



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών
& Αυτομάτου Ελέγχου

Διπλωματική Εργασία

*Ανάλυση και κατασκευή πλατφόρμας αυτοματοποιημένης μέτρησης
βιολογικών σημάτων με χρήση μικρομαγνητικών σφαιριδίων*

Κανακάρης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Αλεξόπουλος Λεωνίδας

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

Περιεχόμενα

| | |
|--|------------|
| 1. Εισαγωγή | 1.1 |
| 2. Η Μέθοδος ELISA | 2.1-2.3 |
| 3. Τεχνολογία Μαγνητικών Μικροσφαιριδίων | 3.1-3.2 |
| 4. Έλεγχος Μαγνητικών Μικροσφαιριδίων Με Χρήση Μαγνητικού Πεδίου | 4.1-4.10 |
| 5. Προδιαγραφές Και Προκαταρκτικός Σχεδιασμός | 5.1-5.11 |
| 6. Διάταξη Προσδιορισμού Των Χαρακτηριστικών Της Πλατφόρμας..... | 6.1-6.46 |
| 7. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Συνολική Παρουσίαση | 7.1-7.15 |
| 8. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Κεφαλή..... | 8.1-8.33 |
| 9. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Σύστημα κίνησης κατά Χ..... | 9.1-9.17 |
| 10. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Σύστημα κίνησης κατά Ζ | 10.1-10.11 |
| 11. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Βαγονέτα για πλάκες 96 βοθρίων | 11.1-11.11 |
| 12. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Βαγονέτα με σύστημα ψύξης | 12.1-12.23 |
| 13. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Σύστημα υδρόψυξης..... | 13.1-13.7 |
| 14. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Σκελετός της πλατφόρμας | 14.1-14.7 |
| 15. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Μηχανισμός τοποθέτησης πιπेटών | 15.1-15.8 |
| 16. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Δοχείο απομάκρυνσης διαλύματος πλύσης..... | 16.1-16.5 |
| 17. Κατασκευή - Γενικά..... | 17.1 |
| 18. Κατασκευή-CNC Φρέζα..... | 18.1-18.16 |
| 19. Κατασκευή - Λοιπές Κατεργασίες..... | 19.1-19.5 |
| 20. Περίληψη / Συμπεράσματα | 20.1 |
| 21. Δυνατότητες περαιτέρω διερεύνησης | 21.1 |
| 22. Βιβλιογραφία | 22.1 |
| Παράρτημα - Φωτογραφίες..... | |
| Ευχαριστίες | |

1. Εισαγωγή

Στη παρούσα εργασία επιχειρείται η μελέτη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή μιας πλατφόρμας που θα πραγματοποιεί, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, βιοχημικά πειράματα ELISA για τη χαρτογράφηση του ανθρώπινου κυττάρου. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθεί η χρησιμότητα αυτών των πειραμάτων, η διαδικασία διεξαγωγής τους και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε επίπεδο υλικών και εξοπλισμού σε εργαστήρια βιοτεχνολογίας και νοσοκομεία. Στη συνέχεια θα τεθούν προδιαγραφές για τα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας και θα παρουσιαστεί ο προκαταρκτικός σχεδιασμός της συσκευής. Θα παρουσιαστούν ορισμένα πειράματα και μία πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των μεταβλητών του προβλήματος. Θα παρουσιαστεί ο γενικός σχεδιασμός της πλατφόρμας και έπειτα θα εστιάσουμε σε κάθε υποσύστημα χωριστά. Στο τέλος κάθε υποσυστήματος θα παρατεθούν τα κατασκευαστικά σχέδια για τα μέρη που το απαρτίζουν. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι κατασκευής των εξαρτημάτων της πλατφόρμας. Στο τέλος της εργασίας θα αναλυθούν τα συμπεράσματα της έρευνας και θα γίνουν προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας με την οποία ασχολούμαστε.

2. Η Μέθοδος ELISA

Εισαγωγή

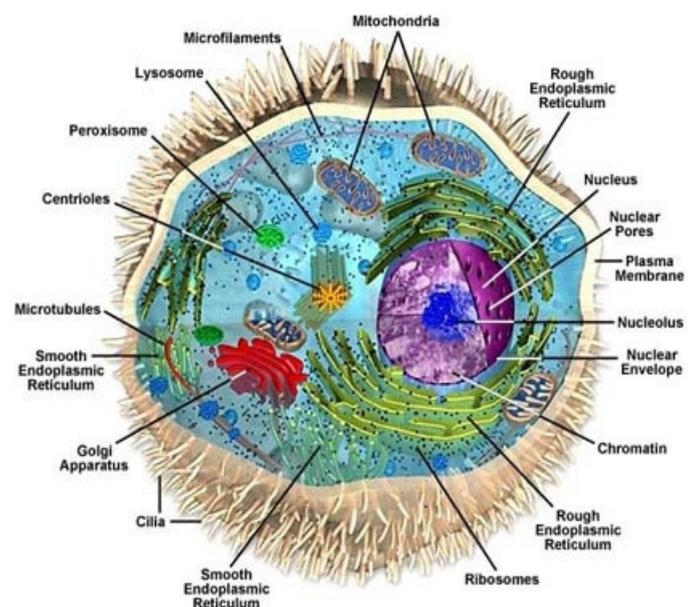
Στο πεδίο της έρευνας για την αντιμετώπιση χρόνιων νόσων και τη βελτίωση των συνθηκών ζωής του ανθρώπου, αλλά και της χαρτογράφησης των λειτουργιών του ανθρωπίνου σώματος και των διεργασιών που συμβαίνουν εντός του, ξεχωριστή θέση έχει η έρευνα των λειτουργιών των κυττάρων, και κυρίως της μεταξύ τους επικοινωνίας και της μεταφοράς πληροφοριών μέσα σε αυτά. Σε αυτές τις δύο διεργασίες, βασική συνισταμένη αποτελούν οι πρωτεΐνες, οι οποίες είναι το βασικό εργαλείο σε κάθε είδους κυτταρική επικοινωνία. Η σε βάθος μελέτη των λειτουργιών που επιτελεί η κάθε πρωτεΐνη μπορεί να οδηγήσει τελικά στη χαρτογράφηση του τρόπου επικοινωνίας των κυττάρων και επομένως στην δυνατότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός κυττάρου υπό την παρουσία ενός φαρμάκου ή άλλης ουσίας. Η έρευνα για τη δημιουργία ενός τέτοιου χάρτη αποτελεί υποσύνολο του τομέα της συστημικής βιολογίας.

Σηματοδότηση κυττάρων^[B1]

Το κύτταρο αποτελείται από περιορισμένο αριθμό χημικών στοιχείων. Ιδιαίτερο ρόλο ανάμεσά τους παίζουν ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O), το άζωτο, ο φωσφόρος (P) και το θείο (S), που αποτελούν το 99% του βάρους του κυττάρου. Τα χημικά συστατικά του κυττάρου ταξινομούνται σε ανόργανα, όπως το νερό και τα μεταλλικά ιόντα και οργανικά, όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα νουκλεϊκά οξέα. Από όλα τα μέρη του κυττάρου, αυτά που παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο είναι:

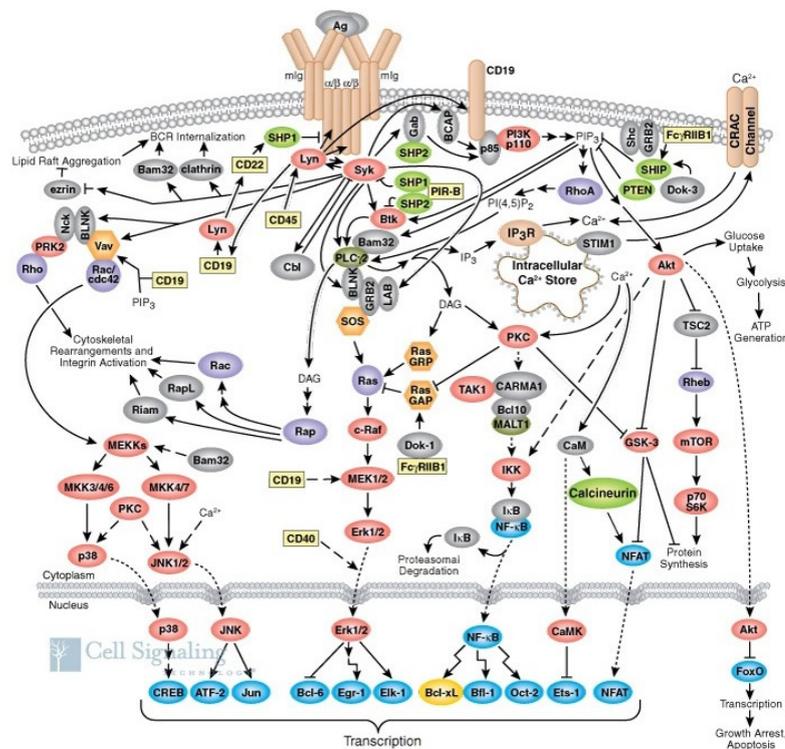
1. Η κυτταρική μεμβράνη
2. Οι πρωτεΐνες που βρίσκονται εντός του κυττάρου
3. Ο πυρήνας

Η κυτταρική μεμβράνη είναι η εξωτερική μεμβράνη που περιβάλλει το κύτταρο. Πρόκειται για μία ημιπερατή μεμβράνη που επιτρέπει σε ορισμένες μόνο ουσίες να τη διαπερνούν. Ο πυρήνας αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο μέρος του κυττάρου. Περιέχει το γενετικό υλικό και σε αυτό εκφράζονται και δημιουργούνται οι πρωτεΐνες



Η σηματοδότηση των κυττάρων, ή αλλιώς cell signaling, είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός επικοινωνίας που καθορίζει τις βασικές κυτταρικές λειτουργίες. Λάθη στη μετάδοση της κυτταρικής πληροφορίας είναι υπεύθυνα για ασθένειες όπως ο καρκίνος, τα αυτοάνοσα νοσήματα και ο διαβήτης. Τα κύτταρα λαμβάνουν πληροφορίες για το περιβάλλον τους μέσω μια ειδικής κατηγορίας πρωτεϊνών που λέγονται υποδοχείς, ή receptors. Αυτές οι πρωτεΐνες βρίσκονται στην επιφάνεια του κυττάρου. Τα μόρια που ενεργοποιούν τους υποδοχείς διαφοροποιούνται σε ορμόνες, νευροδιαβιβαστές, κυτοκίνες και αυξητικούς παράγοντες (hormones, neurotransmitters, cytokines, growth factors). Όλα αυτά ονομάζονται υποδοχείς συνδέτων (receptor ligands). Οι υποδοχείς βρίσκονται είτε στην επιφάνεια του κυττάρου είτε στο εσωτερικό του. Επιπλέον υπάρχουν πολλοί μεμβρανικοί υποδοχείς για μόρια που περιλαμβάνουν πεπτιδικές ορμόνες και πολλοί ενδοκυτταρικοί υποδοχείς για στεροειδείς ορμόνες. Οι υποδοχείς αυτοί δίνουν στο κύτταρο την ικανότητα να αντιδρά σε μεγάλο αριθμό ορμονολογικών και φαρμακολογικών ερεθισμάτων. Συχνά σε ασθένειες, οι πρωτεΐνες που αλληλεπιδρούν με τους υποδοχείς, είναι ενεργοποιημένες και ως αποτέλεσμα έχουμε ένα συνεχές ενεργοποιημένο σήμα, που μεταδίδεται και προκαλεί παθολογική συμπεριφορά.

Για πολλούς τύπους σηματοδοτικών μορίων, που δεν μπορούν να διαπεράσουν την υδρόφιλη κυτταρική μεμβράνη, λόγω της υδρόφιλης φύσης τους, ο υποδοχέας που είναι κατάλληλος για αυτά, βρίσκεται εκφρασμένος στην επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης. Όταν τα μόρια ενεργοποιήσουν τους υποδοχείς, το σήμα μεταφέρεται με τη σειρά του μέσα στο κύτταρο με δευτερεύουσα σηματοδότηση. Αυτή η δευτερεύουσα σηματοδότηση μπορεί να σχηματιστεί σε ένα χάρτη που δείχνει τα μονοπάτια μεταγωγής του σήματος:



ELISA^[B1]

Η Βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση των κυτταρικών λειτουργιών ονομάζεται ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay). Πρόκειται για μία βιοχημική τεχνική για την ανίχνευση αντισωμάτων ή αντιγόνων. Ο εντοπισμός γίνεται με την σύνδεση του αντισώματος με ένα ένζυμο, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε κάποιο αναγνωρίσιμο σήμα όπως χρώμα ή φωσφορίζον δείγμα.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η **sandwich ELISA**, μέσω της οποίας γίνεται εντοπισμός αντιγόνων. Για να εφαρμοστεί επιτυχώς πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένα στάδια-κανόνες:

1. Προετοιμασία επιφάνειας πλάκας, στην οποία προσδένεται συγκεκριμένος αριθμός αντισωμάτων.
2. Μπλοκάρισμα περιοχών της επιφάνειας που δεν έχουν αντίσωμα, ώστε να μην προσαρτηθούν ακούσια ανεπιθύμητα σωματίδια.
3. Επιβολή του δείγματος αντιγόνων στην επιφάνεια της πλάκας.
4. Πλύσιμο πλάκας, ώστε τα μη δεσμευμένα αντιγόνα να απομακρυνθούν.
5. Επιβολή ενζύμου, που διαθέτει αντίσωμα για την πρόσδεσή του στο αντιγόνο. Το ένζυμο αυτό είναι που χρησιμεύει για την σήμανση.
6. Πλύσιμο πλάκας, ώστε να απομακρυνθεί το περισεύον ένζυμο-αντίσωμα.
7. Επιβολή χημικού που διεγείρει το ένζυμο για την παραγωγή αναγνωρίσιμου σήματος.
8. Μέτρηση του σήματος για τον προσδιορισμό της ποσότητας των αντιγόνων που εντοπίστηκαν.

Τεχνολογία Χμαρ^[B1]

Στην τεχνολογία Χμαρ, αντί πλάκας χρησιμοποιούμε σφαιρίδια με προσκολλημένα αντισώματα στην επιφάνειά τους. Τα σφαιρίδια που χρησιμοποιούνται, διαθέτουν στο εσωτερικό τους μίγμα από ερυθρή και υπέρυθη φθορίζουσα βαφή. Εκμεταλλευόμενοι τις διαφορετικές εντάσεις και αποχρώσεις των βαφών, υπάρχει σύνολο 100 δυνατών διαφορετικών σφαιριδίων με μοναδικό φάσμα το κάθε ένα. Έτσι διαφορετικά σφαιρίδια μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα μόνο δείγμα, έχοντας τη δυνατότητα πρακτικά για 100 διαφορετικά τεστ ταυτόχρονα.

Η χημική σύσταση της επιφάνειας των σφαιριδίων, επιτρέπει τη σύνδεσή τους με υποδοχείς, αντισώματα, πεπτίδια ή ολιγονουκλεοτίδια. Στη συνέχεια το δείγμα αναλύεται σε μηχανισμό με δέσμες laser. Κάθε τεστ πραγματοποιείται σε πλάκες των 96 βοθρίων, δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα να διενεργηθούν 100 τεστ σε κάθε βοθρίο. Το μεγάλο πλεονέκτημα της χμαρ είναι το γεγονός ότι παρέχει high-throughput και high-content δεδομένα (data). Αυτό σημαίνει ότι από μία μόνο βιοχημική πειραματική διεργασία τα παραγόμενα δεδομένα προέρχονται από μεγάλο αριθμό αναλυτών (analytes). Έτσι, είναι εφικτή η πολλαπλή διάγνωση αποτελεσματικότητας φαρμάκων και δεν χρειάζονται πολλά δείγματα για τη λήψη ίδιου αριθμού αποτελεσμάτων.

3. Τεχνολογία Μαγνητικών Μικροσφαιριδίων

Γενικά^[P4]

Οι τεχνολογίες βιομαγνητικού διαχωρισμού βρίσκονται σήμερα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας που δρα στο χώρο της εφαρμοσμένης βιοτεχνολογίας. Σε σύγκριση με ένα κλασικό πρωτόκολλο ELISA, η χρήση μιας τέτοιας τεχνολογίας έχει πολλά οφέλη, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι: μικρότερος χρόνος προετοιμασίας, ταχύτερη διεξαγωγή πειραμάτων, πιο απλά πρωτόκολλα και συνεπώς μικρότερη πιθανότητα λάθους από τον βιολόγο, εύφορο έδαφος για αυτοματοποίηση και το πιο σημαντικό, μεγάλο βαθμό multiplexability, δηλαδή διεξαγωγή πολλών πειραμάτων σε ένα πρωτόκολλο με χρήση ενός δείγματος. Τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια είναι η πιο χαρακτηριστική τεχνολογία αυτής της κατηγορίας και φαίνεται να επικρατεί σε πολλά επιστημονικά πεδία όπως η ανοσολογία (immunoassay) και η πρωτεομική (proteomics).

Τεχνολογία

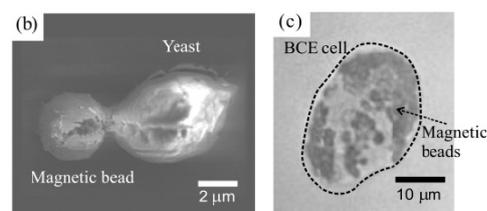
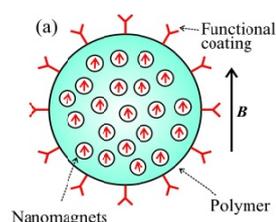
Τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια υποστηρίζονται και παράγονται από τις μεγαλύτερες εταιρίες βιοτεχνολογικής έρευνας όπως η Lumipex και η Invitrogen. Η δομή τους είναι τυπικά ένας υπερπαραμαγνητικός πυρήνας νανοσωματιδίων από οξείδια του σιδήρου με ένα πολυμερές περίβλημα, συνήθως πολυστυρένιο, πολυαιθυλένιο ή βοροπυρίτιο.

Εντός του σφαιριδίου βρίσκονται μία ή δύο φθορίζουσες χρωστικές που χαρακτηρίζουν το σφαιρίδιο (tagging) και στο περίβλημα του πολυμερούς προσκολλώνται τα στοιχεία που θα λειτουργήσουν ως ανιχνευτές (πχ αντισώματα) με τη χρήση ενός χημικού συνδέσμου. Το μέγεθος ενός τέτοιου σφαιριδίου ποικίλλει από 0.1-10 μm διάμετρο, ενώ υπάρχουν και διαφορές στη δομή του, ανάλογα με την εταιρία που το παράγει. Για παράδειγμα άλλες εταιρίες χρησιμοποιούν έναν κεντρικό σφαιρικό πυρήνα, ενώ άλλες χρησιμοποιούν υπερπαραμαγνητικά ρινίσματα. Οι μέθοδοι παραγωγής τους είναι επίσης αντικείμενο έρευνας.



Χρήση

Τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια έχουν πλέον πολλές χρήσεις στον τομέα της βιοτεχνολογίας οι οποίες υπαγορεύονται από τις ιδιότητές της δομής τους. Δηλαδή, ως σώμα με υπερπαραμαγνητική συμπεριφορά, παρουσιάζει μαγνητικές ιδιότητες όταν βρίσκεται υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, τις οποίες όμως χάνει μετά την απομάκρυνση του πεδίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μπορεί κανείς να κατευθύνει, με τη χρήση ενός μόνιμου μαγνήτη ή ενός ηλεκτρομαγνήτη, την κίνηση των σφαιριδίων, με στόχο την παγίδευση, τη μεταφορά ή τη δημιουργία νεφελώματος. Μετά από την απομάκρυνση του πεδίου, τα σφαιρίδια (θεωρητικά)



επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και λειτουργούν ως σώματα στην κλίμακα των μικρών μέσα σε ρευστό. Επίσης, η ιδιότητά τους να φέρουν ανιχνευτές στην επιφάνειά τους, δηλαδή ενώσεις που μπορούν να δημιουργήσουν χημικούς δεσμούς με πρωτεΐνες, κύτταρα ή και τμήματα DNA, σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνάρτηση με τη μαγνητική τους ιδιότητα, για να απομονώσουν τα προαναφερθέντα από το περιβάλλον τους και τελικά, για να λειτουργήσουν ως ανιχνευτές της ύπαρξης ή και της ποσότητας αυτών μέσα σε ένα δείγμα βιολογικού υλικού. Τέλος, ως σώματα με φθορίζουσες ιδιότητες, μπορούν, με τη χρήση κατάλληλης διέγερσης, να εκπέμπουν ακτινοβολία. Οι διαφορές στο χρώμα αυτής της ακτινοβολίας ανάμεσα σε δύο σφαιρίδια που έχουμε αποφασίσει ότι επιτελούν διαφορετικό ρόλο, λειτουργούν ως διακριτικό για αυτά τα σφαιρίδια. Δηλαδή, ένα κατάλληλο σύστημα ανίχνευσης μπορεί να διακρίνει ανάμεσα σε έναν αριθμό μικροσφαιριδίων αναμεμιγμένων μεταξύ τους, αυτά που φέρουν στη μεμβράνη τους το αντίσωμα A από αυτά που φέρουν το αντίσωμα B.

Χρήση στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας ΕΜΠ

Στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας ΕΜΠ χρησιμοποιούνται σφαιρίδια **MagPlex™ -C** της εταιρίας **Luminex** για χρήση σε πρωτόκολλα sandwich ELISA. Παρακάτω παρουσιάζονται οι προδιαγραφές των σφαιριδίων:

| Package Configuration | Specification |
|--|---|
| Microsphere Concentration (beads/mL) | 11.0 x 10 ⁶ - 14.5 x 10 ⁶ |
| Medium | <0.1% ProClin in Water |
| Microsphere Properties | Specification |
| Median Microsphere Density (g/mL) | 1.10 + 0.06 |
| Mode Microsphere Diameter (μm) | 6.5 + 0.2 |
| RP1 background | < 100 |
| Luminex100/200 Classification Efficiency | > 80% |
| Luminex100/200 Misclassification | < 2.0% |
| Luminex100/200 Doublet Discrimination Peak | 8000 - 15000 |
| Progenitor Microsphere Properties | Specification |
| Diameter Coefficient of Variation | < 5% |
| Functional groups | Carboxyl(COOH) |
| Iron Content | 2-4% |

4. Έλεγχος Μαγνητικών Μικροσφαιριδίων Με Χρήση Μαγνητικού Πεδίου

Γενικά

Τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια, όπως προαναφέρθηκε, περιέχουν έναν πυρήνα υπερπαραμαγνητικού υλικού που τους δίνει μαγνητικές ιδιότητες υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, τις οποίες όμως χάνουν μετά την απομάκρυνση αυτού του πεδίου. Ο στόχος σε αυτή την έρευνα είναι η παγίδευση των μικροσφαιριδίων. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται το μαγνητικό πεδίο, ο τρόπος δημιουργίας του, ο τρόπος απομάκρυνσής του και η διάταξη με την οποία θα επιτευχθεί η παγίδευση ενός αριθμού μαγνητικών μικροσφαιριδίων, ενόσω αυτά βρίσκονται εντός ενός υγρού διαλύματος, τυπικά ενός δείγματος βιολογικού υλικού. Δευτερεύων στόχος σε αυτό το σημείο είναι η διενέργεια δοκιμών για βήματα διεξαγωγής ενός πειράματος ELISA με διαφορετικό τρόπο από τον συνηθισμένο. Ειδικότερα, ζητούνται τρόποι πλήσης των μικροσφαιριδίων από ανεπιθύμητα στοιχεία και τρόποι ανάδευσης του διαλύματος.

Μαθηματικό υπόβαθρο^{[P1],[P2],[P3]}

Σε ένα μαγνητικό μικροσφαιρίδιο που βρίσκεται υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου ασκούνται δυνάμεις από το πεδίο αυτό, που περιγράφονται από την σχέση (1):

$$\vec{F}_m = -\vec{\nabla}U = -V\chi\vec{\nabla}u = \frac{V\chi}{2\mu_0}\nabla B^2 \quad (1)$$

Όπου:

V : Όγκος σωματιδίου

χ : Μαγνητική ευαισθησία (susceptibility)

B : Πυκνότητα του μαγνητικού πεδίου

μ_0 : Μαγνητική διαπερατότητα του κενού

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι η μαγνητική δύναμη είναι απευθείας ανάλογη με το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του μαγνητικού πεδίου στο χώρο. Ο όρος ∇B^2 προκύπτει από το γινόμενο της πυκνότητας του μαγνητικού πεδίου επί το ανάδελτα του ίδιου μεγέθους:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_m = \vec{m} \cdot \nabla B \\ \vec{U} = -\vec{m} \cdot B \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\vec{F}_m = -\vec{\nabla} U = -V \chi \vec{\nabla} u = \frac{V \chi}{2\mu_0} \nabla B^2$$

Με:

\vec{m} : Μαγνητική ροπή

\vec{U} : Μαγνητικό δυναμικό

Πλέον της μαγνητικής δύναμης, στη δική μας εφαρμογή υπάρχουν άλλες δύο δυνάμεις βασικές για την περιγραφή της συμπεριφοράς των σφαιριδίων, η δύναμη λόγω κίνησης σε ρευστό (2) καθώς και η βαρυτική (3) :

$$\vec{F}_{drag} = 6\pi\eta R(u_{particle} - u_{medium}) \quad (2)$$

$$\vec{F}_{grav} = V_p (\rho_p - \rho_{medium}) g \quad (3)$$

Όπου:

R : Ακτίνα σωματιδίου

$u_{particle}$: Ταχύτητα σωματιδίου

u_{medium} : Ταχύτητα του ρευστού

ρ_p : Πυκνότητα του σωματιδίου

ρ_{medium} : Πυκνότητα του ρευστού

η : Ιξώδες του Ρευστού

Βλέπουμε οτι η σχέση που δίνει τη δύναμη του ρευστού είναι ο νόμος του Stokes που ισχύει για αριθμούς Reynolds < 1.0 (Particle Reynolds number). Για τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια έχουμε τυπική τιμή Re=0.01 άρα είμαστε πάντα μέσα σε αυτή την περιοχή. Επίσης στη σχέση υπολογισμού των βαρυτικών δυνάμεων είναι ενσωματωμένη και η άνωση.

Πρακτικά, η βαρυτική δύναμη είναι αρκετά μικρότερη των άλλων δύο δυνάμεων και γενικά παραλείπεται στους υπολογισμούς, με κάποιες όμως εξαιρέσεις. Αυτό οφείλεται στην πάρα πολύ μικρή μάζα των σωματιδίων (~1.5ng). Ομοίως αγνοούνται οι αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες είναι τυπικά 5 τάξεις μικρότερες από τις άλλες δύο. Οπότε, ο νόμος του Νεύτωνα τελικά δίνει:

$$\sum F = m_p a_p$$

$$\sum F = F_m - F_{drag} \quad (\text{αγνοώντας τη βαρύτητα})$$

$$F_m = \frac{V\chi}{2\mu_0} \nabla B^2$$

$$F_{drag} = 6\pi\eta R(u_{particle} - u_{medium})$$

Με τις αδρανειακές δυνάμεις να είναι αμελητέες, ο όρος της επιτάχυνσης μηδενίζεται και θεωρούμε ότι το σωματίδιο φτάνει στην οριακή του ταχύτητα ταυτόχρονα με την εφαρμογή της δύναμης. Το πρόβλημα πλέον μετατρέπεται σε quasi static:

$$\frac{V\chi}{2\mu_0} \nabla B^2 = 6\pi\eta R(u_{particle} - u_{medium}) \quad (4)$$

Στη σχέση 4, ο άγνωστος είναι η διανυσματική ταχύτητα του σωματιδίου. Θεωρητικά, όλα τα υπόλοιπα είναι γνωστά. Σε πειραματικό επίπεδο ωστόσο, ο υπολογισμός του όρου ∇B^2 απαιτεί χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων. Επίσης, πολύ βασικό πρόβλημα είναι πως η τιμή της μαγνητικής ευαισθησίας των μικροσφαιριδίων (που είναι πλασματική τιμή γιατί τα μικροσφαιρίδια δεν είναι ομογενείς δομές αλλά έχουν απλά έναν υπερπαραμαγνητικό πυρήνα) δεν είναι γνωστή.

Υπολογισμός της μαγνητικής ευαισθησίας ενός σωματιδίου

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται μέθοδοι για τον πειραματικό προσδιορισμό της μαγνητικής ευαισθησίας (χ) ενός μαγνητικού μικροσφαιριδίου. Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται αρκετές μέθοδοι για τον υπολογισμό αυτού του μεγέθους που χαρακτηρίζει τις μαγνητικές ιδιότητες ενός σωματιδίου. Ο Sridhar Reddy^[2] κάνει μια συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων ενώ προτείνει και μία δική του. Οι δύο πιο ελκυστικές μέθοδοι φαίνεται να είναι η χρήση διάταξης με βαθμονομημένο μαγνήτη και κανάλι ρευστού που παρακολουθείται από μικροσκόπιο (λύση της (4) ως προς χ με γνωστό B και u) καθώς και η χρήση παραμαγνητικού άλατος. Σημειώνεται εδώ ότι στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός εξοπλισμού και πειραμάτων και όχι η διεξαγωγή τους, γι αυτό και σε πολύ λίγα σημεία υπάρχουν πειραματικά αποτελέσματα.

Μέθοδος παραμαγνητικού άλατος

Τα σωματίδια τοποθετούνται εντός αραιού διαλύματος παραμαγνητικού άλατος γνωστής μοριακής μαγνητικής ευαισθησίας. Το διάλυμα τοποθετείται εντός μαγνητικού πεδίου και η κίνηση των σωματιδίων παρακολουθείται από μικροσκόπιο. Αλλάζοντας τη συγκέντρωση του διαλύματος, αλλάζει και η συνολική μαγνητική ευαισθησία. Όταν τα σωματίδια σταματήσουν να κινούνται σημαίνει πως η μαγνητική ευαισθησία του διαλύματος είναι ίδια με τη μαγνητική ευαισθησία των σωματιδίων. Η τιμή της μπορεί να υπολογιστεί από τη μοριακή συγκέντρωση του άλατος και τη μαγνητική μοριακή ευαισθησία. Αυτή η μέθοδος είναι πάρα πολύ απλή και δεν χρειάζεται ειδικό εξοπλισμό ή βαθμονομημένα όργανα.

Μέθοδος διάταξης με βαθμονομημένο μαγνήτη

Αυτή η μέθοδος είναι πιο δύσκολη. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον στο οποίο όλα τα μεγέθη της σχέσης (4) είναι με κάποιο τρόπο γνωστά και η σχέση να λυθεί ως προς χ . Πρακτικά, κατασκευάζεται ένα κανάλι μέσα στο οποίο θα κινηθεί το σωματίδιο υπό την επίδραση γνωστού μαγνητικού πεδίου. Το σωματίδιο παρακολουθείται με τη χρήση μικροσκοπίου και η κίνησή του καταγράφεται. Εάν ο μαγνήτης είναι βαθμονομημένος και δεν ασκούνται άλλες δυνάμεις στο σωματίδιο, τότε υπολογίζοντας την ταχύτητά του από την εικόνα του μικροσκοπίου, μπορεί να βρεθεί η τιμή του χ . Αυτή η μέθοδος προτιμάται από ερευνητές γιατί είναι γρήγορη (εάν αυτοματοποιηθεί), μπορεί να πάρει ξεχωριστή μέτρηση για κάθε ένα σφαιρίδιο (οπότε ενδείκνυται για ποιοτικό έλεγχο) και δεν επηρεάζει χημικά το σφαιρίδιο, γιατί το μέσο μπορεί να είναι απλά νερό, σε αντίθεση με την πρώτη μέθοδο που παρουσιάστηκε.

Η μέθοδος που επιλέξαμε εμείς είναι η δεύτερη, κυρίως επειδή δεν καταφέραμε να βρούμε παραμαγνητικό άλας. Παρακάτω παρουσιάζεται η πρόταση για ένα πείραμα στη λογική της δεύτερης μεθόδου για τον προσδιορισμό του χ .

Πειραματική διάταξη

Έστω μια πλάκα από βοροπυρίτιο (ή άλλο διαφανές γεωμετρικά σταθερό υλικό χωρίς μαγνητικές ιδιότητες) με ένα ημικυκλικό κανάλι σκαλισμένο στην πάνω πλευρά της. Το κανάλι θα έχει μήκος $A + 2r$ όπου A το μήκος του καναλιού και r η καμπυλότητα στις άκρες του. Εάν το κανάλι κατασκευαστεί με μέθοδο φωτολιθογραφίας η καμπυλότητα μπορεί να λείπει. Επειδή δεν διαθέτουμε τέτοιο εξοπλισμό και η κατασκευή γίνεται σε CNC φρέζα με μικροκονδύλι, αναγκαστικά υπάρχει η καμπυλότητα.

Το κανάλι έπειτα γεμίζει με κάποιο μέσο (νευτώνειο) γνωστού ιξώδους και πυκνότητας χωρίς μαγνητικές ιδιότητες και εντός του τοποθετούνται τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια με τη χρήση πιπέτας. Εκατέρωθεν κατά μήκος του καναλιού βρίσκονται θέσεις για μαγνήτες γνωστής γεωμετρίας και μαγνητικών ιδιοτήτων. Το ένα άκρο του καναλιού τοποθετείται κάτω από το σημείο εστίασης του μικροσκοπίου. Στο άλλο άκρο του καναλιού τοποθετείται ένας μαγνήτης ο οποίος δεν χρειάζεται να είναι βαθμονομημένος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση των σφαιριδίων σε αυτό το σημείο. Έπειτα ο μαγνήτης αυτός απομακρύνεται και ο βαθμονομημένος μαγνήτης τοποθετείται στο άλλο άκρο, ή, αν είναι ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιείται. Τα σωματίδια θα αρχίσουν να κινούνται επιταχυνόμενα προς το άκρο του βαθμονομημένου μαγνήτη. Σημειώνεται εδώ πως η επιτάχυνση αυτή δεν οφείλεται σε όρο αδράνειας, αλλά στο ότι το σωματίδιο πλησιάζει το μαγνήτη και η ένταση του μαγνητικού πεδίου διαρκώς αυξάνει. Ο όρος αδράνειας εξακολουθεί να είναι πολύ μικρός. Ο μέσος χρόνος που κάνει το σωματίδιο να φτάσει από το ένα άκρο στο άλλο (ο προσορισμός του παρακολουθείται από μικροσκόπιο), μας δίνει τελικά με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία την τιμή της μαγνητικής ευαισθησίας.

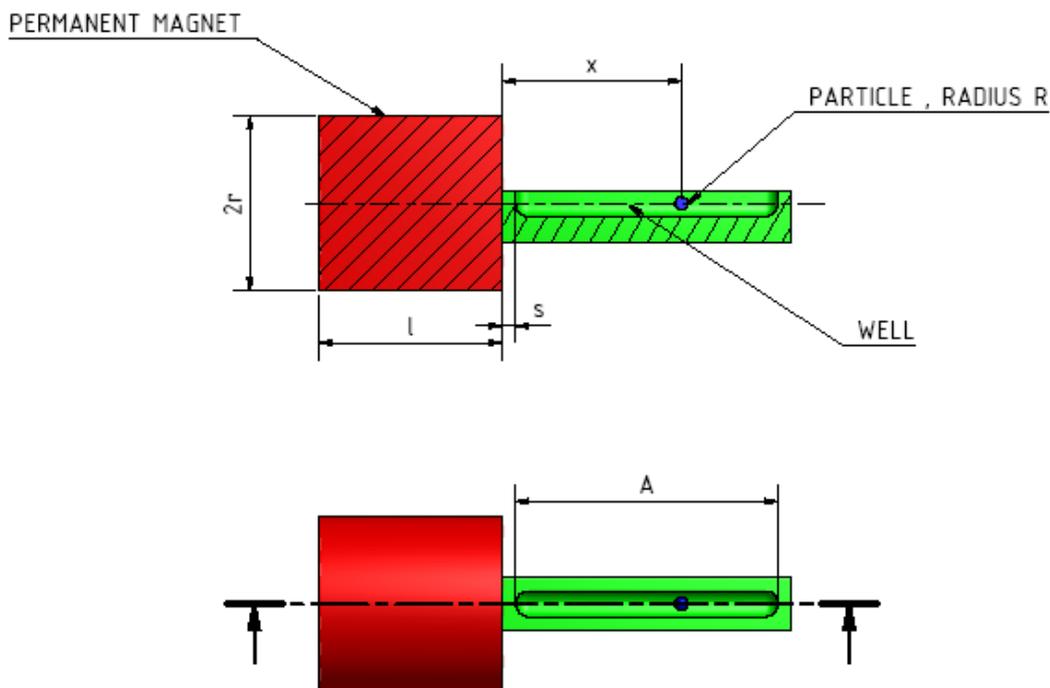
Αναμενόμενα σφάλματα και λύσεις

| Σφάλμα | Λύση |
|---|---|
| Ηλεκτροστατικές και άλλες δυνάμεις επηρεάζουν την τροχιά του σωματιδίου | Γενικά οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι αρκετά μικρότερες από τις μαγνητικές αλλά αν η αρχική απόσταση των σφαιριδίων είναι πολύ μεγάλη, όλες οι δευτερεύουσες δυνάμεις θα επηρεάζουν πολύ την κίνηση του σωματιδίου. Επειδή δεν έχουμε εκτίμηση για την τιμή του χ , πρέπει να κατασκευαστούν κανάλια με διάφορα μήκη ώστε τελικά να επιλεγθεί το κατάλληλο για χρήση σε πείραμα. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση που θα διανύσει το σφαιρίδιο και όσο πιο κοντά θα είναι στον μαγνήτη, τόσο λιγότερο θα επηρεάζεται από άλλες δυνάμεις, όμως τόσο πιο δύσκολη θα είναι η μέτρηση του χρόνου. |

| | |
|--|---|
| Τα σφαιρίδια επιπλέουν, τριχοειδή φαινόμενα | Για να είναι αξιόπιστη η μέτρηση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο τα σφαιρίδια που ταξιδεύουν στο κέντρο του καναλιού, ανεπηρέαστα από τις επιφάνειες του καναλιού και από την επιφάνεια του ρευστού. Αυτό είναι εφικτό εάν το κανάλι έχει ένα ικανοποιητικό βάθος (>0.2 mm) ώστε να μπορεί να γίνει εστίαση μόνο στο κέντρο του καναλιού. Όλα τα υπόλοιπα σφαιρίδια δεν θα είναι ορατά κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. |
| Δυνάμεις τριβής με τα τοιχώματα του καναλιού επηρεάζουν την τροχιά του σωματιδίου | Η διάταξη πρέπει να έχει υποδοχή για τον μαγνήτη που θα εγγυάται την σωστή ευθυγράμμιση του με το κανάλι. Προτείνεται, αφού ενδέχεται να χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν αρκετοί μαγνήτες (πιο ασθενείς ή ισχυροί ή με άλλο σχήμα ανάλογα με τα αποτελέσματα που θα ληφθούν στις πρώτες μετρήσεις), η υποδοχή του μαγνήτη να είναι ένθετη στην πλάκα με τα κανάλια ώστε να μην χρειάζεται να κατασκευαστεί νέα πλάκα για κάθε νέο μαγνήτη. |
| Κακή ευθυγράμμιση του μαγνήτη με το κανάλι | Γενικά τα μέρη των μικροσκοπίων είναι από αλουμίνιο, αλλά συνηθίζεται οι κανόνες μέτρησης και ευθυγράμμισης να είναι από χάλυβα. Προτείνεται η απομάκρυνση αυτών των μερών. |
| Δευτερεύοντα μαγνητικά πεδία από παραμαγνητικά υλικά (πχ από κομμάτια του μικροσκοπίου) επηρεάζουν την τροχιά του σωματιδίου | Ο μαγνήτης πρέπει να είναι κατά το δυνατόν γνωστών ιδιοτήτων. |
| Κακή βαθμονόμηση του μαγνήτη | Πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση που διανύουν τα σωματίδια στο εστιακό βάθος που έχουμε επιλέξει. |
| Κακή εκτίμηση της απόστασης που έχει διανύσει το σωματίδιο | Ίδανικά, το κανάλι πρέπει να κατασκευαστεί με μέθοδο φωτολιθογραφίας. Εάν κατασκευαστεί με μηχανουργική μέθοδο, θα υπάρχουν ίχνη κατεργασίας στις επιφάνειες και τα σφαιρίδια δεν θα είναι ευδιάκριτα. Εάν ωστόσο δεν υπάρχει άλλος τρόπος, μπορεί να γίνει μετά θερμική λείανση, που θα έχει όμως ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του καναλιού συνολικά, ή να χρησιμοποιηθούν οι φθορίζουσες ιδιότητες των σφαιριδίων, δηλαδή να διεγείρουμε τα σφαιρίδια με κατάλληλη λάμπα ενώ κινούνται, και να παρακολουθούμε το ίχνος τους και όχι την εικόνα τους. |
| Κακή ορατότητα λόγω του ίχνους κατεργασίας | Τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια έχουν την τάση να σχηματίζουν συσσωματώματα που απαιτούν ανάδευση για να διαλυθούν. Αφού εδώ δεν μπορεί να γίνει ανάδευση, όσα σφαιρίδια έχουν τέτοιο σχηματισμό δεν λαμβάνονται υπόψη. |
| Σχηματισμός συσσωματώματος σφαιριδίων | |

Εναλλακτικός τρόπος διεξαγωγής του πειράματος είναι η μέτρηση της ταχύτητας του σφαιριδίου με βιντεοσκόπηση της πορείας του. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πως μετράμε άμεσα το ζητούμενο μέγεθος και με πολύ καλή ακρίβεια σε σχέση με την άλλη μέθοδο. Το μειονέκτημα είναι πως ποτέ δεν μπορούμε να ξέρουμε ακριβώς σε πιο σημείο του καναλιού έχουμε εστιάσει. Εάν ωστόσο τα κανάλια κατασκευαστούν με μέθοδο λιθογραφίας, είναι αρκετά πιο εύκολο να γίνουν σημάδια πάνω τους, τα οποία να ορίζουν την τοπολογία τους και άρα αυτή η μέθοδος ενδείκνυται. Στο τελικό σχέδιο ενσωματώνεται και μια αλληλουχία μικρών καναλιών για να γίνουν και τέτοιες δοκιμές.

Σχηματική αναπαράσταση:



Ο μόνιμος μαγνήτης (NdFeBN52) έλκει το σωματίδιο άγνωστης μαγνητικής ευαισθησίας, το οποίο βρίσκεται εντός μέσου γνωστών ιδιοτήτων. Υποθέτοντας πως η κεντρική μαγνητική γραμμή είναι συγγραμμική με το κέντρο του καναλιού και άρα την πορεία του σωματιδίου, και αγνοώντας όλες τις υπόλοιπες δυνάμεις εκτός από την μαγνητική και την οπισθέλκουσα, υπάρχει τρόπος προσδιορισμού με αναλυτικό τρόπο των σχέσεων που περιγράφουν αυτή την κίνηση.

Ο υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου ενός κυλινδρικού μαγνήτη γνωστών χαρακτηριστικών κατά μήκος του κεντρικού άξονά του και σε δεδομένη απόσταση από την πλευρά του δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από την παρακάτω σχέση:

$$B = \frac{Br}{2} \left[\left(\frac{L+x}{\sqrt{r^2 + (L+x)^2}} \right) - \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} \right]$$

Όπου Br η παραμένουσα πυκνότητα πεδίου σε mT, B η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση x από τον πλησιέστερο πόλο και τα υπόλοιπα είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης όπως εμφανίζονται στα παραπάνω σχήμα.

