ήταν οι εξής:

- Ποιότητα (Quality): Ορίσαμε την ποιότητα ανάλυσης στα 0.2mm, δηλαδή το πάχος της προσκόλλησης της κάθε στρώσης υλικού. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να διακρίνουμε πιο εύκολα τις λεπτομέρειες του αρχείου μας καθώς και να επιτύχουμε ένα πιο εμφανές αποτέλεσμα χωρίς ατέλειες.

- **Γέμισμα (Infill):** Το γέμισμα ορίζει το πόσο δυνατό ή αλλιώς την αντοχή που θέλουμε να έχει το τρισδιάστατο αρχείο μας μόλις εκτυπωθεί, το οποίο το ορίσαμε στο 25%.
- **Υλικό (Material):** Το υλικό με το εκτυπώσαμε το αρχείο ήταν το PLA
- **Ταχύτητα (Speed):** Η ταχύτητα εκτύπωσης ήταν 60mm/s, με την επιλογή αυτή ορίζουμε με το πόσο γρήγορα θέλουμε να μετακινείται η κεφαλή του τρισδιάστατου εκτυπωτή.
- **Υποστήριξη (Support):** Το λεγόμενο υποστηρικτικό υλικό βοηθάει στην στήριξη των περίπλοκων γεωμετριών του σχήματος καθώς και στις γωνίες που υπάρχουν στα αρχεία που εκτυπώνουμε όταν αυτές ξεπερνάν τις 50 με 55 μοίρες κλίση. Το υποστηρικτικό υλικό αφαιρείτε εύκολα από την κύρια εκτύπωση.
- **Βάση προσκόλλησης (Build Plate Adhesion):** Με την ενεργοποίηση της επιλογής αυτής ο τρισδιάστατος εκτυπωτής εκτυπώνει μία βάση πρώτα στο τραπέζι ώστε σε μεγάλες εκτυπώσεις το αρχείο να προσκολλάτε πρώτα εκεί για να μην υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής της τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- **Θερμοκρασία εκτύπωσης (Print Temperature):** Η θερμοκρασία εκτύπωσης του υλικού ήταν 220°C η οποία είναι και η προτεινόμενη για να εκτυπωθεί το PLA που χρησιμοποιήσαμε.
- **Θερμοκρασία τραπεζιού (Plate Temperature):** Η θερμοκρασία του τραπεζιού ορίστηκε στους 60°C.



ΕΙΚΟΝΑ 63. ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 64. ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΣΙΛΑΝΣΙΕ/ΚΑΖΑΝΙ

Το τελευταίο στάδιο είναι αυτό της αποθήκευσης του αρχείου. Στις εικόνες 63-64 κάτω δεξιά μας έχει την επιλογή 'save to file' όπου επιλέγοντας την αποθηκεύουμε το αρχείο STL που

έχουμε επεξεργαστεί προηγουμένος με την μορφή G-Code που μας υποδεικνύει το ειδικό λογισμικό CURA η οποία είναι η αναγνωρίσιμη από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή ώστε να εκτυπωθεί ο σωλήνας σύνδεσης. Η μεταφορά του αρχείου μπορεί να γίνει είτε με καλώδιο usb από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στον τρισδιάστατο εκτυπωτή ή με την μεταφορά του σε κάρτα μνήμης microsd και έπειτα με την εισαγωγή της κάρτας microsd σε ειδική υποδοχή που διαθέτει ο τρισδιάστατος εκτυπωτής.

