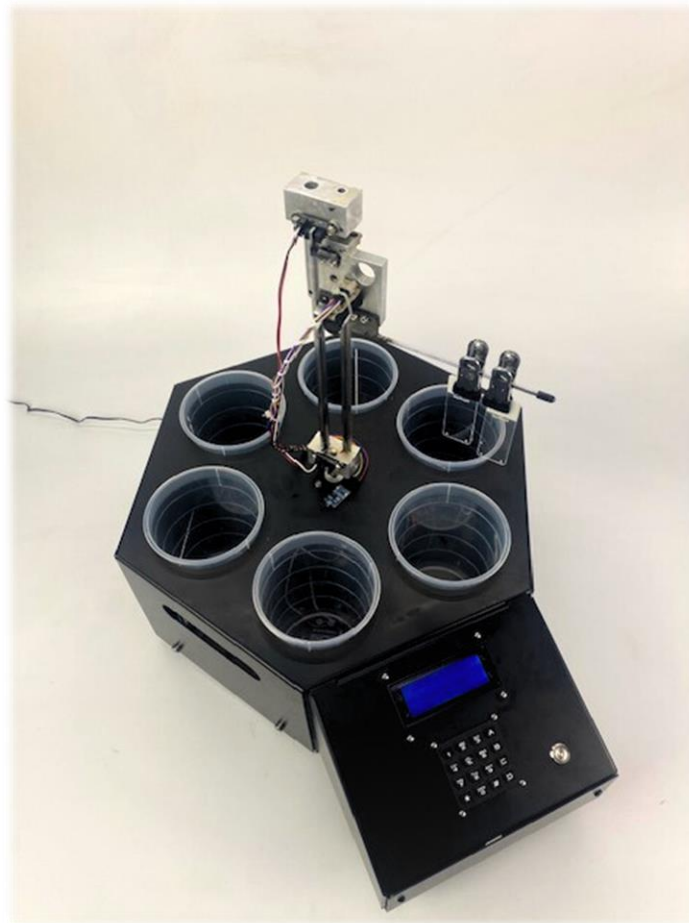




ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΕΛΛΑΔΟΣ

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

## ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΧΡΩΣΗΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΒΙΟΨΙΑΣ



**Πτυχιακή Εργασία του**

Κτίστη Ευάγγελου (515064)

Επιβλέπων: Γιακουμής Άγγελος, Επίκουρος Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2025



**Υπεύθυνη Δήλωση** : Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων, του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδας.

«Αφιερώνεται στην οικογένειά μου,  
στον φίλο μου τον Παύλο και σε όσους με βοήθησαν να αποκτήσω γνώσεις  
οι οποίες θα με συντροφεύουν για τη υπόλοιπη ζωή μου.»

## Πρόλογος

Η χρώση ιστών είναι μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες στη διάγνωση παθήσεων, αποκαλύπτοντας τη μικροσκοπική δομή των κυττάρων και τις παθολογικές αλλαγές τους [1]. Στο χειρουργείο, η ταχεία βιοψία αποκτά καθοριστικό ρόλο, παρέχοντας κρίσιμες διαγνωστικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, ώστε να καθοδηγηθεί ο χειρουργός στις αποφάσεις του [2]. Αυτή η διαδικασία, αν και σωτήρια, απαιτεί εξαιρετική ακρίβεια και ταχύτητα, καθώς κάθε λεπτό μετράει για τη ζωή του ασθενούς. Η ανάπτυξη τεχνολογιών αυτοματοποιημένης χρώσης ιστών στοχεύει στη βελτίωση της ακρίβειας και στην εξάλειψη των καθυστερήσεων που μπορεί να προκύψουν από την ανθρώπινη παρέμβαση [3]. Συστήματα που ενσωματώνουν αισθητήρες, κινητήρες και ευφυή λογισμικά επιτρέπουν τη γρήγορη επεξεργασία δειγμάτων, εξασφαλίζοντας άμεσες και αξιόπιστες διαγνώσεις. Έτσι, η επιστήμη και η τεχνολογία συνεργάζονται για να σώσουν ζωές, κάνοντας την ταχεία βιοψία έναν ακρογωνιαίο λίθο στη μοντέρνα χειρουργική πρακτική.



## Περίληψη

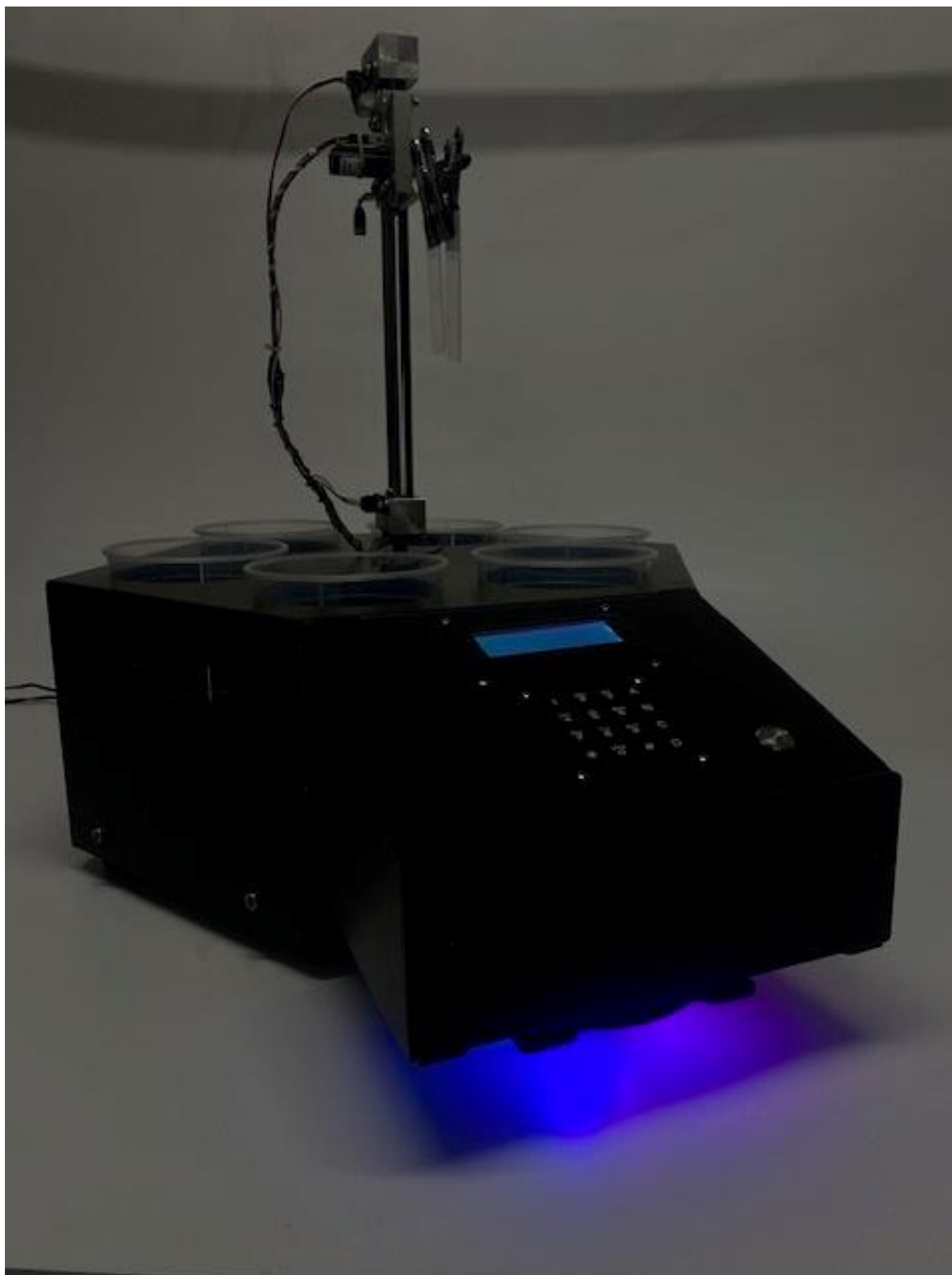
Η παρούσα εργασία αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αυτοματοποιημένου μηχανήματος ταχείας χρώσης βιοψίας. Το μηχάνημα βασίζεται σε έναν κεντρικό άξονα που κινείται κατακόρυφα και περιστρέφεται κυκλικά, επιτρέποντας τη μεταφορά δειγμάτων μέσα από έξι διαδοχικά δοχεία χρώσης. Η λειτουργία του ελέγχεται από μικροελεγκτή Arduino Mega, σε συνδυασμό με κινητήρες (DC Motor και Stepper Motor), αισθητήρες (Hall Sensor και Optical Sensors) και ένα σύστημα οπτικού ελέγχου.

Ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικών CAD, ενώ η κατασκευή περιλάμβανε ειδικές τεχνικές προσαρμογής για την επίτευξη ακρίβειας και αντοχής. Η μέθοδος χρώσης που υλοποιείται είναι αποδοτική και κατάλληλη για εφαρμογές όπως η ταχεία βιοψία σε χειρουργικά και κλινικά περιβάλλοντα. Η εργασία καταδεικνύει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός προσιτού και αξιόπιστου συστήματος, ενώ αναδεικνύονται προοπτικές για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	5
Περίληψη .....	7
Εισαγωγή .....	12
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή στη Χρώση και την Ταχεία Βιοψία .....	13
1.1 Εισαγωγή στην Χρώση ιστών .....	13
1.2 Ιστορική Αναδρομή της Χρώσης.....	13
1.2.1 Από τις πρώτες μεθόδους στις σύγχρονες τεχνικές .....	14
1.2.2 Η σημασία της Χρώσης στην Ιατρική Διάγνωση .....	16
1.3 Η Ταχεία Βιοψία .....	18
1.3.1 Ο ρόλος της στο χειρουργείο .....	20
1.3.2 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί.....	21
1.4 Στόχοι και Σημασία της Παρούσας Εργασίας .....	22
2. Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Υλικά και Μεθόδοι.....	24
2.1 Εισαγωγή .....	24
2.2 Περιγραφή του Μηχανήματος .....	24
2.2.1 Σκοπός και Λειτουργία .....	26
2.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	28
2.3 Ανάλυση Υλικών .....	29
2.3.1 DC Motor με Gearbox και Encoder - Faulhaber 1524A012S R.....	29
2.3.2 Stepper Motor NEMA 17.....	30
2.3.3 Arduino MEGA 2560 .....	33
2.3.4 Οπτικοί End Stop Sensors και Hall Sensor.....	34
2.3.5 Οθόνη και Πληκτρολόγιο .....	36
2.4 Ανάλυση Μεθόδων .....	38
3. Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Σχεδιασμός και Κατασκευή του Μηχανήματος .....	40

3.1 Περιγραφή Σχεδιασμού και Κατασκευής .....	40
3.1.1 Σχεδίαση και Κατασκευή του Κεντρικού Άξονα .....	42
3.2 Προγραμματισμός.....	46
3.2.1 Λογισμικό και Arduino IDE .....	46
3.3 Φωτογραφίες από την διαδικασία.....	53
3.4 Μπλοκ Διάγραμμα .....	54
4. Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα, Βελτιώσεις και Κόστος .....	54
4.1 Συμπεράσματα .....	54
4.2 Βελτιώσεις .....	55
4.3 Κόστος .....	56
Βιβλιογραφία .....	58
Παράρτημα Α.....	60
Κώδικας Arduino MEGA .....	60



.....71



## Εισαγωγή

Η ταχεία χρώση βιοψιών αποτελεί κρίσιμη διαδικασία στην ιατρική, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων, όπου η άμεση διάγνωση είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων. Η ανάγκη για αυτοματοποίηση και ακρίβεια στη διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του χρόνου και των σφαλμάτων, ενώ παράλληλα βελτιώνει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Η παρούσα εργασία συνεισφέρει με τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αυτοματοποιημένου μηχανήματος ταχείας χρώσης βιοψίας, το οποίο ενσωματώνει σύγχρονες τεχνολογίες κινητήρων, αισθητήρων και μικροελεγκτών.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή στη Χρώση και την Ταχεία Βιοψία

### 1.1 Εισαγωγή στην Χρώση ιστών

Η χρώση ιστών αποτελεί θεμελιώδη τεχνική στην ιστολογία και την παθολογική ανατομία, επιτρέποντας την ανάδειξη και ανάλυση των μικροσκοπικών δομών του ανθρώπινου σώματος [1]. Η διαδικασία της χρώσης επιτρέπει τη διάκριση διαφορετικών κυτταρικών και εξωκυττάρων στοιχείων μέσω της εφαρμογής ειδικών χρωστικών, προσφέροντας ανεκτίμητη βοήθεια στη διάγνωση παθολογικών καταστάσεων, όπως οι νεοπλασίες και οι φλεγμονές [5].

Η διαδικασία της χρώσης περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως η σταθεροποίηση του ιστού, η ενσωμάτωσή του σε κατάλληλο μέσο, η τομή σε λεπτά τμήματα και η εφαρμογή των χρωστικών [6]. Αυτή η αλληλουχία είναι κρίσιμη για την επίτευξη αξιόπιστων και αναπαραγώγιμων αποτελεσμάτων [7].

Στην κλινική πράξη, οι τεχνικές χρώσης έχουν καθοριστική σημασία, ειδικά σε χειρουργικές επεμβάσεις όπου απαιτούνται γρήγορες διαγνώσεις. Η ταχεία βιοψία, για παράδειγμα, βασίζεται σε τεχνικές χρώσης για τη λήψη άμεσων αποφάσεων κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης [1]. Επιπλέον, στην έρευνα, η χρώση συμβάλλει στην κατανόηση της φυσιολογίας και της παθοφυσιολογίας των ιστών, ενισχύοντας την ανάπτυξη νέων θεραπευτικών στρατηγικών [6].

Η πρόοδος στις τεχνικές χρώσης, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης νέων χρωστικών και της αυτοματοποίησης, έχει αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα στη διάγνωση [7]. Οι σύγχρονες τεχνολογίες επιτρέπουν την ταχεία και ακριβή χρώση δειγμάτων, καθιστώντας τη διαδικασία αναπόσπαστο εργαλείο στη σύγχρονη ιατρική και βιολογία [5].

### 1.2 Ιστορική Αναδρομή της Χρώσης

Η χρώση ιστών αποτελεί μία από τις πιο παλιές τεχνικές της ιστολογίας, που ξεκίνησε να αναπτύσσεται τον 19ο αιώνα με στόχο τη βελτίωση της παρατήρησης κυτταρικών δομών υπό το μικροσκόπιο [1]. Ένας από τους πρώτους σημαντικούς σταθμούς ήταν η εισαγωγή της χρώσης με αιματοξυλίνη και ηωσίνη (H&E), η οποία παραμένει η πιο διαδεδομένη τεχνική χρώσης μέχρι σήμερα [5]. Η αιματοξυλίνη, μια φυσική χρωστική

που εξάγεται από το ξύλο του δέντρου *Haematoxylum campechianum*, χρωματίζει τους πυρήνες των κυττάρων μπλε, ενώ η ηωσίνη χρωματίζει το κυτταρόπλασμα και άλλες εξωκυττάρια δομές ροζ [10].

Η πρόοδος συνεχίστηκε με την ανάπτυξη της αργυροχρώσης από τον Camillo Golgi στα τέλη του 19ου αιώνα, η οποία χρησιμοποιήθηκε εκτενώς από τον Santiago Ramón y Cajal για την απεικόνιση νευρώνων [11]. Οι παρατηρήσεις του Cajal με τη χρήση της αργυροχρώσης ήταν καθοριστικές για τη διατύπωση της Νευρωνικής Θεωρίας, η οποία ανέδειξε ότι το νευρικό σύστημα αποτελείται από ξεχωριστούς, ανεξάρτητους νευρώνες [11].

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν πολλές εξειδικευμένες τεχνικές χρώσης, όπως:

- Η χρώση **PAS (Periodic Acid-Schiff)** για την ανίχνευση πολυσακχαριτών [5].
- Η χρώση **Masson's trichrome** για τη διάκριση του συνδετικού ιστού [5].
- Η χρώση **Giemsa**, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην αιματολογία [10].

Η πρόοδος στις μεθόδους χρώσης, τόσο στον τομέα των αντιδραστηρίων όσο και στις τεχνικές, επέτρεψε την καλύτερη μελέτη και διάγνωση παθολογικών καταστάσεων. Από τις πρώτες τεχνικές μέχρι τις σύγχρονες μεθόδους, η χρώση έχει καθιερωθεί ως θεμέλιο της ιστολογίας και της παθολογικής διάγνωσης [1], [5].