Η κλίση του πεδίου τώρα υπολογίζεται κατά τον άξονα x :

$$\nabla_x B = \frac{Br}{2} \left[[(l+x)^2 + r^2]^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2}} + \frac{x^2}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{(2l+2x)(l+x)}{2[(l+x)^2 + r^2]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

Έτσι λαμβάνουμε:

$$\nabla B^2 = \left(\frac{Br}{2} \right)^2 \left[\left(\frac{L+x}{\sqrt{r^2 + (L+x)^2}} \right) - \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} \right] \left[[(l+x)^2 + r^2]^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2}} + \frac{x^2}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{(2l+2x)(l+x)}{2[(l+x)^2 + r^2]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

Η παραπάνω σχέση είναι τώρα μια συνάρτηση του x καθώς όλα τα υπόλοιπα μεγέθη είναι γνωστά. Ας είναι : $\nabla B^2 \equiv g(x)$

Επιστρέφοντας τώρα στο νόμο του Νεύτωνα:

$$\frac{V\chi}{2\mu_0} \nabla B^2 = 6\pi\eta R u_p \Leftrightarrow$$

$$\frac{V\chi}{2\mu_0} g(x) = 6\pi\eta R u_p \Leftrightarrow$$

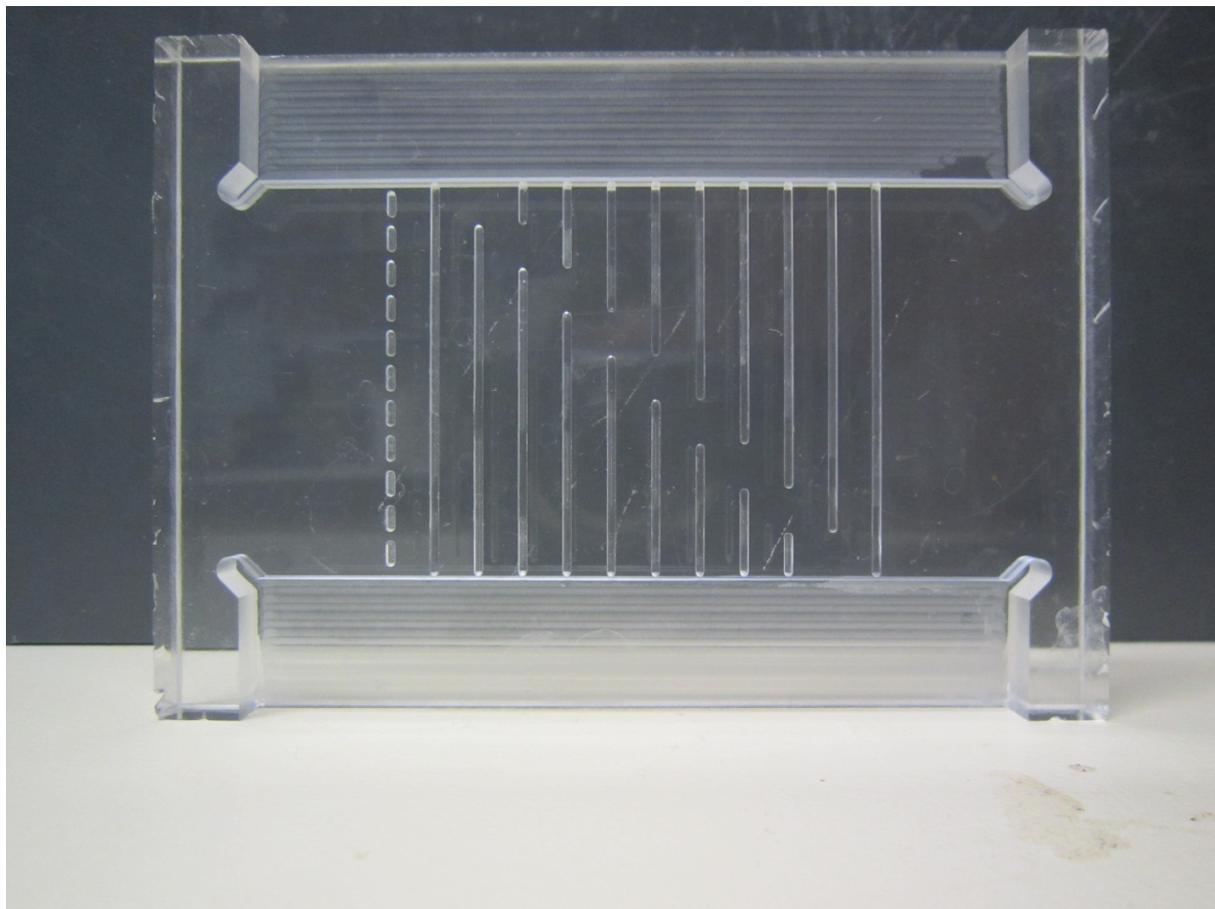
$$\frac{V\chi}{2\mu_0} g(x) = 6\pi\eta R \frac{dx}{dt} \Leftrightarrow$$

$$\frac{V\chi}{2\mu_0 6\pi\eta R} t = \int_{x_{start}}^{x_{end}} \frac{1}{g(x)} dx \Leftrightarrow$$

$$\chi = \frac{\int_{x_{start}}^{x_{end}} \frac{1}{g(x)} dx}{\frac{Vt}{2\mu_0 6\pi\eta R}} \text{ (s)}$$

...όπου x_{start} και x_{end} αρχική και η τελική θέση του σωματιδίου και το χρόνος που χρειάστηκε για να διανύσει αυτή την απόσταση.

Κατασκευή



Παραπάνω παρουσιάζεται η κατασκευή των καναλιών για τη διεξαγωγή των πειραμάτων που αναλύθηκαν προηγουμένως. Η κατασκευή περιλαμβάνει 18 αυλάκια διαφορετικού μήκους για την επιλογή του καταλληλότερου ανάλογα με τον μαγνήτη που χρησιμοποιούμε και μία σειρά με αυλάκια μικρού μήκους για την διεξαγωγή του πειράματος με μέτρηση ταχύτητας απευθείας. Η κατασκευή έγινε με φρέζα CNC και κοπή laser. Οι δύο θήκες εκατέρωθεν των καναλιών είναι υποδοχές για αντάπτορες μαγνητών. Μέχρι στιγμής έχουν κατασκευαστεί αντάπτορες για κυλινδρικούς μαγνήτες διαμέτρου 3mm και για ορθογωνικούς μαγνήτες ύψους 7 mm.

5. Προδιαγραφές Και Προκαταρκτικός Σχεδιασμός

Γενικά

Στο ξεκίνημα της παρούσας μελέτης έγινε έρευνα αγοράς και εξετάστηκαν οι διάφορες τεχνολογίες που αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούνται από ερευνητικά κέντρα και εργαστήρια βιοτεχνολογίας. Κατόπιν καθορίστηκαν οι προδιαγραφές του πρωτοτύπου και προτάθηκαν λύσεις σε επίπεδο προκαταρκτικού σχεδιασμού για τα βασικά υποσυστήματα και τη δομή της πλατφόρμας.

Υπάρχουσες λύσεις

Η τεχνολογία των μαγνητικών μικροσφαιριδίων βρίσκουν εφαρμογή στην μάκρο και στη μικροκλίμακα (microassays). Εμείς δραστηριοποιούμαστε έως τώρα στην μακροκλίμακα, στην οποία επικρατεί η χρήση μηχανημάτων που δεν είναι εξειδικευμένα για αυτή την εφαρμογή, αλλά είναι πλατφόρμες διαχείρισης υγρών γενικής χρήσης, οι οποίες εάν συνδυαστούν με modulesπαγίδευσης μικροσφαιριδίων, μπορούν να πραγματοποιήσουν πρωτόκολλα προετοιμασίας δειγμάτων με αυτόματο τρόπο. Οι πλατφόρμες αυτές είναι κυρίως καρτεσιανά ρομπότ που φέρουν συστήματα διαχείρισης υγρών (pipettors). Το πλέον διαδεδομένο είναι το **FreedomEvo**[®] της εταιρίας **Tecan**groupLtd. Παρότι υπάρχουν αρκετά άλλα συστήματα με τον ίδιο τρόπο λειτουργίας, αυτό είναι το πιο δημοφιλές:

| FreedomEvo [®] | |
|--|--|
| <p>Η τεχνολογία της Tecan βασίζεται σε μια πλατφόρμα με 3 βαθμούς ελευθερίας (ΧΖή ΥΖ). Κατασκευάζεται σε 4 εκδόσεις, Από 75 έως 200cm μήκος πλατφόρμας, και φέρει,στη βασική της έκδοση, 8 ανεξάρτητες κεφαλές πιπετών που συνδέονται με εμβολοφόρες αντλίες και βαλβίδες. Οι κεφαλές αυτές μπορούν να διαταχθούν σε αποστάσεις που εξυπηρετούν 2-4-8-96-384 πλάκες. Πλέον της βασικής έκδοσης, ο χρήστης μπορεί να διαλέξει ανάμεσα σε μιαμεγάλη γκάμα βοηθητικών συστημάτων,όπως αναδευτήρες, incubators, φυγοκεντριστές, συστήματα πλύσης, συστήματα υπερήχων, συστήματα αυτοματοποίησης και συστήματα παγίδευσης μικροσφαιριδίων. Γενικά, πρόκειται για μία πλατφόρμα υψηλών προδιαγραφών που χρησιμοποιείται ευρύτατα από εργαστήρια βιοτεχνολογίας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα όσον αφορά τη χρήση της για την δική μας εφαρμογή.</p> |  |

| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Πλατφόρμα γενικής χρήσης, εύκολα προσαρμόζεται σε καινούριες ανάγκες ✓ Δυνατότητα περαιτέρω αυτοματοποίησης με χρήση barcode readers και αυτόματης αποθήκευσης και ανάκτησης πλακών ✓ Ακρίβεια κινήσεων, αξιοπιστία υποσυστημάτων | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Πολύ υψηλό κόστος αγοράς της πλατφόρμας. Επίσης υψηλό κόστος για κάθε επιπλέον υποσύστημα που απαιτείται ✓ Τα αναλώσιμα της συσκευής τα παράγει η ίδια εταιρία που παράγει την πλατφόρμα με αρκετά υψηλό κόστος αγοράς ✓ Από συνομιλίες με βιολόγους προέκυψε ότι θεωρείται απαραίτητη η πρόσληψη ενός τεχνικού που θα ασχολείται αποκλειστικά με τον προγραμματισμό, τον χειρισμό και τη συντήρηση του EVO, ειδικά στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται πολλά υποσυστήματα και περίπλοκα πρωτόκολλα ✓ Μεγάλο footprint (1-1.5-2x0.87x0.78m) και επιπλέον χώρος για κάποια υποσυστήματα ✓ Συμβατικές μέθοδοι παγίδευσης σφαιριδίων στα υποσυστήματα |

Παρότι το EVO είναι ένα πλήρως αυτοματοποιημένο, αξιόπιστο σύστημα, μιμείται τις διαδικασίες που εκτελεί ένας τεχνικός εργαστηρίου και χρησιμοποιεί υποσυστήματα που για τη δική μας εφαρμογή είναι παρωχημένα. Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα δαπανηρό και στην αγορά του αλλά και στη χρήση του και δεν είναι συμβατό με άλλες τεχνολογίες. Η ικανότητά του να προσαρμόζεται σε πολύ διαφορετικά προβλήματα και πρωτόκολλα ανεβάζει το κόστος του αλλά και την πολυπλοκότητά του, ενώ αυτή η προσαρμοστικότητα δεν είναι επιθυμητή στην περίπτωση που εκτελείται μόνο ένας τύπος πειράματος. Θεωρούμε ότι τα πειράματα ELISA αποτελούν ένα αρκετά μεγάλο υποσύνολο των πειραμάτων που πραγματοποιούνται σε εργαστήρια βιοτεχνολογίας, και θα είχε νόημα η κατασκευή μιας πλατφόρμας που να εκτελεί αυτά μόνο τα πειράματα και μπορεί να βελτιστοποιηθεί με κριτήριο αυτή και μόνο τη χρήση.

Όσον αφορά στο σύστημα παγίδευσης μικροσφαιριδίων, υπάρχει μία επικρατούσα τεχνολογία και μία λιγότερο γνωστή. Η πρώτη περιλαμβάνει μια βάση για την 96άρα πλάκα που από κάτω έχει μόνιμους μαγνήτες με τη δυνατότητα να απομακρύνονται και να επαναφέρονται για παγίδευση και απελευθέρωση. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο μπορεί να προορίζονται για μη αυτόματη ή αυτόματη χρήση. Η δεύτερη περιλαμβάνει προβολικούς κυλινδρικούς μαγνήτες με πλαστικές θήκες που εμβαπτίζονται στα δείγματα.

V&P Scientific® VP771

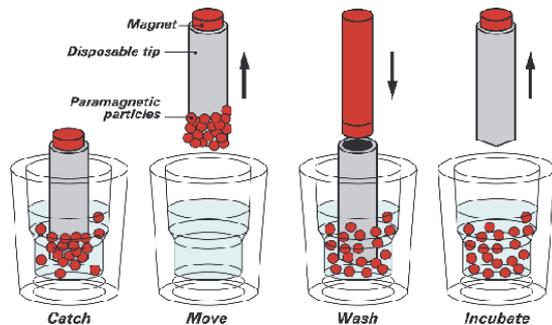
Η μαγνητική βάση που παρουσιάζεται στα δεξιά είναι μια από τις πολλές που κυκλοφορούν με την ίδια αρχή λειτουργίας. Η βάση φέρει μόνιμους μαγνήτες και υποδοχή για 96άρα πλάκα. Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα στην πλάκα μαζί με τα μαγνητικά μικροσφαιρίδια και η πλάκα, όταν πρέπει να γίνει διαχωρισμός των σωματιδίων, τοποθετείται πάνω στη βάση. Τα σφαιρίδια κολλάνε στη βάση της πλάκας και γίνεται αναρρόφηση του υγρού που περισσεύει. Επίσης μπορεί να γίνει πλύση των σφαιριδίων μέσα σε washer. Τελικά, αφήνουμε μια μικρή ποσότητα υγρού στον πυθμένα των wells, απομακρύνουμε την πλάκα και κάνουμε αναρρόφηση των σφαιριδίων.



| <i>Πλεονεκτήματα</i> | <i>Μειονεκτήματα</i> |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Χαμηλό κόστος ✓ Συμβατότητα με τις περισσότερες πλατφόρμες | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Μη αξιόπιστη μέθοδος ✓ Για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας χρειάζεται μια μεγαλύτερη πλατφόρμα τύπου Tecan |

kingfisher® 96 magnetic particle processor

Αυτή η συσκευή έχει διαφορετική αρχή λειτουργίας από τις υπόλοιπες, η οποία φαίνεται στην κάτω δεξιά εικόνα. Οι μαγνήτες βρίσκονται μέσα σε θήκες και εμβαπτίζονται στο δείγμα. Τα μικροσφαιρίδια κολλάνε πάνω στο μαγνήτη και μεταφέρονται από πλάκα σε πλάκα. Όταν θέλουμε να απελευθερώσουμε τα σφαιρίδια, βγάζουμε τον μαγνήτη από τη θήκη ενώ η θήκη είναι μέσα στο διάλυμα.



| <i>Πλεονεκτήματα</i> | <i>Μειονεκτήματα</i> |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Απλός σχεδιασμός και αρχή λειτουργίας ✓ Χαμηλό κόστος ✓ Αξιόπιστη λειτουργία | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Μικρές δυνατότητες αυτοματοποίησης ✓ Ακριβά αναλώσιμα που παράγονται από την εταιρία κατασκευής της πλατφόρμας ✓ Η μέθοδος πλύσης δεν είναι αρκετά αξιόπιστη |

Power Washer™ 384

Αυτή είναι μια κλασική συσκευή πλύσης μικροσφαιριδίων. Την κατασκευάζει η εταιρία Tecan, η ίδια δηλαδή [που κατασκευάζει το FreedomEvo. Η διαδικασία είναι η εξής: σε κάθε βοθρίο βυθίζονται 2 βελόνες. Η μία απελευθερώνει υγρό πλύσης και η άλλη αναρροφά υγρό πλύσης. Εάν τα σφαιρίδια είναι μαγνητικά τότε τοποθετούνται σε βάση με μαγνήτες και γίνεται συγκράτηση κατ' αυτόν τον τρόπο, εάν δεν είναι μαγνητικά τοποθετούνται σε βάση με φίλτρα και αντλία κενού.



| <i>Πλεονεκτήματα</i> | <i>Μειονεκτήματα</i> |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">✓ Δοκιμασμένη τεχνολογία, έχει εξελιχθεί και βελτιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό✓ Είναι συμβατή με πολλές πλατφόρμες διαχείρισης υγρών✓ Υπάρχει μεγάλη γκάμα προϊόντων που εξυπηρετεί αυτή την τεχνολογία, έχει επικρατήσει στην αγορά | <ul style="list-style-type: none">✓ Είναι stand-alone συσκευή, ένα extra μηχάνημα με αρκετά υψηλό κόστος που πρέπει να αγοραστεί✓ Τα σφαιρίδια πρέπει να μπουν σε ειδική πλάκα βοθρίων με πολύ λεπτό πάτο ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απόστασή τους από τους μαγνήτες. Η πλάκα αυτή είναι αναλώσιμη και πρέπει να αγοραστεί. Επιπλέον, κάθε φορά που μεταφέρουμε σφαιρίδια από μία πλάκα σε άλλη χάνουμε ένα ποσοστό λόγω του όγκου υγρού που δεν καταφέρνουμε να αναρροφήσουμε✓ Τυπικό ποσοστό απωλειών 20% |

Προδιαγραφές

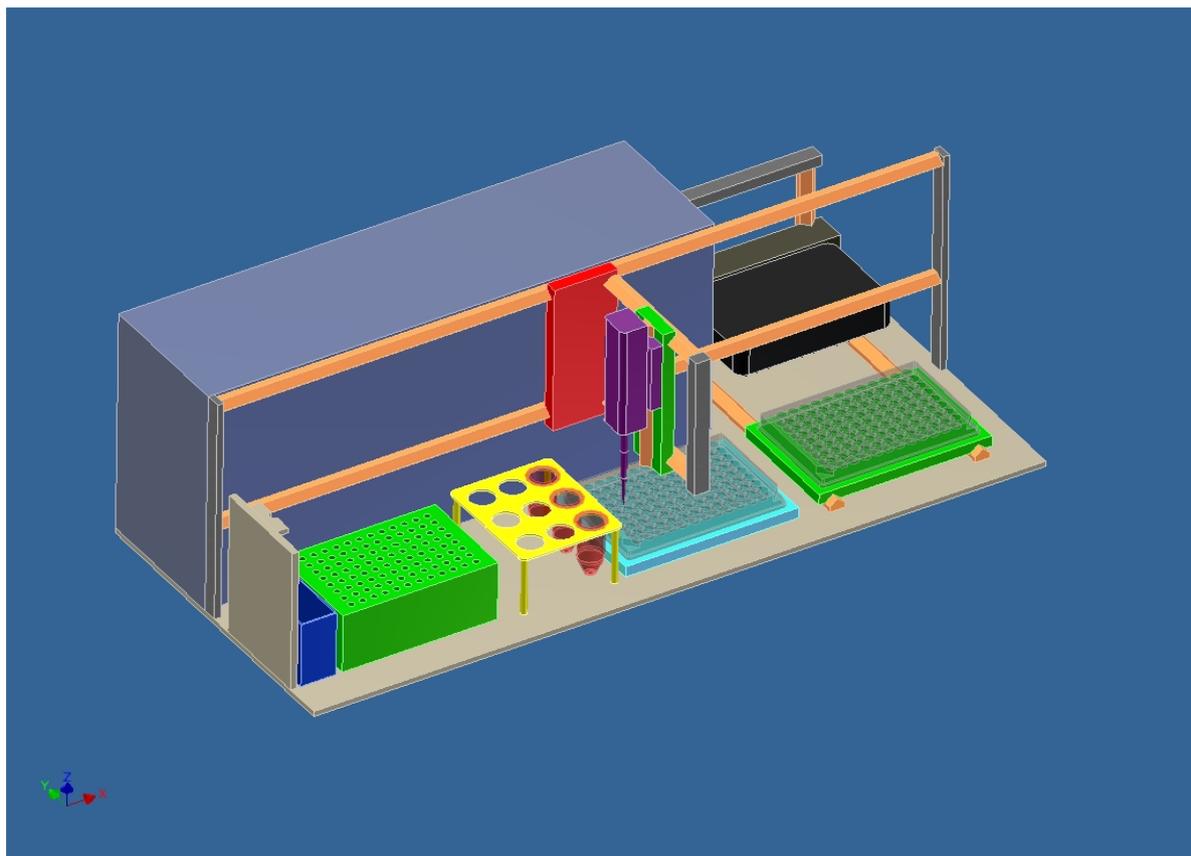
Με βάση τις ελλείψεις και τα μειονεκτήματα των προηγούμενων συσκευών, καταρτίσαμε μια λίστα προδιαγραφών για μια πλατφόρμα που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε εξοπλισμό ενός εργαστηρίου που διεξάγει πειράματα ELISA πρωτεομικής.

- ✓ Δυνατότητα διεξαγωγής πρωτοκόλλων ELISA για προετοιμασία δειγμάτων σε standard 96άρες πλάκες
- ✓ Η πλατφόρμα πρέπει να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και να προετοιμάζει δείγματα χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση
- ✓ Η πλατφόρμα πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί τουλάχιστον 3 πλάκες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και 2 πλάκες σε θερμοκρασία συντήρησης ($2\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Η πλατφόρμα πρέπει να έχει αυτόματο σύστημα παγίδευσης και απελευθέρωσης σφαιριδίων με αποδεκτό ποσοστό παγίδευσης (98%)
- ✓ Πρέπει να χρησιμοποιεί τυποποιημένα και ευρέως διαδεδομένα αναλώσιμα ή/και αναλώσιμα που μπορούν να παραχθούν μαζικά από εμάς
- ✓ Πρέπει να μπορεί να διεξάγει πρωτόκολλα πλύσης με αποδεκτό ποσοστό απωλειών σφαιριδίων (2%)
- ✓ Πρέπει να μπορεί να τοποθετηθεί σε πάγκο εργασίας εργαστηρίου και να καταλαμβάνει το χώρο ενός μεγάλου πύργου Η/Υ
- ✓ Πρέπει να μπορεί να λειτουργεί συνδεδεμένη με Η/Υ αλλά και αυτόνομα αποθηκεύοντας προγράμματα
- ✓ Πρέπει να είναι οικονομικά προσβάσιμη από τον μέσο χρήστη

Προκαταρκτικός σχεδιασμός

Με βάση τις παραπάνω προδιαγραφές έγινε ο προκαταρκτικός σχεδιασμός της πλατφόρμας. Προτάθηκαν 2 λύσεις οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

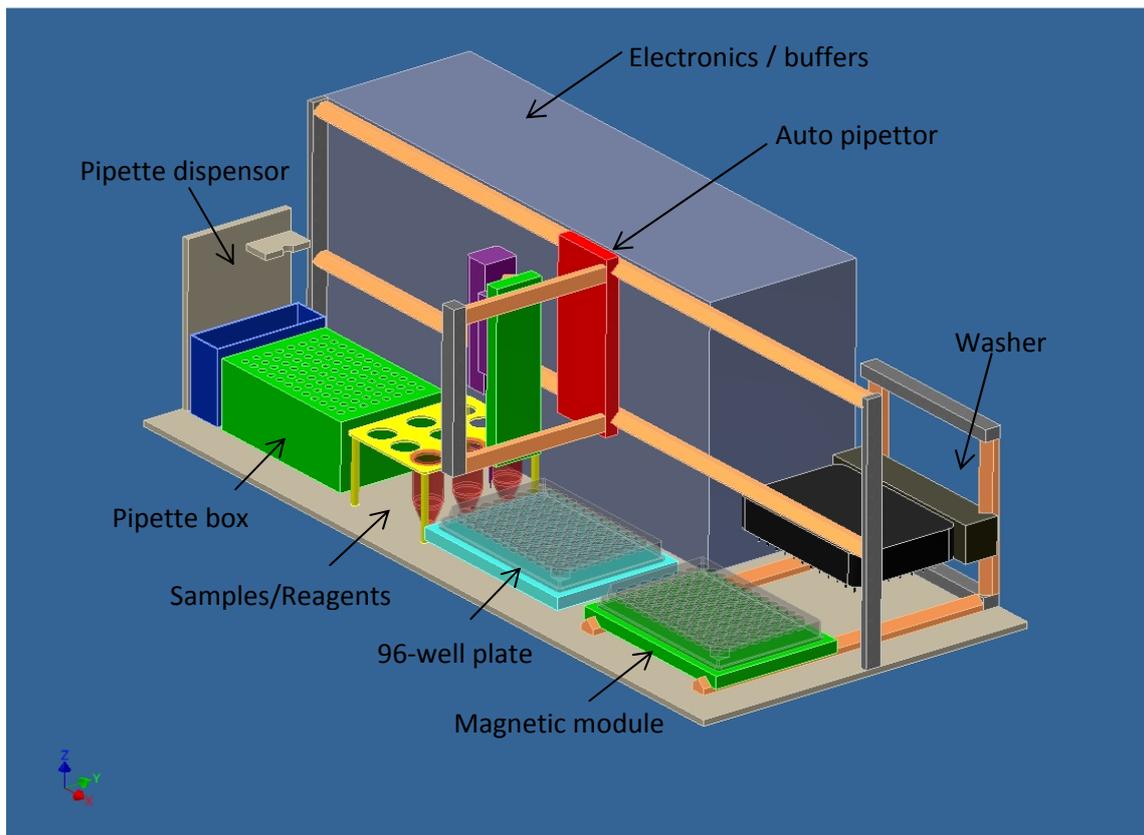
1^η Λύση: Κλασικό setup, προσαρμογή στο πρόβλημα



Εικόνα 1

Περιγραφή

Σε αυτή την πρώτη λύση χρησιμοποιούμε μια κλασική διάταξη ρομποτικών συστημάτων XYZ, όπως το Tecan προσαρμοσμένη όμως στο δικό μας πρόβλημα. Η βασική ιδέα είναι πως τα plates τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στην βάση της πλατφόρμας και μια αυτόματη πιπέτα με 3 βαθμούς ελευθερίας είναι υπεύθυνη για την διακίνηση των υγρών. Η πλατφόρμα είναι εξοπλισμένη με σύστημα πλύσης και σύστημα συγκράτησης των μαγνητικών σφαιριδίων. Η αυτόματη κεφαλή αλλάζει μόνη της tips και λειτουργεί και ως autosampler (τα δείγματα αρχικά βρίσκονται σε δοχεία και η κατανομή τους στα wells γίνεται από την κεφαλή). Το μέγεθος της πλατφόρμας καθορίζεται από τον αριθμό των πλακών που θέλουμε να χωράνε πάνω της (βάσει προδιαγραφών είναι πέντε). Η συγκράτηση των σφαιριδίων γίνεται από συστοιχία μόνιμων μαγνητών οι οποίοι απομακρύνονται με αυτόματο τρόπο όταν επιθυμούμε την απελευθέρωση των πρώτων.

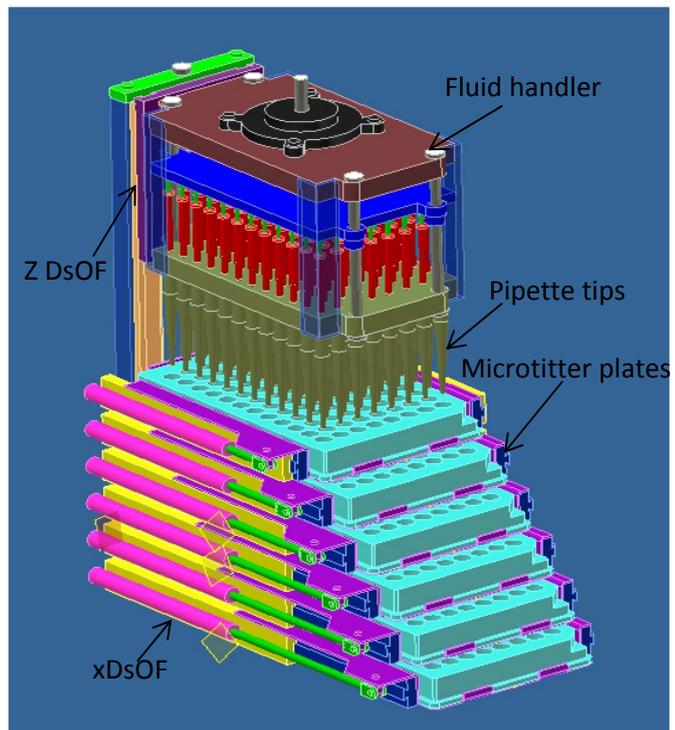


Εικόνα 2

| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Είναι μια δοκιμασμένη λύση και μπορεί κανείς να αποφύγει χρονοβόρες και πολυέξοδες δοκιμές με το να μελετήσει ήδη υπάρχουσες συσκευές. ✓ Είναι οικονομική λύση. Παρότι οι συγγενικές της συσκευές κοστολογούνται πάνω από \$ 100k, είναι εφικτή μια τέτοια κατασκευή με το 1/20 της τιμής αυτής. ✓ Λειτουργεί και ως autosampler που σημαίνει ότι καλύπτει μια επιπλέον ανάγκη του εργαστηρίου και επιταχύνει και την διαδικασία τοποθέτησης των δειγμάτων ✓ Είναι συμβατή και με άλλου μεγέθους πλάκες (μέχρι και 384 wells) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Με τη χρήση μόνο μίας πιπέτας καθυστερεί αρκετά η διενέργεια των πειραμάτων ✓ Έχει αρκετά από τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αφού προσαρμόζεται μεν στο δικό μας πείραμα, αλλά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί είναι ακριβώς οι ίδιες ✓ Δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη η αυτόματη απομάκρυνση των μόνιμων μαγνητών ✓ Δεν εισάγει κάτι καινοτομικό στην όλη διαδικασία. ✓ Είναι αρκετά ογκώδης με πολύ νεκρό χώρο. ✓ Έχει πολλές κινήσεις (XYZ, μαγνητικό module, washer, μονάδες ψύξης). Αυτό σημαίνει πολλοί κινητήρες, πολλά ηλεκτρονικά, πολλοί αισθητήρες |

2^η λύση: Κάθετο setup

Σε αυτή τη λύση οι βάσεις που φέρουν πλάκες με βοθρία είναι τοποθετημένες σε κάθετο setup, η μία κάτω από την άλλη. Οι πλάκες κινούνται ανεξάρτητα η μία από την άλλη κατά τον άξονα x. Στην κορυφή βρίσκεται κεφαλή με 96 πιπέτες που κινείται κατά τον άξονα z και είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση υγρών, την παγίδευση και την πλύση των σφαιριδίων. Οπότε η διαδικασία που θα ακολουθείται σε αυτό το setup είναι η κεφαλή να κινείται προς την πλάκα στην οποία πρέπει να γίνει κάποια διεργασία, και όλες οι υπόλοιπες πλάκες πάνω από αυτήν να βγαίνουν προς τα έξω για να περάσουν οι πιπέτες. Προφανώς, για να έχουμε 96 πιπέτες χρειάζονται και 96 έμβολα, τα οποία ωστόσο μπορούν να έχουν κοινή οδήγηση, δηλαδή η κίνησή τους να μην είναι ανεξάρτητη.



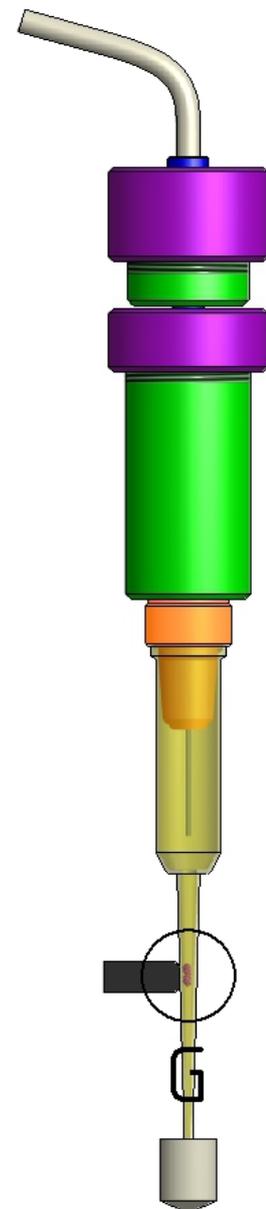
| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Καταλαμβάνει λιγότερο χώρο από οτιδήποτε άλλο έχει κατασκευαστεί μέχρι τώρα για την ίδια χρήση και έχει πάρα πολύ μικρό νεκρό χώρο ✓ Οι 96 πιπέτες που δουλεύουν ταυτόχρονα επιταχύνουν πολύ τις πειραματικές διαδικασίες, καθώς σε οποιοδήποτε άλλο setup, οι κεφαλές πρέπει να αλλάζουν πιπέτα κάθε φορά που κινούνται προς νέο βοθρίο, ώστε να μην υπάρχει ανάμιξη των δειγμάτων από κατάλοιπα ουσιών του προηγούμενου βοθρίου ✓ Η κινούμενη κεφαλή έχει μόνο έναν βαθμό ελευθερίας, κάτι που απλοποιεί αρκετά τη λογική της μηχανής αλλά και τον προγραμματισμό της ✓ Οι πλάκες που δεν χρησιμοποιούνται μία δεδομένη στιγμή από την κεφαλή είναι προσβάσιμες από τον χρήστη ή από ένα ρομποτικό μηχανισμό διαχείρισης. Αυτό είναι μεγάλο πλεονέκτημα καθώς ανεξαρτητοποιεί πλήρως τον χώρο πειραμάτων από τον χώρο αποθήκευσης και αφήνει περιθώρια για περαιτέρω αυτοματισμό | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Κάθε βάση που φέρει πλάκα με βοθρία πρέπει να μπορεί να κινείται κατά x. Εάν αυτό γίνει με ανεξάρτητα γραμμικά συστήματα θα έχει υψηλό κόστος και θα εισάγει πολυπλοκότητα στην κατασκευή ✓ Δεν είναι failsafe σύστημα, δηλαδή με λάθος προγραμματισμό η κεφαλή μπορεί να χτυπήσει πάνω σε μέρη της μηχανής ✓ Δεν είναι σαφής ο τρόπος πλύσης των βοθρίων και ο τρόπος παγίδευσης των σφαιριδίων |

Επιλογή λύσης

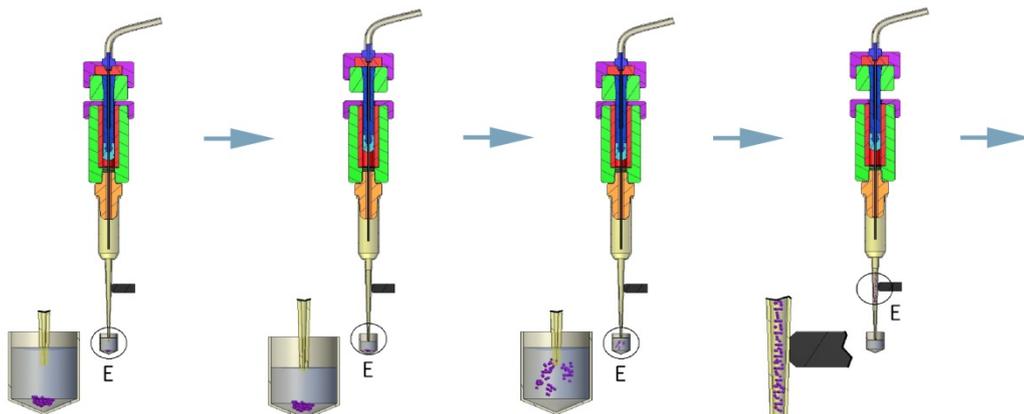
Αξιολογώντας τα παραπάνω αποφασίσαμε να προχωρήσουμε με τη δεύτερη λύση, δηλαδή το κά-
θετο setup, αφενός διότι τα πλεονεκτήματά της έχουν ιδιαίτερη βαρύτητα στον χώρο τον αυτομα-
τισμών βιοτεχνολογίας και αφετέρου γιατί τα μειονεκτήματά της φαίνεται να μην είναι άλυτα, αλλά
αντιθέτως να είναι πρόσφορο έδαφος για καινοτομικές λύσεις. Ωστόσο πριν γίνει λεπτομερής σχε-
διασμός, έπρεπε να λυθεί το βασικό πρόβλημα της τοποθέτησης του συστήματος πλύσης και παγί-
δευσης των σφαιριδίων.

Σύστημα πλύσης/παγίδευσης μαγνητικών μικροσφαιριδίων

Στα δεξιά φαίνεται ένα μοντέλο συστήματος διαχείρισης υ-
γρών/πλύσης/παγίδευσης μικροσφαιριδίων το οποίο σχεδιάστηκε για να
μελετηθεί ο τρόπος λειτουργίας της κεφαλής της πλατφόρμας. Παρότι
μελετήθηκαν όλες οι κλασικές μέθοδοι παγίδευσης και πλύσης που ακο-
λουθούν οι εταιρίες του χώρου, καμία δεν ήταν αρκετά συμβατή με τη
συσκευή μας και ικανοποιητική από πλευράς κόστους/λειτουργικότητας.
Για αυτό το λόγο σχεδιάστηκαν νέες μέθοδοι και για τις δύο λειτουργίες,
που, τουλάχιστον σε επίπεδο concept design, φαίνονται κομψές και απο-
δοτικές. Όσον αφορά στην παγίδευση των μικροσφαιριδίων, αποφασί-
σαμε να την κάνουμε μέσα στην πιπέτα με πλευρικό μαγνήτη, δηλαδή τα
μικροσφαιρίδια να αναρροφώνται από την κεφαλή και έπειτα να παγι-
δεύονται με τη χρήση ενός μόνιμου μαγνήτη που θα μπορεί να κινείται
με τρόπο ώστε να έχει δύο ακραίες θέσεις, μία για την παγίδευση και
μία για την απελευθέρωση των σφαιριδίων. Όσο για το σύστημα πλύσης
των σφαιριδίων, αποφασίσαμε επίσης να γίνει μέσα στην πιπέτα με
χρήση εσωτερικού καναλιού το οποίο θα χορηγεί διάλυμα πλύσης ακρι-
βώς πάνω από τη θέση παγίδευσης των σφαιριδίων. Λόγω του παγιδευ-
μένου αέρα εντός του εμβόλου, το διάλυμα θα κινείται μόνο προς τα
έξω, συμπαρασύροντας όλες τις ανεπιθύμητες ουσίες μαζί του. Οι πα-
ραπάνω λύσεις έχουν πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την
υπάρχουσα τεχνολογία αλλά και κάποια μειονεκτήματα τα οποία πα-
ρουσιάζονται στην αξιολόγηση της λύσης.



Τρόπος λειτουργίας μηχανισμού

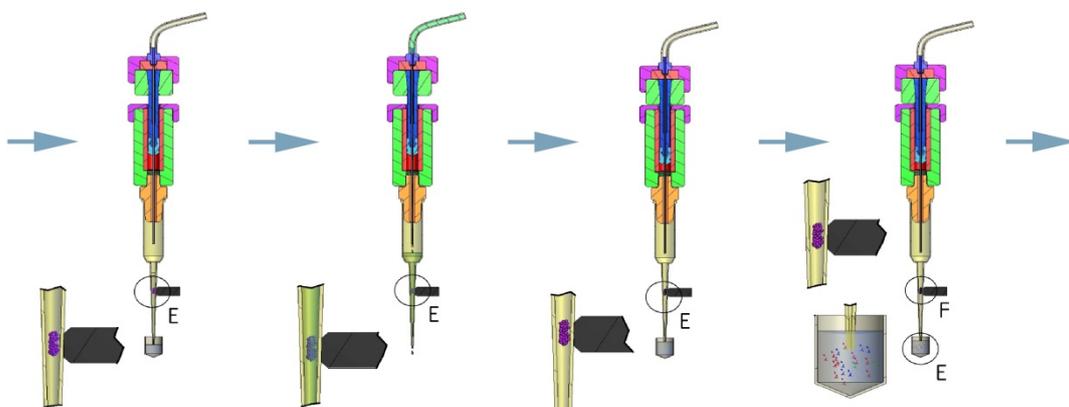


1

2

3

4

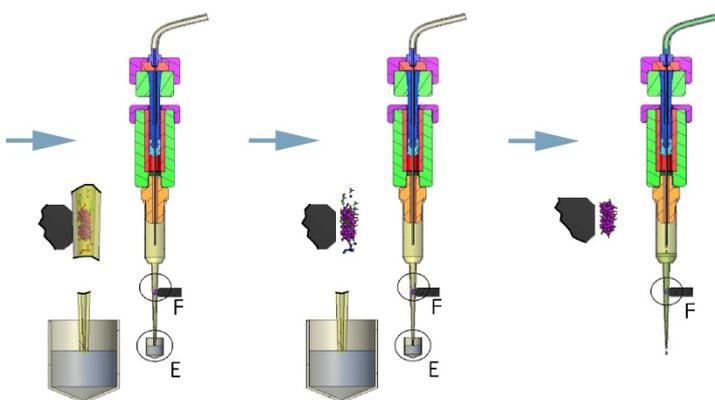


5

6

7

8



9

10

11

1. Η πιπέτα βυθίζεται στο διάλυμα μαγνητικών μικροσφαιριδίων
- 2/3.Γίνεται αναρρόφηση και απελευθέρωση του υγρού με υψηλή τιμή παροχής , όσες φορές χρειάζεται για τη δημιουργία εναιωρήματος μικροσφαιριδίων
- 4/5.Γίνεται αναρρόφηση του διαλύματος με χαμηλή τιμή παροχής και ενεργοποιείται ο μαγνήτης για την παγίδευση των μικροσφαιριδίων
- 6.Το εσωτερικό κανάλι ενεργοποιείται και χορηγείται διάλυμα πλύσης στα μικροσφαιρίδια για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ουσιών
- 7.Το διάλυμα πλύσης απομακρύνεται με τη χρήση του εμβόλου της κεφαλής. Στην πιπέτα παραμένουν μόνο τα μικροσφαιρίδια
- 8.Η πιπέτα βυθίζεται στο δείγμα
- 9/10.Γίνεται αναρρόφηση και απελευθέρωση του δείγματος, το αντιγόνο προσδένεται στους πρωτεϊνικούς υποδοχείς των μικροσφαιριδίων
- 11.Το εσωτερικό κανάλι ενεργοποιείται και γίνεται πλύση των μικροσφαιριδίων από ανεπιθύμητες ουσίες

Λεπτομέρειες λειτουργίας

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα μπορεί να πραγματοποιηθεί τελικά η προετοιμασία του δείγματος για ένα πρωτόκολλο ELISA.Το παραπάνω σύστημα δίνει και αρκετές εναλλακτικές οι οποίες πρέπει να αξιολογηθούν σε επίπεδο beta testing από βιολόγους, για παράδειγμα τα μικροσφαιρίδια είναι εφικτό να μην φύγουν καθόλου από την πιπέτα και όλες οι προσδέσεις να γίνουν εντός της, μια επιλογή που ελαχιστοποιεί τις απώλειες σφαιριδίων (τυπικά 20%, εδώ πρακτικά 0%!). Εναλλακτικά τα σφαιρίδια μπορούν να απελευθερωθούν μέσα στο δείγμα και να γίνει εκ νέου παγίδευση όταν έχει γίνει η πρωτεϊνική πρόσδεση.Αυτός ο δεύτερος τρόπος εξασφαλίζει καλύτερη ανάμιξη των σφαιριδίων με το δείγμα αλλά αυξάνει τις απώλειες σφαιριδίων. Ένας τρίτος τρόπος είναι τα σφαιρίδια να παραμένουν εντός της πιπέτας αλλά να απομακρύνεται ο μαγνήτης και να γίνεται ανάδευση με το έμβολο μέσα στην πιπέτα. Αυτό εγγυάται μηδενικές απώλειες και καλή ανάμιξη αλλά αυξάνει τον χρόνο των πειραμάτων. Μία άλλη επιλογή του βιολόγου θα είναι σε τι ποσότητα διαλύματος πλύσης θα γίνεται κάθε φορά το εναιώρημα των σφαιριδίων. Όσο μικρότερη η ποσότητα, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα δείγματος θα μπορεί να αναρροφηθεί από την πιπέτα (η πιπέτα έχει πεπερασμένη χωρητικότητα και ίση με 20 μl) και τόσο πιο πυκνό θα είναι το διάλυμα. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα, τόσο πιο αραιό θα είναι το διάλυμα.

| Αξιολόγηση λύσης | |
|---|---|
| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Δυνατότητα για ελαχιστοποίηση του ποσοστού απωλειών και μεγιστοποίηση του ποσοστού παγίδευσης μικροσφαιριδίων κατά την διεξαγωγή πειραμάτων σε τιμές καλύτερες από την υπάρχουσα τεχνολογία ✓ Εξαιρετικά συμπαγής σχεδιασμός, πολύ μικρότερη κατασκευή από τις υπάρχουσες ✓ Απλή αρχή λειτουργίας, δεν απαιτείται κανένας μηχανισμός ή μετακίνηση της πλάκας για τη διεξαγωγή πρωτοκόλλων. Η αντίστοιχη λύση με την υπάρχουσα τεχνολογία περιλαμβάνει modules πλύσης και παγίδευσης, και ρομποτικούς βραχίονες για τη μεταφορά των πλακών από και προς αυτές τις θέσεις ✓ Χαμηλό κόστος κατασκευής | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Μη δοκιμασμένη λύση. Απαιτείται πειραματική διάταξη για την μελέτη των προδιαγραφών της και την επιβεβαίωση της αρχής λειτουργίας της |

Με βάση τα παραπάνω αποφασίστηκε να προχωρήσουμε με αυτή τη λύση, πλην όμως, λόγω της αβεβαιότητας ως προς την λειτουργικότητά της, έγινε κατασκευή πειραματικής διάταξης για να επιβεβαιωθεί η αρχή λειτουργίας της και να προσδιοριστούν οι μεταβλητές σχεδιασμού. Αυτή η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο.

6. Διάταξη προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της πλατφόρμας

Γενικά

Τα πειράματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4, παρότι απαραίτητα για την κατανόηση της συμπεριφοράς των μικροσφαιριδίων υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, είναι χρονοβόρα, πολυέξοδα και η χρησιμότητά τους αναδεικνύεται στη φάση βελτιστοποίησης της διαδικασίας και όχι τόσο στη φάση κατασκευής πρωτοτύπου. Έχοντας αποκομίσει μια γενική εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται τα μικροσφαιρίδια υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε μια διάταξη που θα βοηθούσε στον εμπειρικό προσδιορισμό κάποιων χαρακτηριστικών της πλατφόρμας και θα καταδείκνυε τη λειτουργικότητα των πιθανών τεχνολογιών που θα χρησιμοποιούσαμε. Ο στόχος ήταν η διακρίβωση της αρχής λειτουργίας και όχι ο προσδιορισμός των βέλτιστων μεταβλητών των υποσυστημάτων της πλατφόρμας.