Λόγω των μεγάλων αρχικών διαστάσεων που είχε ο σωλήνας σύνδεσης η τρισδιάστατη εκτύπωση έγινε σε κλίμακα 1:2 με διαστάσεις 51.6 x 64.2 x 278.2 mm. Ο χρόνος για να εκτυπωθεί ο σωλήνας σύνδεσης ήταν 12 ώρες και 51 λεπτά και χρειάστηκαν 140 γραμμάρια υλικού. Επίσης και για το καζάνι επειδή οι αρχικές του διαστάσεις ήταν μεγάλες και δεν χωρούσε στο τραπέζι του τρισδιάστατου εκτυπωτή έγινε σε κλίμακα 1:2 με διαστάσεις 107.5 x 115.2 x 330.1 mm, ο χρόνος εκτύπωσης ήταν 2 ημέρες 11 ώρες και 6 λεπτά και χρειάστηκαν 878 γραμμάρια υλικού.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τελειώνοντας με τις τρισδιάστατες σαρώσεις αλλά και με την επεξεργασία των αρχείων μας στο πρόγραμμα CAD μπορούμε να πούμε ότι έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Όσο αφορά την τρισδιάστατη σάρωση λόγω την μεγάλης ακρίβειας που διαθέτει ο τρισδιάστατος σαρωτής που χρησιμοποιήσαμε οι διαστάσεις του ψηφιακού αρχείου με το πραγματικό ήταν οι ίδιες. Μικρές απώλειες στις διαστάσεις των αρχείων μας προκύπτουν στον ανασχεδιασμό τους με το πρόγραμμα CAD λόγω έλλειψης εμπειρίας του χρήστη, όπως επίσης απώλειες θα υπάρξουν και στην τρισδιάστατη εκτύπωση λόγω της θερμοκρασίας που θα επικρατεί στο χώρο που θα βρίσκεται ο εκτυπωτής ή και από μη κάλο σετάρισμα στην προετοιμασία του αρχείου στο ειδικό λογισμικό CURA. Η χρήση των τεχνολογιών αυτών μας δείχνει ότι πλέον μπορούμε να ανασχεδιάζουμε και να βελτιώνουμε συνεχώς προϊόντα που ήδη υπάρχουν αλλά και νέα με ελάχιστο χρόνο και κόστος.

Η παρούσα πτυχιακή έχει στόχο στο να μπορεί ο αναγνώστης να καταλάβει πως λειτουργούν αυτές οι τεχνολογίες, πως μπορούμε απο ένα φυσικό προϊόν να δημιουργήσουμε το ψηφιακό

μοντέλο και έπειτα να το επεξεργαστούμε και να κάνουμε αλλαγές στον σχεδιασμό του όπως επίσης να κατανοήσει τα θετικά και ίσως και τα αρνητικά που μπορούν να υπάρξουν από τις συγκεκριμένες τεχνολογίες.

## ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] Autotriti (2020), *Ο ρόλος της εξάτμισης*, Autotriti [online], διαθέσιμο στο: [https://www.autotriti.gr/data/news/preview\\_news/Ti-kanei-h-eksatmish\\_156333.asp](https://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/Ti-kanei-h-eksatmish_156333.asp)  
[Επισκέφθηκε: 18/03/2020]
- [2] Autotriti (2020), *Γιατί χρειαζόμαστε εξάτμιση;* Autotriti [online], διαθέσιμο στο: [https://www.autotriti.gr/data/news/preview\\_news/Ti-kanei-h-eksatmish\\_156333\\_31403.asp](https://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/Ti-kanei-h-eksatmish_156333_31403.asp)  
[Επισκέφθηκε: 18/03/2020]
- [3] Cristian Brothers Automotive (2017), *The Most Common Exhaust System Problems*, Cristian Brothers Automotive [online], διαθέσιμο στο: <https://www.cbac.com/media-center/blog/2017/march/the-most-common-exhaust-system-problems/> [Επισκέφθηκε: 20/03/2020]
- [4] Second skin automotive insulation (2020), *HEAT SHIELD*, Second skin automotive insulation [online], διαθέσιμο στο: <https://www.secondskinaudio.com/heat-shield/>  
[Επισκέφθηκε: 25/03/2020]