### 1.2.1 Από τις πρώτες μεθόδους στις σύγχρονες τεχνικές

Η εξέλιξη της χρώσης ιστών, από τις πρώτες απλές τεχνικές μέχρι τις σύγχρονες εξειδικευμένες μεθόδους, αποτελεί μια μακρά και συναρπαστική ιστορία που αντικατοπτρίζει την πρόοδο της επιστήμης της ιστολογίας. Στις αρχές του 19ου αιώνα, οι πρώτες μέθοδοι χρώσης περιλάμβαναν τη χρήση φυσικών χρωστικών, όπως η καρμίνη και το ινδικό μελάνι, οι οποίες προσέφεραν βασική οπτικοποίηση κυτταρικών δομών [12]. Αυτές οι πρώιμες τεχνικές ήταν πρωτοποριακές για την εποχή τους, αλλά περιορίζονταν σε απλές παρατηρήσεις.

Στα τέλη του 19ου αιώνα, η χρώση με αιματοξυλίνη και ηωσίνη (H&E) έφερε μια επανάσταση στον τομέα. Η H&E, η οποία παραμένει μέχρι σήμερα η πιο διαδεδομένη τεχνική, επιτρέπει τη σαφή διάκριση μεταξύ πυρήνων (μπλε) και κυτταροπλάσματος (ροζ), παρέχοντας λεπτομερή εικόνα της μικροσκοπικής αρχιτεκτονικής των ιστών [5]. Παράλληλα, η εισαγωγή της αργυροχρώσης από τον Camillo Golgi το 1873 επέτρεψε

τη λεπτομερή απεικόνιση νευρωνικών δομών, συμβάλλοντας καθοριστικά στη μελέτη του νευρικού συστήματος [14].

Στη δεκαετία του 20ού αιώνα, η ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνικών χρώσης, όπως η χρώση PAS (Periodic Acid-Schiff) για τον εντοπισμό πολυσακχαριτών και η χρώση Masson's trichrome για τη διάκριση του συνδετικού ιστού, προσέφεραν στους επιστήμονες νέα εργαλεία για τη διάγνωση παθολογικών καταστάσεων [15].

Η εισαγωγή της ανοσοϊστοχημείας στη δεκαετία του 1980 σηματοδότησε ένα ακόμη ορόσημο, επιτρέποντας τη χρήση αντισωμάτων για τον εντοπισμό συγκεκριμένων πρωτεϊνών σε ιστούς [16]. Αυτή η τεχνική, συνδυασμένη με τη φθορίζουσα χρώση, προσέφερε νέα επίπεδα ακρίβειας και εξειδίκευσης στη διάγνωση. Οι φθορίζουσες χρωστικές επέτρεψαν την ανίχνευση συγκεκριμένων μορίων με εξαιρετική ευαισθησία, ενισχύοντας τη μελέτη κυτταρικών μηχανισμών [17].

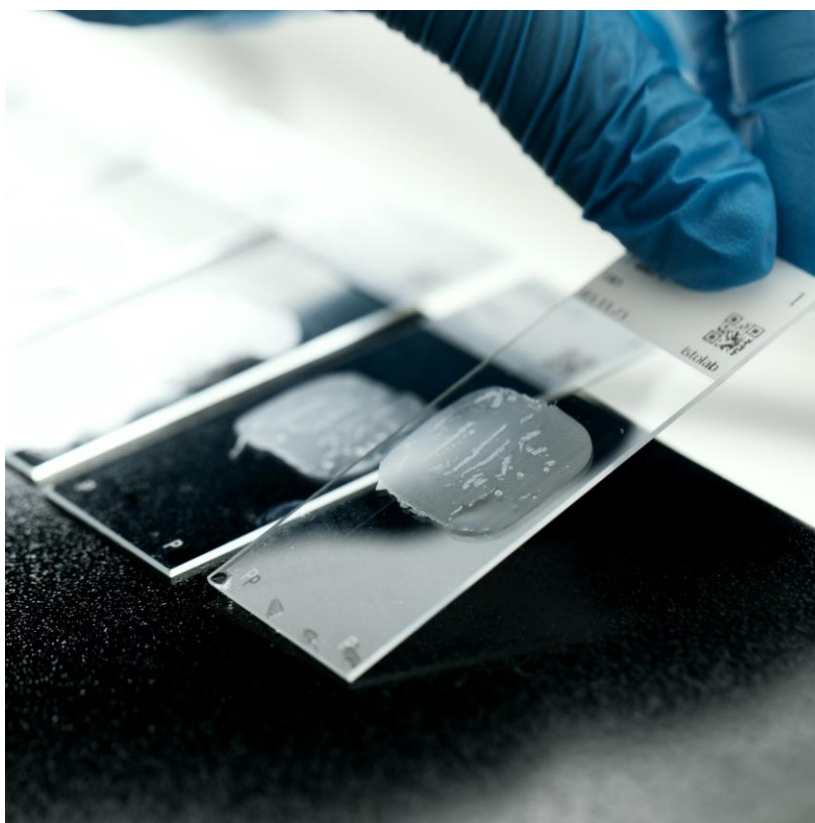
Σήμερα, η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων χρώσης έχει μεταμορφώσει τη διαδικασία, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτείται για τη χρώση δειγμάτων και εξασφαλίζοντας σταθερά αποτελέσματα. Παρόλο που οι παραδοσιακές μέθοδοι συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις, τα σύγχρονα συστήματα προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια και αποδοτικότητα, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η ταχεία βιοψία [18].



Εικόνα 1 - Μικροτόμος για να εξαγωγή λωρίδας που θα προσαρμοστεί σε πλακίδιο [4]

### 1.2.2 Η σημασία της Χρώσης στην Ιατρική Διάγνωση

Η χρώση ιστών αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο στη διαδικασία της ιατρικής διάγνωσης, καθώς επιτρέπει την αποκάλυψη και την οπτικοποίηση μικροσκοπικών δομών που διαφορετικά θα ήταν αόρατες. Οι χρωστικές παρέχουν τη δυνατότητα διάκρισης μεταξύ φυσιολογικών και παθολογικών στοιχείων, επιτρέποντας έτσι την ταυτοποίηση συγκεκριμένων ασθενειών και καταστάσεων [5]. Μέσω των διαφόρων τεχνικών χρώσης, οι επιστήμονες και οι ιατροί μπορούν να ανιχνεύσουν και να μελετήσουν φλεγμονές, κακοήθειες, λοιμώξεις, ακόμα και κυτταρικές μεταλλάξεις σε πρώιμο στάδιο [20].



*Εικόνα 2 - Ιστός σε πλακίδιο μικροσκοπίου [8]*

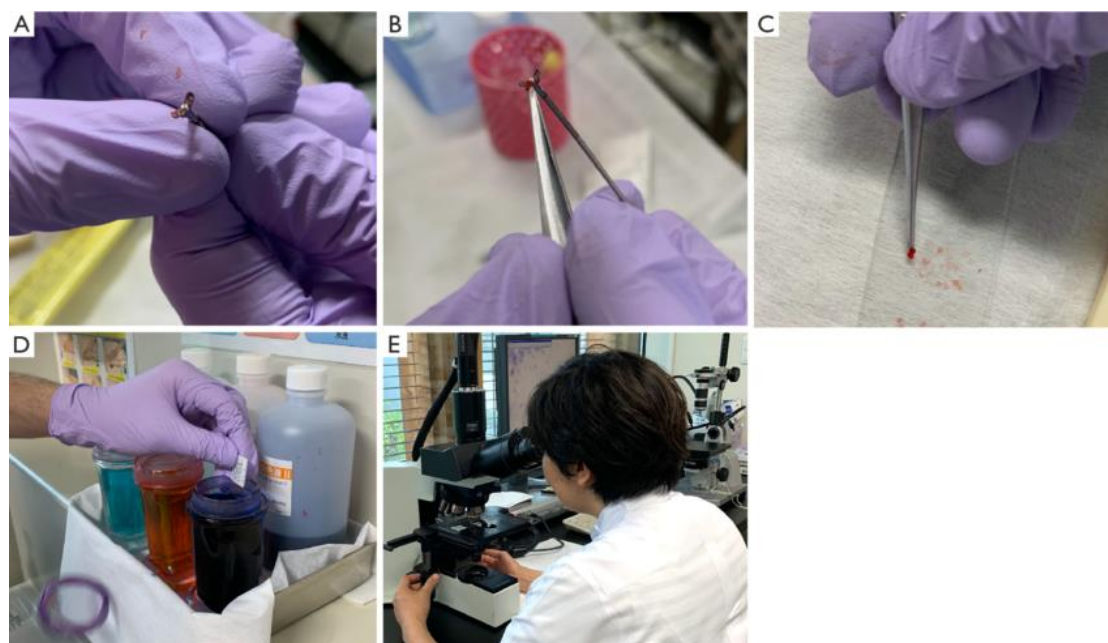
Στην παθολογία, η χρώση με αιματοξυλίνη και ηωσίνη (H&E) είναι η βασική τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξέταση ιστολογικών δειγμάτων. Η τεχνική αυτή προσφέρει βασικές πληροφορίες για τη δομή των ιστών, επιτρέποντας την ταχεία διάγνωση σε περιπτώσεις καρκίνου και άλλων σοβαρών παθήσεων [21]. Παράλληλα,

οι ειδικές τεχνικές, όπως η ανοσοϊστοχημεία, διευκολύνουν την αναγνώριση συγκεκριμένων πρωτεϊνών και μοριακών δεικτών που είναι κρίσιμες για τη διάγνωση και τη θεραπεία [22].

Επιπλέον, οι τεχνικές χρώσης διαδραματίζουν καίριο ρόλο στη μικροβιολογία, όπου χρησιμοποιούνται για τη διάκριση και την ταυτοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών. Η χρώση κατά Gram, για παράδειγμα, παρέχει πληροφορίες για τη δομή του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων, βοηθώντας στη διαφορική διάγνωση λοιμώξεων [23].

Η σημασία της χρώσης επεκτείνεται και στη χειρουργική πράξη, όπου οι τεχνικές ταχείας χρώσης επιτρέπουν στους χειρουργούς να λάβουν άμεσες αποφάσεις κατά τη διάρκεια επεμβάσεων. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιβεβαίωση ή τον αποκλεισμό καρκινικών ορίων και για την καθοδήγηση της πορείας της επέμβασης [24].

Η συνεχής πρόοδος στις τεχνικές χρώσης, η εισαγωγή αυτοματοποιημένων συστημάτων και η ανάπτυξη νέων χρωστικών έχουν βελτιώσει την ακρίβεια, την ταχύτητα και την αξιοπιστία της διάγνωσης, καθιστώντας τη χρώση αναπόσπαστο εργαλείο στη σύγχρονη ιατρική πρακτική [25].



Εικόνα 3 - Δείγμα σε πλακίδιο, χρώση και βιοψία [13]

### 1.3 Η Ταχεία Βιοψία

Η ταχεία βιοψία αποτελεί μια επαναστατική διαγνωστική τεχνική που παρέχει άμεσες πληροφορίες κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων. Η μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση δείγματος ιστού που λαμβάνεται από τον ασθενή και υφίσταται επεξεργασία σε μικρό χρονικό διάστημα, επιτρέποντας τη γρήγορη διάγνωση [26]. Η χρήση της ταχείας βιοψίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανίχνευση και την αξιολόγηση καρκινικών όγκων, καθώς και για τη διαπίστωση των ορίων εκτομής κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης [27].



Εικόνα 4 - Διαδικασία εφαρμογής ιστού σε πλακίδιο για Ταχεία Βιοψία [9]

#### Διαδικασία Ταχείας Βιοψίας

Η διαδικασία ξεκινά με τη λήψη δείγματος ιστού από τον χειρουργό. Το δείγμα ακολουθεί μια ειδική επεξεργασία που περιλαμβάνει τη σταθεροποίηση, την κατάψυξη ή την εφαρμογή ταχείας χρώσης. Η παραδοσιακή μέθοδος της ταχείας βιοψίας απαιτούσε αρκετές δεξιότητες από το προσωπικό, καθώς η χρώση και η προετοιμασία γίνονταν χειροκίνητα, χρησιμοποιώντας πολλαπλά δοχεία χρωστικών [5].

Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων, όπως αυτά που χρησιμοποιούν περιορισμένο αριθμό δοχείων (π.χ., 6 δοχεία), έχει απλοποιήσει τη διαδικασία. Τα συστήματα αυτά επιταχύνουν τον χρόνο επεξεργασίας, διατηρώντας παράλληλα την υψηλή ακρίβεια των αποτελεσμάτων [29].

### **Εφαρμογές της Ταχείας Βιοψίας**

Η ταχεία βιοψία χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις όπως:

- **Καθορισμός καρκινικών ορίων:** Η μέθοδος βοηθά τους χειρουργούς να προσδιορίσουν αν έχουν αφαιρέσει πλήρως τον όγκο.
- **Διάγνωση όγκων σε πραγματικό χρόνο:** Επιτρέπει την ταυτοποίηση του τύπου του όγκου, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για την πορεία της θεραπείας.
- **Αξιολόγηση μεταστάσεων:** Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση πιθανών δευτερογενών όγκων σε κοντινούς ιστούς [30].

### **Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί (βλ. 1.3.2)**

Η ταχεία βιοψία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- Μείωση του χρόνου διάγνωσης.
- Βελτίωση της ακρίβειας της χειρουργικής επέμβασης.
- Αύξηση της πιθανότητας επιτυχίας της θεραπείας.

Ωστόσο, η μέθοδος έχει και περιορισμούς. Για παράδειγμα, η αξιοπιστία της διάγνωσης εξαρτάται από την εμπειρία του προσωπικού και την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων συστημάτων. Επιπλέον, η διαδικασία απαιτεί εξειδικευμένα μηχανήματα και υλικά, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το κόστος [31].

### **Η Σημασία της Αυτοματοποίησης**

Η αυτοματοποίηση της ταχείας βιοψίας με τη χρήση σύγχρονων συστημάτων, όπως αυτό που περιγράφεται στο παρόν έργο, μειώνει τα λάθη και επιταχύνει την ανάλυση δειγμάτων. Η δυνατότητα χρήσης μόνο 6 δοχείων για την ολοκλήρωση της χρώσης καθιστά τη διαδικασία πιο απλή και αποδοτική, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ποιότητα διαγνωστικών αποτελεσμάτων [32].

### 1.3.1 Ο ρόλος της στο χειρουργείο

Η ταχεία βιοψία αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για τους χειρουργούς κατά τη διάρκεια επεμβάσεων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για καρκινικούς όγκους. Μέσω αυτής της τεχνικής, παρέχεται άμεση και αξιόπιστη πληροφόρηση σχετικά με τη φύση του δείγματος που λαμβάνεται, επιτρέποντας έτσι τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι η εκτομή του όγκου είναι επαρκής και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα υπολειπόμενης νόσου [33]. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ο ιστός που αφαιρείται από τον ασθενή υποβάλλεται σε ταχεία προετοιμασία, η οποία περιλαμβάνει τη στερεοποίηση, την τομή και τη χρώση. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προσδιορισμό των ορίων εκτομής, δηλαδή εάν το σύνορο του αφαιρεθέντος ιστού είναι «καθαρό» από καρκινικά κύτταρα. Στην περίπτωση που εντοπίζονται υπόλοιπα καρκινικών κυττάρων, ο χειρουργός μπορεί να επεκτείνει την εκτομή για να διασφαλίσει την πλήρη αφαίρεση του όγκου [34].

Ο ρόλος της ταχείας βιοψίας επεκτείνεται και σε άλλες κλινικές εφαρμογές, όπως η διάγνωση ασαφών μαζών ή η αξιολόγηση φλεγμονωδών διεργασιών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ταχεία βιοψία επιτρέπει τη διαφοροδιάγνωση μεταξύ καλοήθων και κακοήθων παθήσεων, προσφέροντας έτσι περισσότερες πληροφορίες για τη χειρουργική στρατηγική. Ενδεικτικά, κατά την αξιολόγηση λεμφαδένων για μεταστάσεις, η ταχεία βιοψία μπορεί να κατευθύνει τη χειρουργική προσέγγιση, είτε για επέκταση είτε για περιορισμό της επέμβασης [35].

Παρά τα πολλαπλά της πλεονεκτήματα, η ταχεία βιοψία απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση του παθολογοανατόμου και υψηλής ποιότητας εξοπλισμό. Οι νέες αυτοματοποιημένες μέθοδοι, που ενσωματώνουν ταχύτερες τεχνικές χρώσης, έχουν μειώσει σημαντικά τους χρόνους αναμονής, καθιστώντας την όλη διαδικασία πιο αποτελεσματική και ακριβή [36].