Χαρακτηριστικά

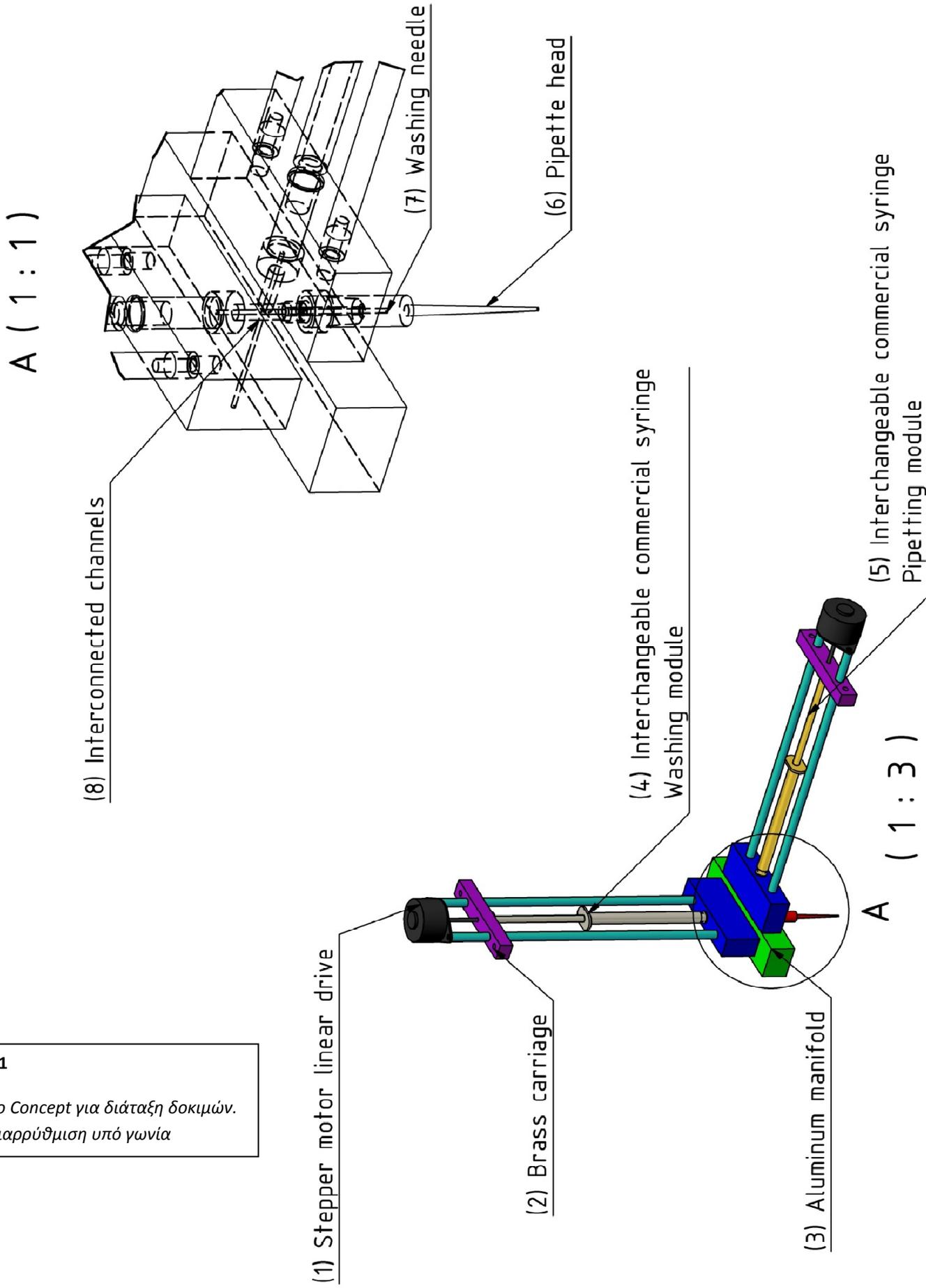
Καταρτίσαμε μια λίστα με τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει η πειραματική διάταξη:

- Να μπορούν να γίνουν πειράματα παγίδευσης μικροσφαιριδίων μέσα σε πιπέτες των 20ul με κυλινδρικούς και ορθογωνικούς μαγνήτες διαφόρων μεγεθών και προσανατολισμών
- Να υπάρχει σύστημα ακριβούς τοποθέτησης του μαγνήτη σε διάφορες αποστάσεις κατά y, z και δυνατότητα γρήγορης τοποθέτησης και απομάκρυνσης του μαγνήτη κατά x
- Να μπορούν να γίνει πειράματα πλύσης των μικροσφαιριδίων εντός της πιπέτας
- Ο μηχανισμός της πιπέτας να μην είναι μόνιμος ώστε να παρέχεται η δυνατότητα διεξαγωγής πειραμάτων με διάφορους μηχανισμούς
- Να υπάρχει αυτοματοποιημένος μηχανισμός άντλησης από την πιπέτα. Να υπάρχει δυνατότητα παροχής και αναρρόφησης μέχρι και 0.05ml/sec.
- Να υπάρχει τρόπος κεντραρίσματος της πιπέτας με την πλάκα που φέρει το δείγμα
- Η κατασκευή να είναι οικονομική και ταχεία

Concept design

Με βάση τα παραπάνω έγινε το πρώτο concept design. Το βασικό πρόβλημα ήταν η διαρρύθμιση των καναλιών ώστε μέσα στην πιπέτα να γίνεται ταυτόχρονα πλύση και μεταφορά δείγματος από και προς την 96άρα πλάκα. Έτσι ο σχεδιασμός είναι εστιασμένος σε αυτό το κομμάτι σε πρώτη φάση. Τα επικρατέστερα σχέδια παρουσιάζονται παρακάτω.

D1
 1ο Concept για διάταξη δοκιμών.
 Διαρρύθμιση υπό γωνία

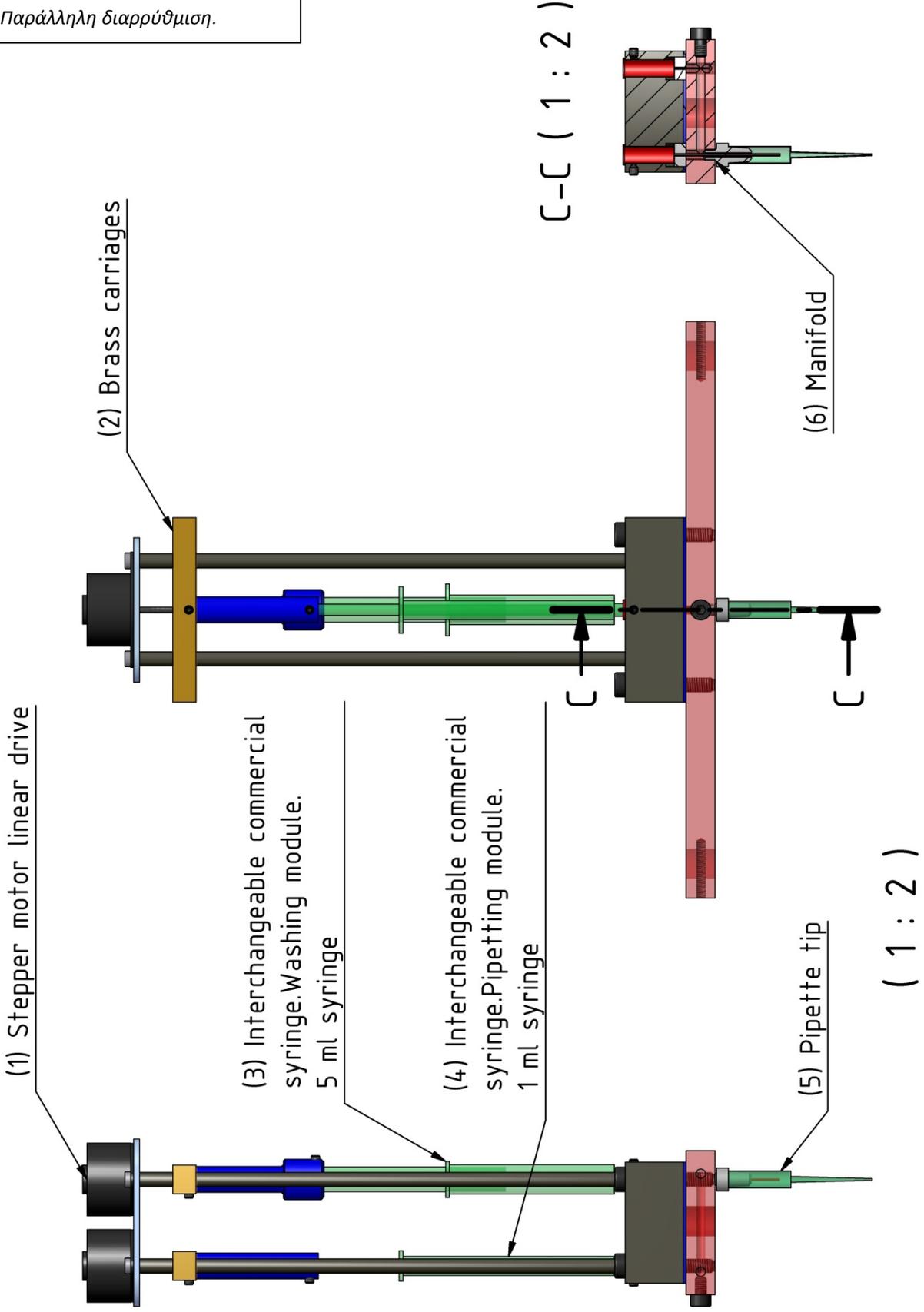


| | |
|---|--|
| (1) Κοχλίας κίνησης οδηγούμενος από βηματικό κινητήρα | Η οδήγηση επιλέχθηκε να γίνει με κοχλία κίνησης και βηματικό κινητήρα αφού είναι μια πολύ οικονομική, αξιόπιστη και απλή στον έλεγχο λύση (ανοιχτός βρόχος) |
| (2) Οδηγούμενο στοιχείο | Το περικόχλιο του κοχλία κίνησης είναι σκαλιστό πάνω σε ορειχάλκινο φορείο συνδεδεμένο με το έμβολο της σύριγγας. Ο στόχος ήταν να φτιαχτούν τα γραμμικά έδρανα ολίσθησης και το περικόχλιο σκαλιστά σε ένα ορειχάλκινο μπλοκ ώστε να μην απαιτείται χρήση λιπαντικού. |
| (3) Εξάρτημα διασύνδεσης καναλιών | Είναι το εξάρτημα στο οποίο γίνεται η σύνδεση του κυκλώματος πλύσης με το κύκλωμα διαχείρισης δειγμάτων. |
| (4) Σύριγγα πλύσης | Είναι μια κοινή σύριγγα εμπορίου του 1 ml. Η σύριγγα αυτή γεμίζει με κατάλληλο διάλυμα το οποίο απελευθερώνει μέσω βελόνας στο εσωτερικό της πιπέτας |
| (5) Σύριγγα διαχείρισης δειγμάτων | Επίσης σύριγγα εμπορίου του 1 ml. Αυτή η σύριγγα είναι κενή και λειτουργεί ως αντλία για την πιπέτα. |
| (6) Κεφαλή πιπέτας | Εντός της κεφαλής γίνεται η παγίδευση των σφαιριδίων και η πλύση τους |
| (7) Βελόνα πλύσης | Συνδεδεμένη με την σύριγγα πλύσης. Η βελόνα είναι στο κατάλληλο ύψος σε σχέση με την κεφαλή, ώστε όταν απελευθερώνει ποσότητες διαλύματος να μην δημιουργούνται θύλακες αέρα |
| (8) Διασύνδεση καναλιών | Εδώ γίνεται απλά με δύο τρύπες υπό γωνία 90°. Η στεγάνωση γίνεται με o-ring. Οι συνδέσεις γίνονται με μετρικά σπειρώματα. |

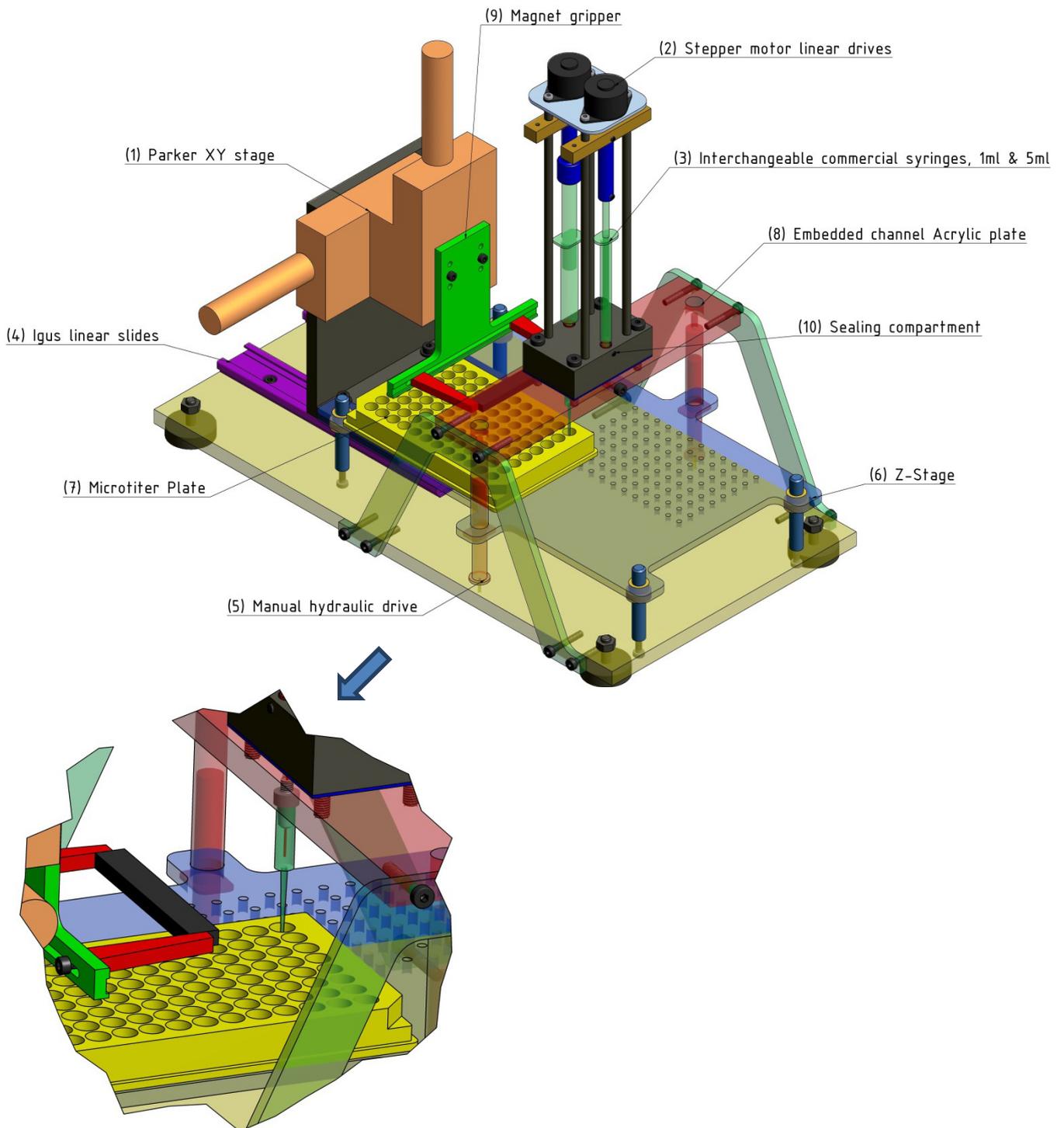
Το παραπάνω σχέδιο έχει το πλεονέκτημα της εύκολης κατασκευής του μπλοκ διασύνδεσης (manifold) και ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις της σύριγγας από την πιπέτα. Αυτό είναι σημαντικό γιατί όσο μεγαλύτερη η απόσταση, τόσο περισσότερος αέρας βρίσκεται ανάμεσα στα δύο στοιχεία. Λόγω συμπιεστότητας αυτό δημιουργεί δυναμικά φαινόμενα τα οποία είναι πιο έντονα όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του αέρα. Ωστόσο ο λεπτομερής σχεδιασμός έδειξε ότι κάποιες διαστάσεις έπρεπε να αλλάξουν σημαντικά, με αποτέλεσμα η κατασκευή να οδηγηθεί μόνη της στο 2^o concept.

D2

2ο Concept για διάταξη δοκιμών.
Παράλληλη διαρρύθμιση.



Αυτό το σχέδιο διαφέρει από το πρώτο στο ότι τα δύο έμβολα είναι παράλληλα. Κατασκευαστικά είναι λίγο πιο απλό από το πρώτο σχέδιο καθώς τα κομμάτια που συνδέουν τις σύριγγες με το μπλοκ διασύνδεσης καναλιών πρέπει αναγκαστικά να κατασκευαστούν με συμβατική κατεργασία, κατά προτίμηση φρέζα ή φρεζοδράπανο. Αυτές οι κατεργασίες είναι χρονοβόρες και το δεύτερο σχέδιο έχει 3 κομμάτια για φρεζάρισμα σε αντίθεση με το πρώτο που έχει 4. Παρακάτω παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο σχέδιο.



| | |
|---|---|
| (1) Καρτεσιανό 2 αξόνων | Η ρύθμιση της θέσης των μαγνητών γίνεται με χρήση μικρόμετρων με ακρίβεια 10μm στους άξονες z και x (κατακόρυφος και οριζόντιος κατά μήκος της διάταξης) |
| (2) Κοχλίας κίνησης οδηγούμενος από βηματικό κινητήρα | Οι σύριγγες παλινδρομούν με τη χρήση κοχλιών κίνησης που οδηγούνται από βηματικούς κινητήρες. Το σύστημα κοχλιών/κινητήρων δίνει μέγιστη γραμμική ταχύτητα 10 mm/sec και φορτίο μέχρι και 10 N. Το βήμα του κινητήρα είναι 15° και το βήμα του κοχλίου 0.4 mm (M2). Η σύριγγα έχει διάμετρο εμβόλου 3.5 mm. Άρα η διάταξη έχει δυνατότητα διακίνησης 0,096 ml/sec με ανάλυση 0,16μl/step . Το μέγιστο φορτίο αντίδρασης του εμβόλου μετρήθηκε με δυναμόμετρο και είναι 3N. Άρα ο κινητήρας δίνει 3,3 φορές το απαιτούμενο φορτίο για τη διακίνηση υγρών. Από αυτό θα πρέπει να αφαιρεθεί το φορτίο λόγω τριβής με τα έδρανα ολίσθησης, το οποίο όμως δεν ξεπερνά τα 2N υπό την προϋπόθεση ότι η συναρμογή ανάμεσα στον άξονα και το έδρανο είναι αυτή που αναγράφεται στο σχέδιο και η γεωμετρική ανοχή παραλληλότητας ανάμεσα στους άξονες είναι η σωστή |
| (3) Σύριγγες εμπορίου | Οι σύριγγες είναι κοινές σύριγγες εμπορίου με χωρητικότητα 1 ml και 5ml για την διαχείριση και την πλύση αντίστοιχα. Η στεγάνωση γίνεται με εσωτερικό στυπιοθλίπτη στη θέση της βελόνας. Η πάκτωση του χιτωνίου γίνεται με σκουληκόβιδα στην βάση της βελόνας. Η σύνδεση του εμβόλου με το οδηγούμενο κομμάτι γίνεται επίσης με σκουληκόβιδα |
| (4) Γραμμικοί οδηγοί | Χρησιμοποιούμε γενικά γραμμικούς οδηγούς που δεν απαιτούν λίπανση για να αποφύγουμε την παρουσία λιπαντικών σε εργαστηριακό περιβάλλον |
| (5) Υδραυλική οδήγηση z | Ένας πολύ φτηνός και αποδοτικός τρόπος για να οδηγήσουμε την 96άρα πλάκα κατά z. Χρησιμοποιούμε διασυνδεδεμένες σύριγγες εμπορίου που περιέχουν νερό για να φτιάξουμε απλά συστήματα οδήγησης της πλάκας κατά z. Η τροφοδότηση μπορεί να γίνει είτε από τον χρήστη με σύριγγες είτε με περισταλτική αντλία για ακρίβεια τοποθέτησης |
| (6) Κίνηση z | Μία πλάκα από ακρυλικό φέρει τρύπες που ορίζουν τον αριθμό δείγματος που βρίσκεται κάτω από την πιπέτα. Η πλάκα που φέρει τα δείγματα έχει πύρους που τοποθετούμενοι μέσα σε αυτές τις τρύπες κλειδώνουν το δείγμα στη σωστή θέση. Η οδήγηση γίνεται με το σύστημα που περιγράφεται στο (5). Στα 4 άκρα της βάσης βρίσκονται άξονες και έδρανα ολίσθησης |
| (7) 96άρα πλάκα | Είναι η πλάκα που φέρει τα δείγματα |
| (8) Μπλοκ διασύνδεσης καναλιών. | Πρόκειται για μία πλάκα εντός της οποίας υπάρχουν κανάλια για να ενώσουν το κύκλωμα πλύσης με το κύκλωμα διαχείρισης |
| (9) Αρπάγη μαγνήτη | Δύο νύχια σφίγγουν σε μια σχισμή με βίδες ενώ διατηρούν την καθετότητα που πρέπει να έχουν ολισθαίνοντας μέσα σε ποκέτα που τα εμποδίζει να περιστραφούν ή να κινηθούν κατά z. Τα νύχια στο άλλο άκρο σφίγγουν τον μαγνήτη |
| (10) Τμήμα στεγάνωσης | Στο κομμάτι αυτό γίνεται η ένωση των συριγγών με τα κανάλια που οδηγούν στην πιπέτα. Η στεγάνωση γίνεται με στυπιοθλίπτες από νεοπρένιο και o-ring |

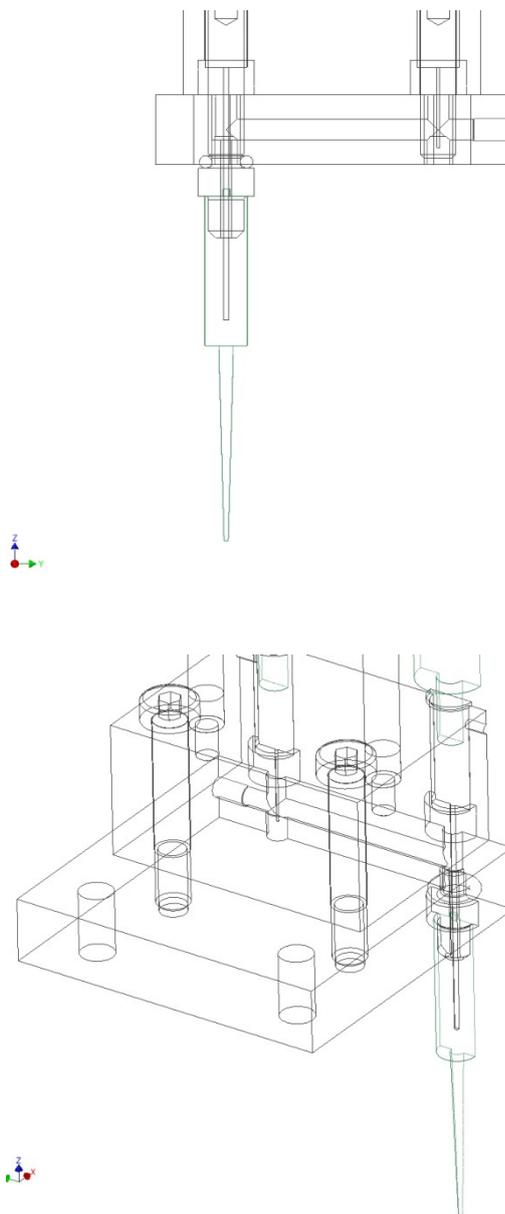
Λεπτομέρειες διάταξης

Κατασκευαστικά

Η πιπέτα προσαρμόζεται σε ειδικά διαμορφωμένο άκρο το οποίο πρέπει να κατασκευαστεί σε τόρνο. Το προτιμώμενο υλικό είναι αλουμίνιο 5083 λόγω των αντιδιαβρωτικών του ιδιοτήτων και της καλής κατεργασιμότητας του κράματος με επιφανειακή κατεργασία ανοδίωσης για σκλήρυνση της επιφάνειάς του, αλλά σε επίπεδο πρωτοτύπου η κατασκευή μπορεί να γίνει και από ορείχαλκο λόγω της πολύ καλής κατεργασιμότητάς του. Η στεγάνωση γίνεται με o-ring ανάμεσα στο άκρο και την πλάκα ακρυλικού. Η στεγάνωση ανάμεσα στη βελόνα και την πιπέτα γίνεται με στυπιοθλίπτη από νεοπρένιο ή latex. Η βελόνα πρέπει να περαστεί από το στυπιοθλίπτη και μετά να βιδωθούν μεταξύ τους τα εξαρτήματα ώστε να σφίξει το ελαστομερές γύρω από τη βελόνα. Τα περισσότερα εξαρτήματα στην διάταξη είναι γεωμετρικές 2 διαστάσεων και μπορούν να κατασκευαστούν από ακρυλικό με κοπή laser. Το κομμάτι (10) πρέπει να κατασκευαστεί σε φρέζα ή φρεζοδράπανο κατά προτίμηση CNC, διότι σε αυτά τα κομμάτια γίνεται η πάκτωση των αξόνων πάνω στους οποίους ολισθαίνει το βαγονέτο οδήγησης του εμβόλου της σύριγγας και από την ακρίβεια τοποθέτηση των οπών εξαρτάται η παραλληλότητα των οδηγών. Πάνω σε αυτό το κομμάτι γίνονται ποκέτες για την ευθυγράμμιση των αξόνων. Αυτές πρέπει να γίνουν με κονδύλι ή με εκγλύφανση για σωστή συναρμογή. Οι άξονες πρέπει να είναι καλιμπρέ γιατί σε αυτή τη σχέση μήκους/διαμέτρου είναι δύσκολη η κατεργασία σε τόρνο. Τα έδρανα ολίσθησης (6) μπορούν να κατασκευαστούν από ορείχαλκο ή τεφλόν ανάλογα με το υλικό των αξόνων ολίσθησης (αλουμίνιο με τεφλόν μόνο ή χάλυβας με ορείχαλκο ή τεφλόν). Η ευθυγράμμιση των κινούμενων μερών πρέπει να γίνει με μετρητικό ρολόι πριν δεθεί ο μηχανισμός.

Ηλεκτρονικά

Οι κινητήρες είναι Nanotec, βηματικοί μόνιμου μαγνήτη διφασικοί με συνδεσμολογία bipolar με 4 leads και οι κοχλίες κίνησης είναι σκαλιστοί πάνω στον άξονα του κινητήρα. Η οδήγηση του κινητήρα γίνεται με drivers της Sparkfun με παλμό 5V, 750 mA Max. Ο controller που χρησιμοποιείται είναι ο Arduino Mega , 16 MHz. Ο Προγραμματισμός γίνεται σε C.



Πειράματα

| Πείραμα 1^ο : Διαχείριση υγρών, παγίδευση μικροσφαιριδίων,ανάδευση | |
|--|---|
| <i>Περιγραφή</i> | |
| Γίνονται δοκιμές για να δοκιμαστούν μαγνήτες ,και πρωτόκολλα παγίδευσης για τη συγκράτηση και απελευθέρωση μικροσφαιριδίων από και προς δείγματα βιολογικού υλικού. | |
| <i>Βασική διαδικασία</i> | <i>Μεταβλητές πειράματος</i> |
| 1. Το δείγμα τοποθετείται στην 96άρα πλάκα και πάνω στη βάση της διάταξης. Η βάση ανυψώνεται μέχρι η άκρη της πιπέτας να φτάσει στο μέσο της στάθμης | ✓ A1: Αριθμός σφαιριδίων στο δείγμα |
| 2. Γίνεται αναρρόφηση ποσότητας δείγματος η οποία απελευθερώνεται με τη μέγιστη παροχή μέσα στο well. Ο στόχος είναι η ανάδευση του δείγματος. | ✓ V2: Όγκος αναρρόφησης ✓ Q2: Παροχή απελευθέρωσης ✓ N2: Αριθμός επαναλήψεων |
| 3. Ο μαγνήτης τοποθετείται στη θέση παγίδευσης. Γίνεται αναρρόφηση ποσότητας δείγματος. Αναμονή μέχρι να γίνει παγίδευση,απελευθέρωση του δείγματος και επανάληψη της διαδικασίας. | ✓ V3: Όγκος αναρρόφησης ✓ T3: Χρόνος αναμονής ✓ Q3: Παροχή απελευθέρωσης ✓ N3: Αριθμός επαναλήψεων |
| 4. Αλλαγή δοχείου δείγματος. Απελευθέρωση των παγιδευμένων σφαιριδίων στο νέο δοχείο | |
| 5. Μέτρηση των παγιδευμένων σφαιριδίων στο μικροσκόπιο. Μέτρηση του ποσοστού σφαιριδίων στο αρχικό δοχείο για επαλήθευση του ποσοστού παγίδευσης | ✓ Y5: Ποσοστό παγίδευσης ✓ R5: Ποσοστό μη παγιδευμένων σφαιριδίων |

Επιλογή μεταβλητών

Οι μεταβλητές που έχουν πρωτεύουσα σημασία είναι ο αριθμός επαναλήψεων **N3**,ο χρόνος αναμονής **T3** και η παροχή απελευθέρωσης **Q3**. Ο λόγος είναι πως αυτές καθορίζουν τον χρόνο διεξαγωγής της διαδικασίας που θα μείνει ίδιος και στην τελική πλατφόρμα.Ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση αυτού του χρόνου.Οι υπόλοιπες μεταβλητές είτε καθορίζονται από τη διάταξη ή πρέπει να προσδιοριστούν μετά τον υπολογισμό των βασικών μεταβλητών.

Αριθμός επαναλήψεων N3:

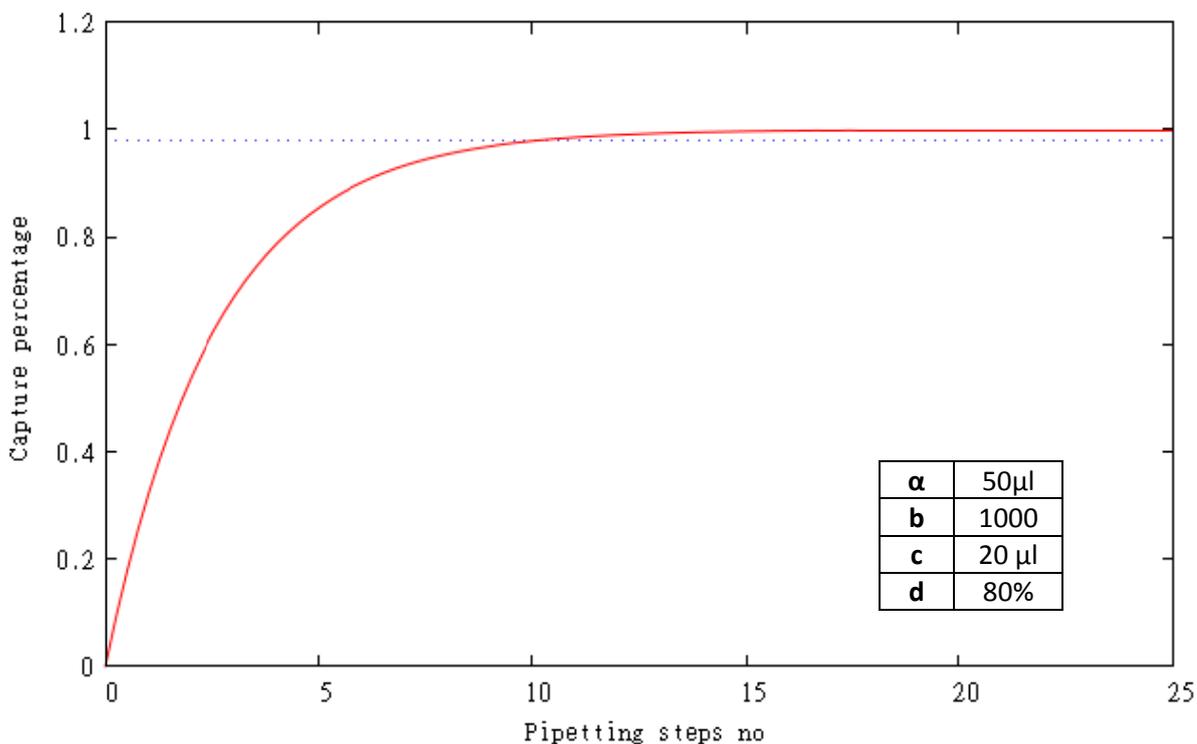
Ο αριθμός επαναλήψεων είναι από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν το χρόνο διεξαγωγής της διαδικασίας. Έστω ότι η ποσότητα μέσα στο δοχείο δείγματος είναι **a**, ο συνολικός αριθμός σφαιριδίων είναι **b**, η ποσότητα που μπαίνει κάθε φορά στην πιπέτα είναι **c** και το ποσοστό παγίδευσης σε κάθε παλινδρόμηση είναι **d**. Σε κάθε κύκλο γίνεται παγίδευση ενός αριθμού σφαιριδίων με αποτέλεσμα στον αμέσως επόμενο να μπαίνουν λιγότερα σφαιρίδια στην πιπέτα. Δηλαδή κάθε φορά παγιδεύεται όλο και μικρότερος αριθμός σφαιριδίων:

| # | Αριθμός σφαιριδίων που παγιδεύονται |
|-----|---|
| 1 | $\frac{bcd}{a}$ |
| 2 | $\frac{bcd}{a} - \frac{bc^2d^2}{a^2} = \frac{bcd(a-cd)}{a^2}$ |
| 3 | $\frac{bc^3d^3}{a^3} - \frac{2bc^2d^2}{a^2} + \frac{bcd}{a} = \frac{bcd(a-cd)^2}{a^3}$ |
| 4 | $\frac{3bc^3d^3}{a^3} - \frac{3bc^2d^2}{a^2} - \frac{bc^4d^4}{a^4} + \frac{bcd}{a} = \frac{bcd(a-cd)^3}{a^4}$ |
| 5 | $\frac{6bc^3d^3}{a^3} - \frac{4bc^2d^2}{a^2} - \frac{4bc^4d^4}{a^4} + \frac{bc^5d^5}{a^5} + \frac{bcd}{a} = \frac{bcd(a-cd)^4}{a^5}$ |
| 6 | $\frac{10bc^3d^3}{a^3} - \frac{5bc^2d^2}{a^2} - \frac{10bc^4d^4}{a^4} + \frac{5bc^5d^5}{a^5} - \frac{bc^6d^6}{a^6} + \frac{bcd}{a} = \frac{bcd(a-cd)^5}{a^6}$ |
| ... | ... |
| n | $\frac{bcd(a-cd)^{n-1}}{a^n}$ |

Συνολικός αριθμός παγιδευμένων σφαιριδίων στη ν-οστή επανάληψη

$$N_{tot} = \sum_{i=1}^n \frac{bcd(a-cd)^{i-1}}{a^i} = \frac{b \left[(a-cd)^n - a^n \right]}{a^n}$$

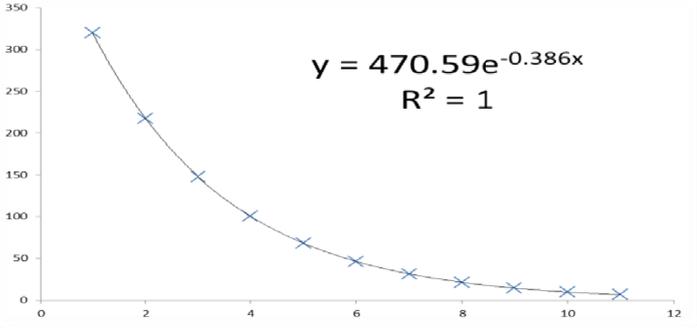
Εισάγουμε τα δεδομένα της διάταξης στις μεταβλητές για να επιλέξουμε τον αριθμό των επαναλήψεων που θα χρησιμοποιήσουμε σαν αρχική τιμή για να υπολογίσουμε τις υπόλοιπες μεταβλητές. Τυπικές τιμές είναι 1000 σφαιρίδια στο δείγμα, 50 μl όγκος δείγματος, 20 μl όγκος αναρρόφησης και 80% απόδοση συγκράτησης σε κάθε παλινδρόμηση. Στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας φαίνεται το ποσοστό συγκράτησης σε συνάρτηση με τον αριθμό επαναλήψεων. Το επιθυμητό ποσοστό συγκράτησης είναι 98% (διακεκομμένη γραμμή).



Το σημείο τομής της καμπύλης συγκράτησης με το επιθυμητό ποσοστό είναι στο $n=(10.14)=11$. Άρα ο θεωρητικός αριθμός επαναλήψεων που θα μας δώσει το ποσοστό που ζητάμε είναι 11.

Εάν ελέγξουμε τον αριθμό σφαιριδίων που συγκρατούνται σε κάθε επανάληψη παίρνουμε τις παρακάτω τιμές:

| step no | Beads captured | variable | value | unit |
|--------------|----------------|----------|-------|-------|
| 1 | 320 | a | 50 | μl |
| 2 | 218 | b | 1000 | beads |
| 3 | 148 | c | 20 | μl |
| 4 | 101 | d | 0.8 | - |
| 5 | 68 | | | |
| 6 | 47 | | | |
| 7 | 32 | | | |
| 8 | 22 | | | |
| 9 | 15 | | | |
| 10 | 10 | | | |
| 11 | 7 | | | |
| total | 986 | | | |



$$y = 470.59e^{-0.386x}$$

$$R^2 = 1$$

Άρα, λόγω του διαρκώς μειούμενου αριθμού σφαιριδίων, δεν μπορούμε να μιλήσουμε για ομοιόμορφη κατανομή μέσα στο δείγμα και πρέπει να μιλήσουμε πιθανολογικά για την παγίδευση των

σφαιριδίων. Άρα η θεωρητική τιμή, ακόμα και αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν άλλες παράμετροι που επηρεάζουν το πείραμα, θα απέχει από την πραγματική. Ωστόσο η παραπάνω εκτίμηση, μας δίνει μια τιμή για την τάξη μεγέθους της μεταβλητής. Επίσης βλέπουμε ότι η εκθετική συνάρτηση προσεγγίζει πολύ καλά την αρχική συνάρτηση.