- [5] JFE 21<sup>st</sup> Century Foundation (2003), *Materials for Automobile Exhaust Systems*, JFE 21<sup>st</sup> Century Foundation [online], διαθέσιμο στο: [http://www.jfe-21st-cf.or.jp/chapter\\_1/1e\\_2.html](http://www.jfe-21st-cf.or.jp/chapter_1/1e_2.html) [Επισκέφθηκε: 05/04/2020]
- [6] Summit racing equipment (2018), *What type of metal should I choose for my exhaust parts?*, Summit racing equipment [online], διαθέσιμο στο: [https://help.summitracing.com/app/answers/detail/a\\_id/4773/~/what-type-of-metal-should-i-choose-for-my-exhaust-parts%3F](https://help.summitracing.com/app/answers/detail/a_id/4773/~/what-type-of-metal-should-i-choose-for-my-exhaust-parts%3F) [Επισκέφθηκε: 07/04/2020]
- [7] De Lille Didier (2017), *The use of different materials in exhausts*, Goodfabs [online], διαθέσιμο στο: <https://www.goodfabs.com/post/use-of-materials-in-exhausts> [Επισκέφθηκε: 07/04/2020]
- [8] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.126-128
- [9] | Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.178
- [10] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.165-166
- [11] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα,σελ.165
- [12] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.165-166-167
- [13] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.167-168-169
- [14] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.169
- [15] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.169-170-171
- [16] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.171-172
- [17] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.172-173
- [18] Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.129-130
- [19] BlueStar.Com (2020), *EXHAUST SYSTEM, MUFFLER, & CONVERTER*, BlueStar.Com [online], διαθέσιμο στο: [https://www.bluestar.com/get\\_informed/article/exhaust-system-muffler-converter/](https://www.bluestar.com/get_informed/article/exhaust-system-muffler-converter/) [Επισκέφθηκε: 09/04/2020]

- [20] UNIVERSITY OF CALGARY (2018), *ENERGY EDUCATION*, [online], διαθέσιμο στο: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Primary\\_pollutant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Primary_pollutant) [Επισκέφθηκε: 13/04/2020]
- [21] Ευάγγελος Φουντουκίδης, *Χημική Τεχνολογία Αντιδράσεις Καύσεις*, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα [online], διαθέσιμο στο: <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/units/?course=MECH102&id=573> [Επισκέφθηκε: 13/04/2020]
- [22] Willard W. Pulkrabek (2016), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 2*, Εκδόσεις Τζιόλας, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.465
- [23] Willard W. Pulkrabek (2016), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 2*, Εκδόσεις Τζιόλας, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.465-468
- [24] Willard W. Pulkrabek (2016), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 2*, Εκδόσεις Τζιόλας, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.455-464
- [25] GLOBAL CLIMATE CHANGE (2020), *Carbon Dioxide*, NASA [online], διαθέσιμο στο: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> [Επισκέφθηκε: 18/04/2020]
- [26] National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information (2020), *Sulfur dioxide*, NIH [online], διαθέσιμο στο: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfur-dioxide> [Επισκέφθηκε: 20/04/2020]
- [27] Willard W. Pulkrabek (2016), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 2*, Εκδόσεις Τζιόλας, Αθήνα, Ελλάδα, σελ.222-228
- [28] Vinesh Raja (2007), *Introduction to Reverse Engineering*, ResearchGate [online], διαθέσιμο στο: <https://www.researchgate.net/publication/226320946IntroductiontoReverseEngineering> [Επισκέφθηκε: 25/04/2020]
- [29] Vinesh Raja (2007), *Introduction to Reverse Engineering*, ResearchGate [online], διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/226320946\\_Introduction\\_to\\_Reverse\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/226320946_Introduction_to_Reverse_Engineering) [Επισκέφθηκε: 25/04/2020]
- [30] Sculpteo, *What is 3D Scanning?*, Sculpteo [online], διαθέσιμο στο: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-scanning/> [Επισκέφθηκε: 30/04/2020]
- [31] Παύλος Συμεωνίδης (2007), *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Σέρρες, Ελλάδα, σελ.11-13
- [32] Artec3D (2020), *How to choose a 3D scanner*, Artec3D [online], διαθέσιμο στο: <https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner> [Επισκέφθηκε: 04/05/2020]
- [33] Vinesh Raja (2007), *Introduction to Reverse Engineering*, ResearchGate [online], διαθέσιμο