Συνολικά, η ταχεία βιοψία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας της χειρουργικής πρακτικής, προσφέροντας ζωτικής σημασίας πληροφορίες που ενισχύουν την επιτυχία των επεμβάσεων και την ασφάλεια των ασθενών.

### 1.3.2 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί

Η ταχεία βιοψία αποτελεί μια διαγνωστική μέθοδο με κρίσιμο ρόλο στη χειρουργική πρακτική, προσφέροντας μοναδικά πλεονεκτήματα, αλλά και συγκεκριμένους περιορισμούς που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

#### Πλεονεκτήματα

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ταχείας βιοψίας είναι η δυνατότητα παροχής άμεσων διαγνωστικών πληροφοριών κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης. Η ταχεία διάγνωση επιτρέπει στον χειρουργό να λαμβάνει αποφάσεις για την έκταση της εκτομής ή για την αναγνώριση της φύσης μιας αλλοίωσης, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της επέμβασης και βελτιώνοντας την έκβαση της θεραπείας [5].

Επιπλέον, η ταχεία βιοψία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της ογκολογικής ασφάλειας. Για παράδειγμα, η τεχνική αυτή μπορεί να επιβεβαιώσει εάν τα όρια εκτομής είναι καθαρά από καρκινικά κύτταρα, συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας υποτροπής της νόσου. Παράλληλα, η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων χρώσης έχει αυξήσει την ακρίβεια και έχει μειώσει την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους, ενισχύοντας την αξιοπιστία της διαδικασίας [38]. Η μείωση του χρόνου διάγνωσης είναι επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς η ταχεία βιοψία επιτρέπει την ολοκλήρωση της χρώσης και της ανάλυσης δείγματος μέσα σε λίγα λεπτά, σε σύγκριση με τις πολλές ώρες που απαιτούνται για την τυπική ιστολογική ανάλυση. Αυτό όχι μόνο διευκολύνει τη διαδικασία, αλλά μειώνει και την ψυχολογική επιβάρυνση του ασθενούς [39].

#### Περιορισμοί

Παρόλα τα πλεονεκτήματά της, η ταχεία βιοψία έχει και σημαντικούς περιορισμούς. Ένας από τους κύριους περιορισμούς είναι η εξάρτηση από εξειδικευμένο προσωπικό. Η τεχνική απαιτεί την παρουσία έμπειρων παθολογοανατόμων, οι οποίοι μπορούν να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα με ακρίβεια και ταχύτητα. Η έλλειψη κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες διαγνώσεις, με ενδεχόμενες σοβαρές συνέπειες για τον ασθενή [40].

Ένα άλλο ζήτημα είναι η περιορισμένη ακρίβεια σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η ταχεία βιοψία δεν είναι πάντα η καλύτερη επιλογή για την ανίχνευση μικρών

αλλοιώσεων ή για την αξιολόγηση πολύπλοκων ιστικών δειγμάτων. Επιπλέον, η ποιότητα του δείγματος επηρεάζει σημαντικά την αξιοπιστία της διάγνωσης. Η λανθασμένη λήψη ή επεξεργασία δείγματος μπορεί να οδηγήσει σε ψευδώς θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα [41].

Τέλος, το κόστος των συστημάτων και των χημικών αντιδραστηρίων για την ταχεία βιοψία είναι υψηλό, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για μικρότερες κλινικές ή νοσοκομεία. Παρόλο που η αυτοματοποίηση έχει μειώσει τη συνολική πολυπλοκότητα της διαδικασίας, το αρχικό κόστος εγκατάστασης παραμένει υψηλό [42].

#### 1.4 Στόχοι και Σημασία της Παρούσας Εργασίας

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος χρώσης ταχείας βιοψίας, το οποίο στοχεύει στη βελτίωση ορισμένων πτυχών της υπάρχουσας διαδικασίας. Το έργο αποσκοπεί στην παροχή ενός πρακτικού και λειτουργικού εργαλείου που θα μπορούσε να είναι χρήσιμο στο χειρουργείο, αλλά και σε καθημερινές εφαρμογές.

##### Στόχοι

Οι κύριοι στόχοι της εργασίας περιλαμβάνουν:

1. **Απλοποίηση της διαδικασίας χρώσης:** Με τη χρήση ενός συστήματος έξιδοχείων για την ολοκλήρωση της χρώσης, επιδιώκεται η μείωση της πολυπλοκότητας της διαδικασίας.
2. **Αύξηση της αποδοτικότητας:** Μέσω της αυτοματοποίησης, στόχος είναι να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για τη χρώση ενός δείγματος, διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα.
3. **Ελαχιστοποίηση σφαλμάτων:** Η χρήση αισθητήρων και προγραμματιζόμενων κινητήρων αποσκοπεί στη μείωση του ανθρώπινου λάθους κατά τη διαδικασία.
4. **Παροχή μιας οικονομικά προσιτής λύσης:** Με την απλοποίηση της κατασκευής και τη μείωση του αριθμού των απαιτούμενων δοχείων, το σύστημα επιδιώκει να αποτελέσει μια οικονομική εναλλακτική για μικρότερα εργαστήρια.

## Σημασία της Εργασίας

Η σημασία της εργασίας έγκειται στη δυνατότητά της να προσφέρει μια πρακτική λύση σε συγκεκριμένα προβλήματα που παρατηρούνται στις διαδικασίες ταχείας χρώσης. Συγκεκριμένα:

- **Εξοικονόμηση χρόνου:** Η ταχεία ολοκλήρωση της χρώσης μπορεί να υποστηρίξει επείγουσες διαγνώσεις, ιδίως κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων.
- **Αύξηση της ακρίβειας:** Ο αυτοματισμός της διαδικασίας μειώνει την πιθανότητα ανθρώπινων λαθών, βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.
- **Προσαρμογή στις ανάγκες μικρότερων δομών:** Το σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να είναι απλό στη χρήση και να απαιτεί περιορισμένο χώρο, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για μικρά εργαστήρια ή κλινικές.

Συνοψίζοντας, η εργασία αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στην καλύτερη διαχείριση συγκεκριμένων προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι επαγγελματίες στον τομέα της ταχείας χρώσης. Πρόκειται για μια προσιτή, πρακτική και λειτουργική προσέγγιση που μπορεί να διευκολύνει την καθημερινή εργασία.

## **2. Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Υλικά και Μεθόδους**

### **2.1 Εισαγωγή**

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη και την κατασκευή του αυτοματοποιημένου συστήματος ταχείας χρώσης βιοψίας. Μέσα από μια συστηματική ανάλυση, παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων, οι μέθοδοι σχεδιασμού, καθώς και τα εργαλεία λογισμικού που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος. Στόχος είναι να παρέχεται μια σαφής εικόνα της διαδικασίας ανάπτυξης, από την επιλογή των υλικών έως την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Η επιλογή των υλικών βασίστηκε στην ανάγκη για αξιοπιστία, χαμηλό κόστος και ευκολία στη συντήρηση, ενώ οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν διασφαλίζουν την ακρίβεια και τη λειτουργικότητα του συστήματος. Το κεφάλαιο αυτό θέτει τις βάσεις για την κατανόηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν, προετοιμάζοντας τον αναγνώστη για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

### **2.2 Περιγραφή του Μηχανήματος**

Το μηχάνημα που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκε από εμένα και αποτελεί μια αυτοματοποιημένη συσκευή ταχείας χρώσης βιοψίας, σχεδιασμένη να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης χειρουργικής και παθολογικής πρακτικής. Ο σχεδιασμός του συνδυάζει την απλότητα στη χρήση με την αξιοπιστία, παρέχοντας μια αποδοτική λύση για την ταχεία προετοιμασία ιστολογικών δειγμάτων. Σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Inventor, AutoCAD και τα σχέδια δόθηκαν για κοπή με λέιζερ. Βάφτηκε και συναρμολογήθηκε ώστε να φτάσει στο τελικό αποτέλεσμα.

## Βασική Δομή

Το μηχάνημα περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη:

1. **Κεντρικός Άξονας:** Στο κέντρο του μηχανήματος υπάρχει ένας άξονας που κινείται κάθετα με τη βοήθεια ενός DC μοτέρ με ενσωματωμένο encoder. Η κάθετη κίνηση του άξονα, με χρήση οδοντοτού άξονα, γραναζιού στο DCμοτέρ και στήριξης επιτρέπει τη βύθιση του δείγματος στα δοχεία χρωστικών.
2. **Περιστροφικός Μηχανισμός:** Ο άξονας έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον εαυτό του με τη χρήση stepper motor στην αυτοσχέδια βάση που δημιουργήθηκε, ώστε να μεταφέρει το δείγμα από το ένα δοχείο στο άλλο.
3. **Δοχεία Χρωστικών:** Το μηχάνημα διαθέτει έξι δοχεία, τοποθετημένα κυκλικά γύρω από τον κεντρικό άξονα. Κάθε δοχείο περιέχει συγκεκριμένο αντιδραστήριο για τη διαδοχική επεξεργασία του δείγματος (π.χ., στερεοποίηση, αποχρωμάτιση, χρώση, έκπλυση).
4. **Αισθητήρες Θέσης:** Το σύστημα χρησιμοποιεί οπτικούς αισθητήρες (end stops) για τον ακριβή εντοπισμό της ανώτερης και κατώτερης θέσης του άξονα, καθώς και αισθητήρα Hall για την ανίχνευση της αρχικής θέσης του περιστροφικού μηχανισμού.
5. **Ηλεκτρονικός Έλεγχος:** Ο έλεγχος του συστήματος πραγματοποιείται μέσω ενός μικροελεγκτή Arduino Mega 2560. Οι οδηγοί DRV8825 και L298N χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του stepper motor και του DC μοτέρ αντίστοιχα.
6. **Χιερισμός:** Το μηχάνημα διαθέτει μια οθόνη LCD και πληκτρολόγιο 4x4.

## Λειτουργικότητα

Το μηχάνημα είναι προγραμματισμένο να εκτελεί μια προκαθορισμένη αλληλουχία βυθίσεων του δείγματος στα δοχεία. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε δοχείο και η σειρά των σταδίων ρυθμίζονται μέσω του λογισμικού, καθιστώντας τη συσκευή ευέλικτη για διαφορετικές διαγνωστικές εφαρμογές.

## Καινοτομίες

- **Εξοικονόμηση Χώρου και Υλικών:** Η χρήση μόνο έξι δοχείων μειώνει τον απαιτούμενο χώρο και την κατανάλωση χημικών, χωρίς να θυσιάζεται η ποιότητα της χρώσης.

- **Αυξημένη Ακρίβεια:** Οι αισθητήρες θέσης και το σύστημα ελέγχου εξασφαλίζουν την ακρίβεια στη μετακίνηση του δείγματος, μειώνοντας τον κίνδυνο ανθρώπινου λάθους.
- **Ευκολία Συντήρησης:** Ο σχεδιασμός του μηχανήματος επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στα βασικά μέρη για τον καθαρισμό και την αντικατάστασή τους.

Το μηχάνημα έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τη λειτουργικότητα, την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα, προσφέροντας μια αποδοτική λύση για την ταχεία χρώση δειγμάτων σε κλινικές και ερευνητικές εφαρμογές.

### 2.2.1 Σκοπός και Λειτουργία

Ο σκοπός του μηχανήματος είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας χρώσης ιστολογικών δειγμάτων, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο και την πιθανότητα ανθρώπινων σφαλμάτων, ενώ διασφαλίζει σταθερά και αξιόπιστα αποτελέσματα. Η λειτουργία του βασίζεται σε μια αλληλουχία κινήσεων που συνδυάζουν την κατακόρυφη κίνηση του κεντρικού άξονα και την περιστροφή του για τη μεταφορά των δειγμάτων μεταξύ των δοχείων.

### Διαδικασία Λειτουργίας

1. **Έναρξη Διαδικασίας:** Ο χρήστης ξεκινά τη διαδικασία μέσω της διασύνδεσης του μηχανήματος, που περιλαμβάνει μια οθόνη LCD και πληκτρολόγιο. Μέσα από το μενού, μπορεί να επιλέξει τη συγκεκριμένη διαδικασία χρώσης. Ανάλογα τις ανάγκες μπορεί να προγραμματιστεί και το ανάλογο πρωτόκολλο – διαδικασία χρώσης.
2. **Κατακόρυφη Κίνηση:**

Ο **κεντρικός άξονας**, που υποστηρίζει τη βάση με τα δείγματα, κινείται πάνω-κάτω μέσω ενός **DC Motor** εξοπλισμένου με **encoder** για ακριβή έλεγχο της θέσης.

Οι **οπτικοί αισθητήρες (optical sensors)** εντοπίζουν τις ανώτερες και κατώτερες θέσεις, εξασφαλίζοντας ότι ο άξονας βυθίζει τα δείγματα στο δοχείο χωρίς περιττές κινήσεις.

### 3. Βύθιση στα Δοχεία:

Όταν ο άξονας φτάσει στην κατώτερη θέση, τα δείγματα βυθίζονται πλήρως στο υγρό του αντίστοιχου δοχείου.

Μετά την ολοκλήρωση του χρόνου παραμονής, ο άξονας ανεβαίνει στην αρχική του θέση, ώστε να προετοιμαστεί για τη μεταφορά στο επόμενο δοχείο.

### 4. Περιστροφική Κίνηση:

Μετά την ανάδυση των δειγμάτων από το τρέχον δοχείο, ο άξονας περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του μέσω ενός **Stepper Motor**.

Ο **Hall Sensor** και ένας ενσωματωμένος μαγνήτης εξασφαλίζουν την ακριβή θέση του άξονα, καθώς κάθε φορά ευθυγραμμίζεται στην αρχική θέση.

5. **Συνέχιση Διαδικασίας:** Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε δοχείο, μέχρι να ολοκληρωθούν όλα τα στάδια της χρώσης. Το μηχάνημα προχωρά αυτόματα στην επόμενη κίνηση βάσει του προγραμματισμένου χρονοδιαγράμματος.

## Λειτουργικότητα και Ευκολία Χρήσης

- Ο χρήστης δεν απαιτείται να παρακολουθεί τη διαδικασία, καθώς το σύστημα είναι πλήρως αυτοματοποιημένο.
- Οι παράμετροι, όπως ο χρόνος παραμονής σε κάθε δοχείο και η σειρά των σταδίων, μπορούν να προσαρμοστούν μέσω του λογισμικού, παρέχοντας ευελιξία για διαφορετικές εφαρμογές.
- Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ο χρήστης ειδοποιείται μέσω της οθόνης LCD, ενώ το μηχάνημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

Η ολοκλήρωση της διαδικασίας με ακρίβεια και αξιοπιστία καθιστά το μηχάνημα ένα χρήσιμο εργαλείο για την ταχεία και αποτελεσματική χρώση ιστολογικών δειγμάτων, εξυπηρετώντας τις ανάγκες εργαστηρίων και κλινικών με απαιτήσεις για άμεσες διαγνωστικές λύσεις.

### 2.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Το μηχάνημα ταχείας χρώσης βιοψίας αποτελείται από βασικά μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη, τα οποία συνεργάζονται για την ομαλή λειτουργία της διαδικασίας. Στο κέντρο του συστήματος βρίσκεται ο κεντρικός άξονας, κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ατσάλι και αλουμίνιο υψηλής αντοχής για ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Ο άξονας κινείται κάθετα με τη βοήθεια ενός DC Motor, εξοπλισμένου με encoder για ακριβή έλεγχο της θέσης. Επιπλέον, ο άξονας περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του με τη χρήση stepper motor NEMA 17, στην αυτοσχέδια κατασκευασμένη βάση, ώστε να μεταφέρει τα δείγματα μεταξύ των δοχείων.

Τα έξι δοχεία χρωστικών είναι για λόγους επίδειξης πλαστικά και τοποθετημένα κυκλικά γύρω από τον άξονα. Κάθε δοχείο έχει μέγιστη χωρητικότητα 1100 ml και είναι σχεδιασμένο για εύκολη συντήρηση και καθαρισμό. Το πλαίσιο του μηχανήματος, από mild steel (μαλακό μέταλλο), προσφέρει σταθερότητα στη λειτουργία, ενώ οι διαστάσεις του συστήματος εξασφαλίζουν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εργαστήρια με περιορισμένο χώρο. Το συνολικό βάρος, που δεν ξεπερνά τα 15-20 kg, καθιστά το μηχάνημα φορητό.