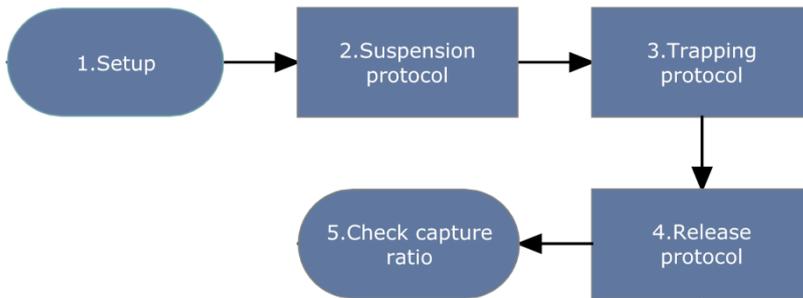
Χρόνος αναμονής **T3**, παροχή απελευθέρωσης **Q3**

Για αυτές τις δύο μεταβλητές δεν μπορούμε να κάνουμε κάποια εκτίμηση εξ αρχής, παρά μόνο εμπειρικά, παρακολουθώντας σφαιρίδια να κινούνται στο μικροσκόπιο. Ωστόσο, το κοινό που έχουν οι δύο αυτές μεταβλητές καθώς όμως και ο αριθμός επαναλήψεων, είναι πως από μία τιμή και μετά η επίδρασή τους στη διαδικασία παραμένει σχεδόν η ίδια. Δηλαδή, αν ο χρόνος παραμονής που αρκεί για την παγίδευση όλων των σφαιριδίων είναι A και εμείς ορίσουμε ως χρόνο 2A, δεν θα μπορούμε να διαγνώσουμε αυτή την αλλαγή. Η συμπεριφορά των μεταβλητών δηλαδή, μοιάζει με τη συμπεριφορά της μεταβλητής **N3**. Άρα μια καλή προσέγγιση για αυτές τις μεταβλητές θα ήταν η εκθετική συνάρτηση. Ωστόσο, επειδή δεν μας ενδιαφέρει στην παρούσα μελέτη να μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους αυτές οι μεταβλητές, αλλά να βρούμε μία καλή τιμή για όλες, και επειδή είναι σημαντικό ο αριθμός των πειραμάτων να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος, λόγω του υψηλού κόστους των σφαιριδίων, προτείνεται η χρήση μεθόδου fixedpoint για την εύρεση των τιμών:

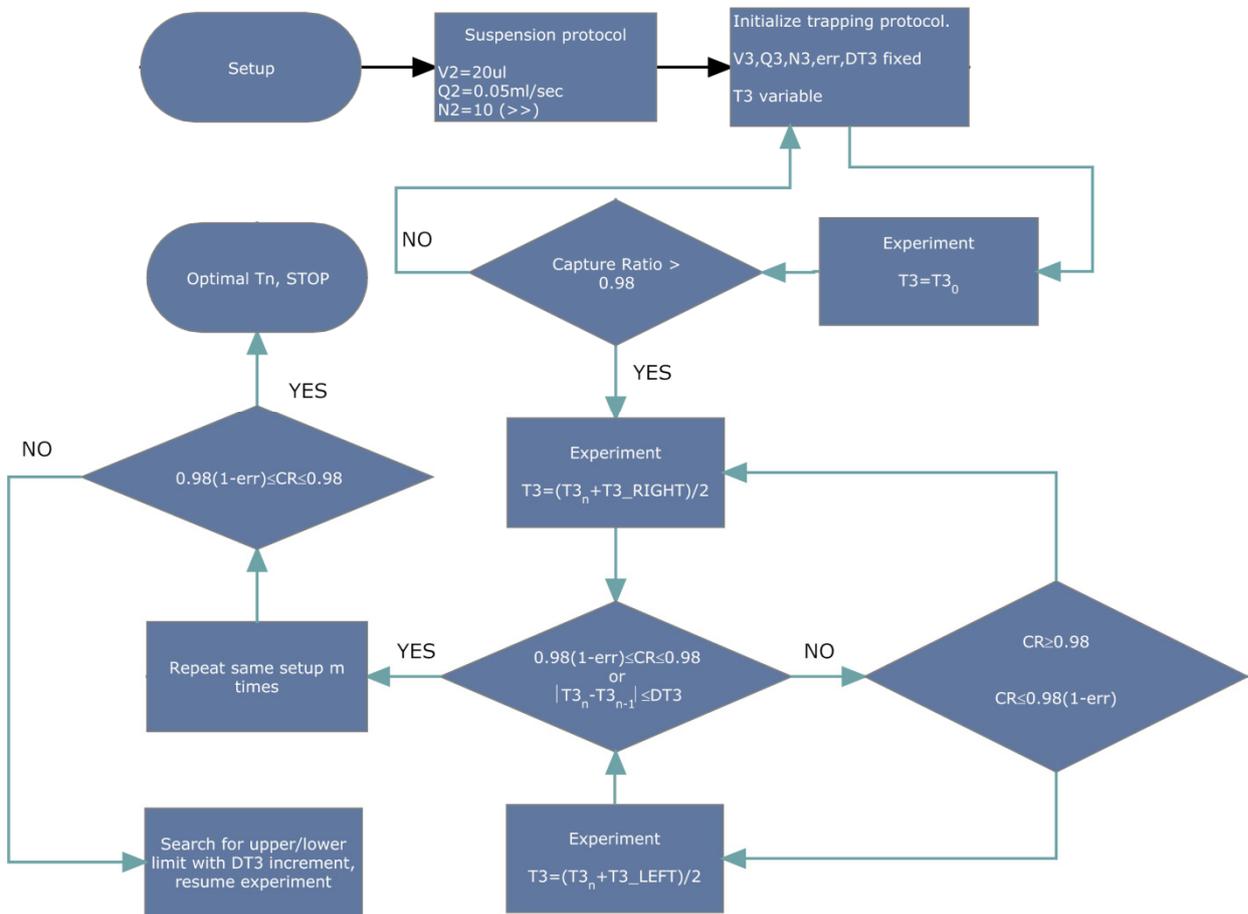
| Βήματα για μέθοδο <i>fixedpoint</i> | Μεταβλητές πειράματος |
|--|---|
| <p>1. Επιλέγουμε ανεξάρτητη μεταβλητή, κρατάμε τις υπόλοιπες σταθερές σε μία μεγάλη τιμή, ξεκινάμε το πείραμα από μια μεγάλη τιμή για την ανεξάρτητη μεταβλητή. Όλες οι τιμές πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να βρισκόμαστε πάνω από το 98% στο τελικό ποσοστό συγκράτησης. Ορίζεται η αποδεκτή τιμή σφάλματος <i>err</i> ως ποσοστό και η αποδεκτή τιμή απόκλισης ανεξάρτητης μεταβλητής $\Delta T3$.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ (V3=20μl) ✓ T3=20sec← ✓ Q3=5 μl/sec ✓ N3=30 ✓ err=0.05 ✓ ΔT3=1 sec |
| <p>2. Μετράται το ποσοστό συγκράτησης. Εάν είναι αποδεκτό, μειώνουμε την τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής στο μισό και επαναλαμβάνουμε. Εάν δεν είναι αποδεκτό πρέπει να ελέγξουμε ποιές μεταβλητές δεν έχουν αρκετά μεγάλη αρχική τιμή και να ξεκινήσουμε από την αρχή.</p> | $\frac{N_{captured}}{N_{initial}} \geq 0.98, T3_1 = \frac{T3_0}{2}$ |

| | |
|--|--|
| <p>3. Γίνεται ξανά το πείραμα με τη νέα τιμή για το T3 και ελέγχεται το αποτέλεσμα. Εάν το ποσοστό είναι και πάλι 98% παίρνουμε ως επόμενη τιμή το μέσο όρο ανάμεσα στην αρχική κάτω τιμή (εδώ 0) και στην προηγούμενη τιμή. Αν το ποσοστό είναι μικρότερο από 98% τότε η νέα τιμή θα είναι ο μέσος όρος ανάμεσα στην αρχική άνω τιμή και την προηγούμενη τιμή. Το πείραμα επαναλαμβάνεται και οι νέες τιμές λαμβάνονται ομοίως.</p> | $\frac{N_{captured}}{N_{initial}} \geq 0.98, T3_{n+1} = \frac{T3_n + T3_{left\ of\ n}}{2}$ $\frac{N_{captured}}{N_{initial}} \leq 0.98(1 - err), T3_{n+1} = \frac{T3_n + T3_{right\ of\ n}}{2}$ |
| <p>4. Η παραπάνω διαδικασία θα σταματήσει όταν η τιμή του ποσοστού συγκράτησης βρεθεί μέσα στα αποδεκτά όρια, ή όταν το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών της ανεξάρτητης μεταβλητής μειωθεί κάτω από το αποδεκτό όριο. Ο λόγος για τον οποίο εισάγεται αυτό το δεύτερο σφάλμα είναι πως έτσι και αλλιώς περιμένουμε μια τυπική απόκλιση στα αποτελέσματα, άρα δεν έχει νόημα να ερευνούμε ακριβείς λύσεις. Ούτως ή άλλως, στην τελική ρύθμιση της πλατφόρμας θα πρέπει να υπάρχει ένας ικανός συντελεστής ασφάλειας που να εγγυάται αυτό το ποσοστό παγίδευσης, άρα αυτές οι τιμές θα είναι αυξημένες.</p> | <p>1) $0.98(1 - err) \leq \frac{N_{captured}}{N_{initial}} \leq 0.98$</p> <p>2) $T3_n - T3_{n-1} \leq \Delta T3$</p> <p>Συνθήκες περάτωσης του πειράματος: Κάθε φορά που προκύπτει μια τέτοια συνθήκη, το πείραμα θα πρέπει να επαναλαμβάνεται, ώστε να είναι βέβαιο ότι το αποτέλεσμα δεν οφείλεται σε θόρυβο ή άλλα φαινόμενα που δεν έχουν ποσοτικοποιηθεί. Εάν το πείραμα σταματήσει λόγω κάποιου κριτηρίου και είτε δεν επαληθευτεί το αποτέλεσμα ή εξαρχής το αποτέλεσμα δεν ήταν αποδεκτό (2^ο κριτήριο), θα πρέπει η ανεξάρτητη μεταβλητή να κινηθεί προς τα πάνω με βήματα $\Delta T3$ μέχρι να ξεκινήσει και πάλι ο αλγόριθμος.</p> |
| <p>5. Η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί και για τις υπόλοιπες μεταβλητές μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση.</p> | |

Experiment outline



Fixed point method implementation



| Πείραμα 2^ο : Πλύση | |
|--|--|
| <i>Περιγραφή</i> Γίνονται δοκιμές για να βρεθούν κατάλληλες τιμές για την παροχή και τον απαιτούμενο χρόνο διάρκειας ενός πρωτοκόλλου πλύσης. | |
| <i>Βασική διαδικασία</i> | <i>Μεταβλητές πειράματος</i> |
| 1. Με τις τιμές που βρέθηκαν στο πρώτο πείραμα γίνεται παγίδευση των σφαιριδίων εντός της πιπέτας | ✓ A1: Αριθμός σφαιριδίων στο δείγμα |
| 2. Γίνεται δοκιμή πλύσης με διάφορες παροχές και χρόνους πλύσης | ✓ Q2: Παροχή Πλύσης ✓ T2: Διάρκεια πλύσης |
| 3. Μετράται στο μικροσκόπιο ο αριθμός σφαιριδίων που βρίσκονται εντός της πιπέτας και ο αριθμός σφαιριδίων που απομακρύνθηκε κατά την πλύση. Επίσης, πρέπει να μετρηθεί η ποιότητα πλύσης, δηλαδή να γίνει ανίχνευση ανεπιθύμητων στοιχείων εντός του δείγματος που έμεινε στην πιπέτα. Ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των ανεπιθύμητων στοιχείων στο δείγμα και των απωλειών σφαιριδίων κατά την πλύση | ✓ Y5: Ποσοστό απωλειών |

| Πείραμα 3^ο : Σύστημα μεμβράνης αντί εμβόλου για τις σύριγγες |
|--|
| <i>Περιγραφή</i> Δοκιμάζεται η συμπεριφορά μιας μεμβράνης που παραμορφώνεται με τη χρήση εμβόλου, λειτουργώντας έτσι ως σύστημα αναρρόφησης υγρών δειγμάτων. Στόχος είναι η αντικατάσταση της σύριγγας. |
| <i>Γενικά</i> Ένα βασικό πρόβλημα που έχει η χρήση σύριγγας σε ένα σύστημα με πολλές κεφαλές όπως το δικό μας, είναι πως πρέπει να κατασκευαστούν ελαστομερή παρεμβύσματα, των οποίων η κατασκευή με ακρίβεια είναι αρκετά δύσκολη. Εκτός αυτού, τα παρεμβύσματα αυτά υπάρχει πιθανότητα προϊόντος του χρόνου να χάσουν την στεγανότητά τους και επιπλέον, λόγω τριβής με τα τοιχώματα της σύριγγας, δημιουργούν ένα φορτίου περί τα 3N, το οποίο είναι αρκετά μεγάλο δεδομένου του έργου που επιτελεί. Τέλος η κατασκευή του εμβόλου πάνω στο οποίο συγκρατείται το παρέμβυσμα είναι αρκετά δύσκολη, γιατί μιλάμε για διάμετρο 3mm και διαμόρφωση επί αυτή της διαμέτρου ειδικού άκρου πάνω στο οποίο θα σφηνώνει το ελαστομερές. Δεδομένου ότι χρειαζόμαστε 96 τέτοια έμβολα, είναι απαραίτητη η χρήση τόννου CNC και αυτό αυξάνει αρκετά το κόστος κατασκευής. |

Τεχνολογία

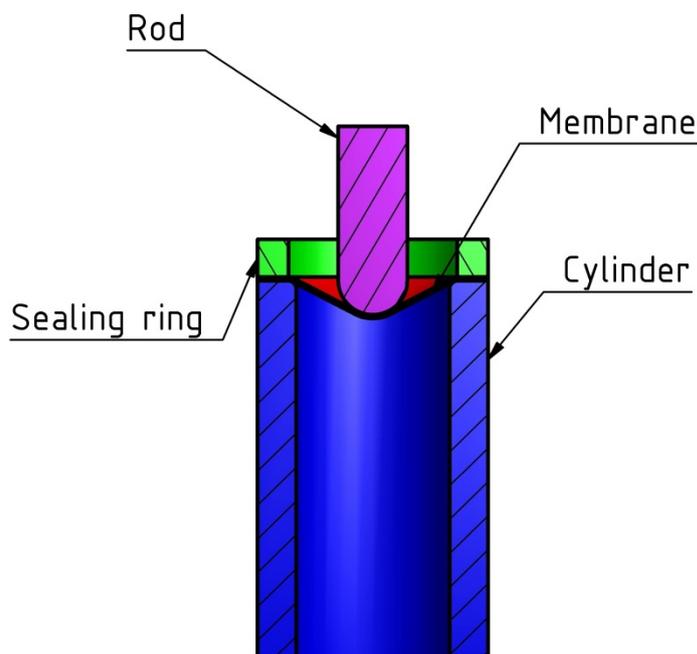
Μία ελαστομερής μεμβράνη βρίσκεται διαρκώς συμπιεσμένη από ένα έμβολο με ημισφαιρικό άκρο. Η μεμβράνη στεγανώνει περιμετρικά σε ένα χιτώνιο το οποίο βρίσκεται από κάτω της. Όταν το έμβολο κινείται προς τα πάνω, η μεμβράνη υποχωρεί και γίνεται αναρρόφηση του αέρα του χιτωνίου. Όταν το έμβολο κινείται προς τα κάτω, η μεμβράνη κινείται μαζί του και γίνεται κατάθλιψη του αέρα εντός του χιτωνίου. Το χιτώνιο, εάν με τη σειρά του είναι συνδεδεμένο με μια πιπέτα, τότε λειτουργεί όπως ακριβώς μια σύριγγα.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με συστοιχία συριγγών
- ✓ Εύκολη κατασκευή, απλή αρχή λειτουργίας
- ✓ Σε σχέση με τη σύριγγα μπορεί να πέσει αρκετά σε μέγεθος χωρίς να αυξηθεί η δυσκολία κατασκευής του
- ✓ Πολύ χαμηλό φορτίο τριβής σε σχέση με τη σύριγγα

Μειονεκτήματα

- ✓ Μη γραμμική σχέση θέσης εμβόλου και όγκου εμβολισμού. Ανάγκη βαθμονόμησης
- ✓ Δυσκολία στη στεγάνωση της μεμβράνης με το χιτώνιο
- ✓ Ευπαθής κατασκευή. Η ελαστομερής μεμβράνη χάνει την ελαστικότητά της με την πάροδο του χρόνου, ενώ υφίσταται διαρκή καταπόνηση από το έμβολο και το χιτώνιο



Αποτελέσματα

Παρότι ο στόχος αυτής της εργασίας δεν είναι η εύρεση βέλτιστων λύσεων για τις μεταβλητές της πλατφόρμας, έγιναν κάποια πειράματα για να αποδειχθεί η αρχή λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης υγρών.

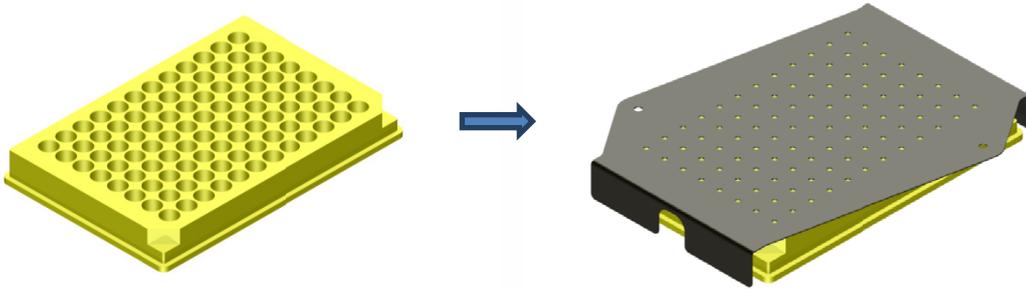
| Αποτελέσματα :Πείραμα 1 ^ο (χωρίς μαγνητική θωράκιση) | |
|--|---|
| Ορθογωνικός μαγνήτης NdFeB κατηγορίας N52, διαστάσεων 79x5x10 mm με τους πόλους κατά μήκος της διάστασης των 10 mm. | |
| Μεταβλητές | Αποτελέσματα |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ A1=1000 beads ✓ V2=20 ul ✓ Q2=40 ul/sec ✓ N2=5 ✓ V3=20 ul ✓ T3=20 sec ✓ Q3=10 ul/sec ✓ N3=15 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y5=23% |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ A1=1000 beads ✓ V2=20 ul ✓ Q2=40 ul/sec ✓ N2=5 ✓ V3=20 ul ✓ T3=20 sec ✓ Q3=10 ul/sec ✓ N3=30 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y5=26% |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ A1=1000 beads ✓ V2=20 ul ✓ Q2=40 ul/sec ✓ N2=5 ✓ V3=20 ul ✓ T3=20 sec ✓ Q3=10 ul/sec ✓ N3=60 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y5=31% |
| <p><i>Ανάλυση</i></p> <p>Λόγω των πολύ χαμηλών ποσοστών συγκράτησης οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα πως υπάρχει και κάποια άλλη παράμετρος που δεν έχει ποσοτικοποιηθεί. Μετά από δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη επηρεάζει τα σφαιρίδια ενώ είναι ακόμα μέσα στο δοχείο, πιθανώς οδηγώντας τα στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να μην εισέρχονται καν στην πιπέτα. Έγινε δοκιμή με μικρότερο μαγνήτη και μαγνητική θωράκιση των δειγμάτων και επανάληψη του πειράματος.</p> | |

| Αποτελέσματα :Πείραμα 1° (με μαγνητική θωράκιση των δειγμάτων) | |
|--|--|
| Ορθογωνικός μαγνήτης NdFeB κατηγορίας N52, διαστάσεων 7x3x3mm με τους πόλους κατά μήκος της διάστασης των 3mm. | |
| Μεταβλητές | Αποτελέσματα |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ A1=1000 beads ✓ V2=20 ul ✓ Q2=40 ul/sec ✓ N2=5 ✓ V3=20 ul ✓ T3=20 sec ✓ Q3=10 ul/sec ✓ N3=60 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y5=91% |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ A1=1000 beads ✓ V2=20 ul ✓ Q2=40 ul/sec ✓ N2=5 ✓ V3=20 ul ✓ T3=10 sec ✓ Q3=10 ul/sec ✓ N3=30 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y5=96% |
| <p><i>Ανάλυση</i></p> <p>Είναι εμφανές ότι υπάρχουν φαινόμενα τα οποία δεν έχουν ποσοτικοποιηθεί λόγω της μεγάλης απόκλισης ανάμεσα στις τιμές , όμως τα ποσοστά είναι πολύ καλύτερα και η αρχή λειτουργίας έχει αποδειχθεί.Επίσης είναι εμφανές ότι οι μεγάλοι μαγνήτες δεν είναι καλή λύση,αφού το μαγνητικό πεδίο επηρεάζει μεγάλη περιοχή γύρω από το μαγνήτη και ειδικότερα επηρεάζονται τα σφαιρίδια πριν ακόμα μπουν στην πιπέτα.Από την άλλη, μικρότεροι μαγνήτες από το ίδιο υλικό δίνουν ικανές τιμές κοντά στην επιφάνεια του πόλου,χωρίς να επηρεάζουν το περιβάλλον τους.</p> | |

Μαγνητική θωράκιση

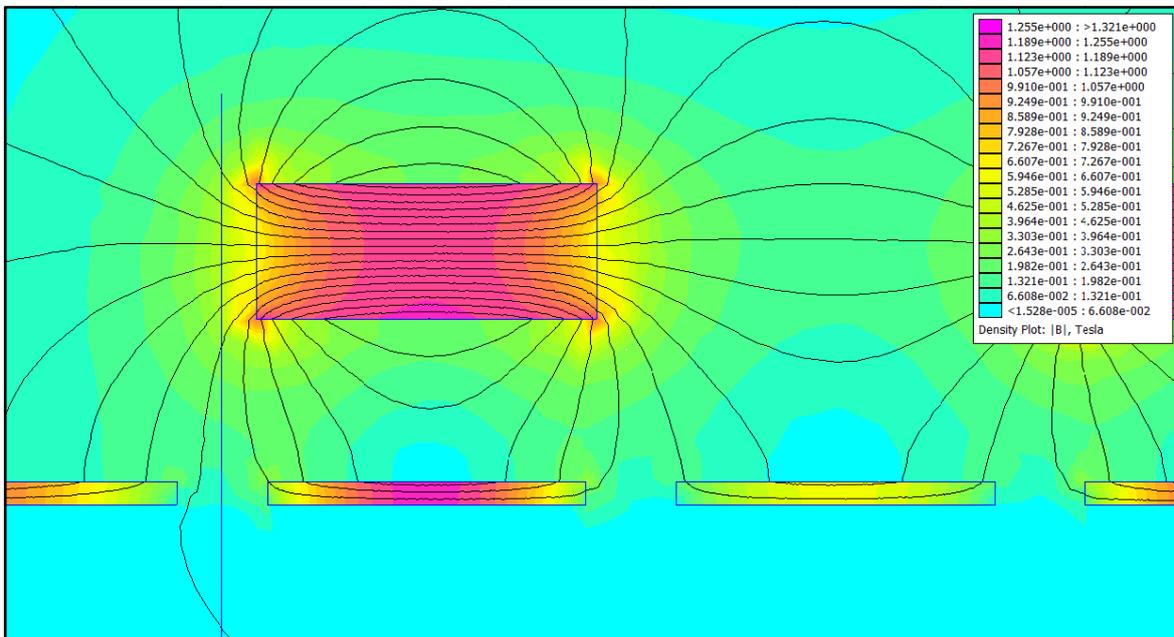
Σχεδιασμός

Η μαγνητική θωράκιση βασίζεται στον κλωβό Faraday. Κατασκευάζουμε ένα μεταλλικό περίβλημα γύρω από την 96άρα πλάκα. Οι μαγνητικές γραμμές περνούν από το υλικό του περιβλήματος ενώ το εσωτερικό παραμένει ανεπηρέαστο. Θεωρητικά το περίβλημα πρέπει να δημιουργεί έναν κλειστό βρόχο, πρακτικά όμως αυτό δεν είναι επιθυμητό, και γι αυτό κατασκευάζουμε ένα Π γύρω από την 96άρα πλάκα με στόχο οι μαγνητικές γραμμές να περάσουν κάτω από την 96άρα πλάκα:



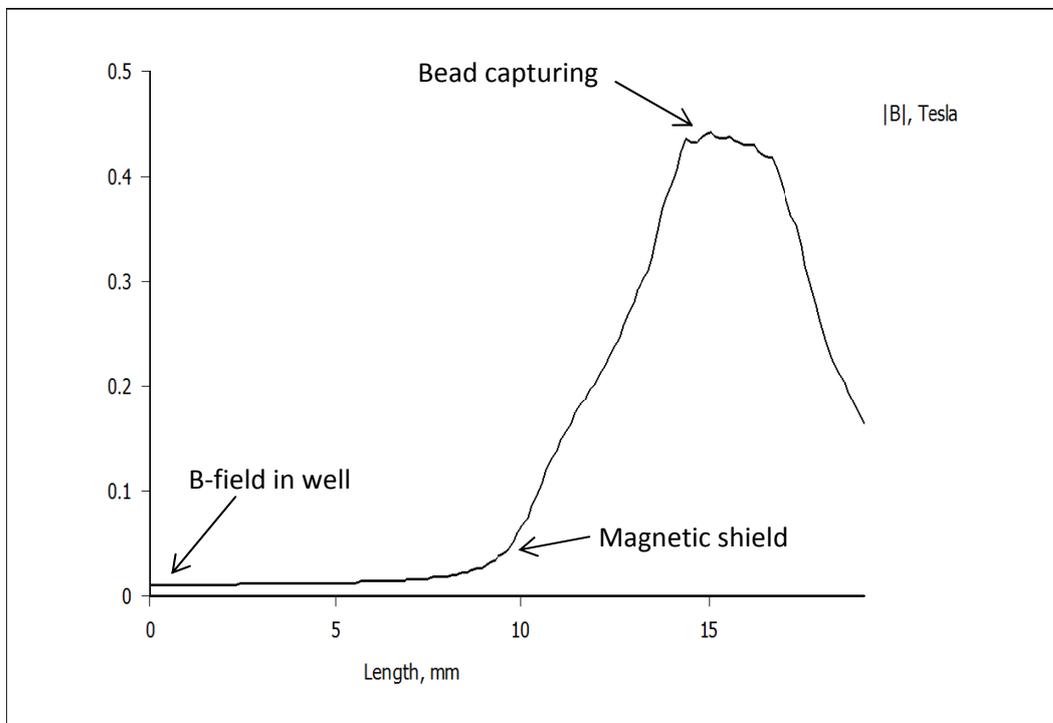
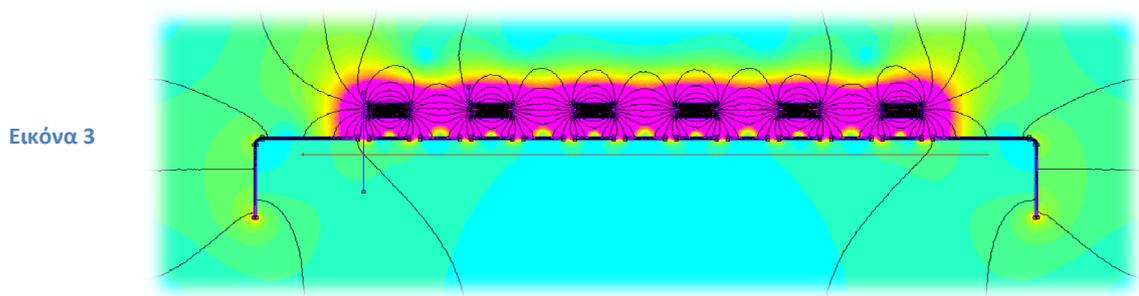
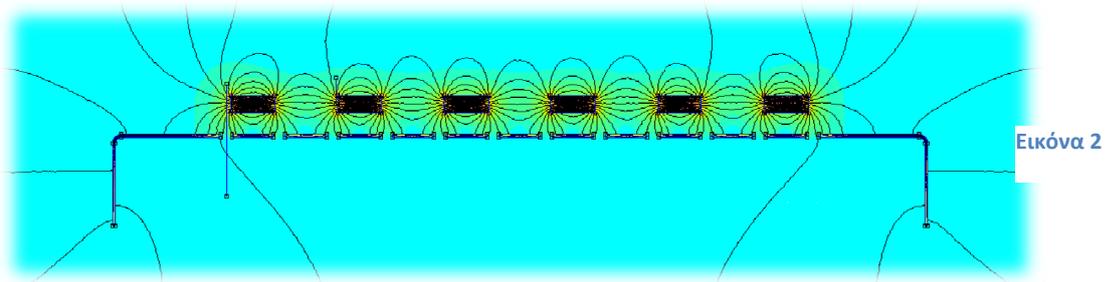
Ανάλυση

Προσομοιώνουμε την επίδραση της μαγνητικής θωράκισης με χρήση του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων για μαγνητισμό Femm:



Εικόνα 1

Σε διάταξη 96 κεφαλών (1 μαγνήτης για κάθε 2 πιπέτες)

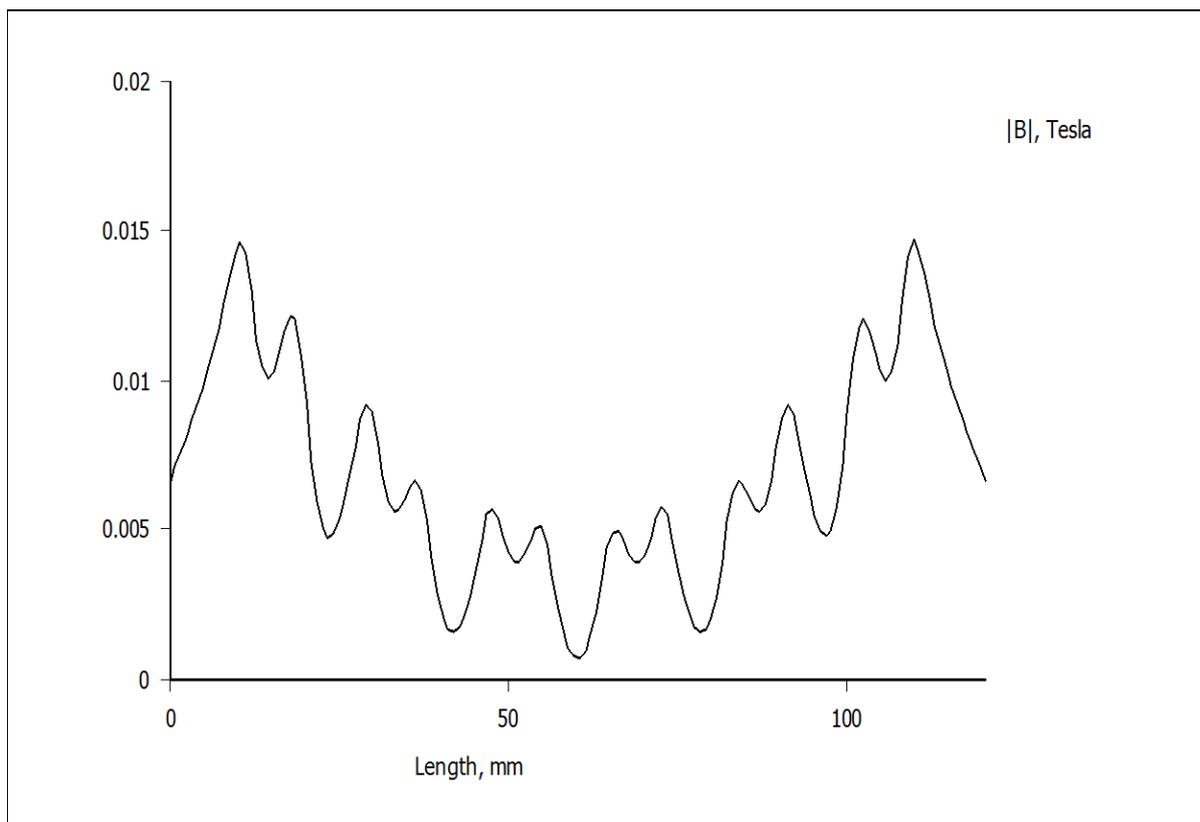


Στην Εικόνα 1 βλέπουμε εστίαση σε 2 διαδοχικούς μαγνήτες με μαγνητική θωράκιση από κάτω. Ο κεντρικός άξονας της πιπέτας βρίσκεται στην κατακόρυφη γραμμή μέσα στο διάκενο της θωράκισης.

Στην Εικόνα 2 βλέπουμε τις μαγνητικές γραμμές από setup 6 μαγνητών που εξυπηρετεί πλάκα 96 θέσεων. Η ανάλυση είναι δισδιάστατη και έχουμε πάρει την πλευρά της πλάκας που φέρει 12 θέσεις, 2 για κάθε μαγνήτη, ένας πόλος για κάθε θέση. Στην Εικόνα 3 βλέπουμε την πυκνότητα του μαγνητικού πεδίου. Η Εικόνα 4 είναι η σημαντική καθώς δείχνει την πυκνότητα του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος του κεντρικού άξονα της πιπέτας. Όπως φαίνεται, το μαγνητικό πεδίο μέσα στα wells της 96άρας πλάκας είναι περίπου 45 φορές μικρότερο από το μαγνητικό πεδίο στο σημείο παγίδευσης. Πρακτικά, τα σφαιρίδια εντός των wells είναι ανεπηρέαστα από το μαγνητικό πεδίο του σημείου παγίδευσης.

Η πρώτη κορυφή της καμπύλης είναι η πύκνωση του μαγνητικού πεδίου μέσα στην οπή της θωράκισης. Η συγκεκριμένη προσομοίωση πρέπει να γίνει σε λογισμικό 3d καθώς οι οπές δεν μπορούν να προσομοιωθούν με διάκενα και αυτό εισάγει σφάλματα στα αποτελέσματα.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη διακύμανση του μαγνητικού πεδίου κάτω από το θώρακα. Στα πλευρικά έχουμε μεγαλύτερη πυκνότητα λόγω του ότι ο βρόχος Faraday δεν κλείνει. Και πάλι όμως είναι αρκετά μικρή ώστε τα σφαιρίδια να θεωρούνται ανεπηρέαστα.



Εικόνα 5

| Μεταβλητές προσομοίωσης | |
|-------------------------|--|
| Τύπος Μαγνήτη | NdFeBN52, 3x3x7mm, 891000 A/m, $\mu=1.05$ |
| Υλικό θώρακα | Steel, AISI 1006 |
| Τύπος πλέγματος | Τριγωνικά στοιχεία, αδόμητο πλέγμα, 7e+5 στοιχεία, 3.5e+5 κόμβοι |
| Μέγεθος στοιχείων | 0.05 mm σε δομές , 0.2mm στο περιβάλλον |
| Βάθος πεδίου | 1 mm |
| Ακρίβεια επιλύτη | 1e-8 |

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

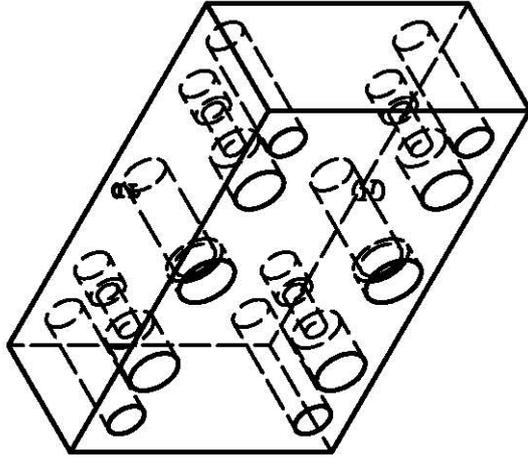
Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της συσκευής έγινε στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας ΕΜΠ. Με στόχο την ταχεία κατασκευή και το χαμηλό κόστος, δόθηκε προτεραιότητα κατά τον σχεδιασμό σε μεθόδους ταχείας προτυποποίησης (κοπή laser) και σε έτοιμα κομμάτια από το εμπόριο και προσπαθήσαμε να αποφύγουμε μηχανουργικές κατεργασίες. Τα μέρη που κατασκευάστηκαν είναι κατά κύριο λόγο από ακρυλικό (κοπή laser). Για τα μέρη που έγιναν με κατεργασίες κοπής επιλέξαμε αλουμίνιο και χάλυβα για τα δομικά στοιχεία, ορείχαλκο και τεφλόν για τα έδρανα ολίσθησης.

Test_v5_3

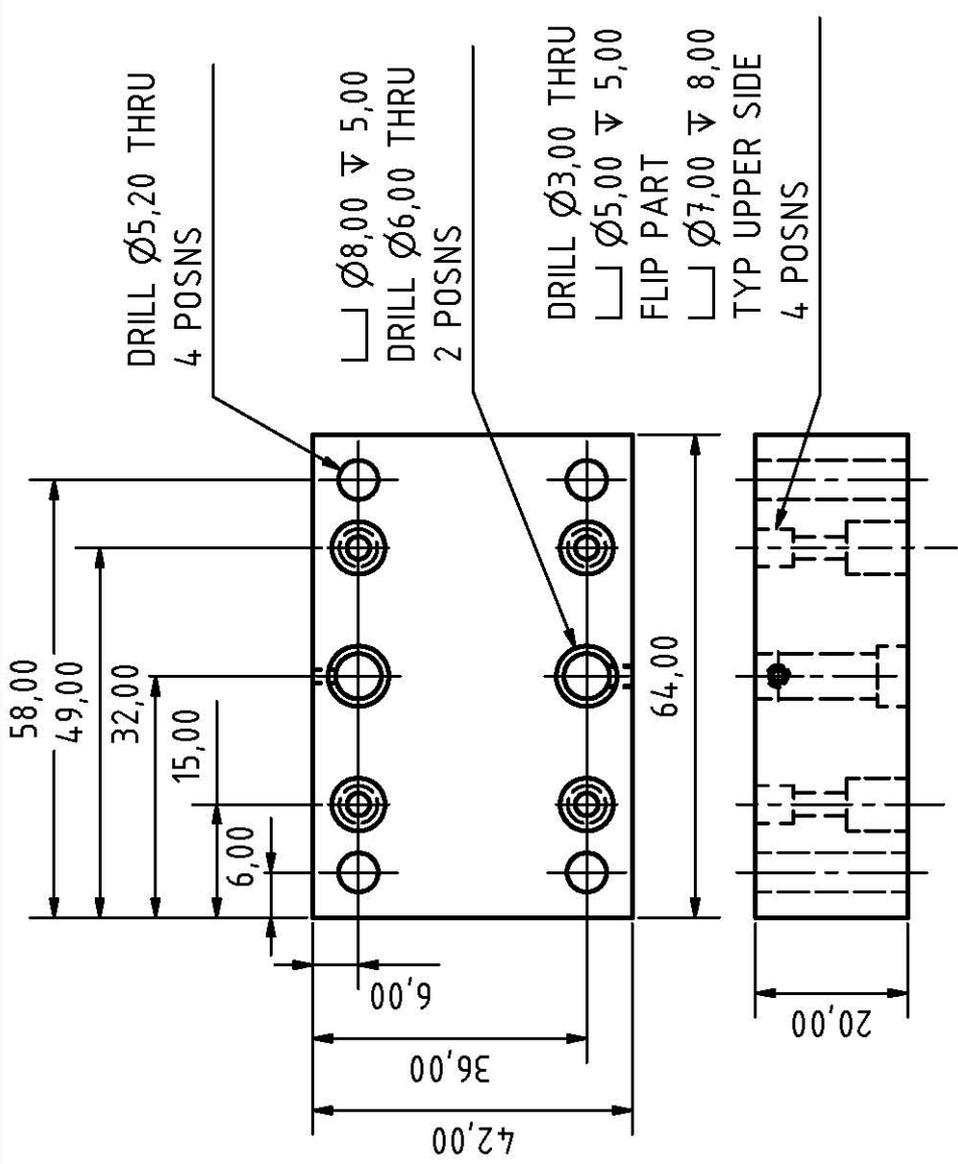
Base_for_mt

Base_v6

DRILL Ø2.5 BREAK THRU
TAP M3 FULL THD
2 POSNS



(1 : 1)



DRILL Ø5,20 THRU
4 POSNS

DRILL Ø8,00 ∇ 5,00
DRILL Ø6,00 THRU
2 POSNS

DRILL Ø3,00 THRU
Ø5,00 ∇ 5,00
FLIP PART
Ø7,00 ∇ 8,00
TYP UPPER SIDE
4 POSNS

| Date | Name |
|------------|----------|
| 12/20/2010 | gkan |
| Drawn | Checked |
| | Standard |

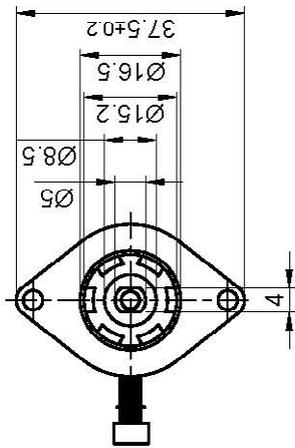
d_test1_syringe_block.idw

T1_A1_2

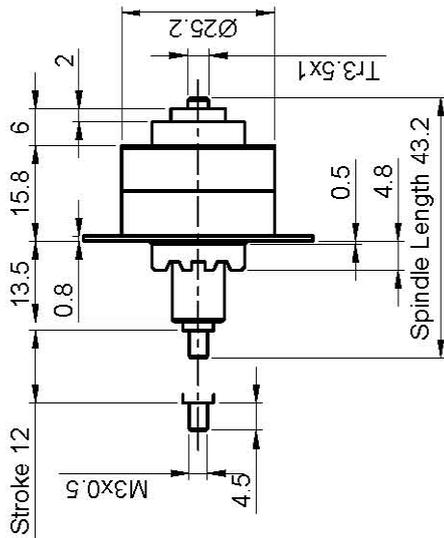
1
A4

| State | Changes | Date | Name |
|-------|---------|------|------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

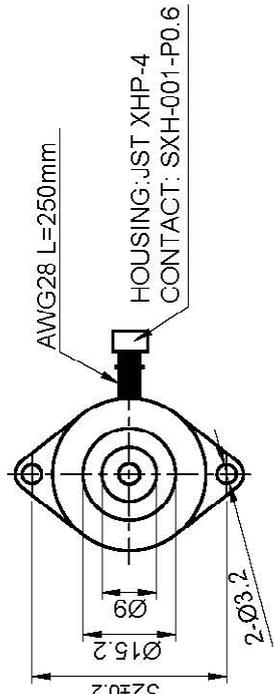
Front view and mounting



Side view



Rear view

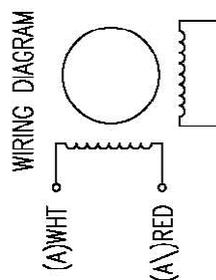


| CONNECTION | BIPOLAR |
|--|---------------|
| SPECIFICATION | |
| VOLTAGE (VDC) | 5.0 |
| AMPS/PHASE | 0.1 |
| INDUCTANCE/PHASE | 23.8±20% |
| RESISTANCE/PHASE (Ohms)@25°C | 53±8% |
| STEP ANGLE (°) | 15 |
| RESOLUTION (mm/STEP) | 0.0417 |
| THRUST (N) | 10 |
| STROKE (mm) | 12 |
| WEIGHT (Kg) [lb] | 0.036 [0.079] |
| TEMPERATURE RISE: MAX.75°C (MOTOR STANDSTILL; FOR 2 PHASE ENERGIZED) | |
| AMBIENT TEMPERATURE -20~ 50°C [-4°F ~ 122°F] | |
| INSULATION RESISTANCE 100 MOhm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY) | |

FULL STEP 2 PHASE-Ex., WHEN FACING MOUNTING END (X)

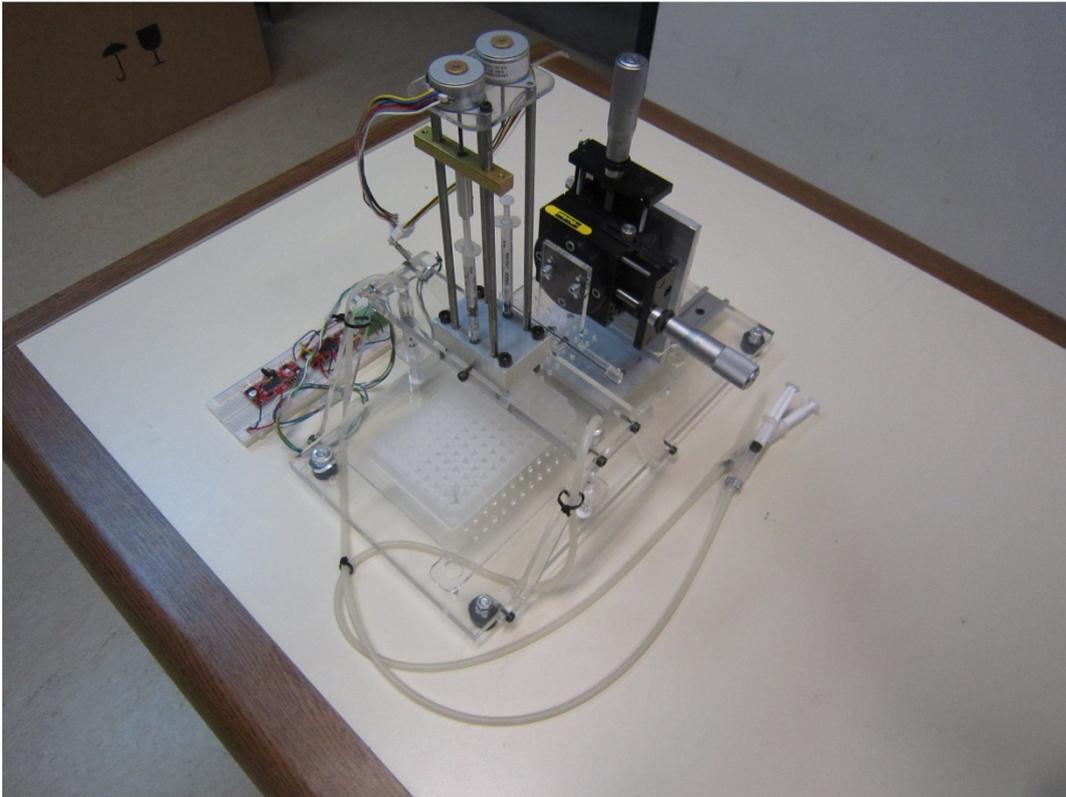
| STEP | A | B | A\ | B\ | CCW | CW |
|------|---|---|----|----|-----|----|
| 1 | + | + | - | - | ↑ | ↑ |
| 2 | - | + | + | - | ↓ | ↓ |
| 3 | - | - | + | + | ↑ | ↓ |
| 4 | + | - | - | + | ↓ | ↑ |

| TYPE OF CONNECTION (EXTERN) | MOTOR | | | |
|-----------------------------|---------|-------------------|-------|---------|
| | BIPOLAR | CONNECTOR PIN NO. | LEADS | WINDING |
| A - | 1 | WHT | A | A |
| A\ - | 2 | RED | A\ | A\ |
| B - | 3 | BLU | B | B |
| B\ - | 4 | YEL | B\ | B\ |