στο: [https://www.researchgate.net/publication/226320946\\_Introduction\\_to\\_Reverse\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/226320946_Introduction_to_Reverse_Engineering)  
[Επισκέφθηκε: 25/04/2020]

[34] Vinesh Raja (2007), *Introduction to Reverse Engineering*, ResearchGate [online], διαθέσιμο

στο: [https://www.researchgate.net/publication/226320946\\_Introduction\\_to\\_Reverse\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/226320946_Introduction_to_Reverse_Engineering)  
[Επισκέφθηκε: 25/04/2020]

[35] Παύλος Συμεωνίδης (2007), *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Σέρρες, Ελλάδα, σελ. 5

[36] Pierre-Antoine Arrighi (2020), *3D scanning technologies and the 3D scanning process*, Aniwaa [online], διαθέσιμο στο: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> [Επισκέφθηκε: 02/05/2020]

[37] Ali Peiravi (2010), *A Reliable 3D Laser Triangulation-based Scanner with a New Simple but Accurate Procedure for Finding Scanner Parameters*, ResearchGate [online], διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/228998226\\_A\\_Reliable\\_3D\\_Laser\\_Triangulation-based\\_Scanner\\_with\\_a\\_New\\_Simple\\_but\\_Accurate\\_Procedure\\_for\\_Finding\\_Scanner\\_Parameters](https://www.researchgate.net/publication/228998226_A_Reliable_3D_Laser_Triangulation-based_Scanner_with_a_New_Simple_but_Accurate_Procedure_for_Finding_Scanner_Parameters)  
[Επισκέφθηκε: 10/05/2020]

[38] Azzura Lalani (2020), *2020 Artec Eva 3D Scanner Review: A Golden Oldie*, All3DP.pro [online], διαθέσιμο στο: <https://all3dp.com/1/artec-eva-3d-scanner-price/> [Επισκέφθηκε: 16/05/2020]

[39] Pierre-Antoine Arrighi (2016), *[Review] The Artec Eva, a powerful handheld 3D scanner*, Aniwaa [online], διαθέσιμο στο: <https://www.aniwaa.com/blog/review-the-artec-eva-a-powerful-handheld-3d-scanner/> [Επισκέφθηκε: 18/05/2020]

[40] ARTEC STUDIO 13 (2018), *USER GUIDE Artec 3D*, [online], διαθέσιμο στο: <http://www.adinstruments.es/WebRoot/StoreLES/Shops/62688782/5CD5/AA7C/F131/D75A/D74/0A0C/6D09/135C/Manual-13-EN.pdf> [Επισκέφθηκε: 15/06/2020]

[41] 3D SYSTEMS (2020), *Geomagic for SOLIDWORKS*, 3D SYSTEMS [online], διαθέσιμο στο: <https://www.3dsystems.com/software/geomagic-solidworks> [Επισκέφθηκε: 24/06/2020]

[42] SOLIDWORKS (2015), *INTRODUCING SOLIDWORKS*, SOLIDWORKS [online], διαθέσιμο στο: [https://www.solidworld.si/file/open/93\\_c0264b54f8b51](https://www.solidworld.si/file/open/93_c0264b54f8b51) [Επισκέφθηκε: 28/06/2020]

[43] ΒΙΠΑΙΔΕΙΑ (2020), *Τρισδιάστατη εκτύπωση*, ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ [online], διαθέσιμο στο: [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B7\\_%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B7_%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7) [Επισκέφθηκε: 7/07/2020]