Η κίνηση του άξονα καθοδηγείται από ένα σύστημα αισθητήρων και κινητήρων. Οι οπτικοί αισθητήρες προσδιορίζουν με ακρίβεια την ανώτερη και κατώτερη θέση του άξονα, αποτρέποντας τυχόν σφάλματα κατά τη βύθιση και την ανάδυση του δείγματος. Παράλληλα, ένας Hall Sensor σε συνεργασία με έναν μαγνήτη εξασφαλίζει ότι ο άξονας ευθυγραμμίζεται σωστά, συγχρονίζοντας σωστά κάθε φορά την αρχική θέση. Η λειτουργία του μηχανήματος ελέγχεται μέσω ενός Arduino Mega 2560, προγραμματισμένου για την εκτέλεση προκαθορισμένων αλληλουχιών. Οι παράμετροι, όπως ο χρόνος παραμονής του δείγματος σε κάθε δοχείο και η σειρά των σταδίων, μπορούν να προσαρμοστούν μέσω ενός λογισμικού που είναι προσβάσιμο από την οθόνη LCD 20x4 του συστήματος. Η οθόνη συνδέεται με το Arduino μέσω I2C, ενώ το πληκτρολόγιο 4x4 παρέχει ευκολία στη ρύθμιση των λειτουργιών.

Το μηχάνημα μπορεί να τροφοδοτηθεί από ένα τροφοδοτικό 12V/5A. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά ενεργειακά αποδοτικό, ενώ η χρήση εξειδικευμένων drivers, όπως οι DRV8825 για το stepper motor και οι L298N για το DC Motor, διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του.

Παράλληλα, ο σχεδιασμός του επιτρέπει εύκολη συντήρηση, με γρήγορη πρόσβαση στα κύρια εξαρτήματα για καθαρισμό ή αντικατάσταση. Συνολικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος το καθιστούν μια πρακτική και αποδοτική λύση για την ταχεία χρώση δειγμάτων, καλύπτοντας τις ανάγκες ενός σύγχρονου εργαστηρίου.

## 2.3 Ανάλυση Υλικών

### 2.3.1 DC Motor με Gearbox και Encoder - Faulhaber 1524A012S R

Το **Faulhaber 1524A012S R** αποτελεί έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος μικρού μεγέθους, εξοπλισμένο με μειωτήρα και ενσωματωμένο encoder, ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της κίνησης και υψηλή αξιοπιστία. Στο συγκεκριμένο μηχανήμα, χρησιμοποιείται για την κατακόρυφη κίνηση του κεντρικού άξονα, επιτρέποντας τη βύθιση και την ανάδυση των δειγμάτων στα δοχεία χρωστικών.[47]

Ο κινητήρας λειτουργεί με τάση 12V και υποστηρίζει υψηλή ροπή εξόδου χάρη στον ενσωματωμένο μειωτήρα με λόγο μετάδοσης 15:1. Η παρουσία του μειωτήρα αυξάνει σημαντικά τη ροπή, μειώνοντας παράλληλα την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, ώστε να επιτυγχάνονται ομαλές και ελεγχόμενες κινήσεις. [48] Αυτό είναι απαραίτητο για την ακριβή βύθιση των δειγμάτων στο υγρό των δοχείων, εξασφαλίζοντας σταθερότητα στη διαδικασία ακόμα και σε περιπτώσεις αυξημένων φορτίων.



Εικόνα 5 - DC Motor με Encoder και Gearbox

Ο ενσωματωμένος encoder IE2-16 παρέχει κρίσιμη πληροφορία (Feedback) για τη θέση και την ταχύτητα του κινητήρα. Η ανάλυση pulses per revolution του encoder επιτρέπει στο σύστημα να παρακολουθεί με ακρίβεια την κίνηση του άξονα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας, καθώς στο συγκεκριμένο μηχάνημα ελέγχει την ταχύτητα και λειτουργεί ως δεύτερος έλεγχος της πάνω και κάτω θέσης.

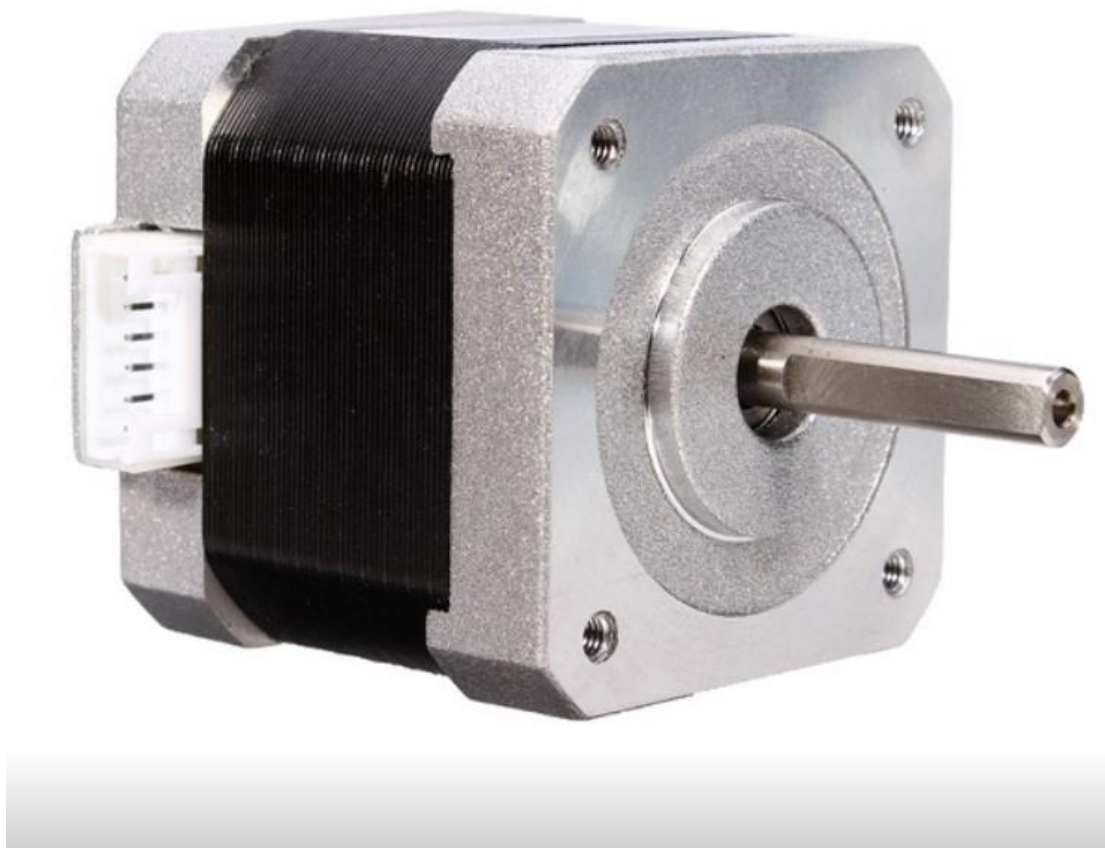
Ο κινητήρας, κατασκευασμένος από υλικά υψηλής ποιότητας, είναι σχεδιασμένος για αντοχή στη φθορά και τη συνεχή χρήση. Ο μειωτήρας προσφέρει επιπλέον αντοχή. Η συνδυαστική χρήση του με το Arduino Mega και τον οδηγό L298N επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης της κίνησης, καθιστώντας το σύστημα πλήρως ελεγχόμενο και προσαρμόσιμο στις ανάγκες του χρήστη.

Η λειτουργία του κινητήρα στο μηχάνημα περιλαμβάνει την κατακόρυφη μετακίνηση του άξονα για τη βύθιση των δειγμάτων στα δοχεία και την ανάσυρσή τους μετά την ολοκλήρωση του εκάστοτε σταδίου. Ο encoder στέλνει συνεχώς δεδομένα στο μικροελεγκτή, ο οποίος προσαρμόζει τη λειτουργία του κινητήρα για να διασφαλίσει τη σωστή εκτέλεση της διαδικασίας.

### 2.3.2 Stepper Motor NEMA 17

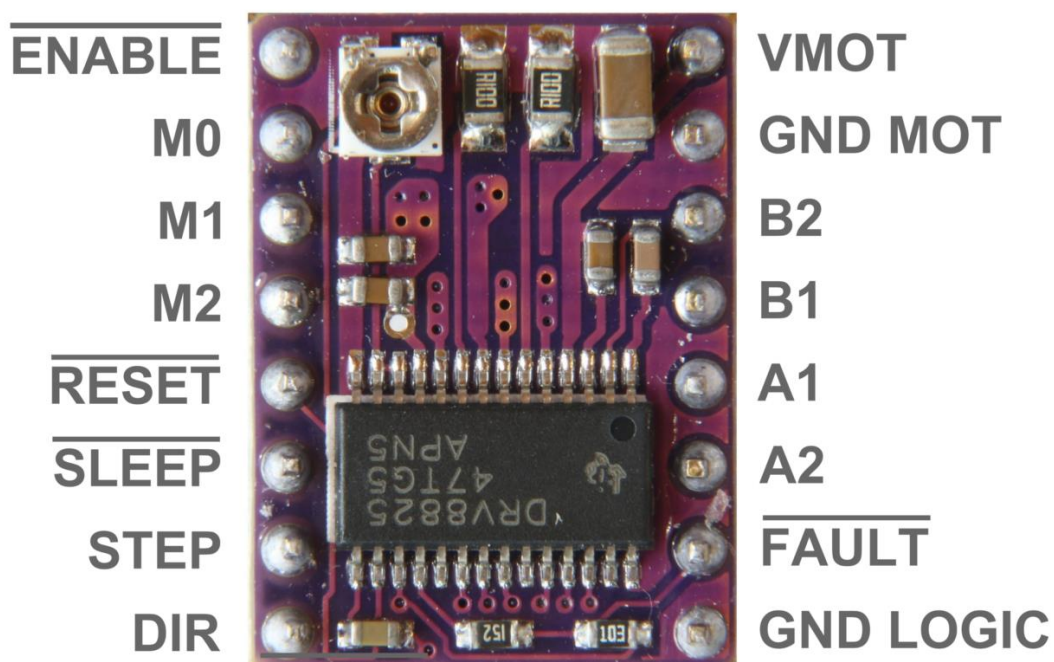
Ο **Stepper Motor NEMA 17** είναι ένα βασικό μέρος του μηχανήματος, υπεύθυνο για την περιστροφική κίνηση του κεντρικού άξονα. Αυτή η κίνηση επιτρέπει τη μεταφορά των δειγμάτων από το ένα δοχείο στο επόμενο με ακρίβεια και αξιοπιστία. Ο κινητήρας είναι σχεδιασμένος για να λειτουργεί με σταθερότητα και να επαναλαμβάνει τις κινήσεις του με συνέπεια.[50]

Ο κινητήρας έχει **γωνία βήματος 1.8°**, που σημαίνει ότι χρειάζονται 200 βήματα για να ολοκληρώσει μια πλήρη περιστροφή. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει την ακριβή τοποθέτηση του άξονα πάνω από κάθε δοχείο. Είναι διπολικός (bipolar), με τέσσερα καλώδια σύνδεσης, και λειτουργεί σε τάση 3.6V με ρεύμα 1.2A ανά φάση. Η **ροπή συγκράτησης** του κινητήρα είναι 48 N.cm, αρκετή για να διατηρεί τη θέση του άξονα σταθερή, ακόμα και όταν υπάρχει φορτίο.



*Εικόνα 6 - Stepper Motor [19]*

Ο έλεγχος του Stepper Motor πραγματοποιείται μέσω του **DRV8825**, ενός οδηγού που επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας και της ακρίβειας της κίνησης. [49] Ο DRV8825 υποστηρίζει **μικροβηματοδότηση (microstepping)**, δηλαδή τη δυνατότητα διαίρεσης της γωνίας βήματος σε μικρότερα μέρη, επιτυγχάνοντας ακόμα πιο ομαλές και ακριβείς κινήσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ακριβή ευθυγράμμιση του άξονα με τα δοχεία.

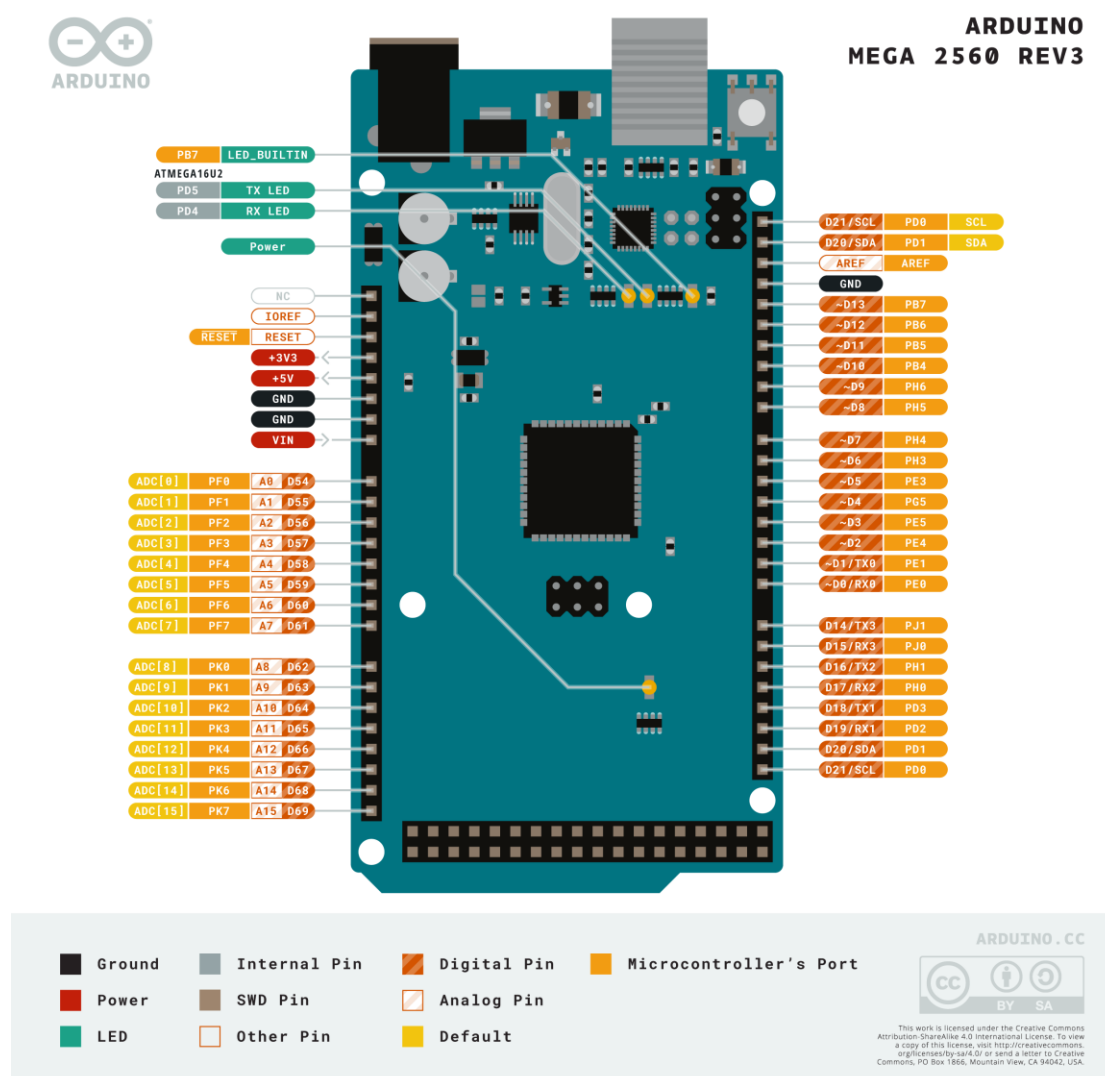


Εικόνα 7 - DRV 8825 με Pinout [28]

Κατά τη λειτουργία, το Arduino Mega στέλνει εντολές στον DRV8825, ο οποίος ελέγχει τον Stepper Motor. Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται, ο άξονας μεταφέρεται στη σωστή θέση πάνω από το επόμενο δοχείο. Ο συνδυασμός του κινητήρα και του οδηγού εξασφαλίζει την ακριβή, ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος, προσφέροντας σταθερά αποτελέσματα στη διαδικασία της χρώσης.

### 2.3.3 Arduino MEGA 2560

Το **Arduino MEGA 2560** είναι μια από τις πιο δημοφιλείς πλακέτες μικροελεγκτή της σειράς Arduino, η οποία έχει σχεδιαστεί για έργα που απαιτούν μεγαλύτερες δυνατότητες σε σύγκριση με άλλες πλακέτες, όπως το Arduino Uno. Βασίζεται στον μικροελεγκτή **ATmega2560**, ο οποίος προσφέρει σημαντικά περισσότερες εισόδους/εξόδους (I/O) και μεγαλύτερη μνήμη, κάνοντάς το ιδανικό για πολύπλοκα έργα όπως ρομποτική, συστήματα αυτοματισμού και εφαρμογές που απαιτούν πολλαπλές συνδέσεις με αισθητήρες, οθόνες ή άλλες συσκευές [51].