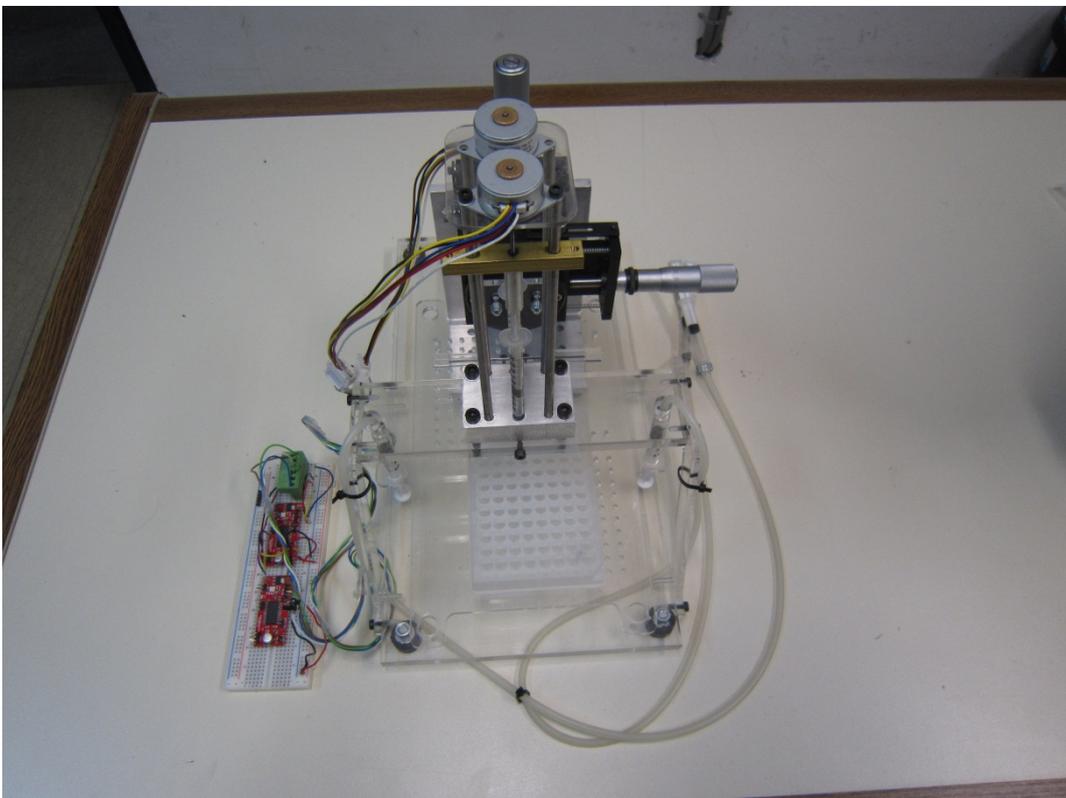


BOM

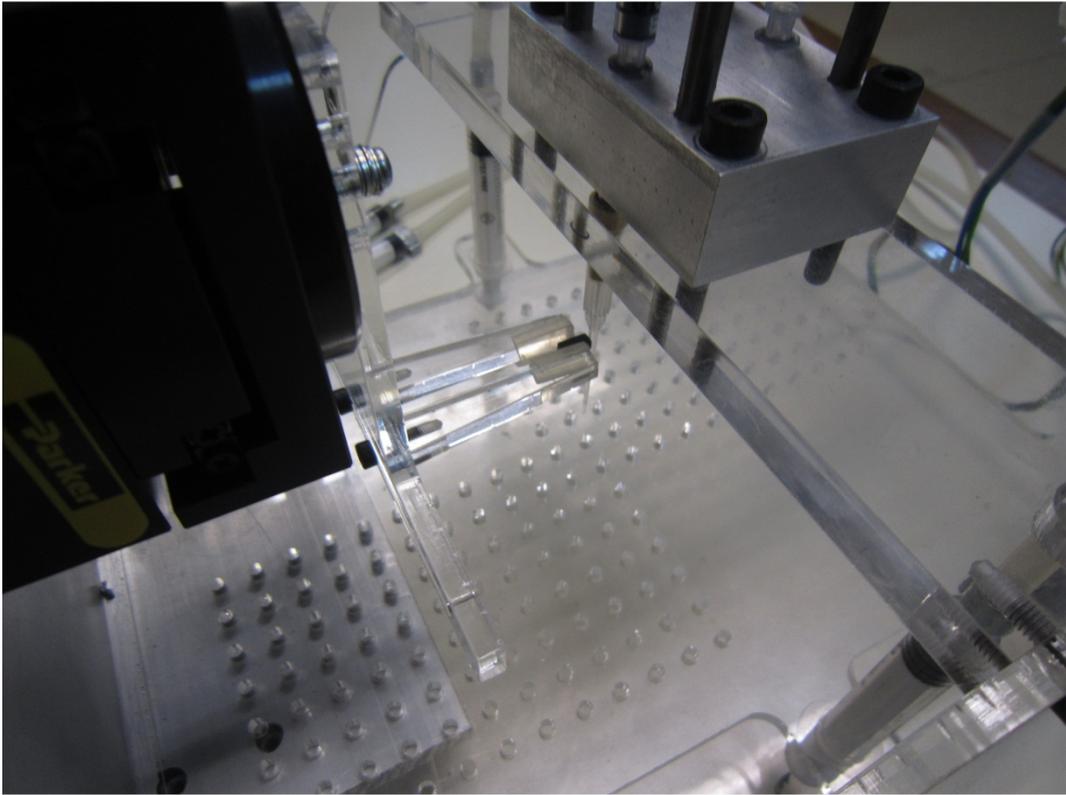
Φωτογραφίες



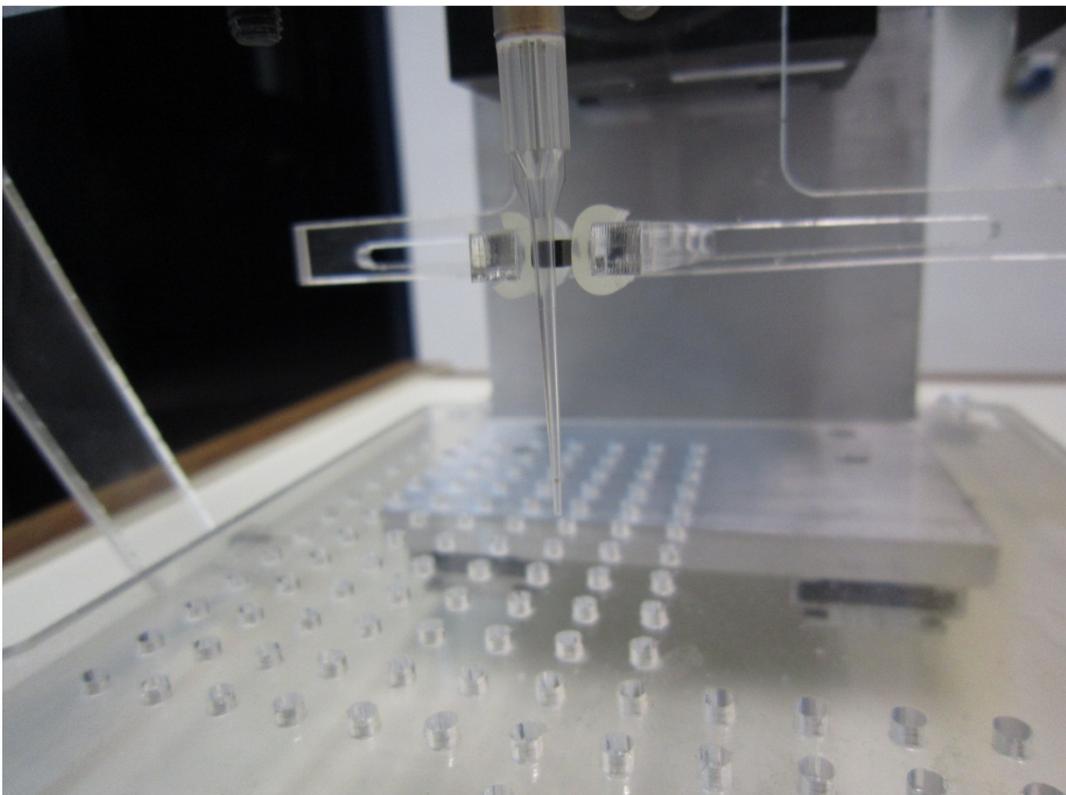
Διάταξη δοκιμών



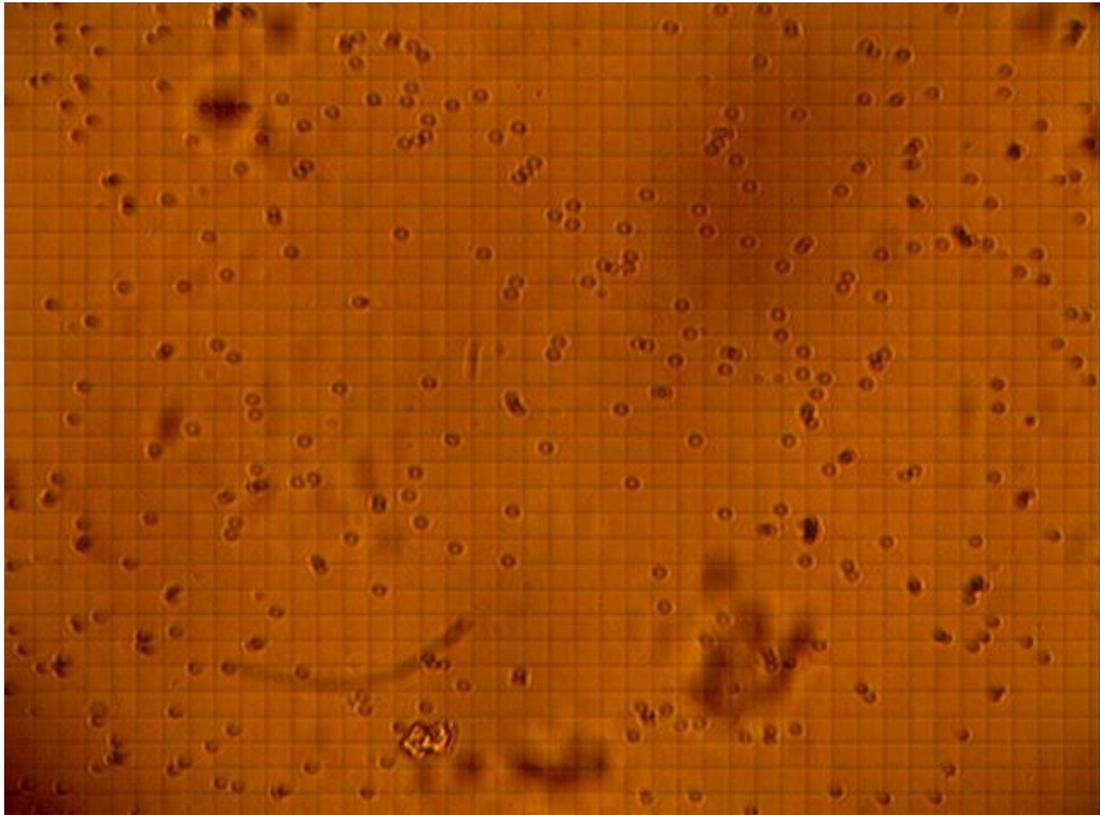
Διάταξη δοκιμών



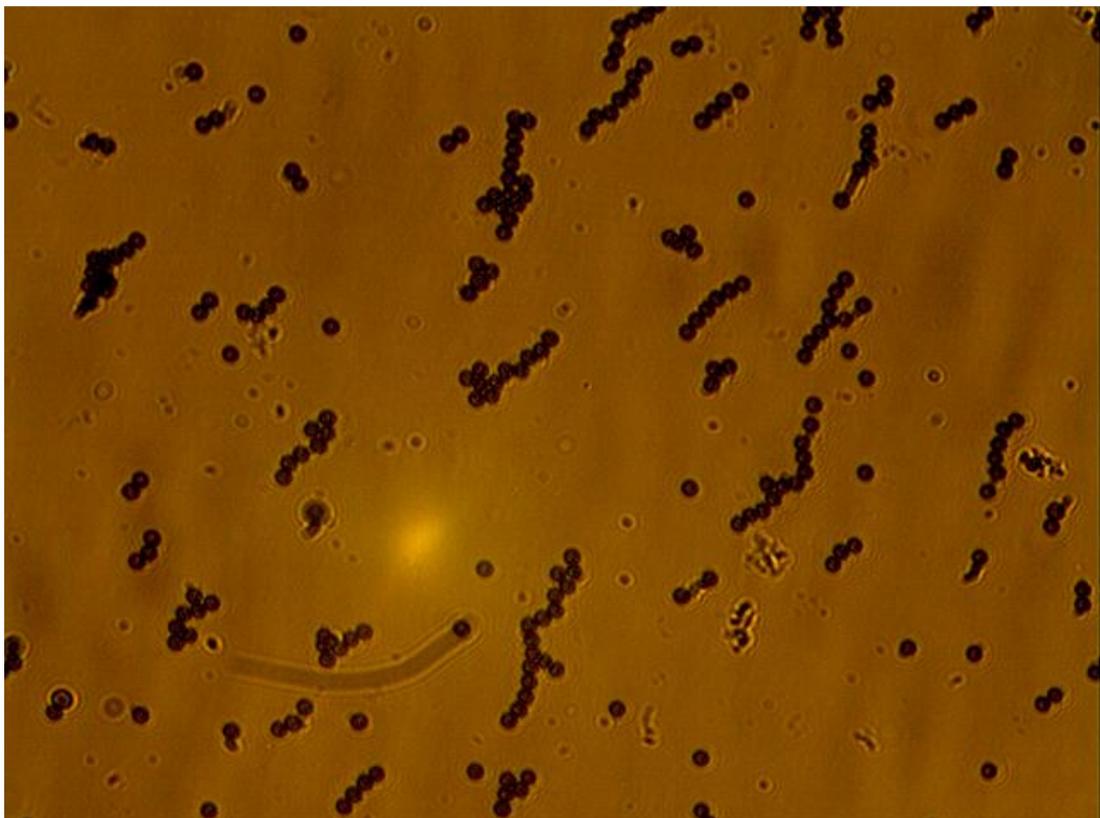
Αρπάγη μαγνήτη και μικρόμετρο



Μαγνήτης και πιπέτα



Μέτρηση μικροσφαιριδίων



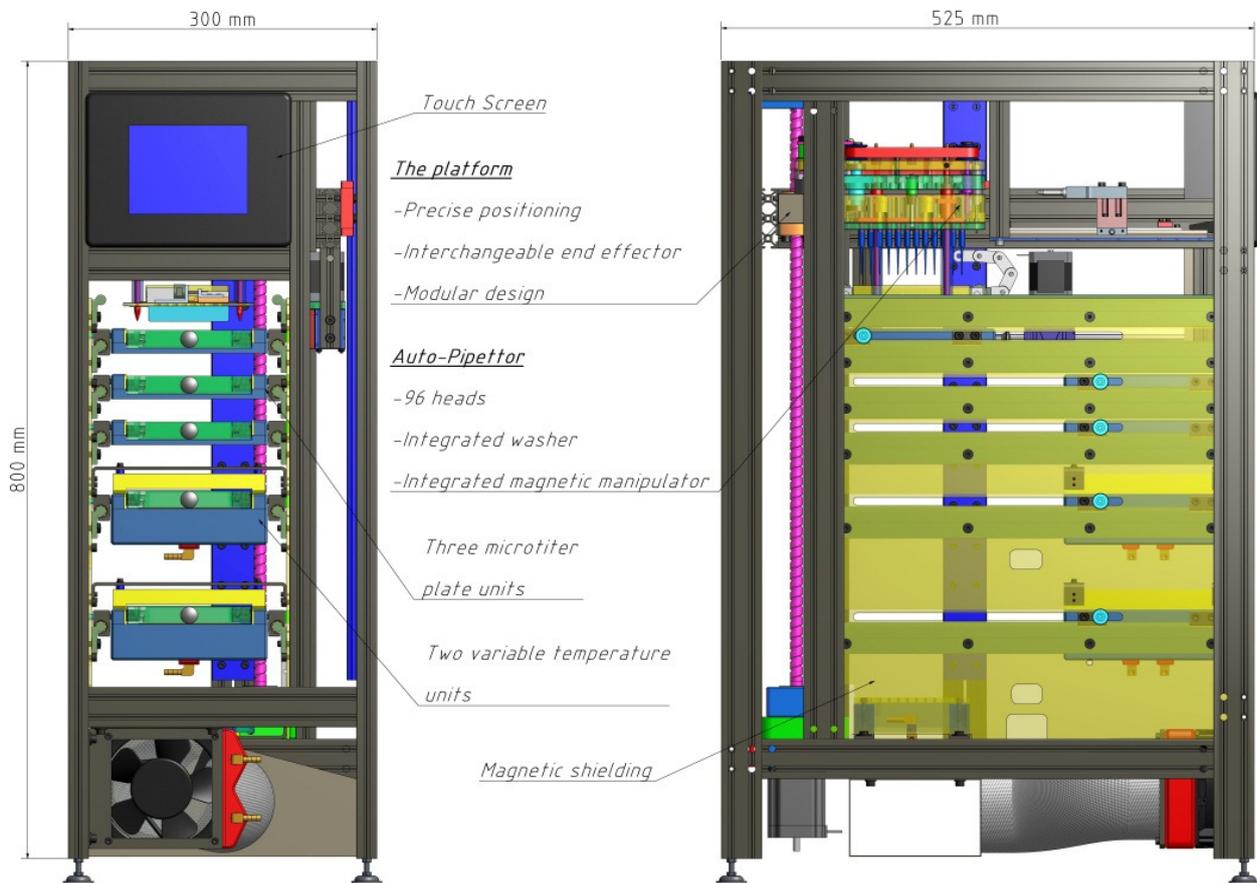
Σφαιρίδια υπό την επίδραση ασθενούς μαγνητικού πεδίου

7. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Συνολική Παρουσίαση

Γενικά

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε η τεχνολογία των μαγνητικών μικροσφαιριδίων, η χρήση τους στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας ΕΜΠ και ο προκαταρκτικός σχεδιασμός μια πλατφόρμας διαχείρισης αυτών των σφαιριδίων με σκοπό την αυτοματοποίηση της διεξαγωγής πειραμάτων του εργαστηρίου. Εδώ θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός ενός πρωτοτύπου για αυτή την πλατφόρμα. Τα κριτήρια του σχεδιασμού ήταν το χαμηλό κόστος, η λειτουργικότητα, η κατασκευή των τμημάτων (όσο αυτό είναι εφικτό) με τεχνολογίες που διαθέτει το εργαστήριο και το modularity, ώστε να μπορεί ο σχεδιαστής να τροποποιεί ή και να αντικαθιστά τμήματα του πρωτοτύπου σε επίπεδο alpha testing χωρίς να χρειάζεται μεγάλη παρέμβαση στο σύνολο της πλατφόρμας. Αυτό το τελευταίο κριτήριο, που είναι πολύ σημαντικό για να είναι τελικά λειτουργική η κατασκευή, καθιστά την πρώτη αυτή πλατφόρμα πειραματικό πρωτότυπο, κάτι δηλαδή που διαφέρει από ένα εμπορικό πρωτότυπο στο ότι έχει μικρότερες δυνατότητες αυτοματοποίησης στην κατασκευή του, μεγαλύτερο κόστος και μεγαλύτερο βάρος. Δίνεται προτεραιότητα σε έτοιμα εξαρτήματα που βρίσκονται στο εμπόριο έναντι εξαρτημάτων που πρέπει να κατασκευαστούν. Για αυτά τα δεύτερα δίνεται προτεραιότητα σε κατεργασίες μηχανικής κοπής (CNC φρέζα, χειροκίνητος τόρνος, δράπανο) και κοπής laser σε πλαστικά διότι αυτές τις μηχανές διαθέτει το εργαστήριο. Ωστόσο, εκεί που είναι απαραίτητο, περιλαμβάνονται και κατεργασίες στράντζας και κοπής laser μετάλλου, καθώς και χρήση CNC τόρνου. Σημειώνεται εδώ ότι σε ένα εμπορικό πρωτότυπο, τα περισσότερα μέρη που απαιτούν κατεργασία θα ήταν κοπή laser και στράντζα λόγω του χαμηλού κόστους και της ταχύτητας αυτών των μεθόδων, ενώ οι κατεργασίες μηχανουργείου θα περιορίζονταν στα μέρη που είναι πραγματικά αναγκαία η ακρίβεια. Επίσης σημειώνεται ότι η χρήση ηλεκτρονικών, σε επίπεδο πειραματικού πρωτοτύπου, περιορίζεται σε απλούς controllers και drivers με χαμηλό κόστος και εύκολο χειρισμό, απλά για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της πλατφόρμας. Τα ηλεκτρονικά που επιλέγονται εδώ δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε ένα εμπορικό πρωτότυπο λόγω της χαμηλής αξιοπιστίας τους και, σε κάποια από αυτά, της μικρής διάρκειας ζωής τους. Τα λοιπά μέρη της μηχανής που θα μείνουν ως έχουν σε ένα εμπορικό πρωτότυπο (γλίστρες, συστήματα μετάδοσης κίνησης, κινητήρες, αντλίες, λοιπά εξαρτήματα) έχουν επιλεγεί με κριτήριο πρακτικά διαρκούς αντοχής, δηλαδή ο κύκλος ζωής της πλατφόρμας είναι πάνω από $1e+5$ ώρες λειτουργίας. Τέλος υπάρχουν δύο κομμάτια τα οποία δεν θίγει η παρούσα εργασία αλλά πρέπει να διερευνηθούν σε επίπεδο εμπορικού πρωτοτύπου. Το πρώτο είναι το περίβλημα της πλατφόρμας και η αισθητική του προϊόντος, και το δεύτερο και πιο σημαντικό είναι το λογισμικό σε επίπεδο χειρισμού από τον τελικό χρήστη.

Πειραματικό πρωτότυπο πλατφόρμας

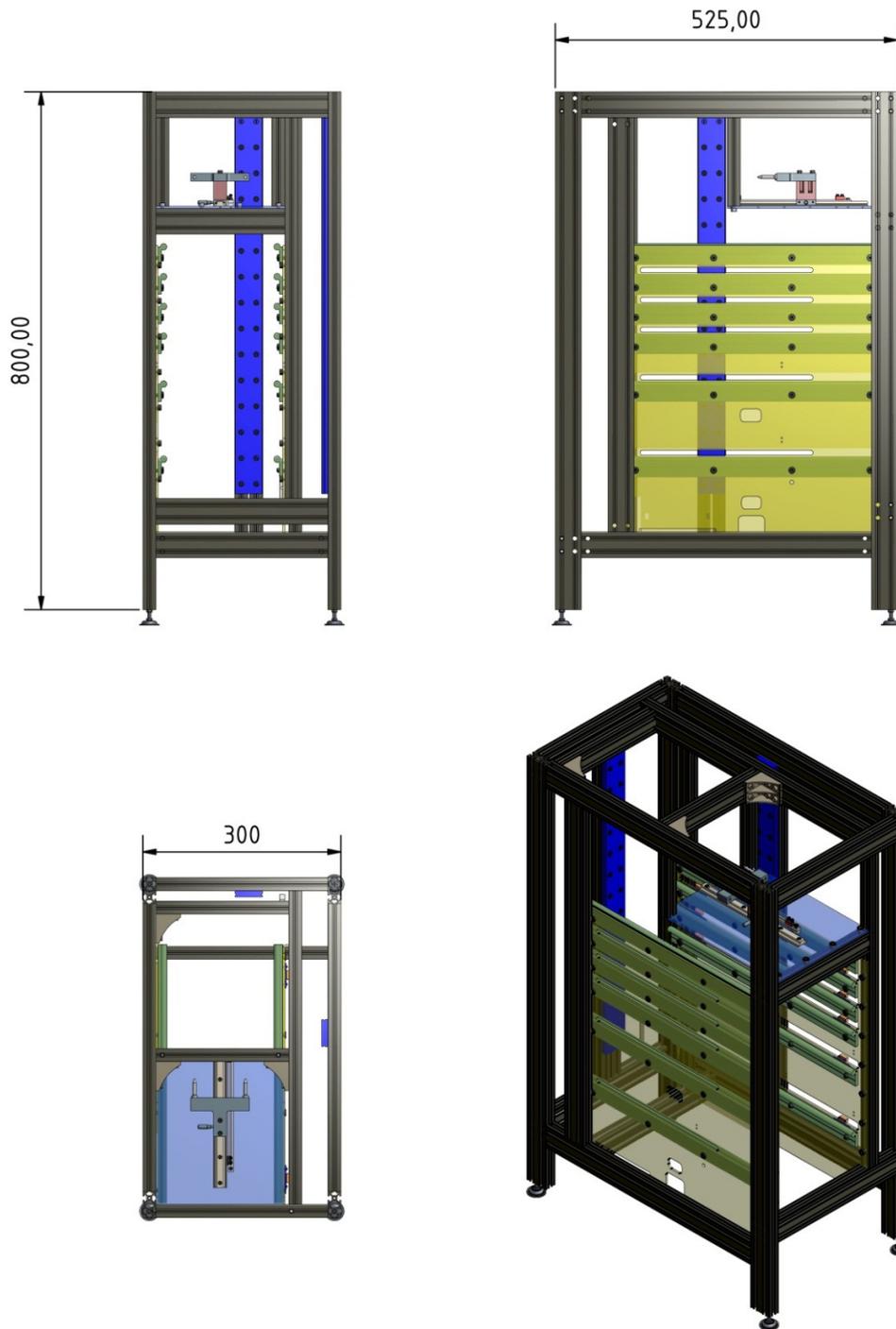


Παραπάνω παρουσιάζεται η μορφή του πρωτοτύπου χωρίς το routing των καλωδίων και των σωληνώσεων και χωρίς τα ηλεκτρονικά και τα εξωτερικά υποσυστήματα (φιάλες αποθήκευσης buffer και waste). Αριστερά φαίνεται η μπροστά όψη και δεξιά η πλάγια. Είναι λίγο μεγαλύτερο από έναν πύργο υπολογιστή και συνολικά καταλαμβάνει περίπου το 1/4 του χώρου ενός freedom eva. Οι χειρισμοί γίνονται από το εμπρόσθιο τμήμα μέσω μιας οθόνης αφής. Στο πάνω τμήμα της πλάγιας όψης φαίνεται η κεφαλή που φέρει τις πιπέτες. Στην κεφαλή συγκεντρώνονται όλα τα συστήματα διαχείρισης υγρών και μικροσφαιριδίων. Η οδήγησή της γίνεται με ball screw που φαίνεται επίσης στην πλάγια όψη. Η πλατφόρμα φέρει 5 θέσεις για 96άρες πλάκες εκ των οποίων οι 2 έχουν σύστημα ψύξης με στοιχεία peltier. Ο ανεμιστήρας στο κάτω τμήμα είναι τμήμα συστήματος υδρόψυξης για τη θερμή πλευρά των στοιχείων peltier. Οι πιπέτες φορτώνονται στην κεφαλή από το άνοιγμα στο πλάι της πλατφόρμας και κλειδώνουν με σύστημα που θα αναλυθεί πιο κάτω. Τα πλευρικά τμήματα είναι από φύλλο χάλυβα και λειτουργούν ως μαγνητική θωράκιση για ολόκληρη την πλατφόρμα. Παρακάτω παρουσιάζεται σχέδιο με τα μέρη της πλατφόρμας.

D_FP_001 A3

Συνοπτική παρουσίαση μερών και μεταξύ τους σύνδεση

Platform structural assembly –Σκελετός της πλατφόρμας (2)



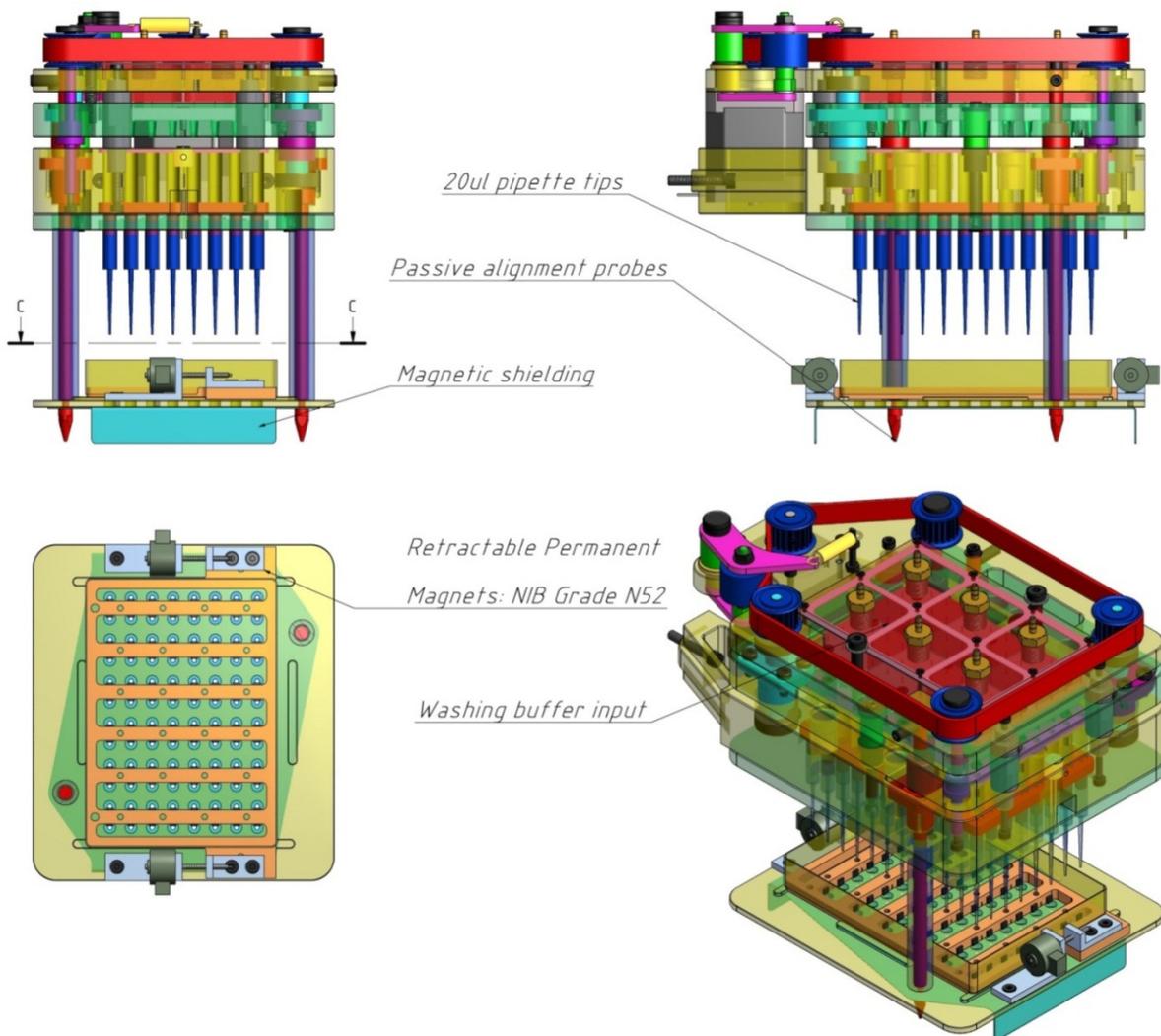
Ο σκελετός της πλατφόρμας αποτελείται από τα δομικά μέρη της συσκευής (προφίλ αλουμινίου / στραντζαριστά και φύλλα χάλυβα) και φέρει τις γλίστρες επί των οποίων κινούνται οι μηχανισμοί. Πιο συγκεκριμένα, στο εσωτερικό των πλευρικών του σκελετού υπάρχουν απλές γλίστρες τριβής για τα ράφια που φέρουν 96άρες πλάκες, ενώ στο πίσω και δεξί τμήμα υπάρχουν γλίστρες για ένσφαιρα βαγονέτα πάνω στα οποία εδράζεται η κεφαλή και ο βραχίονας κίνησης κατά x. Επιπλέον, υπάρχει επίπεδο κομμάτι το οποίο προορίζεται για την τοποθέτηση τμήματος των ηλεκτρονικών και τον υποδοχέα της 96άρας πλάκας. Τα πλευρικά της πλατφόρμας είναι από φύλλο χάλυβα το οποίο συγκρατεί τις οριζόντιες γλίστρες και λειτουργεί και ως μαγνητική θωράκιση για τις πλάκες.

Touch Screen – Οθόνη αφής (3)

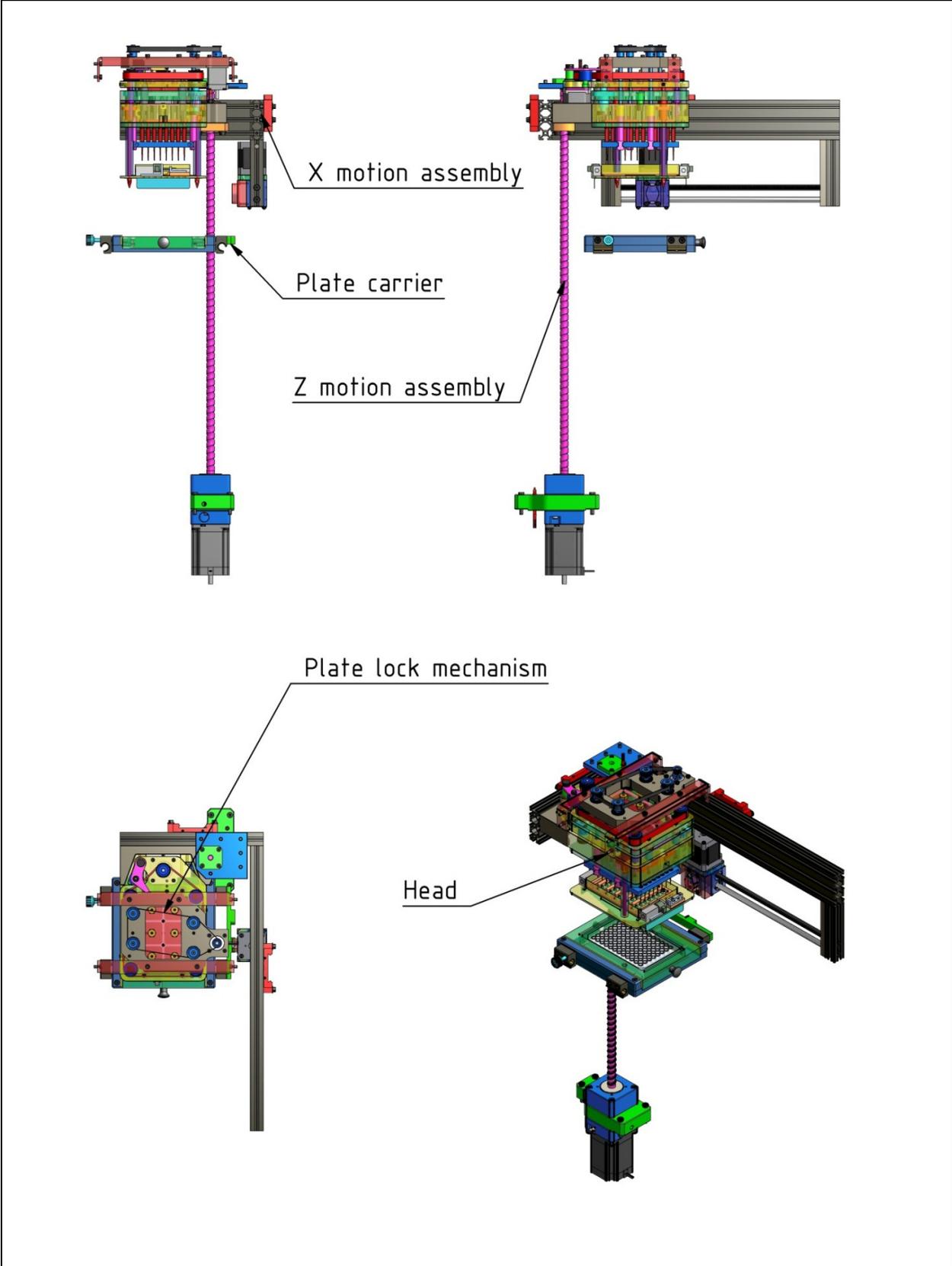


Από τη οθόνη αφής γίνονται όλοι οι χειρισμοί της πλατφόρμας όταν αυτή είναι σε offline mode (λειτουργεί χωρίς σύνδεση με Η/Υ). Η συγκεκριμένη οθόνη είναι η C-more 6" της εταιρίας Iamonde, που έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και ως τερματικό Η/Υ. Ωστόσο οποιαδήποτε άλλη οθόνη ίδιου μεγέθους μπορεί να τοποθετηθεί στην πλατφόρμα. Λόγω του ότι σε αυτή την εργασία δεν θίγεται το θέμα του λογισμικού, δεν αναλύεται περαιτέρω το θέμα της οθόνης, καθώς ενδέχεται να μην είναι κατάλληλη λόγω κόστους/απαιτήσεων.

Head – Κεφαλή (7)

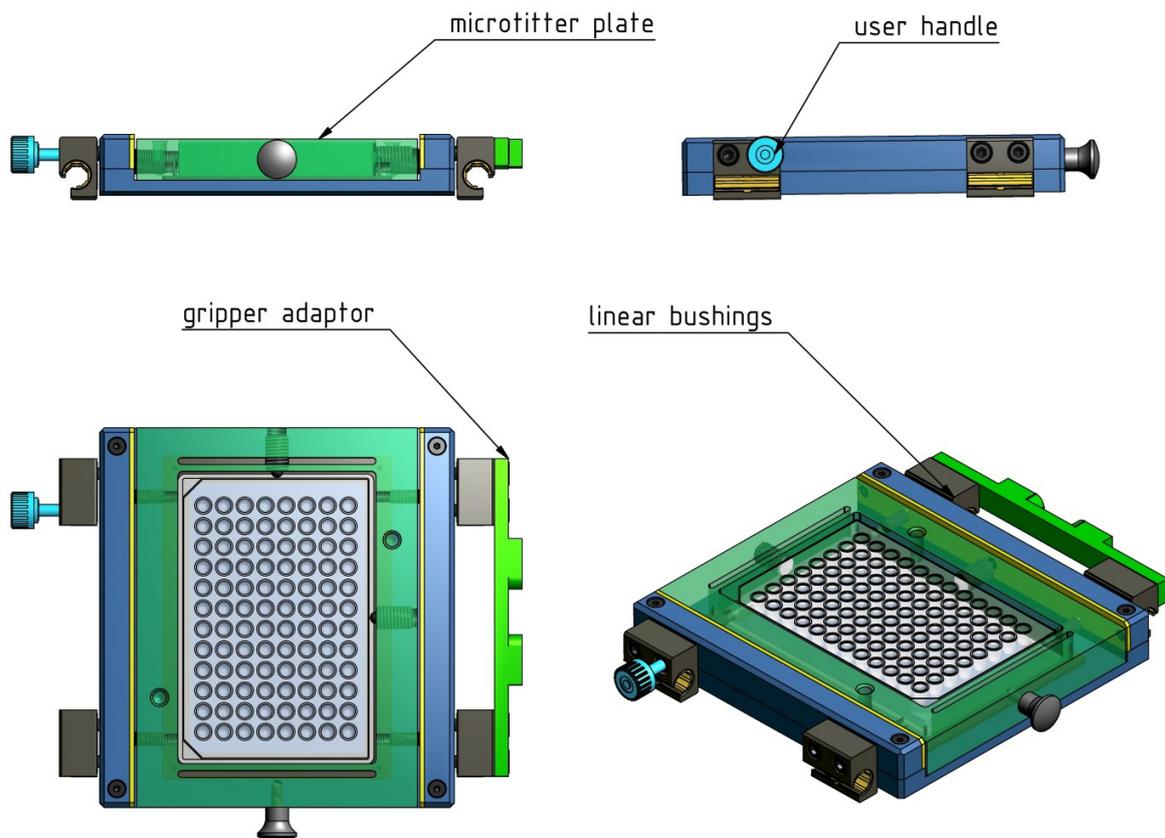


Η κεφαλή επιτελεί τις βασικές λειτουργίες της πλατφόρμας, που είναι η διαχείριση υγρών, η παγίδευση των μικροσφαιριδίων και η πλύση των μικροσφαιριδίων. Πρόκειται για ένα αυτόνομο κομμάτι της συσκευής που προσαρμόζεται σε υποδοχή του συστήματος κίνησης κατά z (8). Η κεφαλή δέχεται πιπέτες των 20 μl που εισάγονται από το πλάι της πλατφόρμας και κλειδώνονται με ειδικό μηχανισμό (1) στην κεφαλή. Η αναρρόφηση γίνεται από εσωτερικές σύριγγες σκαλισμένες στο αλουμινένιο σώμα με ενδιάμεσο χιτώνιο από βοροπυρίτιο. Η πλύση γίνεται όπως παρουσιάστηκε στο κομμάτι του προκαταρκτικού σχεδιασμού, όμως οι εισαγωγές διαλύματος είναι ενωμένες ανά ομάδες των 16 και τροφοδοτούνται με διάλυμα από περισταλτικές αντλίες και εξωτερικό δοχείο. Η παγίδευση γίνεται με τους μαγνήτες που επιλέχθηκαν από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι μαγνήτες προσαρμόζονται σε αλουμινένια βάση που τους διατάσσει σε σειρά κατά μήκος των πιπέτων και σε επαφή με το περίβλημά τους. Η μετακίνηση των μαγνητών για την εναλλαγή θέσεων παγίδευσης/απελευθέρωσης γίνεται με δίδυμο σύστημα βηματικών κινητήρων. Η πλάκα που φέρει τους μαγνήτες είναι αρχικά κάτω από τις πιπέτες και έρχεται στο σωστό ύψος με χρήση οδηγών αξόνων και ελατηρίων.



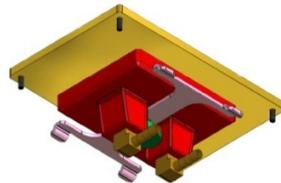
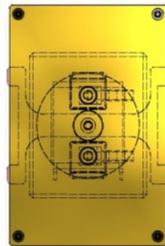
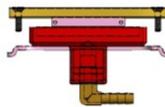
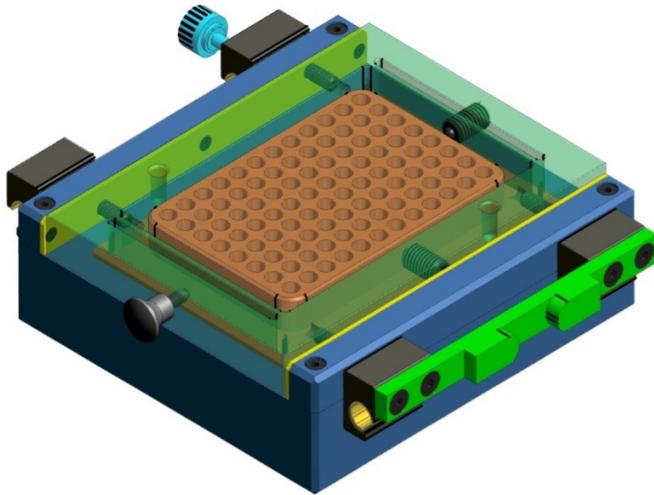
Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η πρόσδεση της κεφαλής με τα γύρω της υποσυστήματα. Η 96άρα πλάκα (4,5) τοποθετείται από τον βραχίονα (10) κάτω από την κεφαλή (7). Η κεφαλή, ούσα προσδεμένη στον άξονα Z (8) οδηγείται κάθετα προς την πλάκα. Με χρήση ειδικών πέρων γίνεται ευθυγράμμιση των δύο κομματιών (self aligning) και ενώ οι μαγνήτες μένουν σταθεροί, η κεφαλή εξακολουθεί να κατέρχεται μέχρις ότου οι πιπέτες βρεθούν στην επιθυμητή θέση. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται τα βήματα που ορίζει το πρωτόκολλο, η κεφαλή απομακρύνεται και η πλάκα επανέρχεται στη θέση user (έξω από τη διαδρομή της κεφαλής).

Platecarrier - Βαγονέτα για πλάκες με 96 βοθρία (4)



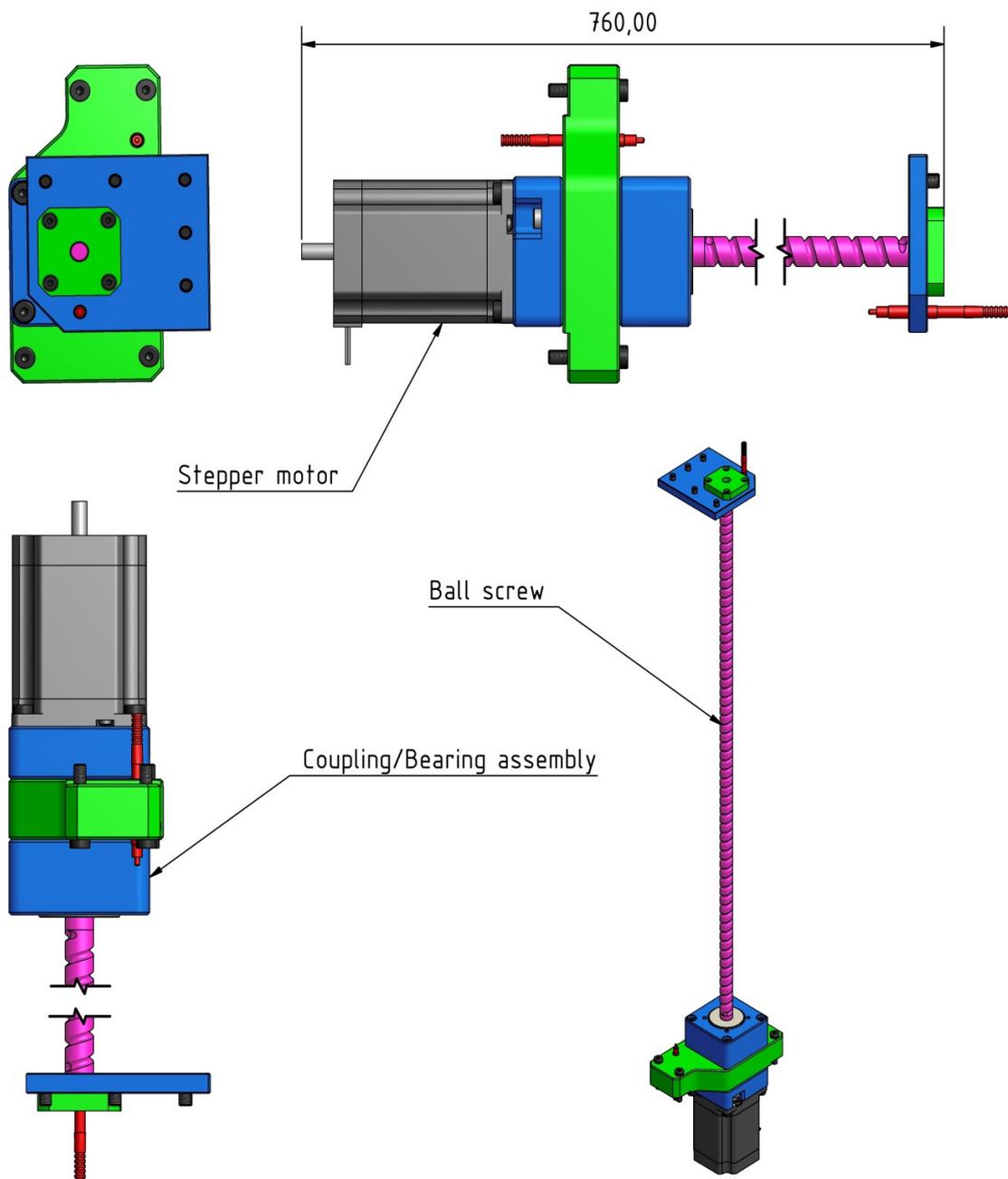
Τα 3 βαγονέτα με τα οποία είναι εξοπλισμένη η πλατφόρμα έχουν υποδοχές για ακρυλικές βάσεις που φέρουν πλάκες 96 βοθρίων. Οι βάσεις ευθυγραμμίζονται με το βαγονέτο με τη χρήση ball plungers και οπών κατάλληλου μεγέθους. Με τον ίδιο τρόπο ευθυγραμμίζεται και η πλάκα μέσα στην ακρυλική βάση τοποθετούμενη κάτω και αριστερά υπό το φορτίο 2 ball plungers τα οποία βρίσκονται εντός της βάσης. Στο δεξί κομμάτι φέρει αντάπτορα για τον ρομποτικό βραχίονα που μετακινεί τα βαγονέτα κατά τον x άξονα. Τα βαγονέτα φέρουν 4 γραμμικά έδρανα ολίσθησης της εταιρίας igus, τα οποία ολισθαίνουν πάνω στις αλουμιένιες ράγες του σκελετού της πλατφόρμας. Στο αριστερό τμήμα υπάρχει χειρολαβή για χειροκίνητη μετακίνηση. Η ακρυλική βάση φέρει σχισμές εντός των οποίων τοποθετούνται τα άκρα του μαγνητικού θώρακα.