[44] 3D HUBS (2020), *The Complete Engineering Guide 3D Printing*, 3D HUBS [online], διαθέσιμο στο: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/> [Επισκέφθηκε: 13/07/2020]

[45] Florian Gehrke (2020), *2020 Creality CR-10 S5 Review: Hands On*, ALL3DP [online], διαθέσιμο στο: <https://all3dp.com/1/creality-cr-10-s5-review-3d-printer-specs/> [Επισκέφθηκε: 17/07/2020]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κίνησης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα
- Willard W. Pulkrabek (2016), *Μηχανές Εσωτερικής Κίνησης 2*, Εκδόσεις Τζιόλας, Αθήνα, Ελλάδα
- Παύλος Συμεωνίδης (2007), *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Σέρρες, Ελλάδα

## ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1:** <https://www.baanvelgen.com/en/akrapovic-linkpipe-evolution-bmw-m2-competition>

**Εικόνα 2:** <http://images.esellerpro.com/2489/I/519/6/1723A2.jpg>

**Εικόνα 3:** <https://www.amazon.com/Hooker-8501HKR-Finish-Exhaust-Manifold/dp/B007KXKLMC>

**Εικόνα 4:** <https://www.micksgarage.com/blog/exhaust-system-guide-common-problems>

**Εικόνα 5:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κίνησης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 6:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 7:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 8:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 9:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 10:** Δρ. Χασιώτης Γ. Περικλής (2014), *Μηχανές Εσωτερικής Κάυσης 1*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, Ελλάδα.

**Εικόνα 11:** <https://www.shutterstock.com/image-illustration/exhaust-system-infographic-diagram-showing-all-713142712>

**Εικόνα 12:** [https://www.researchgate.net/figure/Flow-chart-Reverse-Engineering\\_fig1\\_315702398](https://www.researchgate.net/figure/Flow-chart-Reverse-Engineering_fig1_315702398)

**Εικόνα 13:** [https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine)

**Εικόνα 14:** <https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner>

**Εικόνα 15:** <https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner>

**Εικόνα 16:** <https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner>

**Εικόνα 17:** <https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner>

**Εικόνα 18:** <https://www.3dsystems.com/3d-scanner/scanner-guide>

**Εικόνα 19:** [https://www.researchgate.net/figure/3D-reconstruction-from-multiple-images-wherein-point-coordinates-are-calculated-by-the\\_fig1\\_327234684](https://www.researchgate.net/figure/3D-reconstruction-from-multiple-images-wherein-point-coordinates-are-calculated-by-the_fig1_327234684)

**Εικόνα 20:** <https://www.3dsystems.com/3d-scanner/scanner-guide>

**Εικόνα 21:** [https://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_of\\_flight](https://en.wikipedia.org/wiki/Time_of_flight)

**Εικόνα 22:** <https://www.oreilly.com/library/view/learn-arcore-/9781788830409/81e94d67-9520-4b02-a334-7bc43dcf9ea4.xhtml>

**Εικόνα 23:** [https://www.researchgate.net/figure/Triangulation-scanning-method\\_fig4\\_278157315](https://www.researchgate.net/figure/Triangulation-scanning-method_fig4_278157315)

**Εικόνα 24:** <https://echosurveying.com/3d-laser-scanner/artec-eva-handheld-3d-scanner>

**Εικόνα 25:** <http://docs.artec-group.com/as/11/en/qsg.html>

**Εικόνα 26:** <https://www.aniwaa.com/blog/review-the-artec-eva-a-powerful-handheld-3d-scanner/>

**Εικόνα 27:** <https://www.aniwaa.com/blog/review-the-artec-eva-a-powerful-handheld-3d-scanner/>

**Εικόνα 66:** <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>

**Εικόνα 67:** <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>

**Εικόνα 68:** <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>

**Εικόνα 69:** <https://all3dp.com/1/creality-cr-10-s5-review-3d-printer-specs/>