Εικόνα 8 - Arduino Mega [19]

### **Βασικά Χαρακτηριστικά**

Το Arduino MEGA 2560 διαθέτει 54 ψηφιακούς ακροδέκτες, εκ των οποίων οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ακροδέκτες PWM (Pulse Width Modulation) για έλεγχο συσκευών όπως κινητήρες και LED. Επιπλέον, υπάρχουν 16 αναλογικές είσοδοι, οι οποίες επιτρέπουν την ανάγνωση τιμών από αισθητήρες, όπως θερμοκρασία, φωτεινότητα ή υγρασία. Η πλακέτα διαθέτει επίσης 4 σειριακές θύρες (UARTs), οι οποίες επιτρέπουν την επικοινωνία με πολλαπλές συσκευές ταυτόχρονα, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπως η επικοινωνία με υπολογιστές, οθόνες LCD ή άλλα μικροελεγκτικά συστήματα [52].

Ο μικροελεγκτής ATmega2560 διαθέτει 256 KB in-system programmable flash μνήμη, η οποία επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλων προγραμμάτων. Επιπλέον, διαθέτει 8 KB SRAM και 4 KB EEPROM, που είναι απαραίτητα για την αποθήκευση δεδομένων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος. Η ταχύτητα ρολογιού της πλακέτας είναι 16 MHz, παρέχοντας αρκετή υπολογιστική ισχύ για τις περισσότερες εφαρμογές [53].

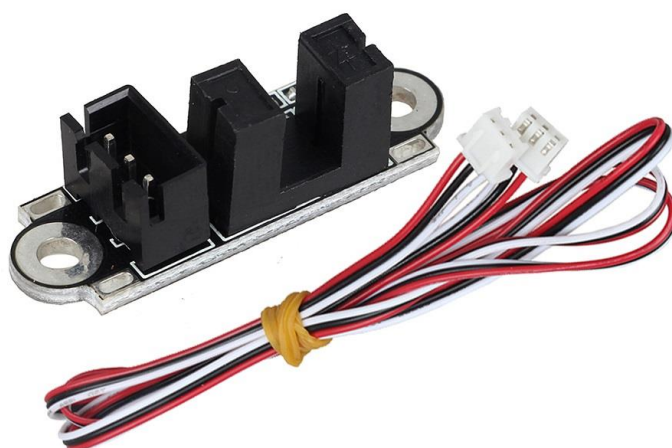
### **Εφαρμογές**

Το Arduino MEGA 2560 χρησιμοποιείται ευρέως σε ποικίλες εφαρμογές, όπως ρομποτική, συστήματα αυτοματισμού και εκπαιδευτικά έργα. Χάρη στον μεγάλο αριθμό I/O και τις δυνατότητες PWM, είναι ιδανικό για τον έλεγχο κινητήρων και αισθητήρων. Επιπλέον, η συμβατότητά του με τις περισσότερες ασπίδες (shields) που έχουν σχεδιαστεί για το Arduino Uno, όπως ασπίδες Wi-Fi, Ethernet, motor drivers και οθόνες, το καθιστά μια πολύ ευέλικτη επιλογή για έργα που απαιτούν επέκταση των δυνατοτήτων της πλακέτας [51].

### **2.3.4 Οπτικοί End Stop Sensors και Hall Sensor**

Στο μηχάνημα ταχείας χρώσης, οι **Optical End Stop Sensors** και ο **Hall Sensor** αποτελούν σημαντικά εξαρτήματα που διασφαλίζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των κινήσεων του κεντρικού άξονα.

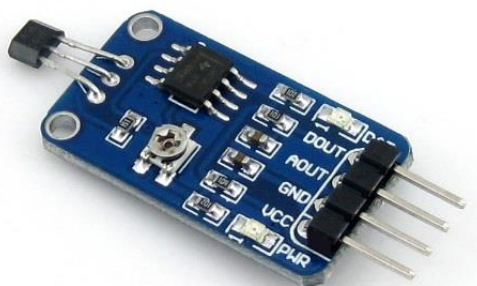
Οι **Optical End Stop Sensors** χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των ανώτερων και κατώτερων ορίων της κατακόρυφης κίνησης του άξονα. Λειτουργούν μέσω ανίχνευσης της διακοπής δέσμης φωτός που παράγεται από έναν ενσωματωμένο πομπό και δέκτη. Όταν ο άξονας φτάσει στο ανώτερο ή κατώτερο σημείο, η δέσμη φωτός διακόπτεται από ένα μεταλλικό λαμάκι που έχει προσαρμοστεί στο κινούμενο μέρος του άξονα, ενεργοποιώντας τον αισθητήρα. Αυτό το σήμα αποστέλλεται στο Arduino Mega, το οποίο σταματά την κίνηση και ελέγχει την ισχύ στο DC Motor για να διατηρήσει τον άξονα εκεί που πρέπει, αποτρέποντας την υπερβολική κίνηση του που θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στο σύστημα [54].



*Εικόνα 9 - Οπτικοί Endstop [19]*

Ο **Hall Sensor**, από την άλλη, είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση της περιστροφικής θέσης του άξονα. Ο αισθητήρας λειτουργεί μέσω της ανίχνευσης του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από έναν μαγνήτη τοποθετημένο στο κάτω μέρος, στην βάση του άξονα που περιστρέφεται. Όταν ο άξονας φτάσει στην αρχική του θέση, ο Hall Sensor ανιχνεύει την παρουσία του μαγνήτη και αποστέλλει σήμα στο σύστημα. Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται για τον ακριβή συγχρονισμό της περιστροφικής

κίνησης του Stepper Motor, διασφαλίζοντας ότι ο άξονας ξεκινά και σταματά στη σωστή θέση [55].



Εικόνα 10 - Hall Sensor [19]

Η χρήση αυτών των αισθητήρων παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία του μηχανήματος. Πρώτον, οι Optical End Stop Sensors διασφαλίζουν την ακρίβεια της κατακόρυφης κίνησης, αποτρέποντας υπερβολικές μετακινήσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε φθορά ή λανθασμένη βύθιση των δειγμάτων. Επίσης έχει προσαρμοστεί και ένα φυσικό «στόπ» στο τέλος της πάνω και κάτω διαδρομής ώστε σε κάθε ενδεχόμενο να μην προκληθεί βλάβη στο σύστημα. Δεύτερον, ο Hall Sensor εξασφαλίζει την ακριβή ευθυγράμμιση του άξονα με τα δοχεία, μειώνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων κατά τη μεταφορά των δειγμάτων.[55]

Η συνεργασία των αισθητήρων με το Arduino Mega επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθηση και ρύθμιση της θέσης του άξονα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό βελτιώνει τη συνολική αξιοπιστία και ακρίβεια της διαδικασίας, κάνοντας το μηχανήμα πιο αποτελεσματικό στη χρήση του.

### 2.3.5 Οθόνη και Πληκτρολόγιο

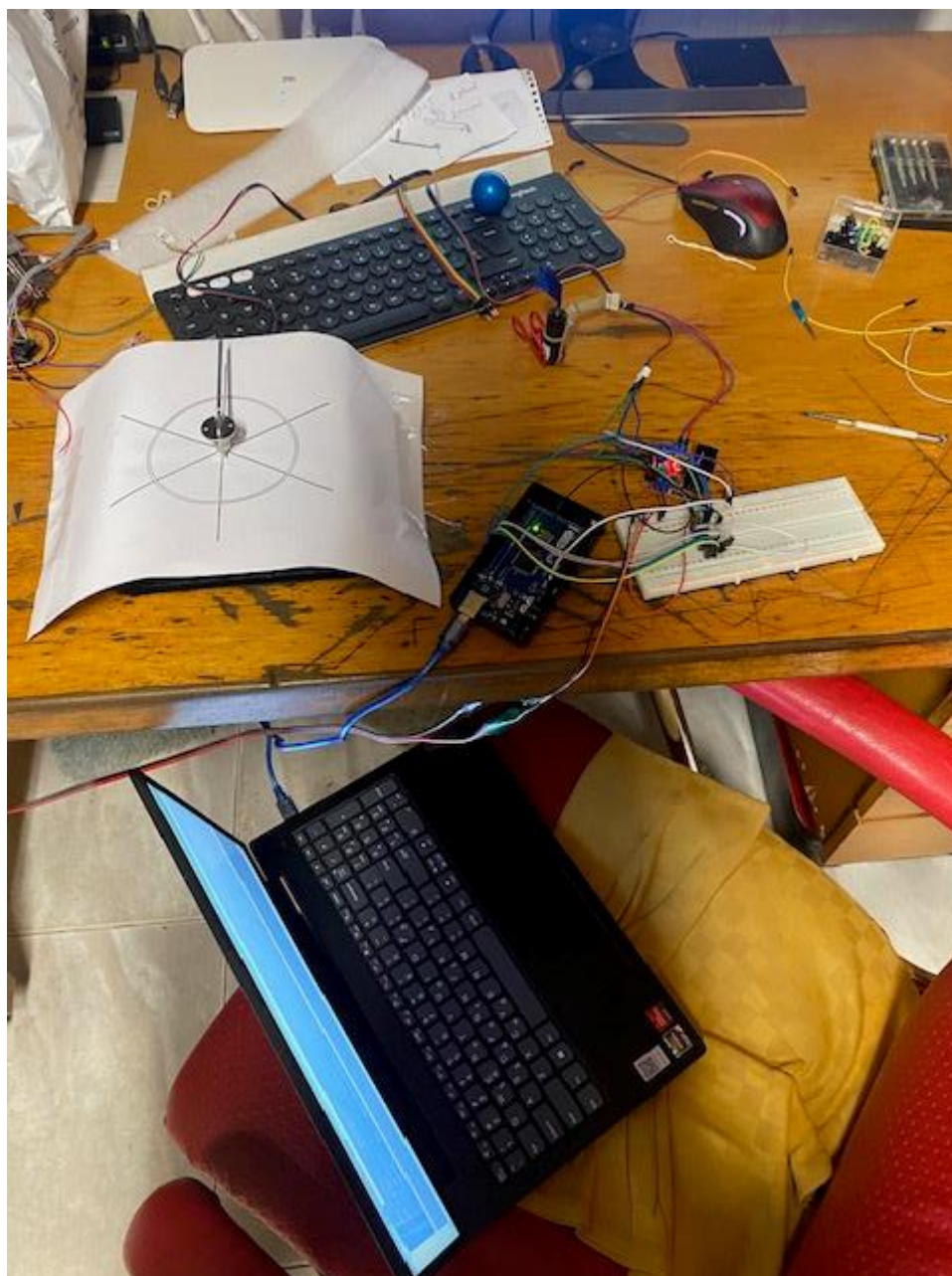
Η οθόνη LCD **20x4** με μπλε φωτισμό και λευκούς χαρακτήρες χρησιμοποιείται στο μηχανήμα για την προβολή πληροφοριών σχετικά με τη διαδικασία χρώσης και τη λειτουργία του συστήματος. Η οθόνη προσφέρει ευκρίνεια και εύκολη ανάγνωση, ενώ η διασύνδεση μέσω του πρωτοκόλλου **I2C** μειώνει τον αριθμό των απαιτούμενων συνδέσεων, καθιστώντας τη ιδανική επιλογή για το συγκεκριμένο έργο.

Η οθόνη υποστηρίζει **20 χαρακτήρες ανά γραμμή και 4 γραμμές**, παρέχοντας αρκετό χώρο για την εμφάνιση πολλών πληροφοριών ταυτόχρονα. Διαθέτει φωτισμό LED με μπλε φόντο και λευκούς χαρακτήρες, εξασφαλίζοντας καλή ορατότητα σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Ο έλεγχος της φωτεινότητας και της αντίθεσης γίνεται μέσω ενός ενσωματωμένου ποτενσιόμετρου, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να ρυθμίσει την εμφάνιση ανάλογα με τις προτιμήσεις του.[57]

Η διασύνδεση της οθόνης γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου **I2C**, το οποίο απαιτεί μόνο δύο ακίδες εισόδου/εξόδου από το Arduino: μία για τα δεδομένα (**SDA**) και μία για το ρολόι (**SCL**). Η διεύθυνση I2C της οθόνης είναι προκαθορισμένη ως **0x27**, γεγονός που διευκολύνει τη σύνδεση και τη διαχείρισή της μέσω του λογισμικού. Το κύκλωμα τροφοδοτείται με τάση **5V**, γεγονός που την καθιστά συμβατή με το Arduino Mega χωρίς την ανάγκη επιπλέον ρυθμιστή τάσης. [56] Για τον έλεγχο χρησιμοποιείται Keypad Matrix 4x4, με αριθμούς από το 1 έως το 9 και γράμματα από A έως D.



Εικόνα 11 - LCD 20x4 με I2C [19]



*Εικόνα 12 - Προγραμματισμός και ρυθμίσεις στα δύο μοτέρ για την συνεργασία τους ( Το DC Motor διακρίνεται με την μπλε σημαία, πριν τοποθετηθεί στον άξονα)*

## **2.4 Ανάλυση Μεθόδων**

Η διαδικασία χρώσης ιστολογικών δειγμάτων είναι ένα κρίσιμο βήμα για τη διάγνωση και την κατανόηση παθολογικών καταστάσεων. Στο συγκεκριμένο μηχάνημα, χρησιμοποιείται μια προσαρμοσμένη μέθοδος με τη χρήση έξι δοχείων. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του χρόνου και των υλικών που απαιτούνται για τη χρώση, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε γνωστές διαδικασίες που εφαρμόζονται σε κλινικά και ερευνητικά εργαστήρια, ειδικά για τη διαχείριση δειγμάτων ταχείας βιοψίας [5].

Η μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- **Στερέωση (Fixation):** Στο πρώτο δοχείο τοποθετείται διάλυμα στερέωσης, όπως η φορμαλίνη ή η αιθανόλη, για τη σταθεροποίηση των ιστών και τη διατήρηση των κυτταρικών δομών.
- **Αποχρωμάτιση (Dehydration):** Το δεύτερο δοχείο περιέχει οργανικό διαλύτη, π.χ., αιθανόλη, για την αφαίρεση της υγρασίας από τους ιστούς.
- **Βασική Χρώση (Primary Staining):** Στο τρίτο δοχείο εφαρμόζεται η κύρια χρωστική, όπως η αιματοξυλίνη, που αναδεικνύει συγκεκριμένες δομές, όπως οι πυρήνες των κυττάρων.
- **Διαφορική Χρώση (Differentiation):** Στο τέταρτο δοχείο περιλαμβάνεται διάλυμα που απομακρύνει την περίσσεια χρωστικής, βελτιώνοντας την αντίθεση.
- **Αντίθετη Χρώση (Counterstaining):** Το πέμπτο δοχείο περιέχει μια συμπληρωματική χρωστική, όπως η εωσίνη, που δίνει χρώμα σε άλλα στοιχεία του ιστού.
- **Ξέπλυμα και Σταθεροποίηση (Rinsing and Stabilization):** Το τελευταίο δοχείο περιέχει αποσταγμένο νερό ή ειδικό διάλυμα για την απομάκρυνση της περίσσειας χρωστικής και τη σταθεροποίηση του δείγματος.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στην παθολογοανατομία και τη χειρουργική παθολογία, όπου είναι απαραίτητη η ταχεία προετοιμασία δειγμάτων για μικροσκοπική ανάλυση. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων, η ταχεία βιοψία βασίζεται σε τέτοιες τεχνικές για την άμεση αξιολόγηση των δειγμάτων, ώστε να ληφθούν γρήγορες και ακριβείς αποφάσεις [59]. Παρόμοιες μέθοδοι εφαρμόζονται και σε ερευνητικά εργαστήρια για τη μελέτη κυτταρικών και ιστικών δομών, όπου απαιτείται ακρίβεια και επαναληψιμότητα.

Η χρήση έξι δοχείων εξασφαλίζει την αποδοτικότητα της διαδικασίας, ενώ η αυτοματοποίηση που προσφέρει το μηχάνημα μειώνει τον ανθρώπινο παράγοντα σφάλματος. Τα στάδια αυτά έχουν σχεδιαστεί για να ακολουθούν μια λογική ροή, η οποία ανταποκρίνεται στις ανάγκες των εργαστηρίων, τόσο για την καθημερινή διάγνωση όσο και για την ερευνητική εργασία [5], [59]. Ο τρόπος με τον οποίο έχει

σχεδιαστεί το μηχάνημα παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να εφαρμόσει ακριβώς αυτή την μέθοδο, να τοποθετήσει το πλακίδιο μικροσκοπίου στον ειδικά προσαρμοσμένο βραχίονα και οι κινήσεις των DC Motor – Stepper Motor να ελέγξουν όλη την διαδικασία, εξασφαλίζοντας ότι το δείγμα θα υποστεί στην κατάλληλη ταχεία χρώση.