Plate carrier/cooler – Βαγονέτα με σύστημα ψύξης



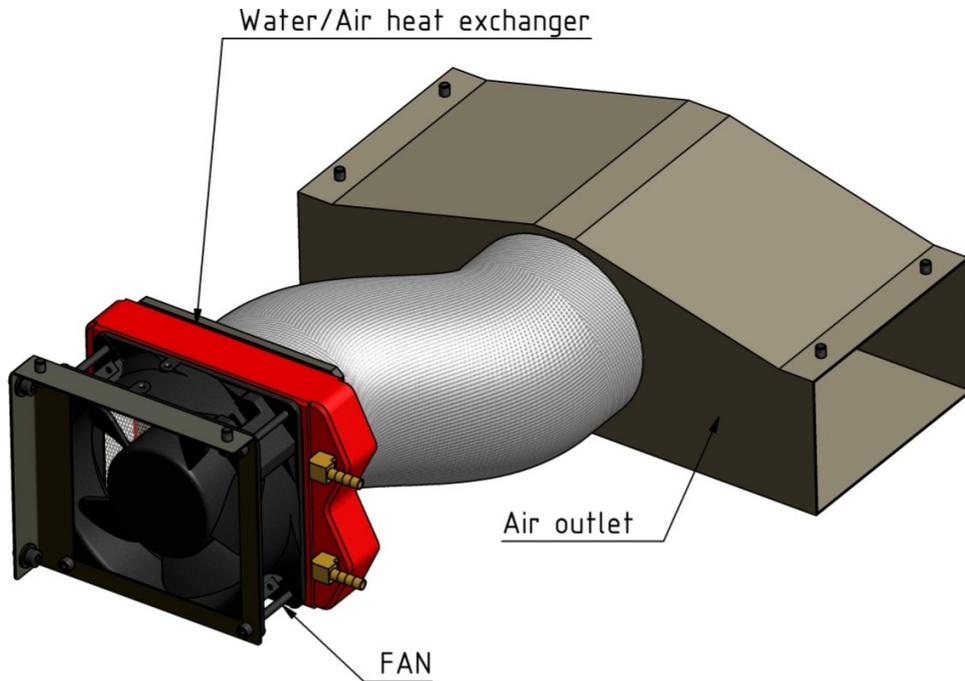
Τα βαγονέτα με σύστημα ψύξης έχουν τα ίδια συστήματα πρόσδεσης με τα απλά βαγονέτα. Η ακρυλική βάση που φέρει την πλάκα 96 βοθρίων έχει χάλκινο υποδοχέα που λειτουργεί ως εναλλάκτης για την ψύξη των δειγμάτων. Πάνω στο βαγονέτο υπάρχει ενσωματωμένο σύστημα ψύξης από στοιχείο peltier που ψύχει με τη σειρά του χάλκινη πλάκα πάνω στην οποία εδράζεται ο εναλλάκτης της βάσης. Το στοιχείο peltier λειτουργεί ως αντλία θερμότητας από την 96άρα πλάκα προς το περιβάλλον. Η μετάδοση θερμότητας γίνεται με σύστημα υδρόψυξης (9) που εξυπηρετεί και τα δύο βαγονέτα ταυτόχρονα. Επιπλέον, λόγω της αρχής λειτουργίας των θερμοστοιχείων, η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως thermocycler ή σύστημα κατάψυξης. Σε αντίθεση με τα απλά βαγονέτα, τα δύο που φέρουν σύστημα ψύξης δεν έχουν μεταλλικό κέλυφος αλλά μονωτικά μέρη από πολυαμίδιο και αφρό πολυστερενίου.

Zmotionassembly – Σύστημα κίνησης κατά Z (8)

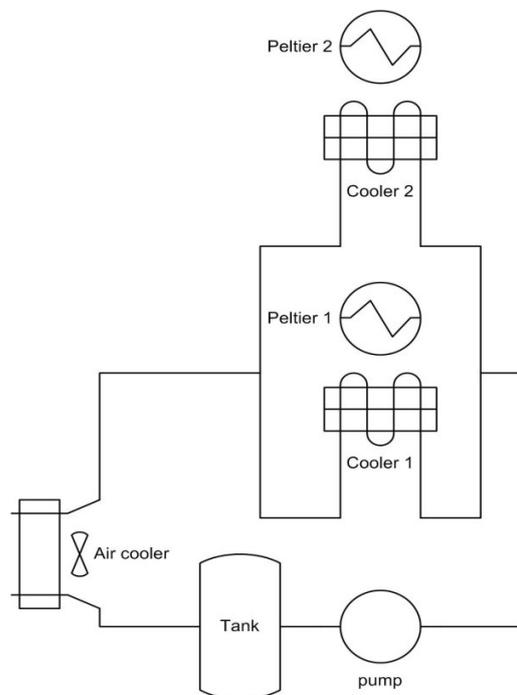


Το σύστημα κίνησης κατά Z οδηγείται από βηματικό κινητήρα προσδεδεμένο με κόπλερ σε κοχλία κίνησης με σφαιρικούς τριβείς (ball screw). Στο περικόχλιο του κοχλία δένονται ο ρομποτικός βραχίονας x και η κεφαλή της πλατφόρμας. Στις ακραίες θέσεις του κοχλία υπάρχουν τερματικοί διακόπτες επαφής.

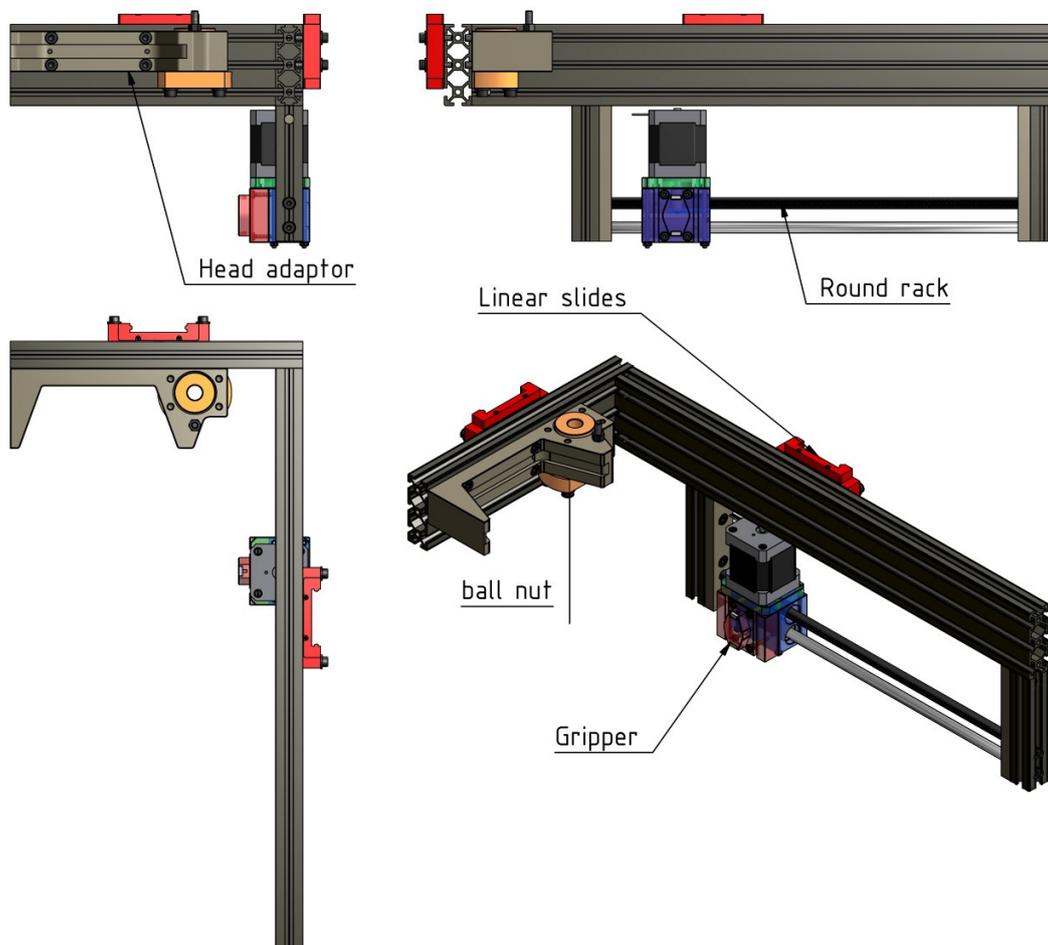
Hydrocooler assembly – Σύστημα υδρόψυξης (9)



Το σύστημα υδρόψυξης χρησιμοποιείται για την ψύξη της θερμής πλευράς των θερμοστοιχείων που ψύχουν τα δείγματα. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η λειτουργία του κυκλώματος. Το μέσο ψύξης φεύγει από τη δεξαμενή με χρήση αντλίας και περνάει από εναλλάκτες που ψύχουν τα στοιχεία peltier. Στη συνέχεια περνάει από εναλλάκτη με ανεμιστήρα που ψύχει στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και επιστρέφει στη δεξαμενή. Οι δύο εναλλάκτες μπορούν να είναι σε διάταξη σειράς, που είναι πιο οικονομική από πλευράς εξαρτημάτων, ή σε παράλληλη διάταξη, που είναι πιο σωστή από πλευράς ψύξης, αφού στην πρώτη περίπτωση το δεύτερο στοιχείο peltier θα ψύχεται με μέσο υψηλότερης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να δουλεύει σε υψηλότερες ισχύεις για να έχει το ίδιο αποτέλεσμα με το πρώτο. Ωστόσο στην παράλληλη διάταξη θα είναι πιο δύσκολο να διαγνωστεί ένα πρόβλημα στη ροή του ενός εναλλάκτη.

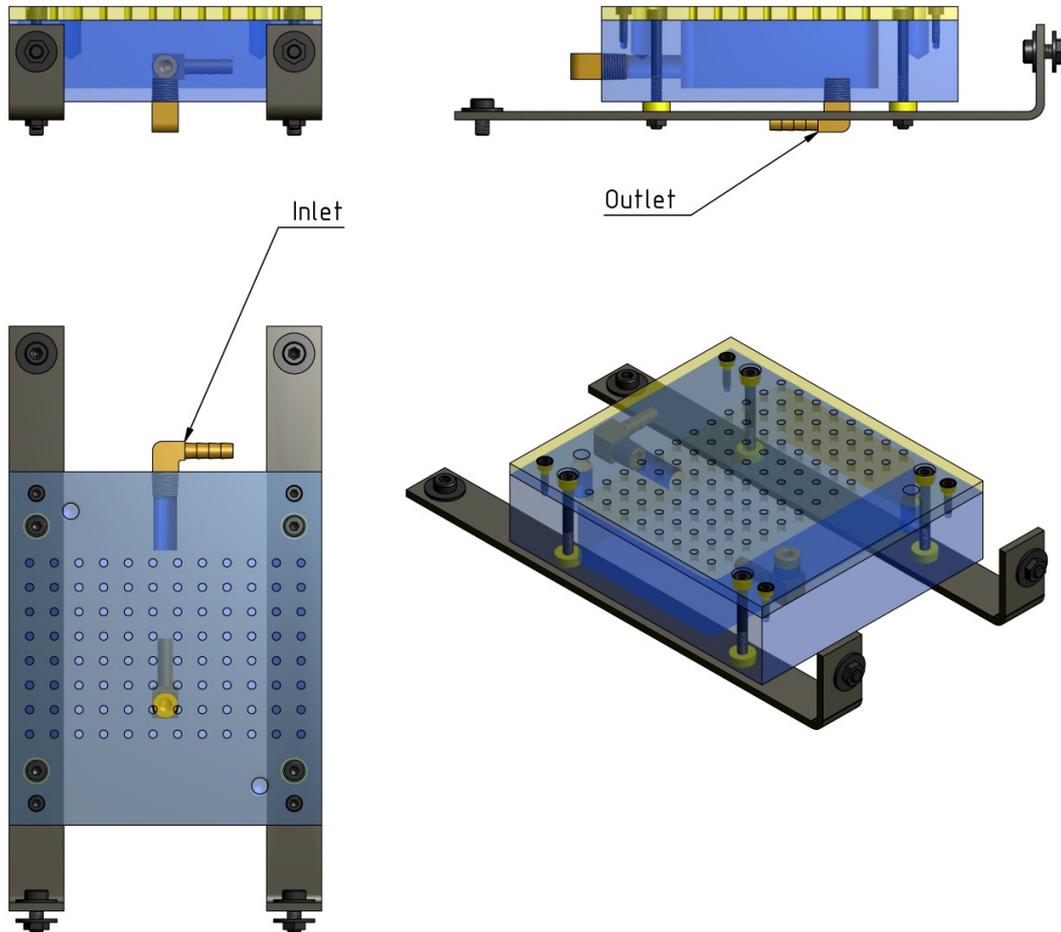


X motion assembly – Σύστημα κίνησης κατά x (10)



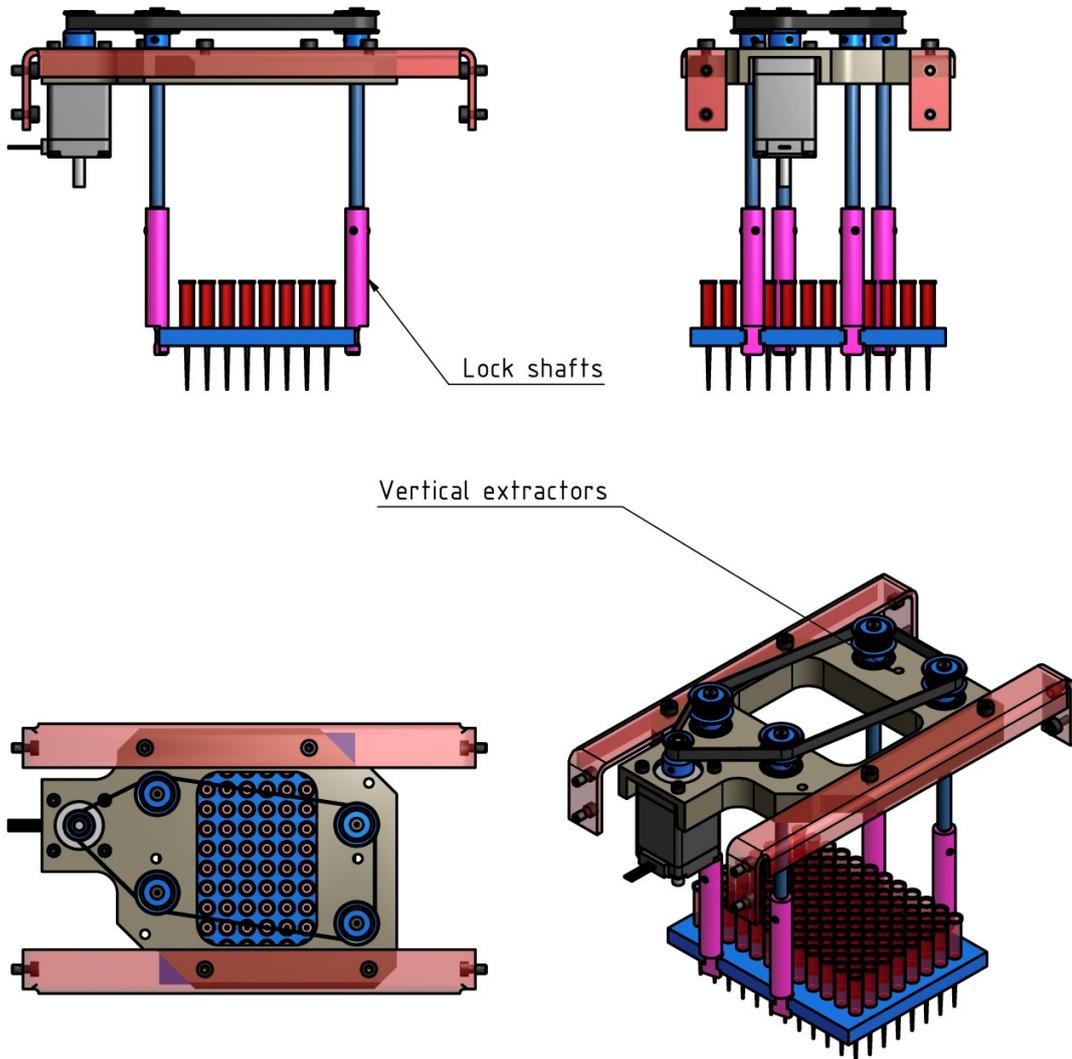
Το σύστημα κίνησης κατά x είναι υπεύθυνο για την μετακίνηση των πλακών από τη θέση χρήστη στη θέση μηχανής (user end, machine end). Είναι προσδεμένο πάνω στην κεφαλή και λειτουργεί πάντα στη θέση ακριβώς κάτω από αυτή, δηλαδή η μόνη πλάκα που μπορεί να μετακινείται είναι αυτή στην οποία θα εκτελέσει εργασίες η κεφαλή στο επόμενο βήμα του πρωτοκόλλου. Αυτός ο σχεδιασμός σε σχέση με το κλασικό καρτεσιανό ρομπότ (ανεξάρτητο z στον end effector από το z της κεφαλής) μειώνει τους άξονες της πλατφόρμας κατά 1 και άρα το κόστος και την πολυπλοκότητα κατασκευής, ηλεκτρονικών και χειρισμού και αυξάνει την αξιοπιστία των συστημάτων αφού είναι πιο δύσκολο να βρεθεί η πλάκα σε μια θέση που μπορεί να προκαλέσει σύγκρουση μελών της μηχανής. Η κίνηση του gripper γίνεται με κυλινδρική κρεμαγιέρα και πινιόν απευθείας στον βηματικό κινητήρα. Η κίνηση κατά z γίνεται από το ένσφαιρο περικόχλιο του ball screw που είναι σκαλιστό πάνω στον αντάπτορα της κεφαλής. Ολόκληρος ο μηχανισμός κυλιέται πάνω σε ένσφαιρες γλίστρες. Το άκρο του gripper έχει ειδική διαμόρφωση για να κλειδώνει στα βαγονέτα και να τα μεταφέρει με ακρίβεια.

Drain assembly – Δοχείο απομάκρυνσης διαλύματος πλύσης

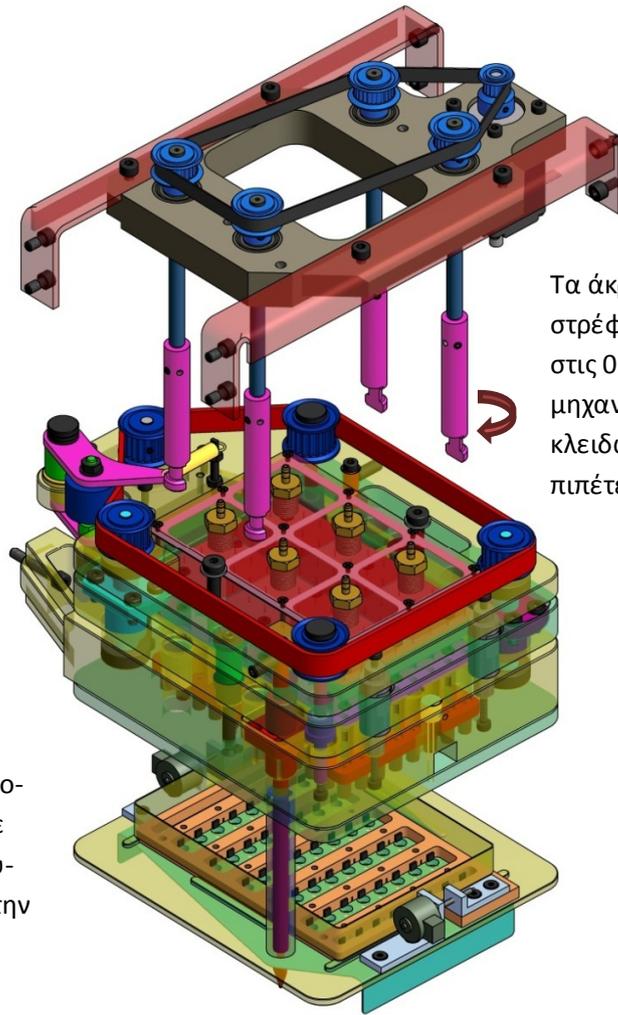


Το δοχείο αυτό βρίσκεται στο κάτω τμήμα της πλατφόρμας. Χρησιμοποιείται στα πρωτόκολλα πλύσης για την απομάκρυνση του διαλύματος πλύσης. Η κεφαλή κατέρχεται μέχρις ότου οι πιπέτες μπουν στις οπές του δοχείου. Το διάλυμα που περνάει από το εσωτερικό της πιπέτας τελικά καταλήγει μέσα στο δοχείο. Επιπλέον υπάρχει κύκλωμα που ανακυκλοφορεί το διάλυμα πλύσης και προσθέτει διάλυμα αποστείρωσης για να μην σχηματιστεί επιμολυσμένος χώρος λόγω του βιολογικού υλικού.

Plate lock mechanism – Μηχανισμός τοποθέτησης πιπετών

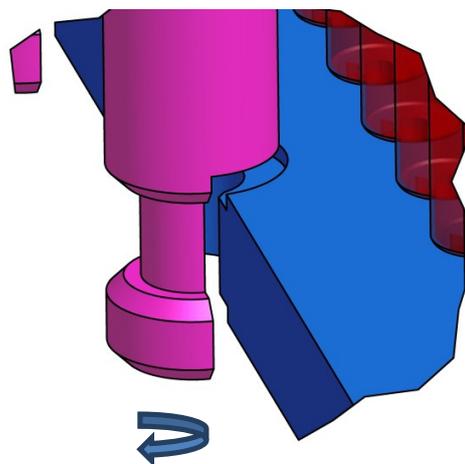


Αυτός ο μηχανισμός είναι απαραίτητος για την τοποθέτηση των πιπετών πάνω στην κεφαλή. Οι πιπέτες τοποθετούνται σε ειδική πλάκα όπως φαίνεται στο σχήμα και εισάγονται στην πλατφόρμα από το πλάι και ανάμεσα στο πάνω και το κάτω κομμάτι της κεφαλής. Ο μηχανισμός αυτός είναι πακτωμένος στην οροφή της πλατφόρμας και φέρει 4 άξονες με ειδική διαμόρφωση στο άκρο τους, οι οποίοι καθώς η κεφαλή ανεβαίνει στην ανώτερη θέση της, εισέρχονται σε γραμμικά έδρανα από Teflon και ευθυγραμμίζονται με αυτήν. Όταν εισέρχονται οι πιπέτες στην κεφαλή, ειδικά άκρα είναι στη θέση 0° και επιτρέπουν στην πλάκα πάνω στην οποία είναι τοποθετημένες να περάσει. Όταν βρεθεί στη σωστή θέση, οι άξονες γυρίζουν και τα ειδικά άκρα κλειδώνουν τις πιπέτες στη σωστή θέση. Κατόπιν, η κεφαλή κατέρχεται μερικά χιλιοστά και οι πιπέτες τοποθετούνται στα στόμια. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η απομάκρυνσή τους όταν τελειώσει το πείραμα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά ακόμα σχέδια για την κατανόηση της λειτουργίας του μηχανισμού.



↑
Η κεφαλή κινείται προς τα πάνω. Οι άξονες, εισερχόμενοι σε γραμμικά έδρανα ευθυγραμμίζονται με την κεφαλή

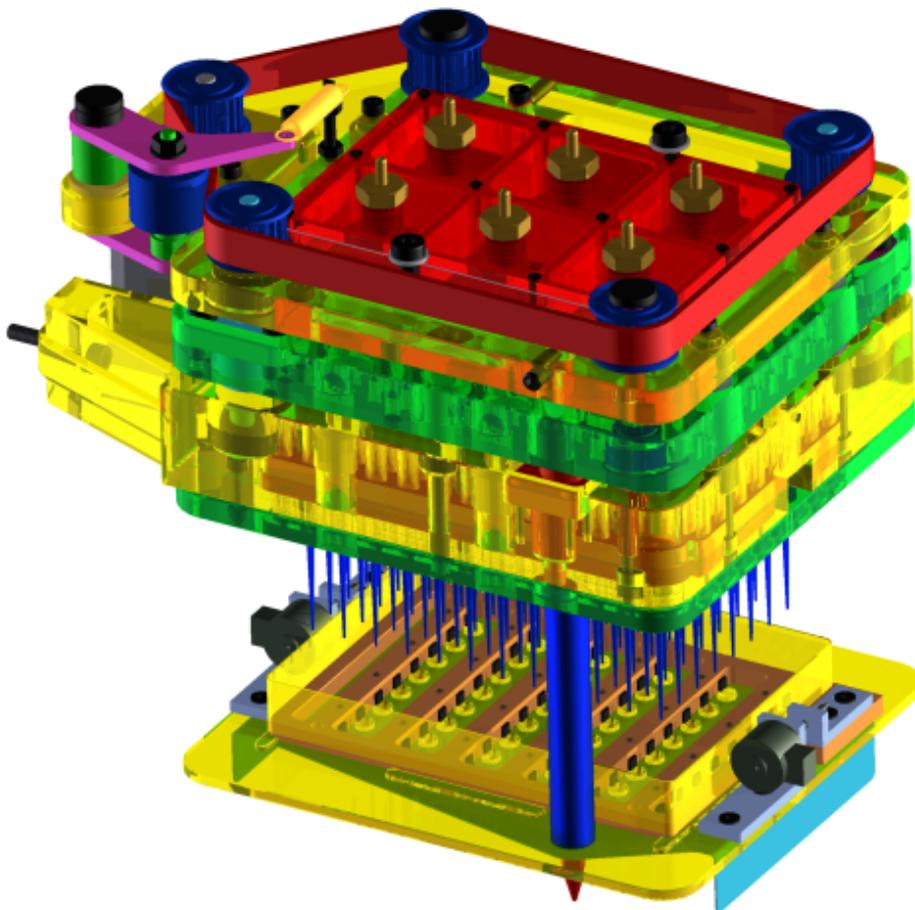
Τα άκρα της κεφαλής περιστρέφονται με τρόπο ώστε στις 0° να μην επηρεάζουν τον μηχανισμό, αλλά στις 180° να κλειδώνουν την πλάκα με τις πιπέτες σε θέση πρόσδεσης



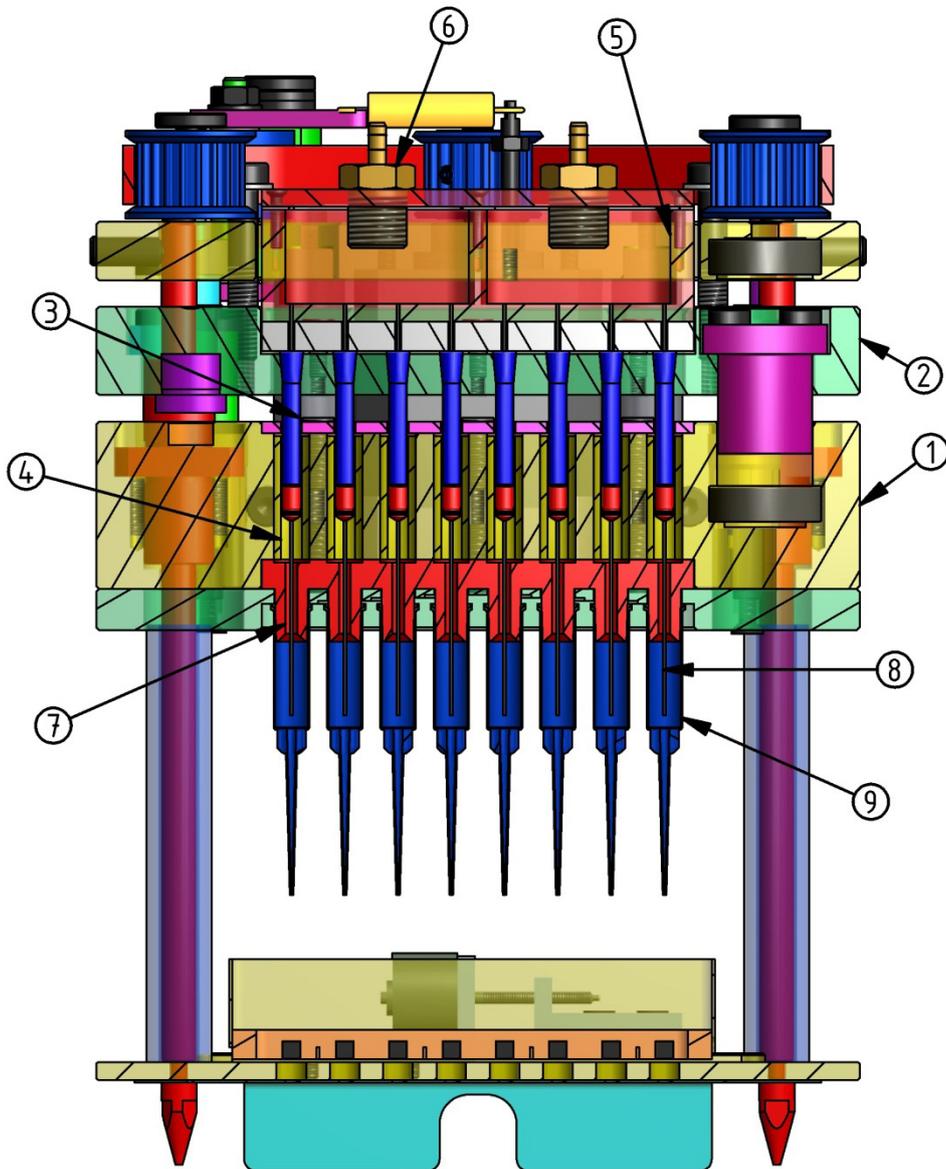
Το άκρο του άξονα έχει τέτοια διαμόρφωση ώστε να παρασύρει την πλάκα στη σωστή θέση πριν την κλειδώσει

8. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Κεφαλή

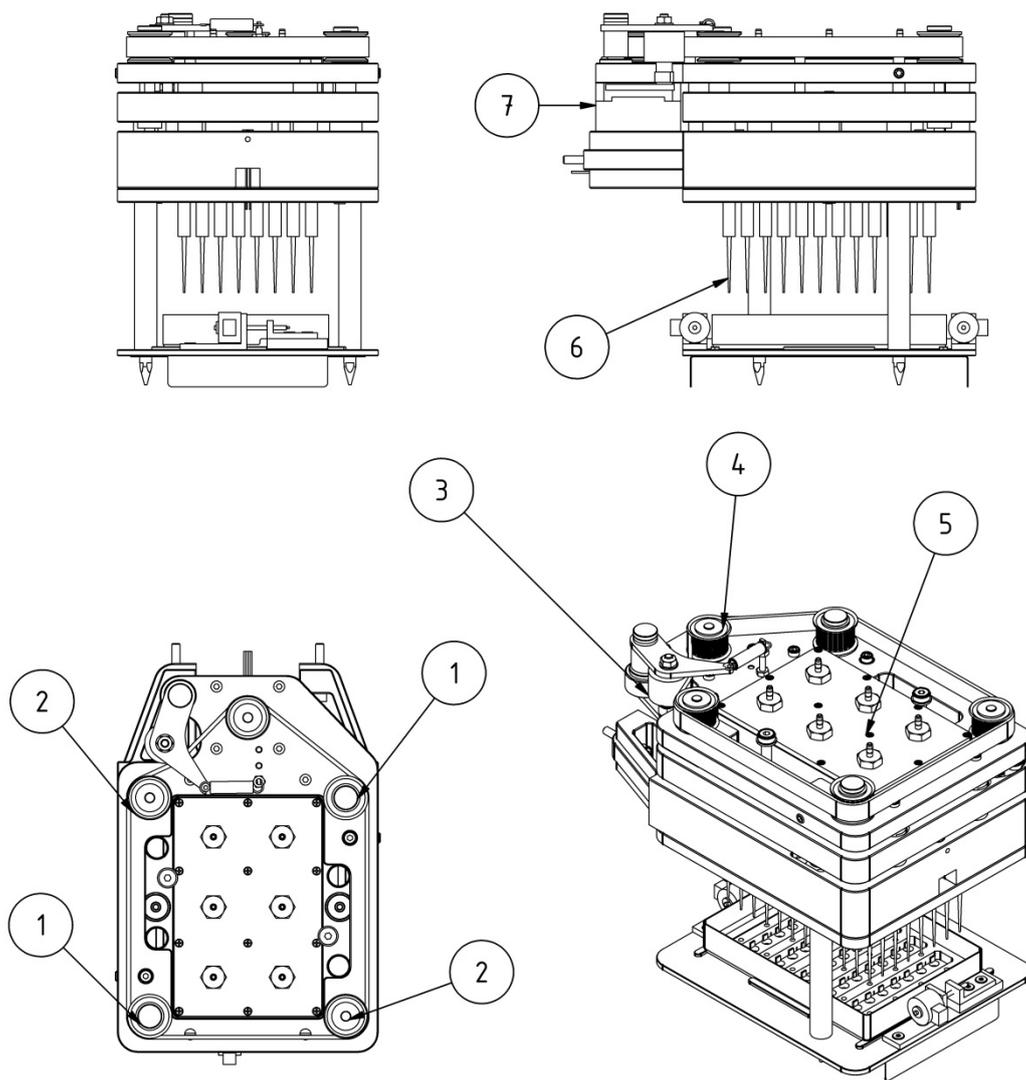
Η κεφαλή της πλατφόρμας είναι ο βασικός μηχανισμός αυτής της εργασίας. Εδώ θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι λειτουργίες της, η δομή της και κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες.



Σύστημα διαχείρισης υγρών



Το σύστημα διαχείρισης υγρών είναι όπως παρουσιάστηκε στον προκαταρκτικό σχεδιασμό με τη διαφορά ότι το κέλυφος είναι σκαλιστό σε πλάκα αλουμινίου (1). Τα έμβολα (3) κινούνται μέσα σε χιτώνια από βοροπυρίτιο (4). Η οδήγησή των εμβόλων γίνεται από ενδιάμεση πλάκα (2) και πακτώνονται σε αυτή με κωνική διαμόρφωση άκρου και στα δύο εξαρτήματα. Η πλύση γίνεται επίσης όπως παρουσιάστηκε στον προκαταρκτικό σχεδιασμό. Το διάλυμα τροφοδοτείται στις βελόνες από κεντρικό δοχείο (5) χωρισμένο σε ομάδες των 16 ώστε να υπάρχει ίση παροχή σε κάθε μία. Μία περισταλτική αντλία παροχετεύει διάλυμα από εξωτερικό δοχείο στο κεντρικό (6)



Η οδήγηση της πλάκας πάνω στην οποία είναι πακτωμένα τα έμβολα γίνεται με δύο κοχλίες κίνησης (2) που κινούνται με ιμάντα χρονισμού από βηματικό κινητήρα (7). Οι κοχλίες κίνησης είναι στο πάνω αριστερά και κάτω δεξιά άκρο ενώ στα υπόλοιπα δύο άκρα υπάρχουν γραμμικά ένσφαιρα έδρανα. Με τα οδηγούμενα μέρη στα δύο άκρα και τα μέρη ροής ισχύος στα άλλα δύο να σχηματίζουν ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, η συνολική ροπή στο επίπεδο z είναι 0. Το τύμπανο οδήγησης (4) συνδέεται απευθείας με τον βηματικό κινητήρα. Η προένταση του ιμάντα γίνεται με τύμπανο έντασης (3) το οποίο παραμένει εντεταμένο με ελατήριο έλξης. Τα υπόλοιπα δύο τύμπανα (1) γυρνάνε τρελά και χρησιμοποιούνται μόνο ώστε ο ιμάντας να περνάει περιφερειακά του δοχείου διαλύματος πλύσης (5) και να μπορεί το τελευταίο να απομακρυνθεί από τον χρήστη όταν χρειάζεται καθάρισμα ή αλλαγή. Αυτό προέκυψε ως προδιαγραφή κατά τη διάρκεια σχεδιασμού της πλατφόρμας καθώς μπορεί να απαιτείται η χρήση διαφορετικών διαλυμάτων ανάλογα με το πείραμα που πρέπει να πραγματοποιηθεί. Οι κοχλίες κίνησης εδράζονται στην πάνω και κάτω πλάκα με ρουλεμάν βαθείας αύλακος κλάσης 2rs (στεγανωτικά και στις δύο πλευρές) ώστε να μην υπάρχει διαρροή γράσου στα δείγματα. Η άτρακτος του κινητήρα επίσης εδράζεται με ένα επιπλέον ρουλεμάν βαθείας αύλακος.

Στα δεξιά φαίνονται τα εξαρτήματα του μηχανισμού. Τα περικόχλια κίνησης είναι από πολυμερές υλικό για χρήση σε εφαρμογές εδράνων ολίσθησης. Τα γραμμικά έδρανα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα με χιτώνιο από ορείχαλκο.

Ο σχεδιασμός των τελικών διαστάσεων των εμβόλων και του χιτωνίου καθορίζεται από τον όγκο εμβολισμού που επιθυμούμε στις πιπέτες. Η ονομαστική χωρητικότητα της πιπέτας είναι 20 μl, ωστόσο χρειαζόμαστε επιπλέον όγκο για να απομακρύνεται το διάλυμα πλύσης, το οποίο παρότι δεν πλημμυρίζει την πιπέτα, ανεβάζει ελαφρά τη στάθμη. Επίσης, σε περίπτωση σχηματισμού φυσαλίδων, ο μηχανισμός πρέπει να είναι σε θέση να τις απομακρύνει ανεξάρτητα από την θέση του εμβόλου εκείνη τη στιγμή. Ορίζουμε τον όγκο εμβολισμού στα 80 μl. Οι δύο μεταβλητές του συστήματος τώρα είναι η εσωτερική διάμετρος του χιτωνίου και η διαδρομή του εμβόλου:

$$V_{total} = \pi r_{plunger}^2 l_{travel} = 80 \mu l$$

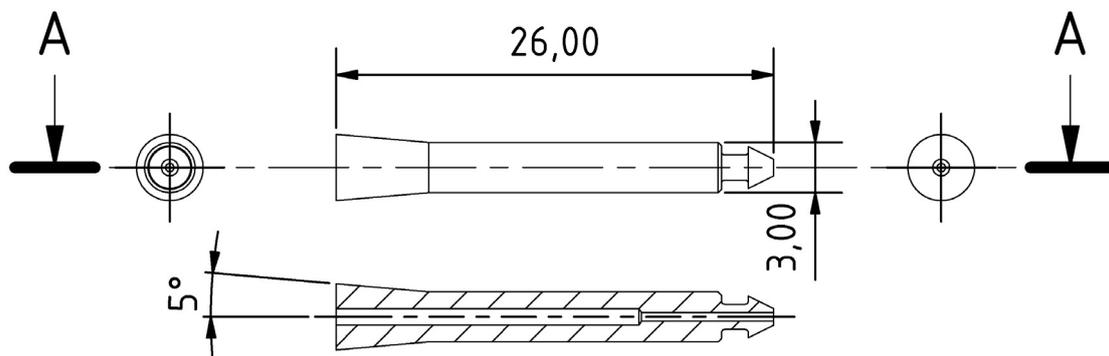
Η εσωτερική διάμετρος του χιτωνίου ορίζει και το μέγεθος του παρεμβύσματος. Το τελευταίο κατασκευάζεται τυπικά από στυρένιο-βουταδιένιο ή άλλο ελαστομερές με παρόμοιες ιδιότητες. Λόγω της δυσκολίας στην κατασκευή του παρεμβύσματος αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν έτοιμα εξαρτήματα από σύριγγες εμπορίου. Μιας και ο συνολικός όγκος εμβολισμού είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο της μικρότερης σύριγγας εμπορίου (bd , 0.5 ml) αναγκάζομαστε να χρησιμοποιήσουμε το μικρότερο παρέμβυσμα που κυκλοφορεί, το οποίο βρίσκεται στην προαναφερθείσα σύριγγα και έχει διάμετρο 3.5 mm. Άρα:

$$l_{travel} = \frac{V_{total}}{\pi r_{plunger}^2} = \frac{80}{\pi 1.75^2} = (8.31) = 9 \text{ mm}$$

Στρογγυλοποιούμε προς τα πάνω στα 9 mm και αυτό ορίζεται ως η μέγιστη διαδρομή του εμβόλου.

Επιπλέον ζήτημα που προκύπτει από τη χρήση παρεμβυσμάτων εμπορίου είναι η κατασκευή του εμβόλου και ειδικότερα του άκρου πάνω στο οποίο προσδένεται το παρέμβυσμα. Οι σύριγγες εμπορίου έχουν πλαστικά έμβολα με άκρα παρόμοια με αιχμή βέλους, τα οποία κατασκευάζονται σε καλούπια έγχυσης. Στη δική μας κατασκευή δεν συμφέρει η κατασκευή τέτοιου καλουπιού, οπότε η εναλλακτική είναι η κατασκευή των εμβόλων σε τόρνο. Μιας και πρέπει να κατασκευάσουμε 96 τέτοια έμβολα και το μέγεθός τους είναι πολύ μικρό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί CNC τόρνος.





Στο πάνω σχέδιο εικονίζεται το έμβολο όπως θα κατασκευαστεί σε CNC τόρνο. Επιλέγουμε γωνία κώνου 5° ώστε να είναι εύκολη η κατασκευή της υποδοχής του εμβόλου με κωνικό κονδύλι για καλούπια. Στο εσωτερικό του εμβόλου υπάρχει οπή για να περνάει η βελόνα πλύσης. Η πολύ μικρή διάμετρος του άκρου του εμβόλου μας αναγκάζει να κατασκευάσουμε την οπή πολύ κοντά στην εξωτερική διάμετρο της βελόνας (gauge 26RW, $D \approx 0.46$ mm), στα 0.5 mm. Αυτό καθιστά την κατασκευή του εμβόλου αρκετά δύσκολη καθώς ένα τρυπάνι με τόσο μικρή διάμετρο απαιτεί πολύ υψηλές στροφές ώστε να πιάσει την απαιτούμενη ταχύτητα κοπής. Άρα φαίνεται εδώ ότι η δυσκολία κατασκευής του παρεμβύσματος και η ανάγκη χρήσης παρεμβυσμάτων εμπορίου εισάγει τελικά πολυπλοκότητα και υψηλό κόστος στην κατασκευή. Εάν ωστόσο μπορούσαμε να κατασκευάσουμε το παρέμβυσμα ή να φτιάξουμε με άλλο τρόπο το έμβολο, η κατασκευή θα γινόταν αρκετά πιο εύκολη.

Υπολογισμός ισχύος και εκλογή κινητήρα

Το φορτίο που απαιτείται για να μετακινηθεί ένα από τα έμβολα οφείλεται αποκλειστικά στην τριβή ανάμεσα στο παρέμβυσμα και το χιτώνιο. Το φορτίο λόγω της μετακίνησης του ρευστού είναι πρακτικά αμελητέο για τις ταχύτητες εμβολισμού στις οποίες δουλεύουμε. Το φορτίο του εμβόλου μετρήθηκε με δυναμόμετρο και είναι κατά μέσο όρο 3 N. Παρακάτω γίνονται υπολογισμοί για την εκλογή κινητήρα και κοχλία κίνησης.