### **3. Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Σχεδιασμός και Κατασκευή του Μηχανήματος**

#### **3.1 Περιγραφή Σχεδιασμού και Κατασκευής**

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του μηχανήματος αποτέλεσαν μια συνδυαστική προσπάθεια αξιοποίησης των γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου εκπαίδευσης, σε συνδυασμό με νέες δεξιότητες που ανέπτυξα ώστε να ανταποκριθώ στις απαιτήσεις του έργου. Η διαδικασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με στόχο ένα λειτουργικό, αποδοτικό και προσαρμόσιμο σύστημα.

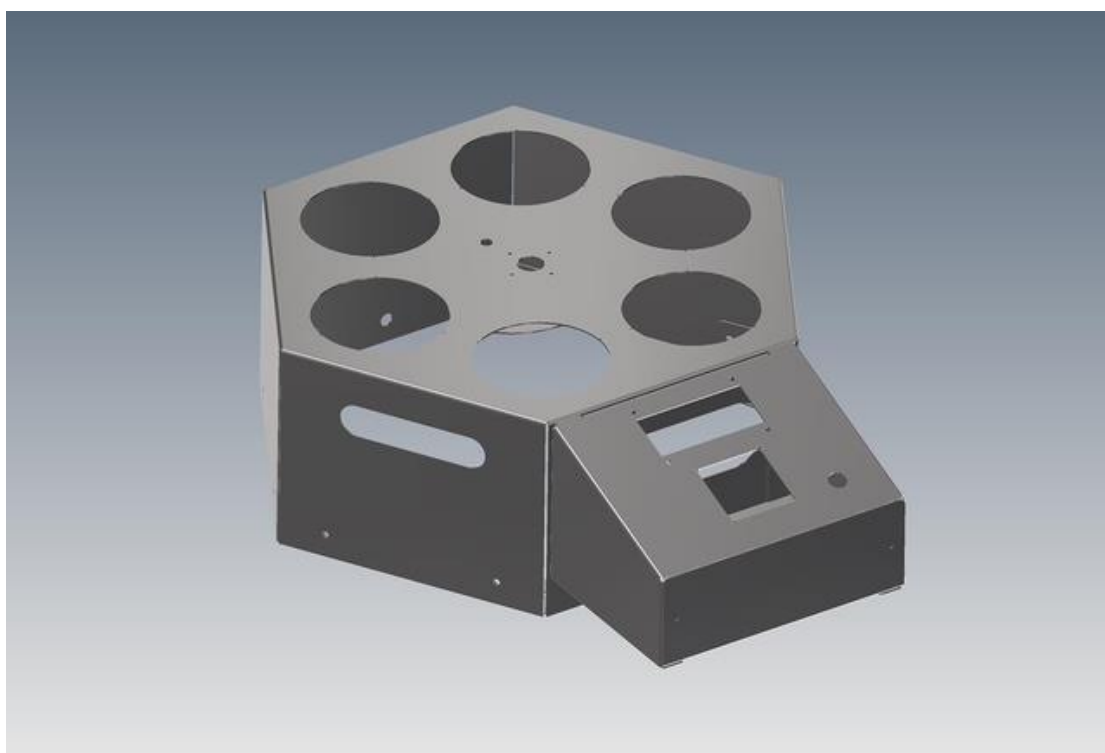
Για τη σχεδίαση του μηχανήματος, χρησιμοποίησα το λογισμικό **Autodesk Inventor**, το οποίο επέτρεψε την τρισδιάστατη απεικόνιση και την ακριβή προσαρμογή όλων των μερών. Βασικός γνώμονας για τον σχεδιασμό ήταν ο κεντρικός άξονας, γύρω από τον οποίο τοποθετήθηκαν τα δοχεία. Μετά από έρευνα αγοράς, επιλέχθηκαν δοχεία που μπορούν να υποδεχτούν έως και δύο πλακίδια ανά βραχίονα, καλύπτοντας έτσι τις βασικές ανάγκες της διαδικασίας.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην επεκτασιμότητα του μηχανήματος. Το παρόν μοντέλο περιλαμβάνει έναν βραχίονα για τη μεταφορά δύο πλακιδίων, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής ώστε να υποστηρίζει δύο ή τέσσερις βραχίονες. Στην περίπτωση αυτή, το μηχάνημα θα είναι σε θέση να επεξεργάζεται έως και τέσσερα πλακίδια με δύο βραχίονες ή έως και οκτώ πλακίδια με τέσσερις βραχίονες. Η προσθήκη επιπλέον βραχιόνων απαιτεί τροποποίηση της μεθοδολογίας για τη διασφάλιση της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας της χρώσης, ιδιαίτερα σε επείγουσες περιπτώσεις.

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός στο Inventor, τα αρχεία μεταφέρθηκαν στο **AutoCAD της Autodesk** για περαιτέρω τροποποιήσεις και προετοιμασία για κοπή με

λείζερ. Το κυρίως σώμα του μηχανήματος κατασκευάστηκε με υλικό Mild Steel και τα αρχεία .dxf στάλθηκαν για κοπή με λέιζερ από την εταιρεία Γεωργιάδης Metal. Μετά την κοπή, εφάρμοσα αστάρι και ακολούθησε βαφή με μαύρο ματ χρώμα, προσδίδοντας ανθεκτικότητα και επαγγελματική εμφάνιση στο μηχάνημα.

Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό που προστέθηκε κατά τη φάση της κατασκευής ήταν η ενσωμάτωση συρταριού με ανεμιστήρα για τον εξαερισμό του «Control Panel». Το συρτάρι σχεδιάστηκε ώστε να διευκολύνει την πρόσβαση στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για συντήρηση, ενώ ο ανεμιστήρας εξασφαλίζει την απομάκρυνση θερμότητας, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του συστήματος.



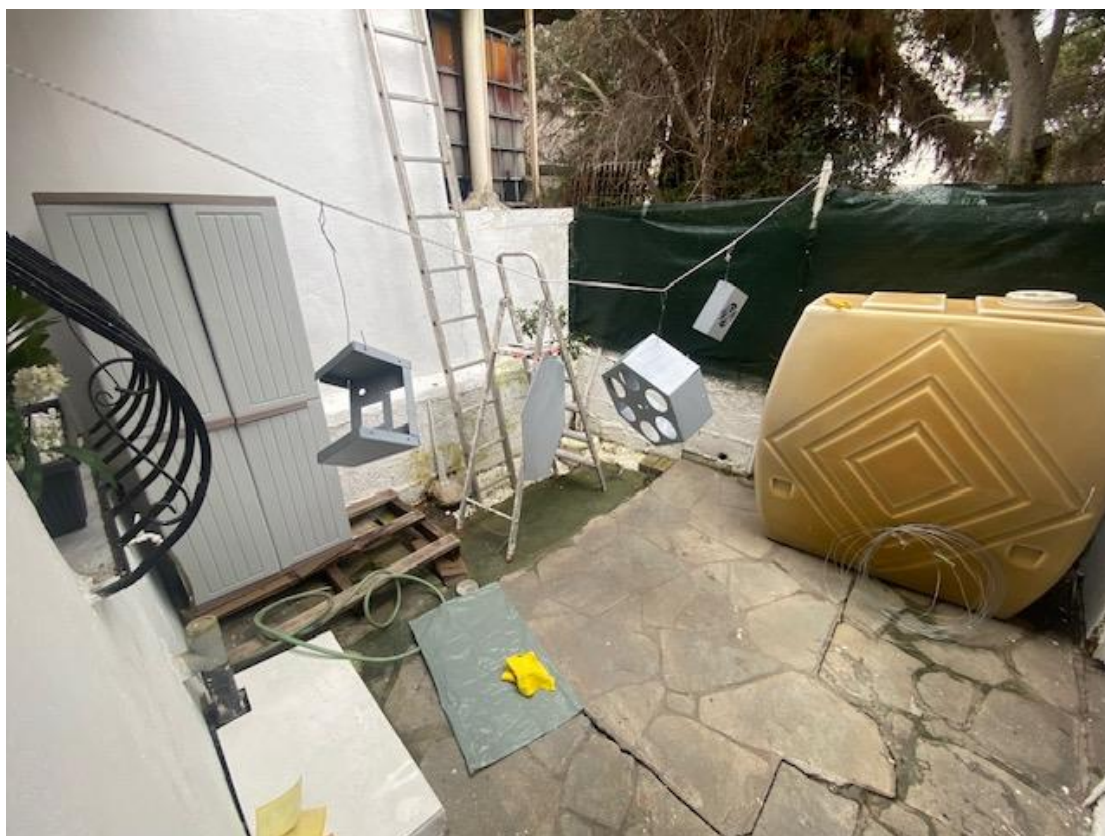
*Εικόνα 13 - Σχεδιασμός στο Inventor*



*Εικόνα 14 - Παραλαβή και πρόχειρη συναρμολόγηση για δοκιμές*

### **3.1.1 Σχεδίαση και Κατασκευή του Κεντρικού Άξονα**

Η διαδικασία σχεδίασης και κατασκευής του κεντρικού άξονα του μηχανήματος αποτέλεσε μια απαιτητική πρόκληση που συνδύασε ενδελεχή έρευνα, δημιουργική σκέψη και τεχνική εξειδίκευση. Βασικός στόχος ήταν η επιλογή κατάλληλων υλικών και μηχανισμών που θα εξασφάλιζαν την αξιοπιστία και την ακρίβεια της κατακόρυφης κίνησης.



*Εικόνα 15 - Εφαρμογή Αστάρι πριν το τελικό βάψιμο.*

Η αρχική ιδέα βασίστηκε στη χρήση ενός **DC Motor** με γρανάζι συνδεδεμένο στον άξονά του, το οποίο εφαρμόζεται κάθετα σε έναν **οδοντωτό άξονα (rack and pinion system)**. Ο οδοντωτός άξονας επιλέχθηκε ως κύριος μηχανισμός κίνησης, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε ένας λείος άξονας για πρόσθετη στήριξη και ομαλή καθοδήγηση της κίνησης. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του μεταφερόμενου μέρους του άξονα απαιτούσαν υψηλή ακρίβεια για την εξασφάλιση της σταθερότητας και της αποδοτικότητας του συστήματος.



Εικόνα 16 - Σχεδιασμός και πειραματισμός για τον Κάθετο Άξονα



*Εικόνα 17 - Κάθετος Άξονας από το πλάι*

Η επιλογή του **DC Motor** για την κατακόρυφη κίνηση αποτέλεσε μια πρόκληση, κυρίως λόγω της αντίστασης που προκαλεί η βαρύτητα. Εναλλακτικές επιλογές, όπως η χρήση **Stepper Motor** ή **Lead Screw** άξονα, θα είχαν διευκολύνει τη διαδικασία, προσφέροντας καλύτερο έλεγχο σε συνθήκες υψηλού φορτίου. Ωστόσο, αποφασίστηκε να διατηρηθεί το αρχικό σχέδιο με τον DC Motor, καθώς αυτό επέτρεπε τη δημιουργία ενός πιο καινοτόμου συστήματος. Για την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών, προστέθηκαν **Encoder** και **Optical End Stop Sensors**, τα οποία εξασφάλισαν τον ακριβή έλεγχο της θέσης του άξονα.

Οι κατασκευαστικές προσαρμογές που έγιναν περιλάμβαναν ειδικές κολλήσεις αλουμινίου, νέες οπές και επιπλέον ενισχύσεις, ώστε το τελικό μοντέλο του κεντρικού άξονα να είναι αξιόπιστο και πλήρως λειτουργικό. Στις διαδικασίες αυτές συνεργάστηκα με το Μηχανουργείο Μαυρίδη στην Περαία Θεσσαλονίκης. Παρά τις αρχικές προκλήσεις, το αποτέλεσμα ανταποκρίνεται στις προσδοκίες για ακρίβεια και αντοχή.

Η επόμενη πρόκληση αφορούσε τον προγραμματισμό του συστήματος ελέγχου. Ο συνδυασμός **PID ελέγχου** και παρακολούθησης θέσης με τους **Optical End Stop Sensors** αποδείχθηκε ιδιαίτερα απαιτητικός, αλλά τελικά προσέφερε εξαιρετική ακρίβεια. Ο PID αλγόριθμος επέτρεψε τον σταδιακό έλεγχο της ταχύτητας, προσφέροντας μεγαλύτερη σταθερότητα και ευελιξία από έναν τυπικό Stepper Motor. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια, προσαρμοστικότητα και έλεγχο, καλύπτοντας απόλυτα τις ανάγκες της εφαρμογής.

## 3.2 Προγραμματισμός

### 3.2.1 Λογισμικό και Arduino IDE

Ο προγραμματισμός του μηχανήματος πραγματοποιείται μέσω του **Arduino IDE**, μιας ευρέως χρησιμοποιούμενης πλατφόρμας ανάπτυξης που προσφέρει ευκολία στη σύνταξη, τη δοκιμή και την υλοποίηση κώδικα για μικροελεγκτές. Το **Arduino Mega 2560**, που αποτελεί την "καρδιά" του μηχανήματος, είναι πλήρως συμβατό με το περιβάλλον του Arduino IDE, επιτρέποντας την ανάπτυξη και την τροποποίηση κώδικα σε πραγματικό χρόνο.

Το **Arduino IDE** υποστηρίζει γλώσσες προγραμματισμού βασισμένες στη **C** και **C++**, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση βιβλιοθηκών που απαιτούνται για την επικοινωνία με τα εξαρτήματα του μηχανήματος, όπως οι **Optical Sensors**, ο **Hall Sensor**, ο **Encoder**, και οι κινητήρες (**DC Motor** και **Stepper Motor**). Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες επιτρέπουν τη γρήγορη ανάπτυξη βασικών λειτουργιών, όπως η ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες και ο έλεγχος των κινητήρων.

Μία από τις βασικές δυνατότητες του Arduino IDE είναι η ενσωματωμένη λειτουργία **Serial Monitor**, που επιτρέπει την παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από το Arduino. Αυτή η λειτουργία είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την ανίχνευση

σφαλμάτων (debugging) και τη ρύθμιση παραμέτρων κατά την ανάπτυξη του συστήματος.

Επιπλέον, η κοινότητα του Arduino παρέχει εκτενή υποστήριξη με τη μορφή ανοικτού κώδικα, βιβλιοθηκών, και τεκμηρίωσης, καθιστώντας το Arduino IDE ιδανική επιλογή για την ανάπτυξη κώδικα σε έργα όπως αυτό. Η ευκολία χρήσης του επιτρέπει την ενσωμάτωση μεθόδων, όπως ο έλεγχος **PID**, η παρακολούθηση θέσης, και η αυτοματοποίηση των κινήσεων του μηχανήματος.



Εικόνα 18 - Περιβάλλον Arduino IDE [37]

```
#define TOP_SENSOR 8 // Σένσορας Πάνω Θέση
#define BOTTOM_SENSOR 9 // Σένσορας Κάτω Θέση
#define PWM 5 // PWM για έλεγχο ταχύτητας
#define IN2 6 // Κατεύθυνση μοτέρ 2
#define IN1 7 // Κατεύθυνση μοτέρ 1
#define ENCA 2 // Encoder κανάλι A
#define ENCB 3 // Encoder κανάλι B

volatile int encoderPos = 0; // Θέση Encoder
volatile unsigned long lastEncoderTime = 0; // Τελευταίος παλμός Encoder

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Motor setup
  pinMode(PWM, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);

  // Optical sensors setup
  pinMode(TOP_SENSOR, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BOTTOM_SENSOR, INPUT_PULLUP);

  // Encoder setup
  pinMode(ENCA, INPUT);
  pinMode(ENCB, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCA), readEncoder, RISING);

  Serial.println("System initialized...");
}

void loop() {
```

```

static bool movingUp = true;
static unsigned long lastAdjustTime = 0;
static int powerUp = 200; // Αρχική ισχύς για πάνω κίνηση
const int maxPowerUp = 255; // Μέγιστη δύναμη για πάνω κίνηση
const int powerIncrement = 10; // Ρυθμός αύξησης πάνω κίνησης
const int speedThreshold = 5; // Όριο ταχύτητας αν κολλήσει η κίνηση

static int powerDown = 5; // Αρχική ισχύς για την κάτω κίνηση
const int speedLimit = 10; // Όριο ταχύτητας για την κάτω κίνηση
const int brakePower = 6; // Ελαφρύ φρένο όταν χρειάζεται
const int minPower = 50; // Ελάχιστη ταχύτητα
const int maxPowerDown = 200; // Μέγιστη ισχύς για ώθηση προς τα κάτω

// Ελέγχος σενσορς
bool topReached = digitalRead(TOP_SENSOR) == HIGH;
bool bottomReached = digitalRead(BOTTOM_SENSOR) == HIGH;

// Print την θέση του Encoder
Serial.print("Encoder Position: ");
Serial.println(encoderPos);

if (movingUp) {
    if (topReached) {
        Serial.println("Πάνω σένσορας ανίχνευσε, στοπ...");
        setMotor(0, 0, PWM, IN1, IN2); // Σταματάει το μοτέρ
        delay(1000); // Περιμένει 1 δευτερόλεπτο
        movingUp = false; // Αλλάζουμε κατεύθυνση
        powerUp = 200; // Reset την πάνω ισχύ
    } else {
        int speed = calculateSpeed();
        if (speed < speedThreshold) {
            powerUp = min(powerUp + powerIncrement, maxPowerUp); // Σταδιακή αύξηση
            // ταχύτητας αν κολλήσει
            Serial.println("Αυξάνει ισχύ για να ξεπεράσει την τριβή...");
        }
    }
}

```

```

    }
    Serial.print("Ανεβαίνει με τόση ισχύ: ");
    Serial.println(powerUp);
    setMotor(-1, powerUp, PWM, IN1, IN2);
}
} else {
    if (bottomReached) {
        Serial.println("Κάτω σένσορας ανίχνευσε, στοπ...");
        setMotor(0, 0, PWM, IN1, IN2); // Hard stop μοτέρ
        delay(1000); // Αναμονή 1 δευτερόλεπτο
        movingUp = true; // Αλλαγή κατεύθυνσης
        powerDown = 200;
    } else {
        int speed = calculateSpeed();

        if (speed == 0) {
            powerDown = min(powerDown + 10, maxPowerDown);
            Serial.println("Αυξάνει την ισχύ για να ξεπεράσει την τριβή...");
            setMotor(1, powerDown, PWM, IN1, IN2);
        } else if (speed > speedLimit) {
            Serial.println("Μεγάλη ταχύτητα, εφαρμόζεται φρένο...");
            setMotor(-1, brakePower, PWM, IN1, IN2);
            delay(50);
        } else {
            powerDown = max(minPower, powerDown - 5);
            Serial.println("Κρατάει την θέση.");
            setMotor(0, 0, PWM, IN1, IN2);
        }
    }

    Serial.print("Κατεβαίνει με αυτή την ισχύ: ");
    Serial.println(powerDown);
}
}
}

```

```
void setMotor(int dir, int pwmVal, int pwm, int in1, int in2) {  
    analogWrite(pwm, pwmVal);  
    if (dir == 1) {  
        digitalWrite(in1, HIGH);  
        digitalWrite(in2, LOW);  
    } else if (dir == -1) {  
        digitalWrite(in1, LOW);  
        digitalWrite(in2, HIGH);  
    } else {  
        digitalWrite(in1, LOW);  
        digitalWrite(in2, LOW);  
    }  
}
```

```
void readEncoder() {  
    int b = digitalRead(ENCB);  
    if (b > 0) {  
        encoderPos++;  
    } else {  
        encoderPos--;  
    }  
    lastEncoderTime = micros();  
}
```

```
int calculateSpeed() {  
    // Υπολογίζει την ταχύτητα με βάση τον Encoder  
    static int lastEncoderPos = 0;  
    static unsigned long lastTime = 0;  
  
    unsigned long currentTime = millis();  
    int deltaPos = encoderPos - lastEncoderPos;  
    unsigned long deltaTime = currentTime - lastTime;
```

```
lastEncoderPos = encoderPos;
lastTime = currentTime;

if (deltaTime > 0) {
    return (deltaPos * 1000) / deltaTime; // Ταχύτητα σε pulses ανά δευτερόλεπτο
} else {
    return 0;
}
}
```

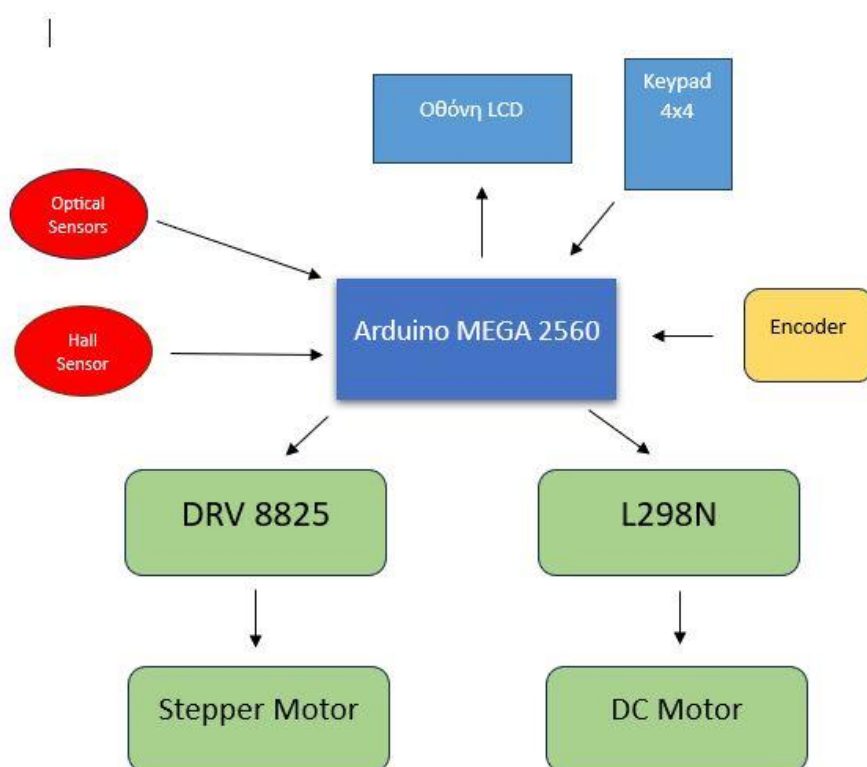
Στις συγκεκριμένες γραμμές κώδικα φαίνεται ως παράδειγμα ο προγραμματισμός της ελεγχόμενης κίνησης του Κάθετου Άξονα. Στο συγκεκριμένο κώδικα συνδιάζονται Arduino MEGA, L298N, Encoder και Optical Endstop Sensors.

### 3.3 Φωτογραφίες από την διαδικασία



Εικόνα 19 - Προγραμματισμός DC Motor με Encoder - Optical Sensors - Ακρίβεια Stepper Motor - Προγραμματισμός LCD και Keypad

### 3.4 Μπλοκ Διάγραμμα



## 4. Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα, Βελτιώσεις και Κόστος

### 4.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός πρωτότυπου μηχανήματος χρώσης ταχείας βιοψίας, με στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας, της ταχύτητας και της αυτοματοποίησης της διαδικασίας χρώσης. Το μηχανήμα σχεδιάστηκε ώστε να εφαρμόσει στην πράξη τις γνώσεις που προσέφερε η σχολή και να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των κλινικών και ερευνητικών εργαστηρίων, προσφέροντας ένα οικονομικό και αξιόπιστο εργαλείο.

Μέσα από τη διαδικασία ανάπτυξης, συνδυάστηκαν γνώσεις από τη θεωρία και την πράξη. Ο σχεδιασμός βασίστηκε σε λογισμικά όπως το **Inventor** και το **AutoCAD** της **Autodesk**, ενώ η κατασκευή περιλάμβανε την επιλογή και προσαρμογή

εξειδικευμένων εξαρτημάτων, όπως οι **DC Motor με Encoder, Stepper Motor**, αισθητήρες και ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου. Επιπλέον, ο συνδυασμός μεθοδολογιών, όπως η χρήση PID αλγορίθμων για την ακρίβεια της κίνησης, εξασφάλισε την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της συσκευής.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του μηχανήματος περιλαμβάνουν την αυτοματοποίηση της διαδικασίας χρώσης με τη χρήση έξι δοχείων, την ακρίβεια στην τοποθέτηση και μετακίνηση των δειγμάτων μέσω των κινητήρων και αισθητήρων, καθώς και τη δυνατότητα παραμετροποίησης για διαφορετικές ανάγκες. Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν κατάλληλο ως βάση, ώστε να μπορέσει με σωστή ανάπτυξη να βοηθήσει σε εφαρμογές όπως η ταχεία βιοψία σε χειρουργικές επεμβάσεις και η προετοιμασία δειγμάτων για ιστολογική ανάλυση.

Ωστόσο, αναγνωρίστηκαν προκλήσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως η ανάγκη για ακριβή έλεγχο της κατακόρυφης κίνησης, η πολυπλοκότητα του προγραμματισμού και η προσαρμογή των υλικών για να πληρούν τις απαιτήσεις της λειτουργικότητας. Αυτά τα εμπόδια αντιμετωπίστηκαν μέσω συνεχούς δοκιμής και προσπάθειας.

Συνολικά, το μηχάνημα θα μπορούσε να αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να συμβάλει στην ταχύτερη και οικονομική διαδικασία χρώσης βιοψίας, ενώ ταυτόχρονα ανοίγει τον δρόμο για περαιτέρω βελτιώσεις και επεκτάσεις.

## 4.2 Βελτιώσεις

Υπάρχουν αρκετές δυνατότητες για τη βελτίωση και την επέκταση του μηχανήματος, ώστε να γίνει ακόμα πιο αποδοτικό και προσαρμοστικό στις απαιτήσεις των εργαστηρίων. Αρχικά, στην ποιότητα υλικών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί 316 Inox για το κυρίως σώμα του μηχανήματος και να εφαρμοστεί ηλεκτροστατική βαφή. Μια σημαντική αναβάθμιση θα μπορούσε να είναι η προσθήκη πολλαπλών βραχιόνων, επιτρέποντας τη χρώση περισσότερων δειγμάτων ταυτόχρονα. Αυτό θα αύξανε δραματικά την παραγωγικότητα, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με αυξημένο φόρτο εργασίας. Επίσης, η αντικατάσταση του DC Motor με έναν Stepper Motor ή έναν Lead Screw άξονα για την κατακόρυφη κίνηση θα μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα, βελτιώνοντας παράλληλα την αξιοπιστία του συστήματος.

Βελτιώνοντας το λογισμικό και ενσωματώνοντας πιο εξελιγμένους αλγορίθμους ελέγχου, θα μπορούσε να επιτευχθεί ακόμα καλύτερος έλεγχος της θέσης και της κίνησης. Παράλληλα, η δημιουργία ενός γραφικού περιβάλλοντος για τον χρήστη θα έκανε τη λειτουργία του μηχανήματος πιο φιλική και εύχρηστη. Η δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης μέσω Wi-Fi ή Bluetooth θα έδινε στους χρήστες την ευελιξία να παρακολουθούν και να ελέγχουν τη διαδικασία από απόσταση, προσθέτοντας μια επιπλέον διάσταση στην ευχρηστία του.

Η ενσωμάτωση αισθητήρων για την ανίχνευση της ποιότητας και του μεγέθους των δειγμάτων θα μπορούσε να προσφέρει ένα πιο «έξυπνο» σύστημα, το οποίο θα προσαρμόζεται αυτόματα στις ανάγκες κάθε δείγματος. Τέλος, η προσαρμογή του μηχανήματος για χρήση σε διαφορετικούς τύπους δειγμάτων, είτε βιολογικών είτε χημικών, θα διεύρυνε τις εφαρμογές του, ενισχύοντας τη χρησιμότητά του σε ακόμα περισσότερους τομείς.

Όλα αυτά τα βήματα μπορούν να μετατρέψουν το μηχανήμα από μια καλή εργασία σε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο, ικανό να κάνει πραγματική διαφορά στην ταχεία διάγνωση και την έρευνα. Είναι συναρπαστικό να σκεφτεί κανείς πώς αυτό το μηχανήμα θα μπορούσε να εξελιχθεί...

### 4.3 Κόστος

Το κόστος υλοποίησης αυτής της εργασίας αποδείχτηκε μεγαλύτερο από το αναμενόμενο. Η αγορά των μοτέρ, οδηγών, Arduino Mega και λοιπών εξαρτημάτων μέχρι την κοπή των μετάλλων για την κατασκευή, το χρώμα και η αμοιβή των μηχανουργών με τους οποίους συνεργάστηκα παραθέτοντας τις ιδέες μου, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία τους, τους χώρους τους και πάνω από όλα τον χρόνο τους ανέβασε σημαντικά το κόστος του μηχανήματος. Παράλληλα μέρος των χρημάτων αφιερώθηκε στην αγορά υλικών όπως βίδες, άξονες και τα υπόλοιπα υλικά του σώματος. Όλες οι ιδέες και οι σχεδιασμοί ήταν δικό μου, αλλά δεν είχα την απαραίτητη γνώση για τεχνικές όπως η οξυγονοκόλληση και η κοπή μετάλλων, πράγματα τα οποία θα μπορούσαν να αποδειχτούν επικύνδινα σε περίπτωση που επιχειρούσα να κάνω μόνος μου. Το συνολικό κόστος για όλη την κατασκευή ανέρχεται περίπου στα 500€, αλλά δεν είναι κάτι για το οποίο μετανιώνω. Θεωρώ πως

το αποτέλεσμα είναι μοναδικό, θα μπορούσε να είναι ακόμα καλύτερο, παρόλα αυτά πιστεύω πως ως το δημιούργημα ενός φοιτητή ανταποκρίνεται στις προσδοκίες.

## Βιβλιογραφία

- [1] Kiernan, J. A. (2015). *Histological and Histochemical Methods: Theory and Practice*. Scion Publishing Ltd.
- [2] Wang, Y., & Smith, C. (2020). "Rapid On-site Evaluation in Surgical Pathology: A Practical Guide." *Modern Pathology*, 33(7), 1243-1251.
- [3] Ελληνική Εταιρεία Κυτταρολογίας. Οδηγίες για την Ταχεία Επεξεργασία Βιοψιών.
- [4] [Το Παθολογοανατομικό Εργαστήριο Μας | Pathlabs](#)
- [5] Bancroft, J. D., & Gamble, M. (2008). *Theory and Practice of Histological Techniques* (6th ed.). Churchill Livingstone.
- [6] Ελληνική Εταιρεία Κυτταρολογίας. Οδηγίες για την Ταχεία Επεξεργασία Βιοψιών.
- [7] Carson, F. L., & Hladik, C. (2009). *Histotechnology: A Self-Instructional Text* (3rd ed.). ASCP Press.
- [8] [Τεχνική Ανοσοϊστοχημείας – Istolab](#)
- [9] [Ταχεία Βιοψία – Istolab](#)
- [10] Ελληνική Εταιρεία Κυτταρολογίας. Οδηγίες για την Ταχεία Επεξεργασία Βιοψιών.
- [11] Santiago Ramón y Cajal. (1999). *Histology of the Nervous System of Man and Vertebrates*. Oxford University Press.
- [12] Mayer, P. (1903). *Grundzüge der Histologischen Technik*. Leipzig: J.A. Barth.
- [13] [Figure S1 ROSE-TIC procedure \(A,B,C\) Using tweezers, the specimens... | Download Scientific Diagram](#)
- [14] Golgi, C. (1873). *Sulla struttura della sostanza grigia del cervello*. Milano: Hoepli.
- [15] Carson, F. L., & Hladik, C. (2009). *Histotechnology: A Self-Instructional Text* (3rd ed.). ASCP Press.
- [16] ResearchGate. *Immunohistochemistry: Principles and Practice*.
- [17] PubMed. *Fluorescent Staining Techniques in Histology*.
- [18] IEEE Xplore. *Automated Staining Systems in Surgical Pathology*.
- [19] <https://grobotronics.com/>
- [20] Carson, F. L., & Hladik, C. (2009). *Histotechnology: A Self-Instructional Text*. ASCP Press.
- [21] ResearchGate. *Immunohistochemistry: Principles and Practice*.
- [22] PubMed. *Gram Staining Techniques in Microbiology*.