Μεταβλητές προβλήματος

| Περιγραφή | Μεταβλητή | Τιμή |
|---------------------------------|---|-----------|
| Φορτίο εμβόλου | SyrF | 3 N |
| Συντελεστής λειτουργίας | Sfc | 1.2 |
| Φορτίο υπολογισμού ενός εμβόλου | $F1 = \text{SyrF} \times \text{Sfc}$ | 3.6 N |
| Φορτίο λόγω μάζας μηχανισμού | FWeight | 20 N |
| Συνολικό φορτίο | $F96_EF = 96 \times F1 + F\text{Weight}$ | 365.6 N |
| Μέγιστη ταχύτητα εμβόλου | SpeedMax | 0.008 m/s |
| Ισχύς στα έμβολα | $\text{Power_at_rods} = F96_EF \times \text{SpeedMax}$ | 2.93 W |
| Απόδοση γραμμικών εμβόλων | K_lin_bear | 0.9 |
| Απόδοση κοχλιών κίνησης | K_lead_screws | 0.5 |
| Απόδοση ρουλεμάν | K_bearings | 0.9 |
| Απόδοση μαντοκίνησης | K_belt_assembly | 0.8 |

Υπολογισμός ισχύος στην άτρακτο του κινητήρα:

$$Power_at_motor = \frac{Power_at_rods}{(K_lin_bear \cdot K_lead_screws \cdot K_bearings \cdot K_belt_assembly)} = 9.03 \text{ W}$$

Υπολογισμός ισχύος στους κοχλίες κίνησης:

$$Power_at_screws = \frac{Power_at_rods}{K_lead_screws \cdot \sqrt{K_bearings}} = 6.17 \text{ W}$$

Φορτίο στα περικόχλια:

$$Force_at_nut = \frac{Power_at_rods}{SpeedMax} = 365.6 \text{ N}$$

Θεωρητικό φορτίο στα περικόχλια:

$$Th_force_at_screw = \frac{Power_at_screws}{SpeedMax} = 770.8 \text{ N}$$

Με βάση τα παραπάνω γίνεται επιλογή των χαρακτηριστικών του κοχλία:

| | | |
|---------------------------------------|----------|---------|
| Βήμα κοχλία | Lead | 0.002 m |
| Ονομαστική διάμετρος κοχλία | dp | 0.008 m |
| Συντελεστής τριβής κοχλία/περικοχλίου | mf | 0.08 |
| Μείωση μαντοκίνησης | Belt_red | 1 |

Απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής:

$$Nrpm = \frac{SpeedMax}{Lead} = 240 \text{ RPM} = 1510 \text{ min}^{-1}$$

Η παραπάνω τιμή είναι μέσα στο εύρος στροφών ενός βηματικού κινητήρα. Με αυτό το δεδομένο συμφέρει εδώ να επιλέξουμε βηματικό κινητήρα έναντι ενός dc servo και για λόγους οικονομίας (ένας dc servo θα χρειαζόταν οπωσδήποτε μειωτήρα για να πέσει σε αυτές τις στροφές) αλλά και για λόγους απλότητας στη μέθοδο ελέγχου. (Εάν μετά από δοκιμές διαπιστώσουμε ότι ο κινητήρας δεν χάνει βήματα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έλεγχο ανοιχτού βρόχου). Αρκεί και η ροπή να είναι στο εύρος που μπορεί να δώσει ένας βηματικός κινητήρας:

Ροπή στους κοχλίες:

$$T_{d_screws} = \frac{Th_force_at_screws}{\sqrt{K_bearings}} \cdot \frac{dp \cdot (mf \cdot \pi \cdot dp + Lead)}{2 \cdot (\pi \cdot dp - mf \cdot Lead)} =$$

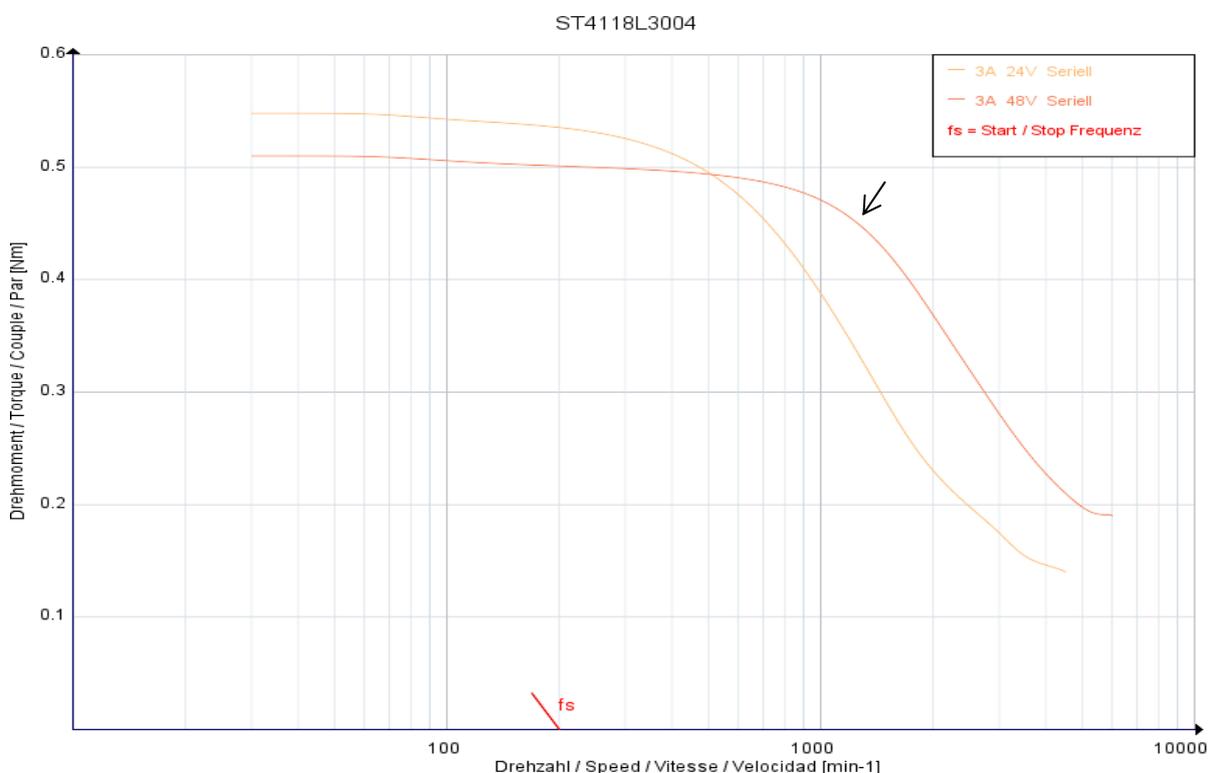
$$= \frac{Power_at_screws \cdot 60}{\sqrt{K_bearings} \cdot Nrpm \cdot 2 \cdot \pi \cdot Belt_red} = 0.261 \text{ Nm}$$

Οι παραπάνω σχέσεις έχουν διαφορετική αφετηρία (στην πρώτη υπολογίζεται η ροπή από τον συντελεστή τριβής ανάμεσα στον κοχλία και το περικόχλιο και στην δεύτερη από τις απώλειες ισχύος του περικοχλίου που δίνει ο κατασκευαστής από πειραματικές μετρήσεις). Αφού συμφωνούν μεταξύ τους κρατάμε το αποτέλεσμα.

Ροπή στον κινητήρα:

$$Torque_at_motor = \frac{Power_at_motor \cdot 60}{Nrpm \cdot 2 \cdot \pi \cdot Belt_red} = 0.359 \text{ Nm}$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς εκλέγεται ο κινητήρας **ST4118L3004**, Nema 17 της εταιρίας **Nanotec®**. Ο κινητήρας αυτός έχει βήμα 1.8°, δουλεύει στα 48V / 3 A/Phase με σύνδεση bipolar. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα λειτουργίας του:



Από το διάγραμμα βλέπουμε πως ο κινητήρας είναι κατάλληλος για τη συγκεκριμένη διάταξη. Επιπλέον, για τη δεδομένη ταχύτητα παίρνουμε τιμή παλμών ανα δευτερόλεπτο:

$$Steps_per_sec = \frac{Nrpm \cdot \frac{360}{Stepper_resolution}}{60} = 800 \text{ Hz}$$

Η παραπάνω τιμή συχνότητας πρέπει να είναι η ελάχιστη του controller του κινητήρα.

Υπολογισμός Ιμαντοκίνησης

Για την εκλογή του ιμάντα χρησιμοποιείται η μέθοδος υπολογισμού του κατασκευαστή (Misumi). Για περαιτέρω πληροφορίες μπορεί κανείς να ανατρέξει στην τεχνική ατζέντα της εταιρίας, στο κομμάτι των ιμαντοκινήσεων με ιμάντες χρονισμού.

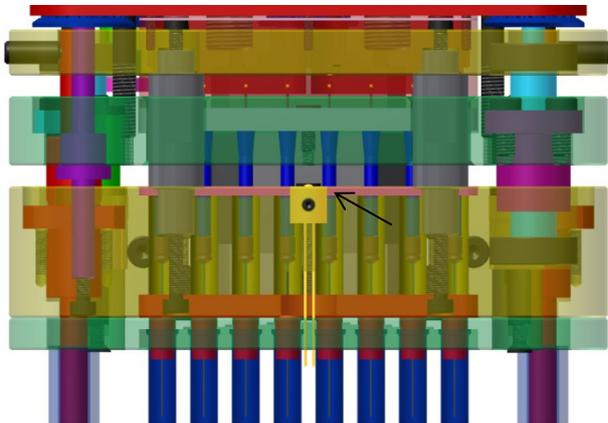
| | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|
| Transmission Power | Pt | 9 W |
| Transmission Ratio th. | Rm_th | 1 |
| Application Coeff. | Ko | 1 |
| Speed ratio Coeff. | Kr | 0.2 |
| Idlers Compensation Coeff. | Ki | 0.2 |
| Operating Correction Coeff. | Kh | 0.1 |
| Overload Coeff. | Ks=Ko+Kr+Ki+Kh | 1.5 |
| Design Power | Pd=Pt×Ks | 13.5 W |
| RPM of driving pulley th. | Nd_th | 240 |
| Belt Initial Selection | S3M, p2552, Misumi | |
| Teeth of small pulley | nsm | 14 |
| Teeth of driven pulley | nd | 14 |
| RPM of driven pulley | Ndi=Nd_th×nsm/nd | 240 |
| Estimation of Belt Length | Lbe | 500.73 mm |
| Real Belt Length | Lb | 501 mm |
| Reference Transmission Capacity | Ps | 19 |
| Engagement Correction Coeff. | Km | 0.3 (2.5 teeth eng.) |
| Reference Belt Width | Wp | 6 mm |
| Estimation of Belt Width | Bwe=(Pt×Wp)/(Ps×Km) | 9.47 mm |
| Selection of Belt Width | Bw | 10 mm |
| Width Correnction Coeff. | Kb | 1.79 |
| Recommended Ti | Ti | 34 |
| Coeff. Y | Y | 1.9 |
| Span length | t | 63 mm |
| Tension Load required | Td=(Ti+t×Y/Lb)/16 | 2.14 N |

Εκλογή ρουλεμάν

Για όλες τις θέσεις της κεφαλής εκλέγεται το ρουλεμάν **635-2rs1** ή εναλλακτικά το **635-2z**, ρουλεμάν βαθείας αύλακος με εσωτερική διάμετρο 5mm και εξωτερική 19 mm. Τα φορτία είναι πολύ μικρά συγκριτικά με τις προδιαγραφές του ρουλεμάν και δίνουν διάρκεια ζωής περίπου 110e+6 κύκλους λειτουργίας. Σημειώνεται εδώ πως όλοι οι υπολογισμοί έχουν γίνει με βάση το μέγιστο φορτίο και όχι το ονομαστικό, μιας και δεν γνωρίζουμε το ονομαστικό φορτίο. Δηλαδή τελικά, σε ένα εμπορικό πρωτότυπο, κάποια από τα εξαρτήματα της πλατφόρμας ίσως να πρέπει να αντικατασταθούν με μικρότερα ως overdesign components.

Αισθητήρες

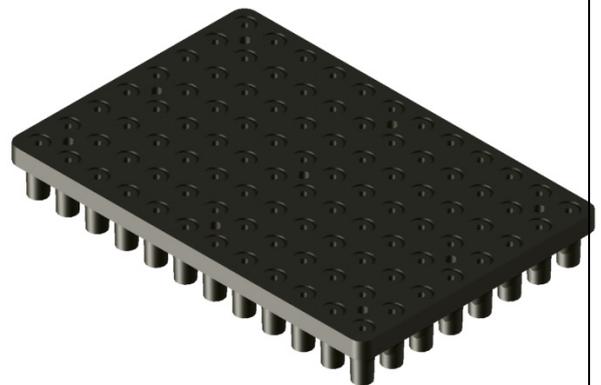
Για το μηχανισμό διαχείρισης υγρών υπάρχουν ένας τερματικός διακόπτης και ένας οπτικός encoder θέσης για τον κινητήρα:



Ο τερματικός διακόπτης χρειάζεται για να παίρνει το 0 η πλατφόρμα κάθε φορά που ενεργοποιείται ή εάν υπάρχει υποψία πως το 0 έχει χαθεί. Ο encoder θεωρητικά δεν είναι απαραίτητος, αφού θα θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε έλεγχο ανοιχτού βρόχου, αλλά σε επίπεδο πρωτοτύπου τον χρησιμοποιούμε ως διαγνωστικό εργαλείο για τη λειτουργία των μηχανισμών.

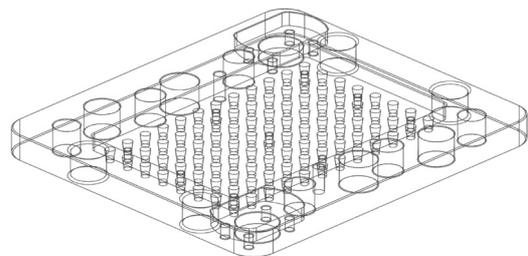
Λιυές Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες

- ✓ Τα χιτώνια από βοροπυρίτιο πρέπει να είναι αεροστεγή στην επαφή τους με τον αντάπτορα της πιπέτας. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται o-rings 5×1 mm στο κάτω τμήμα τους, τα οποία τοποθετούνται μέσα σε ποκέτες βάθους 0.5 mm. Στο πάνω τμήμα του χιτωνίου δεν χρειάζεται στεγάνωση καθώς εκεί μας ενδιαφέρει μόνο το παρέμβυσμα του εμβόλου. Ωστόσο και από τις δύο πλευρές υπάρχουν πλάκες που τοποθετούν και ασφαλίζουν τα χιτώνια μέσα στο μπλοκ αλουμινίου.



Για την κατασκευή κάποιων τμημάτων του συναρμολογήματος απαιτούνται ειδικά εργαλεία. Αυτά είναι:

- ✓ Κωνικό κονδύλι γωνίας κώνου 5°, μικρής διαμέτρου 3mm, μεγάλης διαμέτρου 10mm. Χρησιμοποιείται για τη διάνοιξη των οπών στερέωσης των εμβόλων.



- ✓ Κωνικό κονδύλι γωνίας κώνου 1.5° ενεργού μήκους τουλάχιστον 9 mm. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή της πλάκα που φέρει τους αντάπτορες για τις πιπέτες

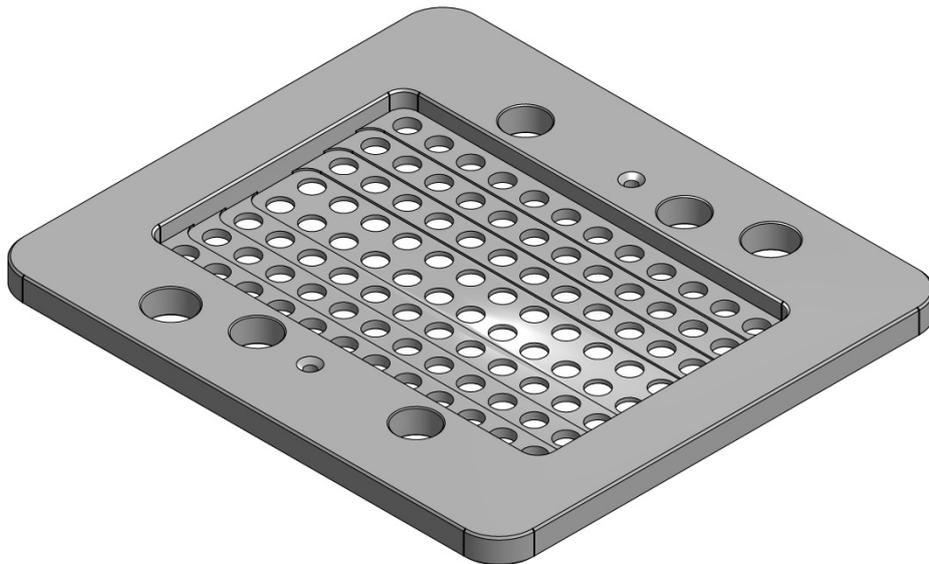


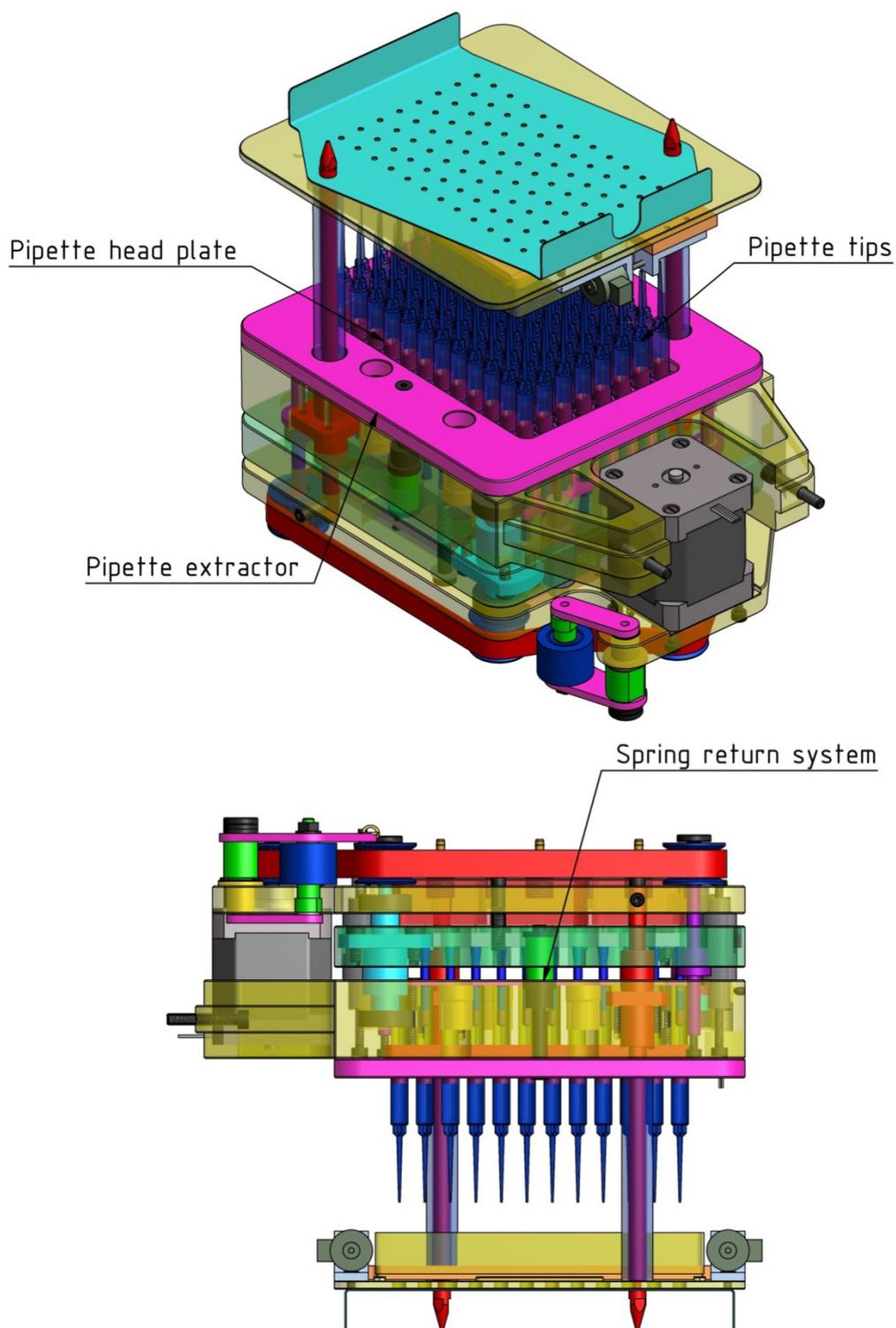
- ✓ Εργαλείο τόννου για λούκι, πλάτος 1.1mm ή μικρότερο, ενεργό μήκος τουλάχιστον 1.5 mm. Χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του άκρου του εμβόλου



Εξολκέας πιπετών

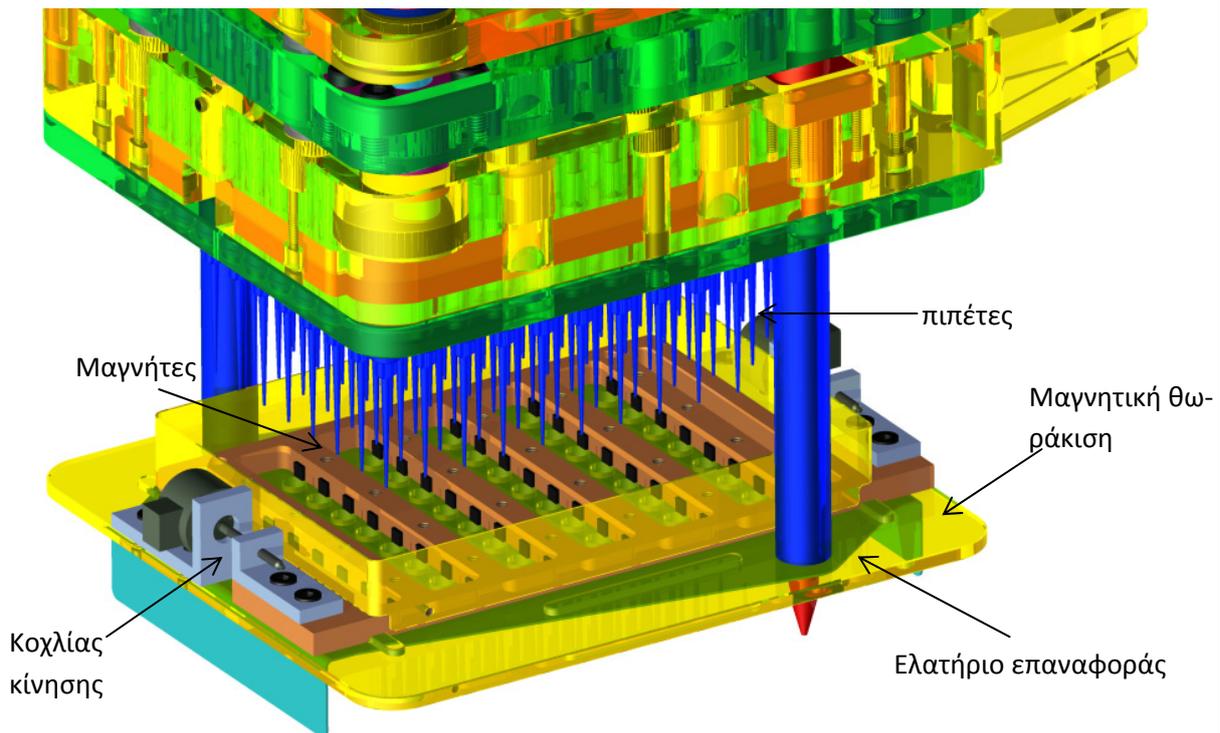
Μια διαφορά του αυτόματου μηχανισμού από αυτόν που παρουσιάστηκε στο concept design είναι πως πρέπει να γίνεται αυτόματη εξόλκευση των πιπετών μετά το τέλος της κατεργασίας. Για αυτό το σκοπό σχεδιάστηκε προοδευτικός εξολκέας 4 βαθμίδων, με ελατήριο επαναφοράς:



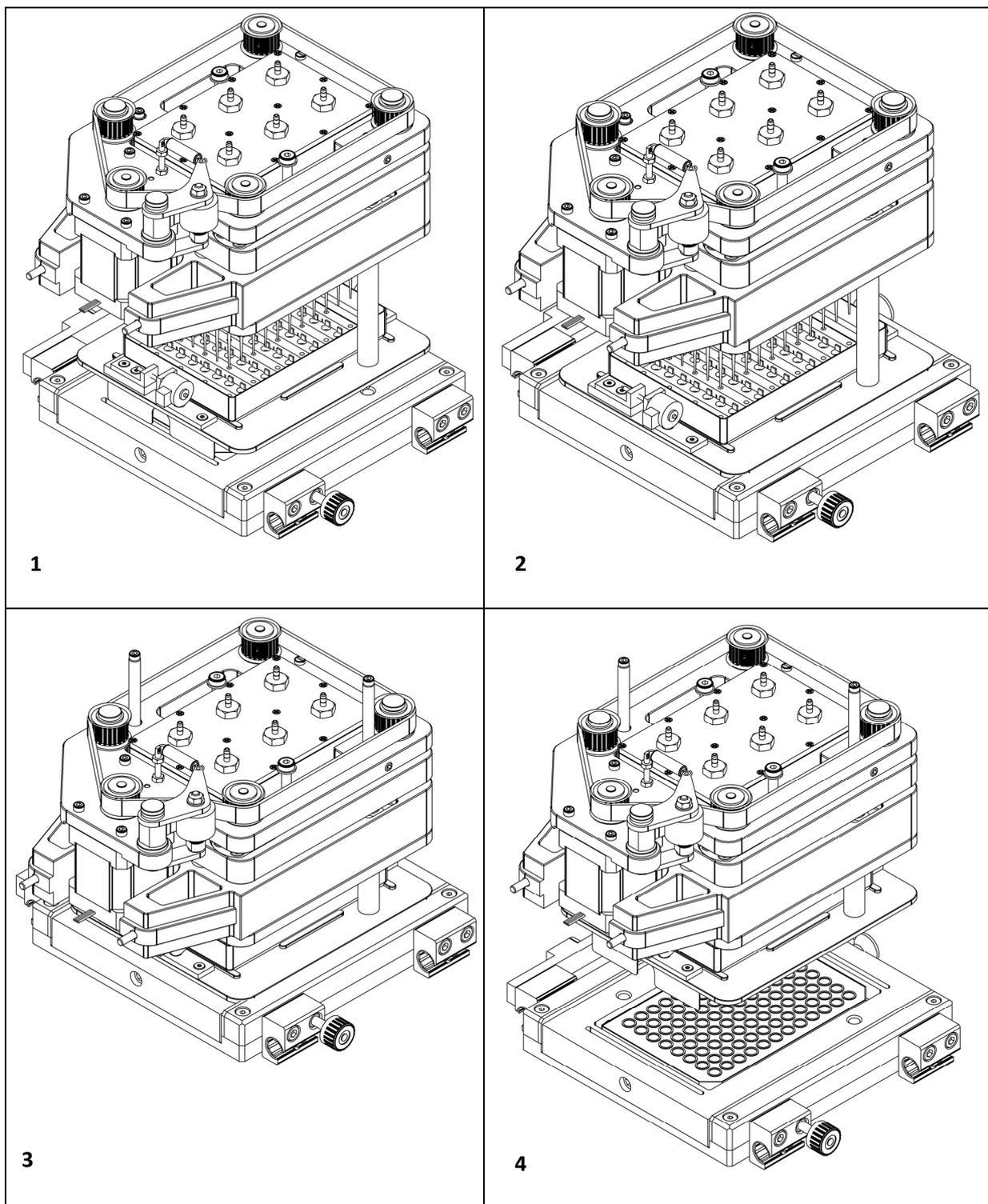


Οεξολκέας ενεργοποιείται όταν η κεφαλή ανέβει προς την ανώτερη θέση της, στη οποία βρίσκονται πύροι ευθυγραμμισμένοι με τους κεντρικούς του άξονες. Όσο η κεφαλή ανεβαίνει, οι πύροι πιέζουν τους κεντρικούς άξονες και ο εξολκέας μένει σταθερός, ενώ οι πιπέτες κινούνται. Όταν και οι 4 βαθμίδες ενεργοποιηθούν, ο εξολκέας επιστρέφει με τη χρήση ελατηρίου επαναφοράς.

Σύστημα παγίδευσης μικροσφαιριδίων



Το σύστημα παγίδευσης μικροσφαιριδίων λειτουργεί με τον τρόπο που παρουσιάστηκε στο κομμάτι του προκαταρκτικού σχεδιασμού. Οι μαγνήτες εκτελούν δύο κινήσεις. Η μία είναι κατά τον άξονα y και γίνεται με βηματικούς κινητήρες και κοχλίες κίνησης. Σε αυτό το μηχανισμό, ο μαγνήτης είτε είναι κεντραρισμένος με την πυπέτα, οπότε γίνεται παγίδευση, είτε είναι ανάμεσα σε δύο πυπέτες, οπότε γίνεται απελευθέρωση. Η δεύτερη κίνηση είναι παθητική και γίνεται από δύο ελατήρια, στο κέντρο των οποίων βρίσκεται και ο γραμμικός οδηγός της πλάκας που φέρει τους μαγνήτες. Όταν η κεφαλή πλησιάσει σε μια πλάκα δειγμάτων, οι κωνικοί πίροι που φαίνονται στο κάτω τμήμα της φωτογραφίας, μπαίνουν σε αντίστοιχες οπές πάνω στη βάση της πλάκας, και ευθυγραμμίζουν την πλάκα με την κεφαλή. Κατόπιν, η κεφαλή κατεβαίνει κι άλλο και τότε συμπιέζονται τα ελατήρια επαναφοράς. Όταν οι μαγνήτες φτάσουν στη βέλτιστη θέση παγίδευσης, σταματάει η κίνηση της κεφαλής. Σε αυτό το σημείο υπάρχουν ball plungers τα οποία κλειδώνουν τα ελατήρια επαναφοράς στη θέση που βρίσκονται, δηλαδή ακόμα και αν η κεφαλή κινηθεί κατακόρυφα προς τα πάνω, οι πλάκα με τους μαγνήτες δεν θα μετακινηθεί. Ο μόνος τρόπος να επανέλθει είναι η κεφαλή να ανέβει εντελώς, οπότε στην οροφή της μηχανής υπάρχουν εξολκείς που ξεκλειδώνουν τα ελατήρια. Δηλαδή τα ελατήρια δουλεύουν με ένα σύστημα οπλισμού και ταχείας απελευθέρωσης. Ο λόγος είναι πως δεν θέλουμε να συμπαρασύρουν με μια αργή επαναφορά μικροσφαιρίδια στην άκρη της πυπέτας και επίσης πως αφού ούτως ή άλλως θα υπήρχε ένα βαθμός ελευθερίας σε αυτό το σημείο, ο πιο οικονομικός και απλός τρόπος να ελεγχθεί είναι μέσω ενός παθητικού συστήματος. Τέλος στο κάτω μέρος της κεφαλής, ακριβώς κάτω από τους μαγνήτες βρίσκεται η μαγνητική θωράκιση των δειγμάτων που προστατεύει τα δείγματα όσο βρίσκονται ακόμα μέσα στα βοθρία από τους μαγνήτες παγίδευσης.



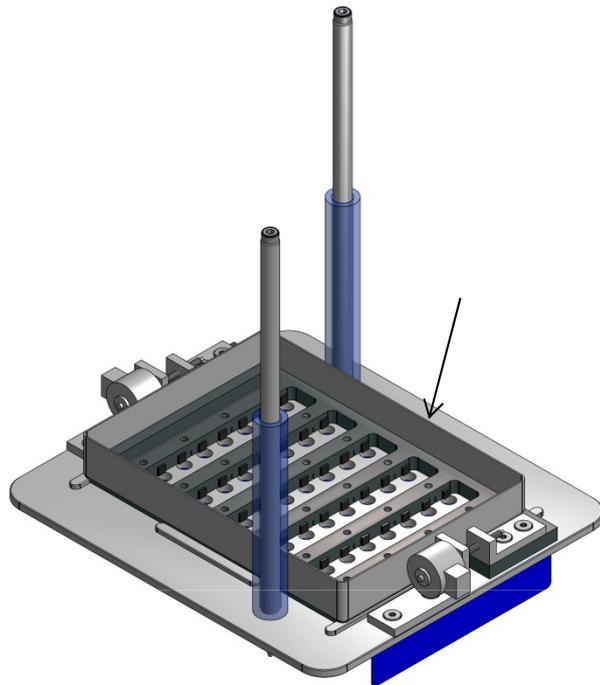
1. Η κεφαλή προσεγγίζει την βάση, οι οδηγοί ευθυγραμμίζουν την πλάκα
2. Η κεφαλή έχει ακουμπήσει στη βάση. Η μαγνητική θωράκιση βρίσκεται γύρω από τα δείγματα.
3. Η κεφαλή κατεβαίνει και άλλο μέχρι οι πιπέτες να βρεθούν στη σωστή θέση σε σχέση με τους μαγνήτες και τα βοηθία. Ξεκινάει το πρωτόκολλο.
4. Το πρωτόκολλο πραγματοποιήθηκε. Η κεφαλή απομακρύνεται αλλά οι μαγνήτες παραμένουν κλειδωμένοι στη θέση.

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

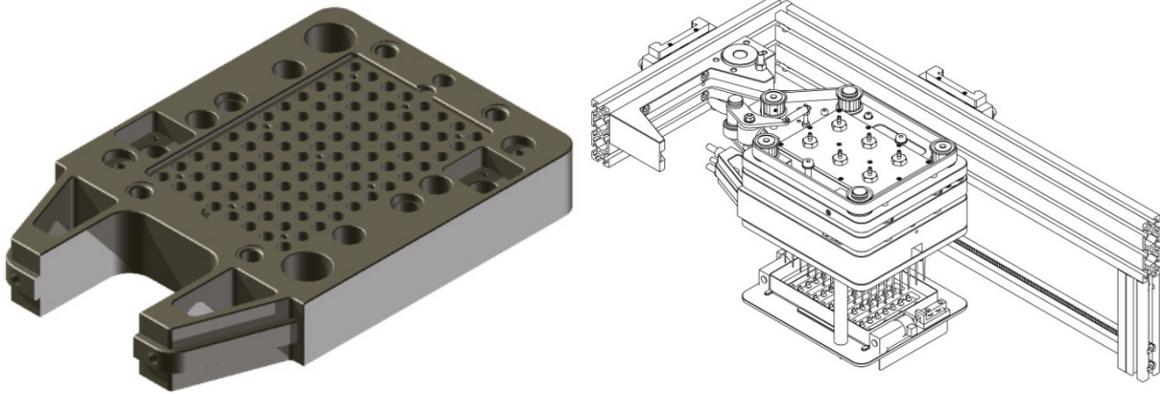
- ✓ Οι μαγνήτες τοποθετούνται μέσα στο αλουμινένιο εξάρτημα που φαίνεται στα δεξιά, μέσα στις ορθογωνικές εσοχές. Ανάμεσα στις εσοχές, ανά δύο, υπάρχει τρύπα countersink με σπείρωμα για φρεζάτη βίδα και σχισμένη κορυφή. Όταν οι φρεζάτες βίδες σφίξουν μέσα στις τρύπες, λόγω του σχισίματος θα παραμορφώσουν το τμήμα γύρω τους το οποίο με τη σειρά του θα κλειδώσει σε θέση τους μαγνήτες.



- ✓ Λόγω του ότι χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες πολύ κοντά στις πιπέτες αναμένουμε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο το οποίο ενδέχεται να επηρεάσει τα δείγματα όταν είναι μέσα στις πιπέτες. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε ένα «φράχτη» από παραμαγνητικό υλικό για να δημιουργήσουμε δεύτερη μαγνητική θωράκιση για την περιοχή των πιπέτων. Ωστόσο, εάν δούμε ότι πρακτικά αυτό δεν δημιουργεί προβλήματα στα πειράματα, μπορεί να παραληφθεί η χρήση του.



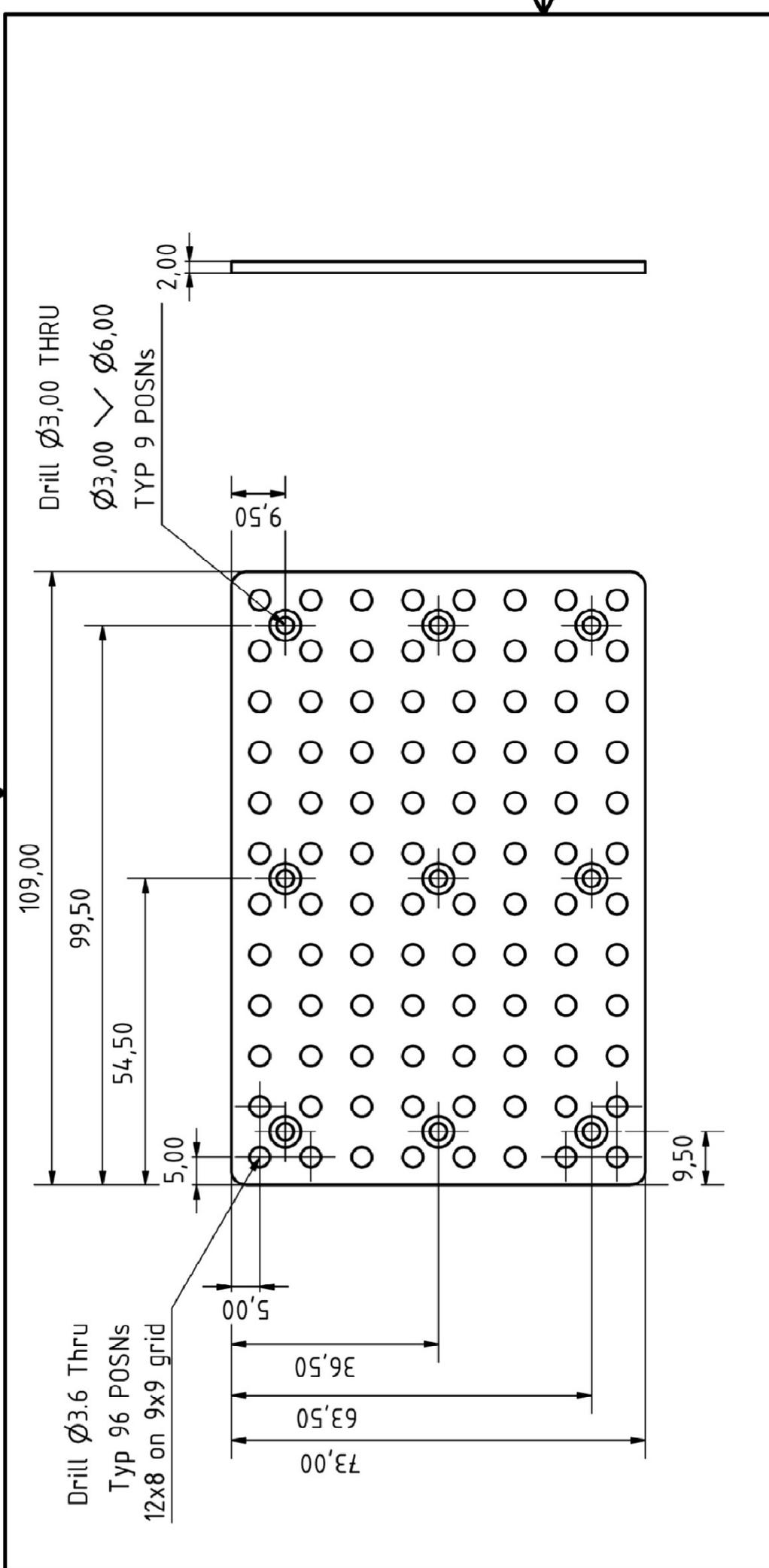
Λοιπά στοιχεία



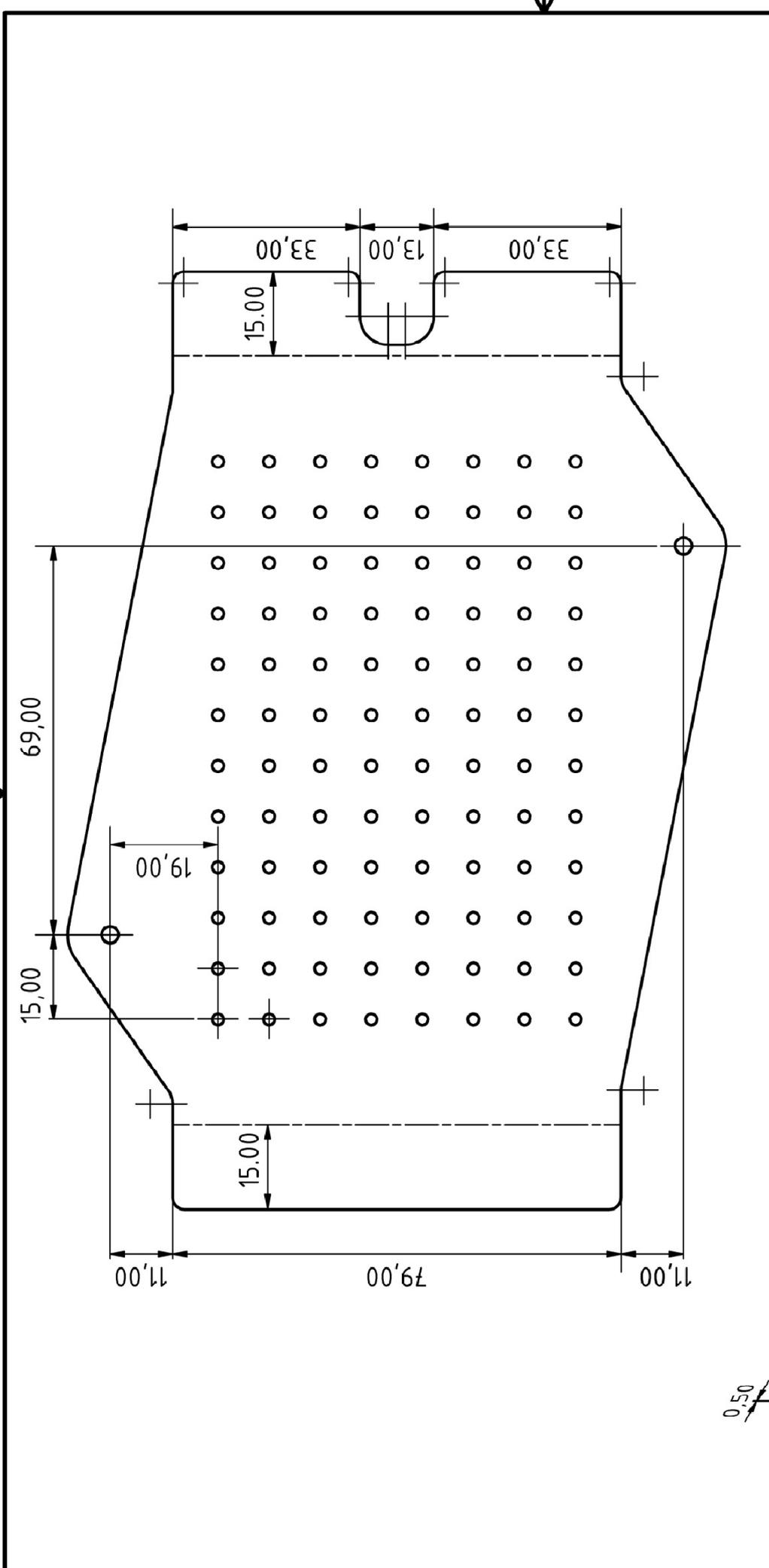
Το εξάρτημα που εικονίζεται παραπάνω είναι το βασικό κομμάτι της κεφαλής εντός του οποίου βρίσκονται τα έμβολα. Το άκρο του έχει αυτή τη διαμόρφωση που φαίνεται στο σχήμα για να μπορεί να κλειδώνει εύκολα και με ακρίβεια πάνω στο συμπληρωματικό κομμάτι που βρίσκεται στον μηχανισμό που οδηγεί την κεφαλή. Η ιδέα για αυτό το εξάρτημα είναι πως θέλουμε ακρίβεια στην τοποθέτηση με παθητικό τρόπο, χωρίς δηλαδή να απαιτείται χρήση μετρητικού ρολογιού, δεν θέλουμε να καταλαμβάνει χώρο η ένωση των δύο υποσυστημάτων και δεν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε κλασικά στοιχεία μηχανών όπως κωνικούς πείρους κλπ για την ευθυγράμμιση. Ο λόγος για το τελευταίο είναι πως σχεδιάζουμε και με γνώμονα την περαιτέρω αυτοματοποίηση του μηχανισμού ή την ενσωμάτωσή του σε μία μεγαλύτερη πλατφόρμα όπου ενδεχομένως η κεφαλή να είναι απλά ένας end effector ανάμεσα σε πολλούς. Γι αυτό η λύση ευθυγράμμισης με τη γεωμετρία των εξαρτημάτων είναι κατάλληλη σε αυτή τη θέση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μηχανολογικά σχέδια της κατασκευής.