- [23] World Health Organization (WHO). Diagnostic Pathology and Tissue Staining.
- [24] IEEE Xplore. Advances in Automated Staining Systems for Surgical Applications.
- [25] MedlinePlus. Rapid Staining Techniques in Pathology.
- [26] MedlinePlus. Overview of Rapid Biopsy Techniques.
- [27] Mayo Clinic. Intraoperative Consultation and Frozen Section Analysis.
- [28] [Beschreibung zum DRV8825 Treiber | my home fab](#)
- [29] IEEE Xplore. Automated Systems for Rapid Biopsy in Surgery.
- [30] ResearchGate. Applications of Rapid Biopsy in Oncology.
- [31] World Health Organization (WHO). Guidelines for Rapid Diagnostic Techniques.
- [32] ASCP Press. Advances in Automated Staining Systems.
- [33] Mayo Clinic. Intraoperative Pathology Consultation and Frozen Section Analysis.
- [34] ResearchGate. Applications of Rapid Biopsy in Oncology.
- [35] MedlinePlus. Rapid Biopsy and its Surgical Implications.
- [36] IEEE Xplore. Advances in Automated Staining Systems for Surgical Applications.
- [37] [Getting Started with Arduino IDE 2 | Arduino Documentation](#)
- [38] IEEE Xplore. Advances in Automated Staining Systems for Surgical Applications.
- [39] Mayo Clinic. Intraoperative Pathology Consultation and Frozen Section Analysis.
- [40] MedlinePlus. Challenges in Rapid Biopsy Techniques.
- [41] ResearchGate. Accuracy and Limitations of Rapid Biopsy Methods.
- [42] World Health Organization (WHO). Guidelines for Rapid Diagnostic Techniques.
- [47] Faulhaber. DC Motor Series 1524 Technical Specifications.
- [48] ResearchGate. Application of DC Motors with Encoders in Laboratory Equipment.
- [49] Texas Instruments. DRV8825 Stepper Motor Driver Datasheet.
- [50] SparkFun. Stepper Motor Basics.
- [51] Arduino Official Documentation. "Arduino MEGA 2560 Rev3."
- [52] ATmega2560 Datasheet. "8-bit AVR Microcontroller with 256KB In-System Programmable Flash."
- [53] Arduino Forum. "Arduino MEGA 2560 vs UNO: What's the Difference?"
- [54] SparkFun. Optical End Stop Sensor Basics.
- [55] Adafruit. Hall Effect Sensors Overview.
- [56] SparkFun. How to Use I2C LCD Displays.
- [57] Adafruit. 20x4 Character LCD Datasheet.
- [59] ResearchGate. Simplified Staining Methods for Clinical Applications.

## Παράρτημα Α

### Κώδικας Arduino MEGA

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
#define TOP_SENSOR 8 // Αισθητήρας που ανιχνεύει την ανώτερη θέση.
#define BOTTOM_SENSOR 9 // Αισθητήρας που ανιχνεύει την κατώτερη θέση.
#define PWM_PIN 5 // Έξοδος PWM για έλεγχο της ισχύος του DC κινητήρα.
#define IN2_PIN 6 // Έξοδος για τον καθορισμό της κατεύθυνσης του κινητήρα
(πλευρά 2).
#define IN1_PIN 7 // Έξοδος για τον καθορισμό της κατεύθυνσης του κινητήρα
(πλευρά 1).
#define ENCA_PIN 2 // Κανάλι Α του encoder.
#define ENCB_PIN 3 // Κανάλι Β του encoder.

volatile int encoderPos = 0; // Τρέχουσα θέση του encoder.
volatile unsigned long lastEncoderTime = 0;

#define STEP_PIN 10 // Pin για παλμούς βημάτων του stepper.
#define DIR_PIN 11 // Pin που ορίζει την κατεύθυνση κίνησης του stepper.
#define ENABLE_PIN 12 // Pin ενεργοποίησης του οδηγού (ενεργό όταν είναι
LOW).

#define HALL_SENSOR_PIN 13 // Ψηφιακό pin για τον Hall Sensor

const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = {
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

```

```
byte rowPins[ROWS] = {22, 23, 24, 25}; // Ορισμός των pins για τις γραμμές.  
byte colPins[COLS] = {26, 27, 28, 29}; // Ορισμός των pins για τις στήλες.  
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );  
  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);  
  
const int maxPowerUp   = 255;  
const int powerIncrement = 10;  
const int speedThreshold = 5; // Όριο ταχύτητας (παλμοί/δευτερόλεπτο) για αύξηση  
ισχύος.  
const int maxPowerDown = 200;  
const int speedLimit    = 10;  
const int brakePower    = 6;  
const int minPower      = 50;  
  
bool systemInitialized = false;  
bool processRunning    = false;  
  
// Ανάλογα με την κατάσταση του ENCB_PIN, ενημερώνει την τιμή του encoderPos.  
void readEncoder() {  
    int b = digitalRead(ENCB_PIN);  
    if (b > 0)  
        encoderPos++;  
    else  
        encoderPos--;  
    lastEncoderTime = micros();  
}  
  
// Συνάρτηση υπολογισμού της ταχύτητας του DC κινητήρα.  
int calculateSpeed() {  
    static int lastEncoderPos = 0;  
    static unsigned long lastTime = 0;  
  
    unsigned long currentTime = millis();
```

```
int deltaPos = encoderPos - lastEncoderPos;
unsigned long deltaTime = currentTime - lastTime;
```

```
lastEncoderPos = encoderPos;
lastTime = currentTime;
```

```
if (deltaTime > 0) {
    return (deltaPos * 1000) / deltaTime; // Ταχύτητα σε παλμούς/δευτερόλεπτο.
} else {
    return 0;
}
}
```

// Συνάρτηση που θέτει την ισχύ και την κατεύθυνση του DC κινητήρα.  
 // Η παράμετρος "dir" καθορίζει την κατεύθυνση (1: κάτω, -1: πάνω, 0: στάση),  
 // ενώ η "pwmVal" καθορίζει την τιμή PWM.

```
void setMotor(int dir, int pwmVal) {
    analogWrite(PWM_PIN, pwmVal);
    if (dir == 1) {
        digitalWrite(IN1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(IN2_PIN, LOW);
    } else if (dir == -1) {
        digitalWrite(IN1_PIN, LOW);
        digitalWrite(IN2_PIN, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(IN1_PIN, LOW);
        digitalWrite(IN2_PIN, LOW);
    }
}
```

// -----  
 // Συνάρτηση για κίνηση του DC κινητήρα προς τα πάνω (ανύψωση).  
 void moveToTop() {

```

int powerUp = 200;
while(digitalRead(TOP_SENSOR) == LOW) {
    int speed = calculateSpeed();
    if (speed < speedThreshold) {
        powerUp = min(powerUp + powerIncrement, maxPowerUp);
    }
    setMotor(-1, powerUp);
    delay(50);
}
setMotor(0, 0);
delay(1000); // Σταθεροποίηση μετά την ανύψωση.
}

// Συνάρτηση για κίνηση του DC κινητήρα προς τα κάτω.
// Ελέγχει την ταχύτητα μέσω του encoder και εφαρμόζει φρένα εάν χρειαστεί

void moveToBottom() {
    int powerDown = 200;
    while(digitalRead(BOTTOM_SENSOR) == LOW) {
        int speed = calculateSpeed();
        if (speed == 0) {
            powerDown = min(powerDown + 10, maxPowerDown);
            setMotor(1, powerDown);
        } else if (speed > speedLimit) {
            setMotor(-1, brakePower); // Εφαρμογή ελαφρού φρένου.
            delay(50);
        } else {
            powerDown = max(minPower, powerDown - 5);
            setMotor(0, 0);
        }
        delay(50);
    }
    setMotor(0, 0);
    delay(1000);
}

```

```

}

// Συνάρτηση για κίνηση του stepper κινητήρα
// (true = CW, false = CCW)

void stepperMove(bool direction, int steps, int delayTime) {
    digitalWrite(DIR_PIN, direction ? HIGH : LOW);
    for (int i = 0; i < steps; i++) {
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
        delayMicroseconds(delayTime);
        digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
        delayMicroseconds(delayTime);
    }
}

// Συνάρτηση για μετακίνηση του stepper μέχρι να εντοπιστεί η home θέση μέσω του
Hall Sensor.
// Η παράμετρος "direction" ορίζει την κατεύθυνση κίνησης.

void moveStepperToHall(bool direction, int stepDelay) {
    digitalWrite(DIR_PIN, direction ? HIGH : LOW);
    while(digitalRead(HALL_SENSOR_PIN) == LOW) {
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
        delayMicroseconds(stepDelay);
        digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
        delayMicroseconds(stepDelay);
    }
    delay(500); // Μικρή καθυστέρηση μετά τον εντοπισμό της home θέσης.
}

void initializeSystem() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Initializing");
}

```

```
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("System...");  
  
moveToTop();  
  
moveStepperToHall(true, 1000);  
  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Status: Standby");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Press any key");  
systemInitialized = true;  
}  
  
void runStainingProcess() {  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("Running");  
  
  // Δοχείο 1:  
  moveToBottom();  
  delay(3000);  
  moveToTop();  
  
  // Μετακίνηση στο Δοχείο 2: περιστροφή CW για 544 βήματα.  
  stepperMove(true, 544, 800);  
  
  // Δοχείο 2:  
  moveToBottom();  
  delay(3000);  
  moveToTop();  
  
  // Μετακίνηση στο Δοχείο 3: περιστροφή CW για 528 βήματα.
```

```
stepperMove(true, 528, 800);

// Δοχείο 3:
moveToBottom();
delay(3000);
moveToTop();

// Δοχείο 4:
// Αρχικά, περιστροφή CCW μέχρι ο Hall Sensor να ανιχνεύσει την home θέση.
while(digitalRead(HALL_SENSOR_PIN) == LOW) {
  digitalWrite(DIR_PIN, LOW); // Κατεύθυνση CCW.
  digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(1000);
}
delay(500);
// Στη συνέχεια, έξτρα περιστροφή CCW για 544 βήματα.
stepperMove(false, 544, 800);

// Δοχείο 4:
moveToBottom();
delay(3000);
moveToTop();

// Μετακίνηση στο Δοχείο 5: περιστροφή CW για 528 βήματα.
stepperMove(true, 528, 800);

// Δοχείο 5:
moveToBottom();
delay(3000);
moveToTop();

// Μετακίνηση στο Δοχείο 6: περιστροφή CW για 544 βήματα.
```

```
stepperMove(true, 544, 800);
```

```
// Δοχείο 6:
```

```
moveToBottom();
```

```
delay(3000);
```

```
moveToTop();
```

```
// Επιστροφή στην αρχική (home) θέση: περιστροφή CW μέχρι ο Hall Sensor να  
ανιχνεύσει τη θέση.
```

```
while(digitalRead(HALL_SENSOR_PIN) == LOW) {
```

```
    digitalWrite(DIR_PIN, HIGH); // Κατεύθυνση CW.
```

```
    digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(1000);
```

```
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
```

```
    delayMicroseconds(1000);
```

```
}
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print("Process complete");
```

```
delay(2000);
```

```
processRunning = false;
```

```
}
```

```
char waitForKeyPress(const char* prompt) {
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0, 0);
```

```
    lcd.print(prompt);
```

```
    char key = NO_KEY;
```

```
    while(key == NO_KEY) {
```

```
        key = keypad.getKey();
```

```
    }
```

```
    return key;
```

```
}
```

```
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);  
  
    // Αρχικοποίηση και ενεργοποίηση της LCD.  
    lcd.init();  
    lcd.backlight();  
  
    // Ορισμός των pins για τον DC κινητήρα, τον encoder και τους αισθητήρες.  
    pinMode(PWM_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(IN1_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(IN2_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(TOP_SENSOR, INPUT_PULLUP);  
    pinMode(BOTTOM_SENSOR, INPUT_PULLUP);  
    pinMode(ENCA_PIN, INPUT);  
    pinMode(ENCB_PIN, INPUT);  
  
    // interrupt για το κανάλι του encoder.  
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCA_PIN), readEncoder, RISING);  
  
    // Ορισμός των pins για το stepper motor.  
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);  
    digitalWrite(ENABLE_PIN, LOW); // Ενεργοποίηση του οδηγού του stepper.  
  
    // Ορισμός του pin για τον Hall Sensor με εσωτερικό pull-up.  
    pinMode(HALL_SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);  
  
    // Εμφάνιση αρχικού μηνύματος στην LCD.  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Welcome to VK");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
}
```

```
lcd.print("Stainer");
delay(5000);
```

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Press any key");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("to Initialize");
}
```

```
void loop() {.
```

```
  if (!systemInitialized) {
    char key = keypad.getKey();
    if (key != NO_KEY) {
      initializeSystem();
    }
  }
}
```

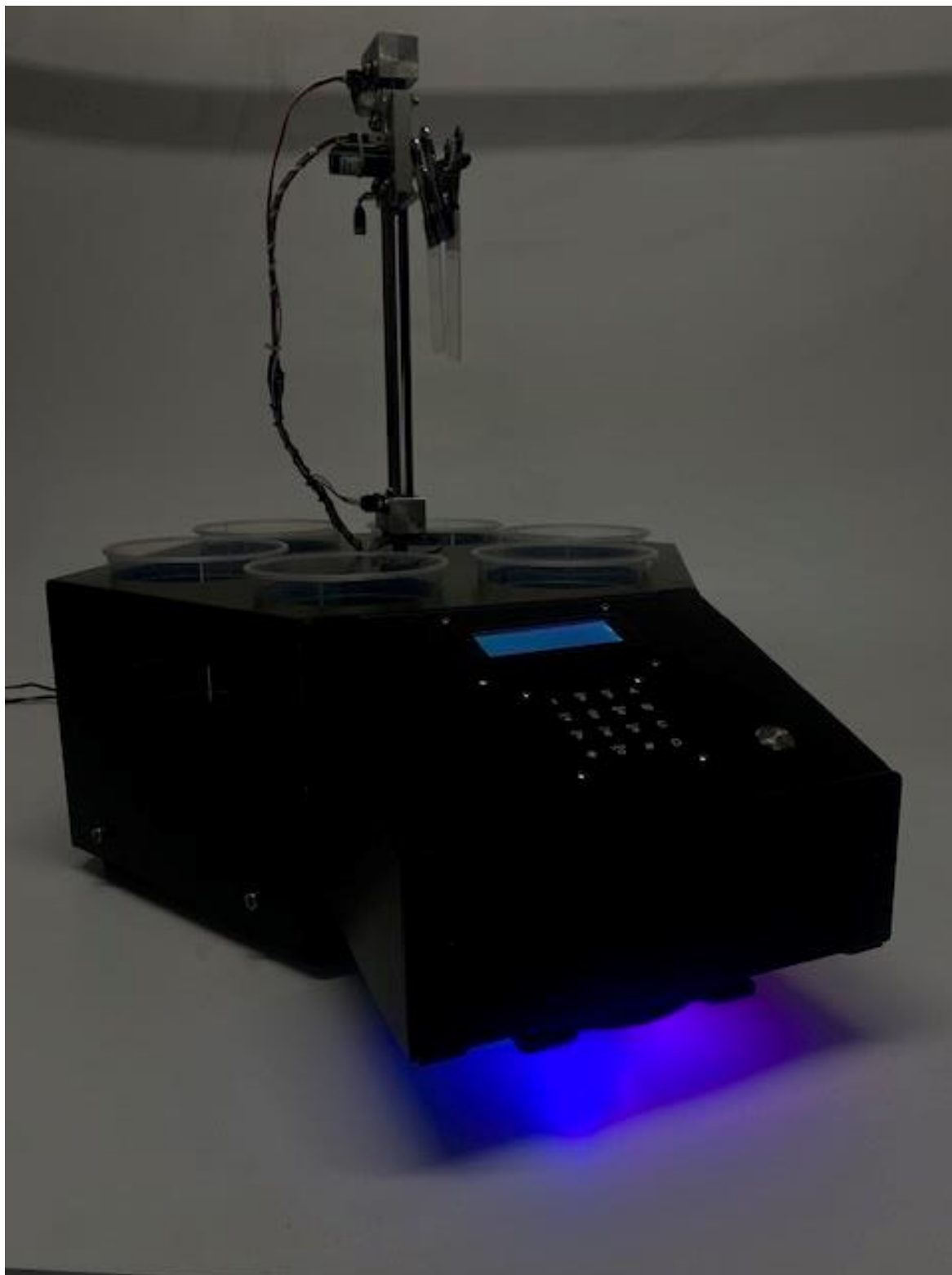
*// Εάν το σύστημα είναι σε standby και δεν τρέχει.*

```
else if (!processRunning) {
  char key = keypad.getKey();
  if (key != NO_KEY) {
    // Εμφάνιση οθόνης επιβεβαίωσης για την έναρξη της διαδικασίας.
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Are you sure?");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("*: Back #: Start");
```

*// Αναμονή επιλογής από το χρήστη.*

```
while (true) {
  char confKey = keypad.getKey();
  if (confKey == '*') {
    // Επιστροφή στην standby κατάσταση.
    lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Status: Standby");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Press any key");
break;
} else if (confKey == '#') {
  processRunning = true;
  runStainingProcess();
  // Μετά την ολοκλήρωση, επανέλθουμε στην standby κατάσταση.
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Status: Standby");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Press any key");
  break;
}
}
}
}
}
```



Όνομασία: DYIRVK 2.7