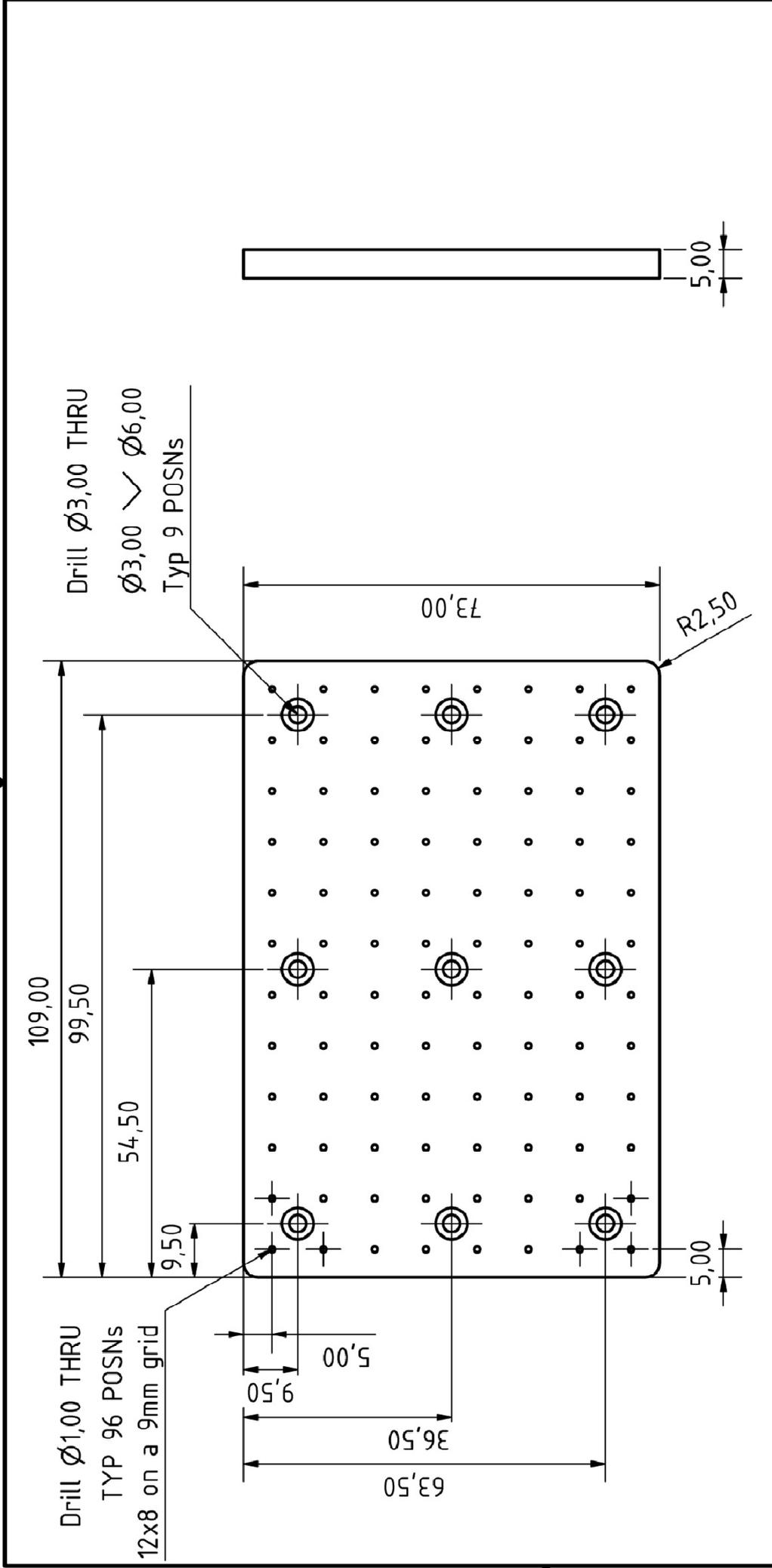
head_presentation_A2



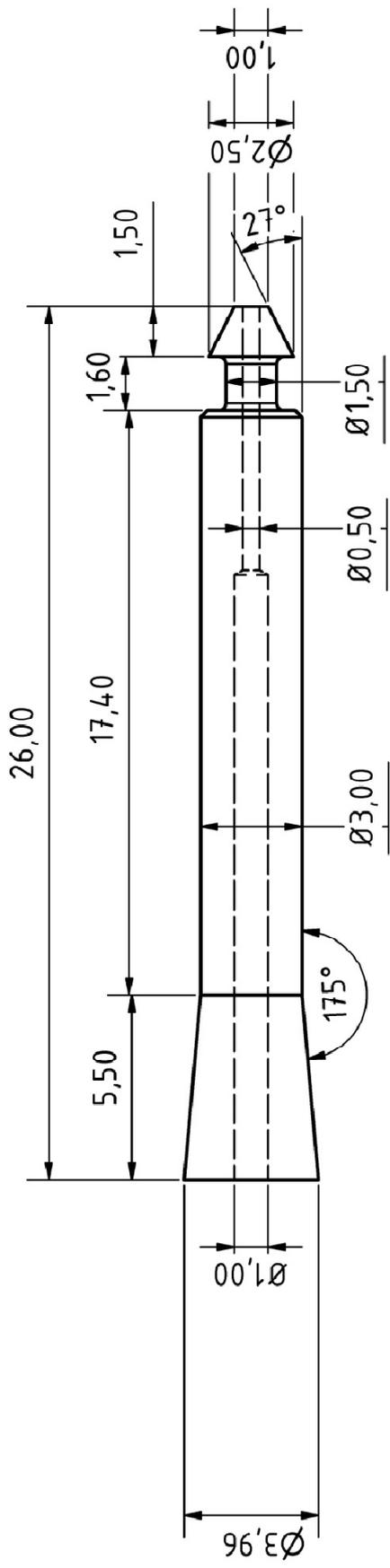
| | | | | | | | | |
|--|------|----------|--|--------------|--|--|---|--|
| CONCEPTUAL DESIGN | | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | | NTUA Mechanical Engineering Dep. Laboratory of Biotechnology Phone: (030) 210-7721516 | | ENGINEERING / R&D Iroon Polytechniou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 | |
| Drawn | Gkan | 9/4/2011 | STANDARD: | DIN | 406-12 | PART NUMBER d_a2_v1_cap_for_borosilicate_tubes | DESCRIPTION Tube fixture | |
| ENGINEERING REVIEW BY: | Gkan | 9/4/2011 | FILE: | SW5/Alrv | ICW | | | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: | Leo | 9/4/2011 | SCALE: | Not To Scale | 1:1 | | | |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: | NA | 9/4/2011 | TOLERANCES: | A 4 | | SHEET: 1 | REV: 1 | |
| Contact: Senior Designer, George P. Kanakaris Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | NA | 9/4/2011 | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | | DWG NO: d_a2_v1_cap_for_borosilicate_tubes | | | |
| Contact: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos Office: 210-7721666 | NA | 9/4/2011 | SURFACE FINISH PER DIN 4768: | | SHEET NO: 1 OF 1 | | | |
| Contact: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | NA | 9/4/2011 | ISO N9 | | REV: 1 | | | |
| | | | WEIGHT: 0.04 kg | | | | | |
| | | | MATERIAL: Al 5083 | | | | | |
| | | | INSTRUCTIONS: | | | | | |



| | | | | | | |
|--|----------|----------|--|--------|--|--|
| CONCEPTUAL DESIGN | | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | | ENGINEERING / R&D Iroon Polytexneiou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 | |
| GTkan | NA | 6/4/2011 | STANDARD: DIN | 406-12 | NTUA | |
| DRAWN | 6/4/2011 | 6/4/2011 | FILE: SWS/Airv | icw | Mechanical Engineering Dep. Laboratory of Biotechnology Phone: (030) 210-7721516 | |
| GTkan | 6/4/2011 | 6/4/2011 | SCALE: Not To Scale | 1:1 | PART NUMBER | |
| ENGINEERING REVIEW BY: | 6/4/2011 | 6/4/2011 | SIZE: A4 | A4 | d_a2_v1_magnetic_shield | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: | NA | 6/4/2011 | TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | | DESCRIPTION | |
| Leo | NA | 6/4/2011 | SURFACE FINISH PER DIN 4768: | | Magnetic shield | |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: | NA | 6/4/2011 | ISO N8 | | SHEET: 1 | |
| NA | NA | 6/4/2011 | WEIGHT: 0.06 kg | | REV: | |
| Contact: Senior Designer, George P. Kanakaris Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | NA | 6/4/2011 | MATERIAL: Steel, AISI 1006 | | DWG NO: d_a2_v1_magnetic_shield | |
| Contact: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos Office: 210-7721666 | NA | 6/4/2011 | INSTRUCTIONS: Laser cut profile | | SHEET NO: 1 OF 1 | |
| Contact: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | NA | 6/4/2011 | | | | |

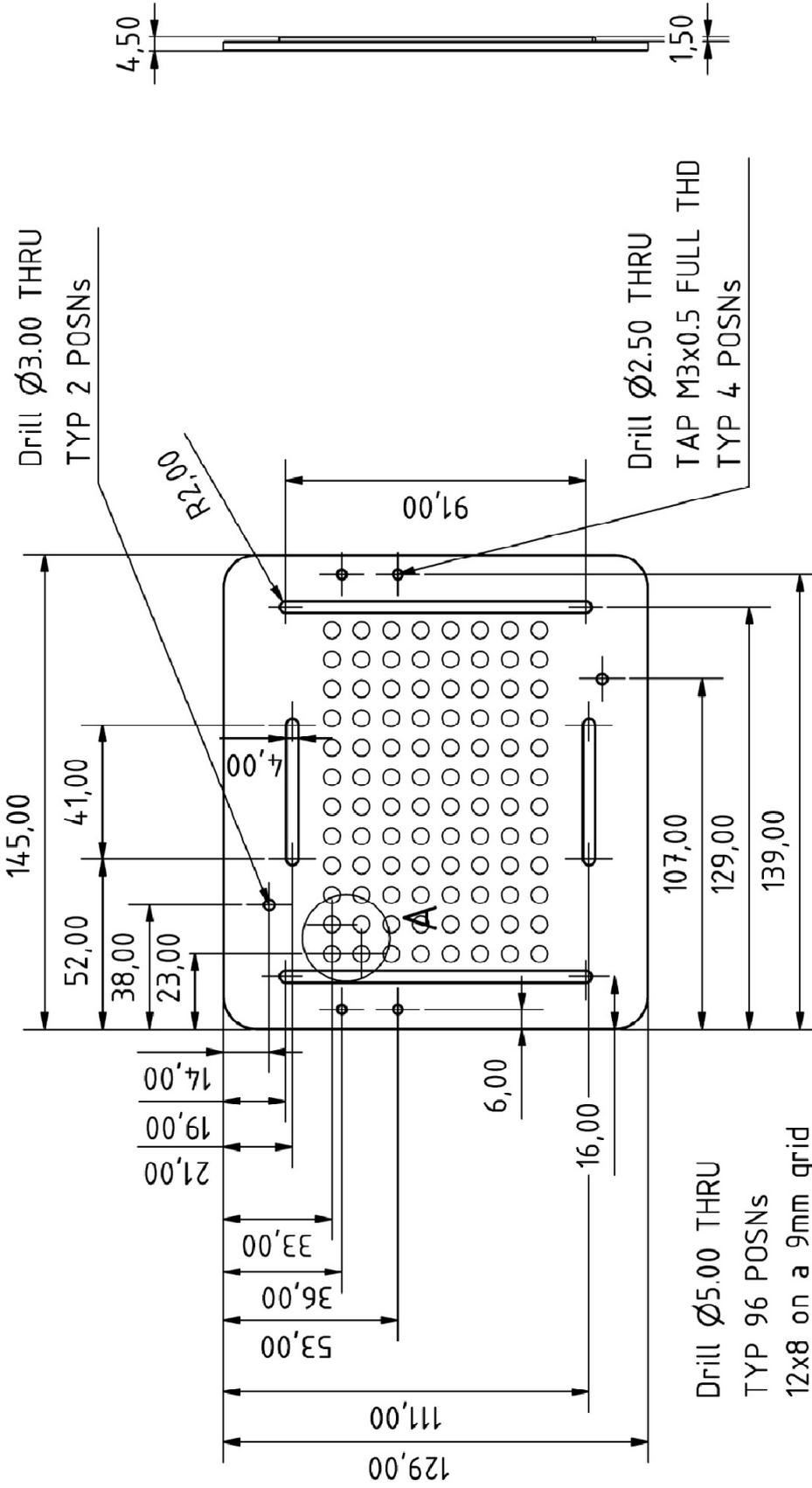


| | | | | | | |
|--|------|----------|--|------------------|---|--|
| CONCEPTUAL DESIGN | | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | | ENGINEERING / R&D Iroon Polytechniou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 | |
| DRAWN | GKan | 2/4/2011 | STANDARD: | DIN 406-12 | PART NUMBER d_a2_v1_rod_PA_fixture | |
| ENGINEERING REVIEW BY: | GKan | 2/4/2011 | FILE: | SWS/Airv icdw | | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: | Leo | 2/4/2011 | SCALE: | Not To Scale 1:1 | | |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: | NA | 2/4/2011 | SIZE: | A4 | | |
| CONTACT: Senior Designer, George P. Kanakaris Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | | | TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | | DESCRIPTION Plunger fixture | |
| CONTACT: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos Office: 210-7721666 | | | SURFACE FINISH PER DIN 4768: | | | |
| CONTACT: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | | | WEIGHT: 0.04 kg | | | |
| | | | MATERIAL: Al 5083 | | SHEET: 1 | |
| | | | INSTRUCTIONS: | | REV: | |
| | | | | | DWG NO: d_a2_v1_rod_PA_fixture | |
| | | | | | SHEET NO: 1 OF 1 | |



Check special tooling required
for machining in design review

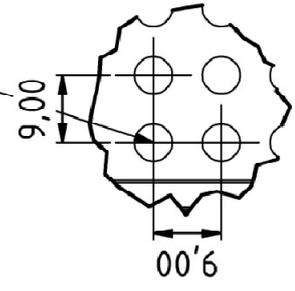
| | | | | |
|--|-----------|--|---------------------|--|
| CONCEPTUAL DESIGN GKan | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | | ENGINEERING / R&D Iroon Polytexneiou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 |
| DRAWN GKan | 23/4/2011 | STANDARD: DIN 406-12 | FILE: SWS/Airv icdw | NTUA Mechanical Engineering Dep. Laboratory of Biotechnology Phone: (030) 210-7721516 |
| ENGINEERING REVIEW BY: GKan | 23/4/2011 | SCALE: Not To Scale | SIZE: A4 | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: Leo | 23/4/2011 | TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | | PART NUMBER d_a2_v1_syringe_plunger |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: NA | NA | SURFACE FINISH PER DIN 4768: ISO N8 | | |
| Contact: Senior Designer, George P. Kanakaris Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | NA | WEIGHT: 1 g | | DESCRIPTION Syringe plunger / CNC version |
| Contact: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos Office: 210-7721666 | NA | MATERIAL: Brass | | |
| Contact: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | NA | INSTRUCTIONS: | | SHEET: 1 |
| | | | | REV: |
| | | | | DWG NO: d_a2_v1_syringe_plunger |
| | | | | SHEET NO: 1 OF 1 |



Drill Ø3.00 THRU
TYP 2 POSNS

Drill Ø2.50 THRU
TAP M3x0.5 FULL THD
TYP 4 POSNS

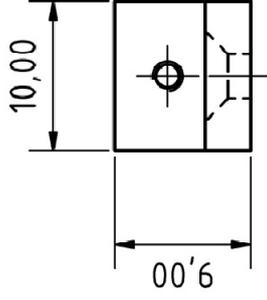
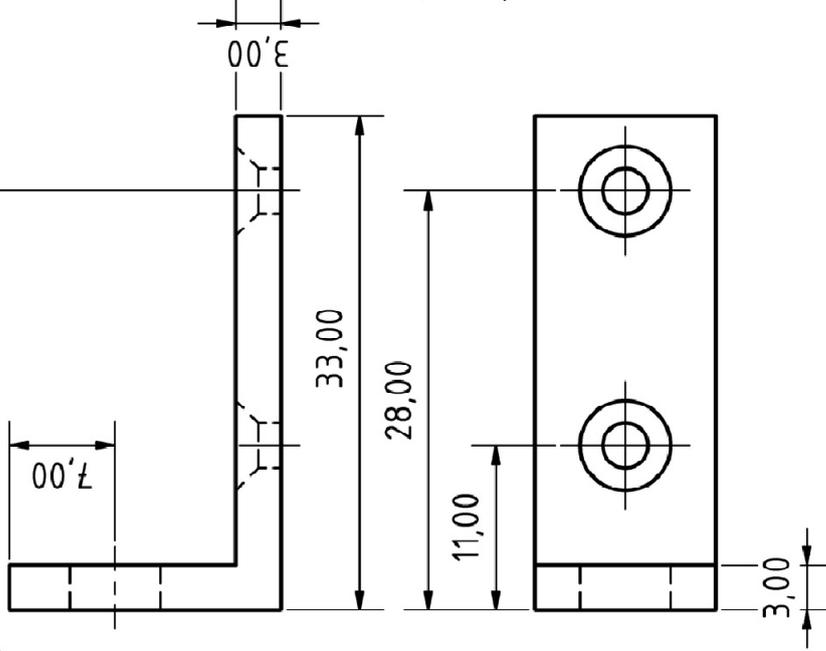
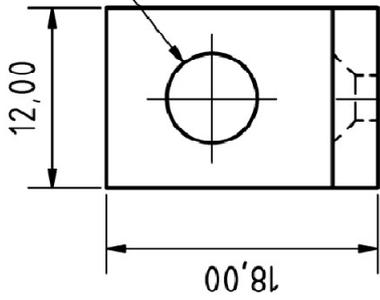
Drill Ø5.00 THRU
TYP 96 POSNS
12x8 on a 9mm grid



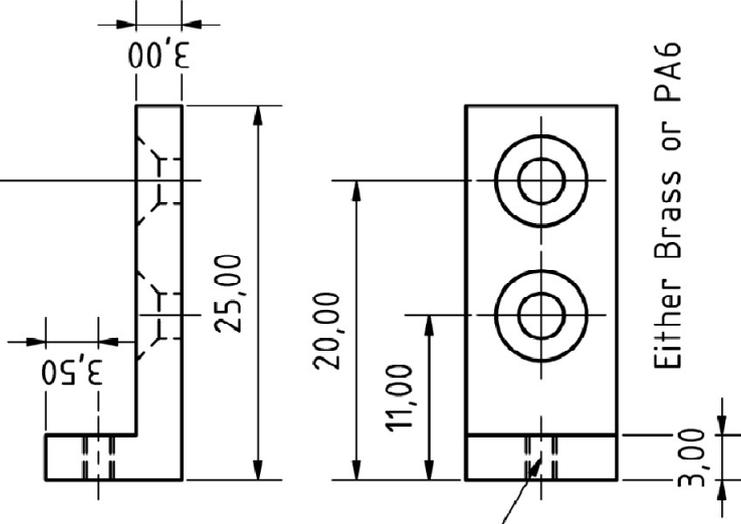
A (1 : 1)

| | | | | | | |
|--|---------------------------------------|-----------|--|--------|---|--|
| CONCEPTUAL DESIGN | | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | | NTUA ENGINEERING / R&D Ironon Polytechniou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 | |
| Drawn by: GKan | 28/5/2011 | 28/5/2011 | STANDARD: DIN | 406-12 | PART NUMBER d_a2_v2_supporting_magnet_plate | |
| Drawn by: GKan | 28/5/2011 | 28/5/2011 | FILE: SWS/Airv | icw | | |
| Drawn by: GKan | 28/5/2011 | 28/5/2011 | SCALE: Not To Scale | 1:2 | | |
| Drawn by: GKan | 28/5/2011 | 28/5/2011 | SIZE: | A4 | | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: Leo | 28/5/2011 | 28/5/2011 | TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | | DESCRIPTION Supporting magnet plate | |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: I/A | NA | NA | SURFACE FINISH PER DIN 4768: ISO N9 | | | |
| Contact: Senior Designer, George P. Kanakaris | Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | | WEIGHT: 0.14 kg | | | |
| Contact: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos | Office: 210-7721666 | | MATERIAL: Al 5083 | | | |
| Contact: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | | | INSTRUCTIONS: | | DWG NO: d_a2_v2_supporting_magnet_plate | |
| | | | SHEET: 1 | | REV: | |
| | | | SHEET NO: 1 OF 1 | | | |

$\text{Ø}3,00 \sqrt{\text{Ø}6,00 \times 90^\circ}$
 $\text{Ø}6\text{H7}$



$\text{Ø}3,00 \sqrt{\text{Ø}6,00 \times 90^\circ}$

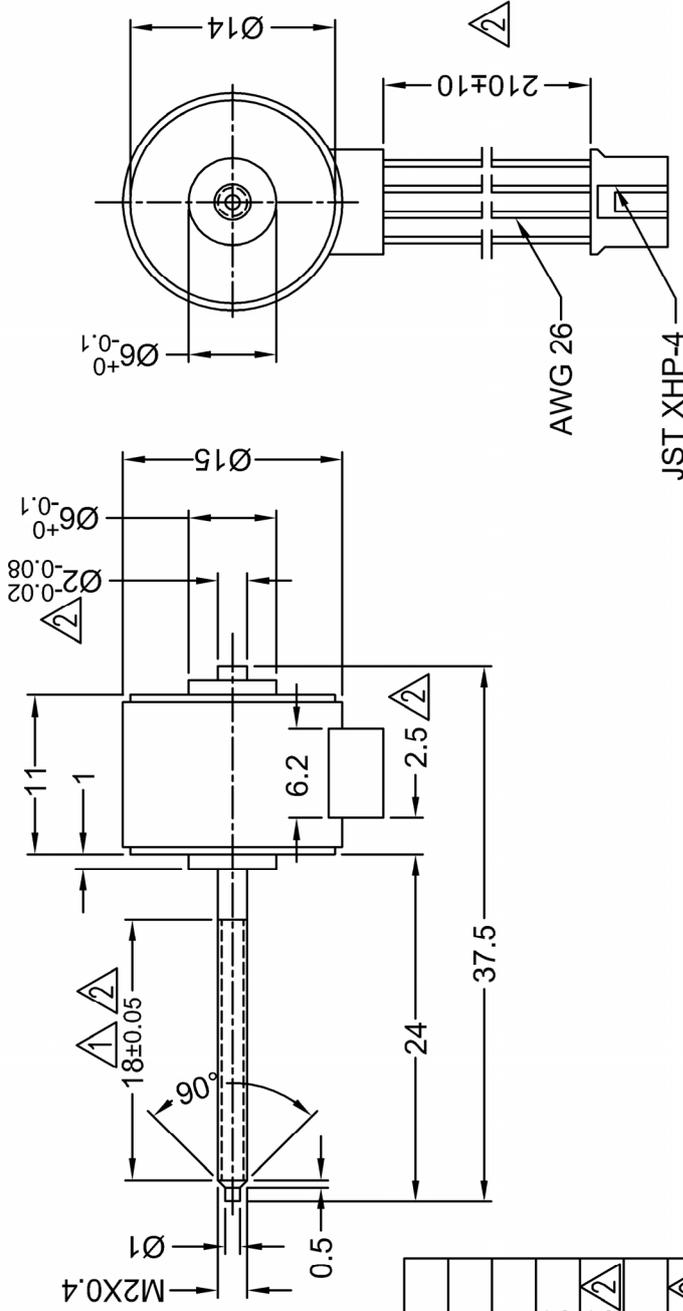


Drill $\text{Ø}1.60$ THRU
 TAP M2x0.4 FULL THD

Either Brass or PA6

| | | | |
|--|----------|--|--|
| CONCEPTUAL DESIGN Gkan | NA | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED - DIMENSIONS ARE IN MM - | ENGINEERING / R&D Ironon Polytexneiou 9 Str. Athens, Greece, ZIP 15780 |
| DRAWN Gkan | 4/8/2011 | STANDARD: DIN 406-12 FILE: SW5/Airv icdw | NTUA Mechanical Engineering Dep. Laboratory of Biotechnology Phone: (030) 210-7721516 |
| ENGINEERING REVIEW BY: Gkan | 4/8/2011 | SCALE: Not To Scale 2:1 SIZE: A4 | |
| PROTOTYPE FAB. APPROVED BY: Leo | 4/8/2011 | TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ACCORDING TO DIN 7168F | PART NUMBER d_a3_v4_bracket_2 |
| RELEASE FOR PRODUCTION BY: NA | NA | SURFACE FINISH PER DIN 4768: ISO N10 | |
| Contact: Senior Designer, George P. Kanakaris Office: 210-7721516, Cell: 6944793516 | NA | WEIGHT: 0.01 kg | DESCRIPTION Brackets for magnets |
| Contact: Project Manager, Leonidas G. Alexopoulos Office: 210-7721666 | NA | MATERIAL: Al 5083 / Brass | |
| Contact: Manufacturing Engineer, George P. Kanakaris | NA | INSTRUCTIONS: | DWG NO: d_a3_v4_bracket_2 |
| | | | SHEET: 1 |
| | | | REV: |
| | | | SHEET NO: 1 OF 1 |

DIMENSION (UNIT : mm)

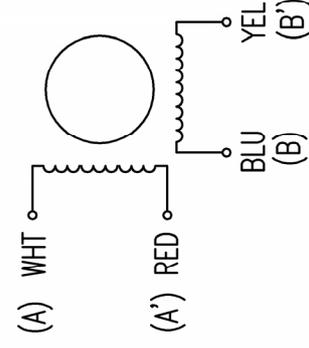


FULL STEP 2 PHASE-Ex.,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

| STEP | A | B | A' | B' | CCW |
|------|---|---|----|----|-----|
| 1 | + | + | - | - | ↑ |
| 2 | - | + | + | - | ↑ |
| 3 | - | - | + | + | ↓ |
| 4 | + | - | - | + | ↓ |

| PIN NO. | LEADERS |
|---------|---------|
| 1 | WHT |
| 2 | RED |
| 3 | BLU |
| 4 | YEL |

WIRING DIAGRAM



| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| SPECIFICATION | |
| RATED VOLTAGE (VM)DC | 12 |
| AMPS/PHASE | 0.071 |
| RESISTANCE /PHASE Rm (Ohms)@25°C | 170±7% |
| INDUCTANCE/PHASE.mH @1KHz | 28±20%/△ |
| STEP ANGLE (DEG) | 18 |
| STEP ACCURACY (NON-ACCUM) | ±7% △ |
| HOLDING TORQUE (g-cm) | 40 |
| ROTOR INERTIA (g-cm ²) | 1.0 |
| WEIGHT (g) | 13 △ |
| TRUST FORCE/N | 3 |
| MAXIMUM STARTING PULSE RATE/pps | |
| TEMPERATURE RISE | MAX.80°C |
| INSULATION RESISTANCE | 100M ohm |
| DIELECTRIC STRENGTH | 500VAC FOR ONE MINUTE |
| AMBIENT TEMPERATURE | -10°C ~ 40°C |

NANOTECH:

LSP1518M0104-M2X0.4

| SCALE | FREE | APVD |
|-------|------|------|
| X | ±0.5 | CHKD |
| 1PL | ±0.2 | DRN |
| 2PL | ±0.1 | |
| ANGLE | ±30' | |

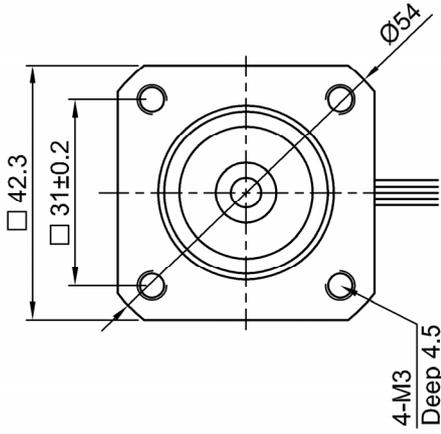
| M | 2:1 |
|---|-----|
| | |

| DWG.NO | DATE |
|---------------------|----------|
| LSP1518M0104-M2X0.4 | 24.02.06 |

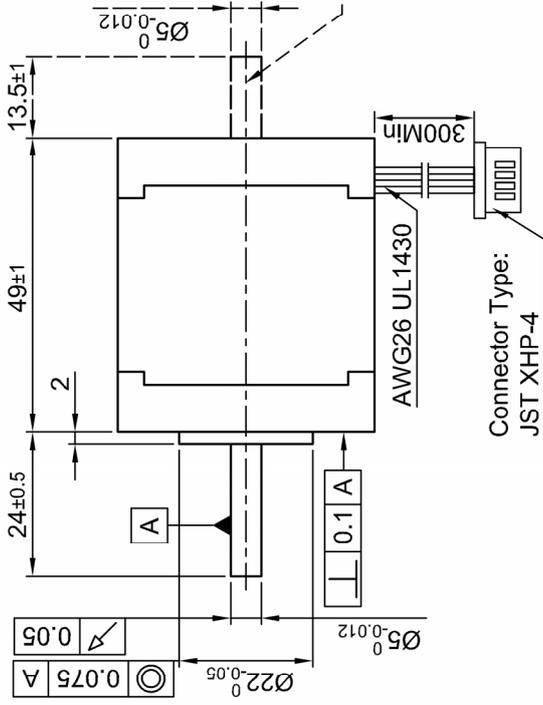
Linear Actuator LSP15

Signature

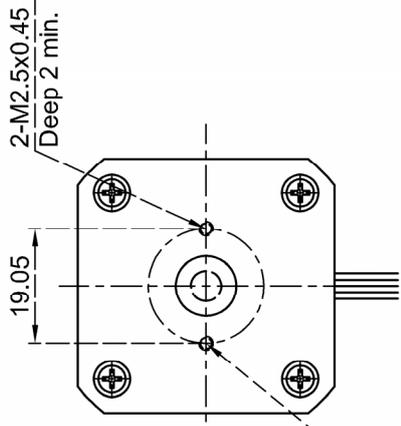
Front view and mounting



Side view



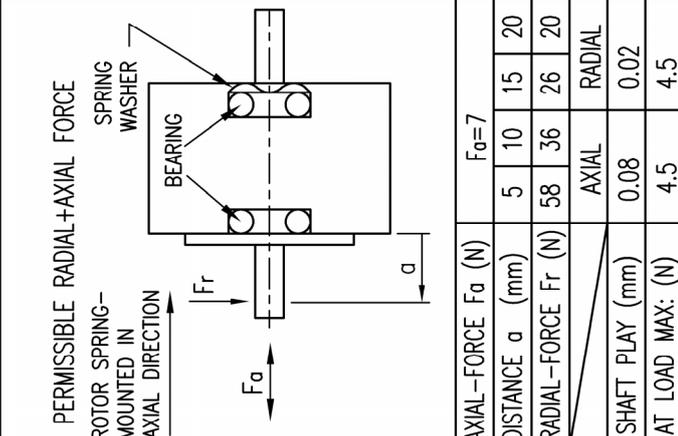
Rear view



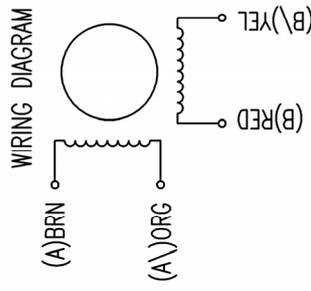
(only for type ST4118L3004-B Ready for encoder + driver mount)

Connector Type: JST XHP-4

| SPECIFICATION | CONNECTION | BIPOLAR |
|--|--|--|
| VOLTAGE (VDC) | | 1.9 |
| AMPS/PHASE | | 3.0 |
| RESISTANCE/PHASE (Ohms)@25°C | | 0.63±15% |
| INDUCTANCE/PHASE (mH) @1KHz | | 1.03±20% |
| HOLDING TORQUE (Nm) [lb-in] | | 0.5 [4.43] |
| DETTENT TORQUE (Nm) [lb-in] | | 2.2x10 ⁻² [0.2] |
| STEP ANGLE (°) ± ACCURACY | | 1.8±5% (NON-ACCUM) |
| BACK-EMF (V) (300 U/min) | | 4.4 |
| ROTOR INERTIA (kg-m ²) [lb-in ²] | | 8.2x10 ⁻⁶ [2.8x10 ⁻²] |
| WEIGHT (Kg) [lb] | | 0.34 [0.77] |
| TEMPERATURE RISE: MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL; FOR 2 PHASE ENERGIZED) | | |
| AMBIENT TEMPERATURE | -10°~ 50°C [14°F ~ 122°F] | |
| INSULATION RESISTANCE | 100 MOhm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY) | |
| INSULATION CLASS | B 130° [266°F] | |
| DIELECTRIC STRENGTH | 500VAC FOR 1 MIN. (BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE) | |
| AMBIENT HUMIDITY | MAX. 85% (NO CONDENSATION) | |



| TYPE OF CONNECTION (EXTERN) | | MOTOR | |
|-----------------------------|---------|-------|---------|
| PIN NO | BIPOLAR | LEADS | WINDING |
| 1 | A — | BRN | A |
| 2 | A \ | ORG | A \ |
| 3 | B — | RED | B |
| 4 | B \ | YEL | B \ |



FULL STEP 2 PHASE-Ex., WHEN FACING MOUNTING END (X)

| STEP | A | B | A \ | B \ | CCW | CW |
|------|---|---|-----|-----|-----|----|
| 1 | + | + | - | - | ↑ | ↑ |
| 2 | - | - | + | + | ↓ | ↓ |
| 3 | - | - | + | + | ↑ | ↓ |
| 4 | + | + | - | - | ↓ | ↑ |



STEPPING MOTOR

| REV | DESCRIPTION | DATE | APVD |
|-----|-------------|------|------|
| | | | |

| S.H.a. | 17.03.10 |
|--------|----------|
| | |

ST4118L3004

DWG.NO

DATE

SIGNATURE

17.03.10

d_a1_v1_pipette_head_plate_A3

d_a2_v1_magnet_carriage_A3

d_a2_v1_pipette_extractor_v3_A3

washing_container_A3

d_a1_v1_syringe_tube_solid_A2

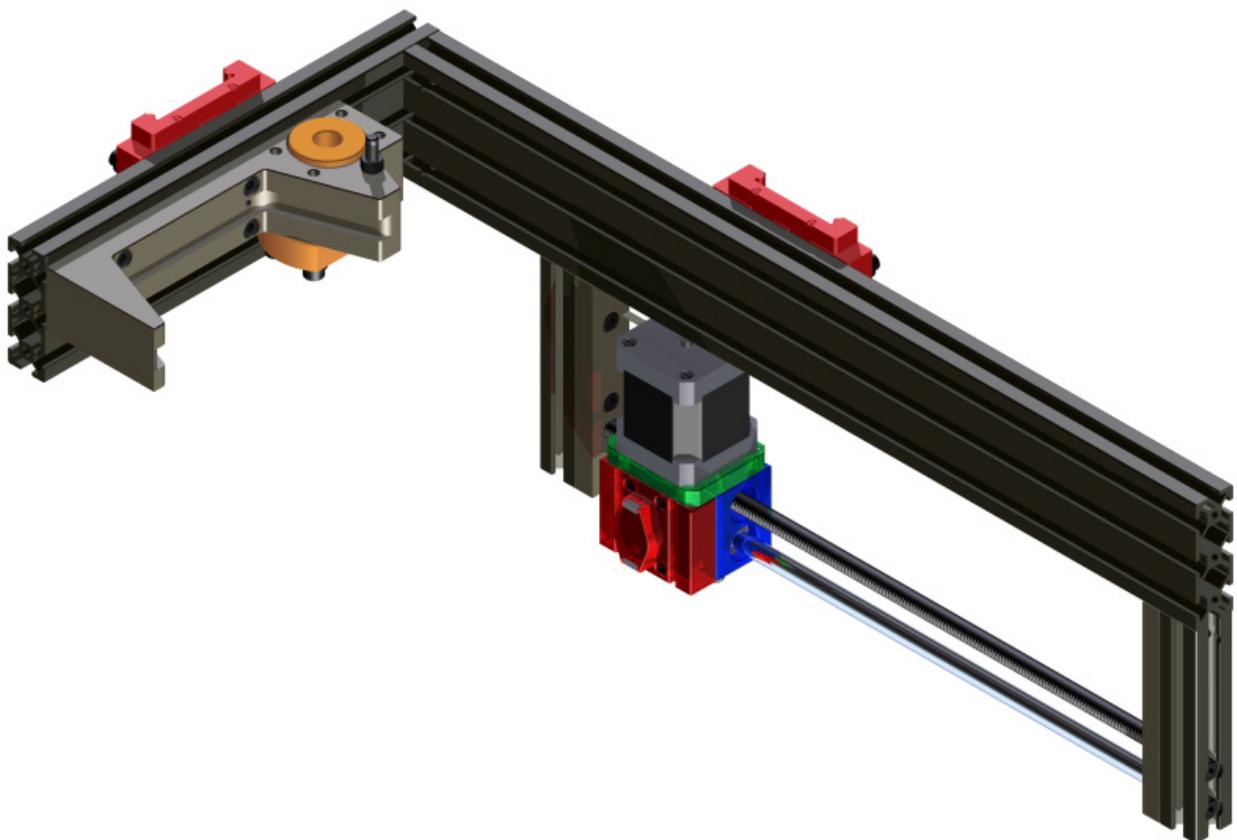
d_a1_v1_syringe_tube_solid_2_A2

d_a2_v1_rod_plate-1 A2

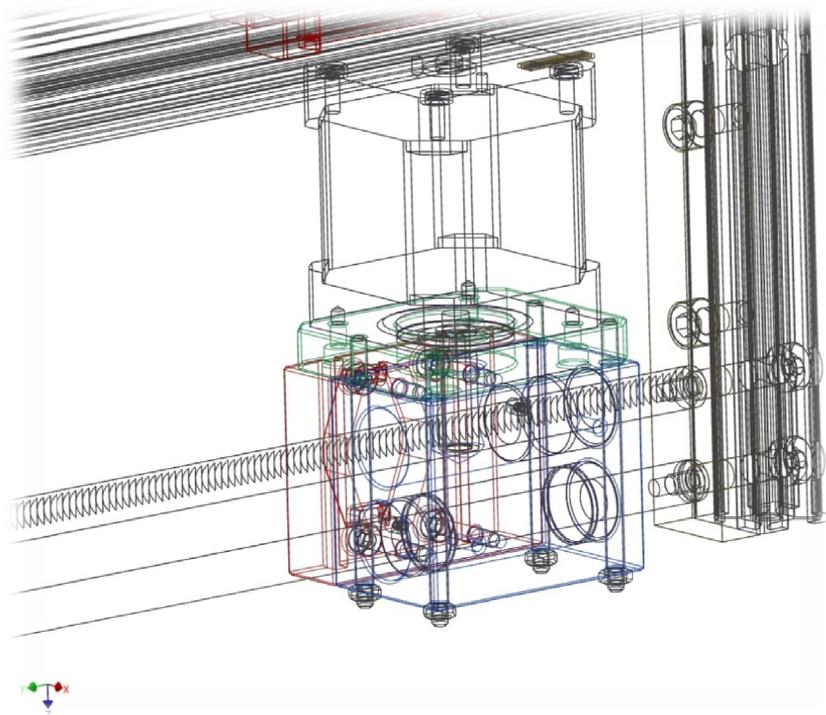
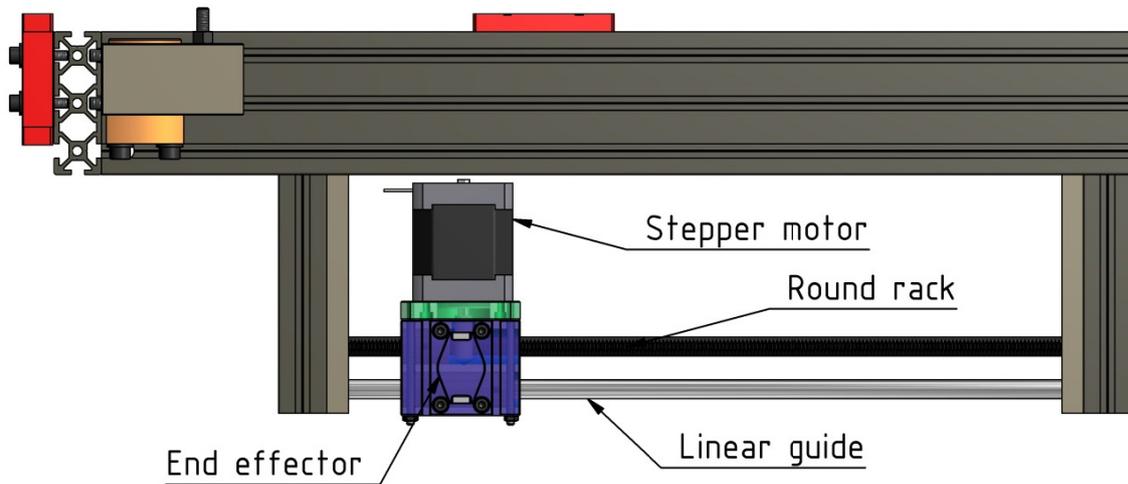
d_a2_v1_upper_stand_A2

9. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Σύστημα κίνησης κατά x

Το σύστημα κίνησης κατά x είναι υπεύθυνο για τις κινήσεις των πλακών από και προς την κεφαλή. Παρακάτω παρουσιάζονται βασικά στοιχεία για το σχεδιασμό του.



Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης



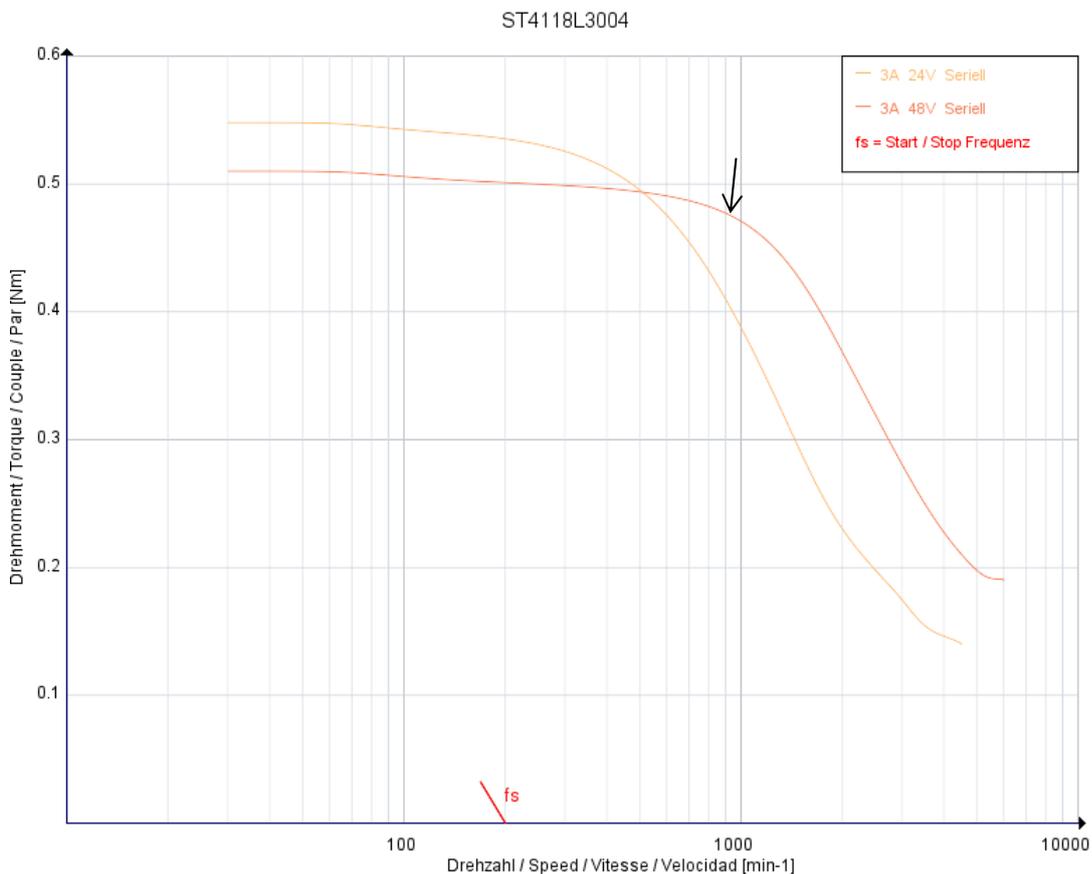
Ο μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης γίνεται με χρήση κυλινδρικής κρεμαγιέρας. Ένας βηματικός κινητήρας συνδέεται απευθείας με πινιόν το οποίο εμπλέκεται με την οδόντωση της κυλινδρικής κρεμαγιέρας. Ο ίδιος ο κινητήρας είναι πακτωμένος σε βαγονέτο που φέρει την αρπάγη των πλακών και που ενσωματώνει γραμμικά ένσφαιρα έδρανα, τα οποία κυλίνουν σε άξονα οδηγό και στην κρεμαγιέρα. Καθώς το πινιόν περιστρέφεται, το βαγονέτο κινείται. Εάν η αρπάγη βρίσκεται σε θέση που υπάρχει ράφι με πλάκα, μετακινείται μαζί και η πλάκα. Η κρεμαγιέρα, όπως φαίνεται και στην εικόνα, είναι ταυτόχρονα και μέσο μετάδοσης κίνησης αλλά και οδηγός για την κίνηση της πλάκας.

- ✓ Στο σχεδιασμό επιλέχθηκε βηματικός κινητήρας διότι οι στροφές του πινιόν για να επιτευχθεί μια αποδεκτή ταχύτητα είναι κοντά στο εύρος στροφών ενός βηματικού κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η χρήση μειωτήρα.
- ✓ Για τη μετάδοση της κίνησης χρησιμοποιείται πινιόν με module 0.5 και 15 δόντια. Άρα το βήμα της οδόντωσης είναι $\pi \times 0.5 \approx 1.57 \text{ mm}$, που σημαίνει ότι με μία μετριοπαθή ταχύτητα περιστροφής, έστω 150 RPM παίρνουμε τελικά $150 \times 15 \times 1.57 \approx 3.5 \text{ m/min}$. Αν λάβουμε υπόψη ότι η συνολική διαδρομή του βαγονέτου για να φέρει μια πλάκα από το άκρο του χρήστη στο άκρο της μηχανής είναι 248 mm, τότε η απόσταση θα διανύεται σε περίπου 4 sec, τιμή που είναι αποδεκτή. Ούτως ή άλλως, οι βάσεις μεταφέρουν πλάκες με υγρά σε βοθρία, οπότε δεν μπορούμε να έχουμε μεγάλες επιταχύνσεις και γρήγορες κινήσεις.
- ✓ Στα δεξιά φαίνονται κάποια από τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του μηχανισμού. Τα ένσφαιρα γραμμικά έδρανα χρησιμοποιούνται τόσο στον άξονα όσο και στην κρεμαγιέρα, με τη διαφορά πως στην κρεμαγιέρα χρησιμοποιούμε μικρού μήκους έδρανο ώστε να υπάρχει χώρος για το πινιόν.
- ✓ Σημειώνεται εδώ πως, ενώ τυπικά οι άξονες-οδηγοί έχουν ανοχή h7, οι κρεμαγιέρες έχουν h9. Αυτό σε συνδυασμό με την οδόντωση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο έδρανο. Ενδεχομένως εδώ να είναι καλύτερη λύση η χρήση πολυμερούς εδράνου ολίσθησης, αυτό όμως είναι κάτι που θα καθοριστεί από τις δοκιμές της πλατφόρμας.
- ✓ Και σε αυτό το σχέδιο σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε οπτικό encoder κατά τις δοκιμές της πλατφόρμας, το οποίο όμως δεν θέλουμε να παραμείνει σε ένα εμπορικό πρωτότυπο. Σε αυτό το μηχανισμό τα πράγματα είναι λίγο πιο εύκολα, αφού υπάρχουν μόνο δύο επιθυμητές θέσεις του βαγονέτου, οι 2 ακραίες. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τερματικούς διακόπτες, όπως αυτοί που φαίνονται στην εικόνα, για να ορίζουν την αρχική και τελική θέση του βαγονέτου. Σημειώνεται εδώ πως και τα φορεία έχουν τερματικούς διακόπτες στις ακραίες θέσεις τους, αλλά σαν διαγνωστικό εργαλείο (ή εργαλείο restart σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά), πρέπει να υπάρχουν ανεξάρτητοι τερματικοί και σε αυτό τον μηχανισμό.

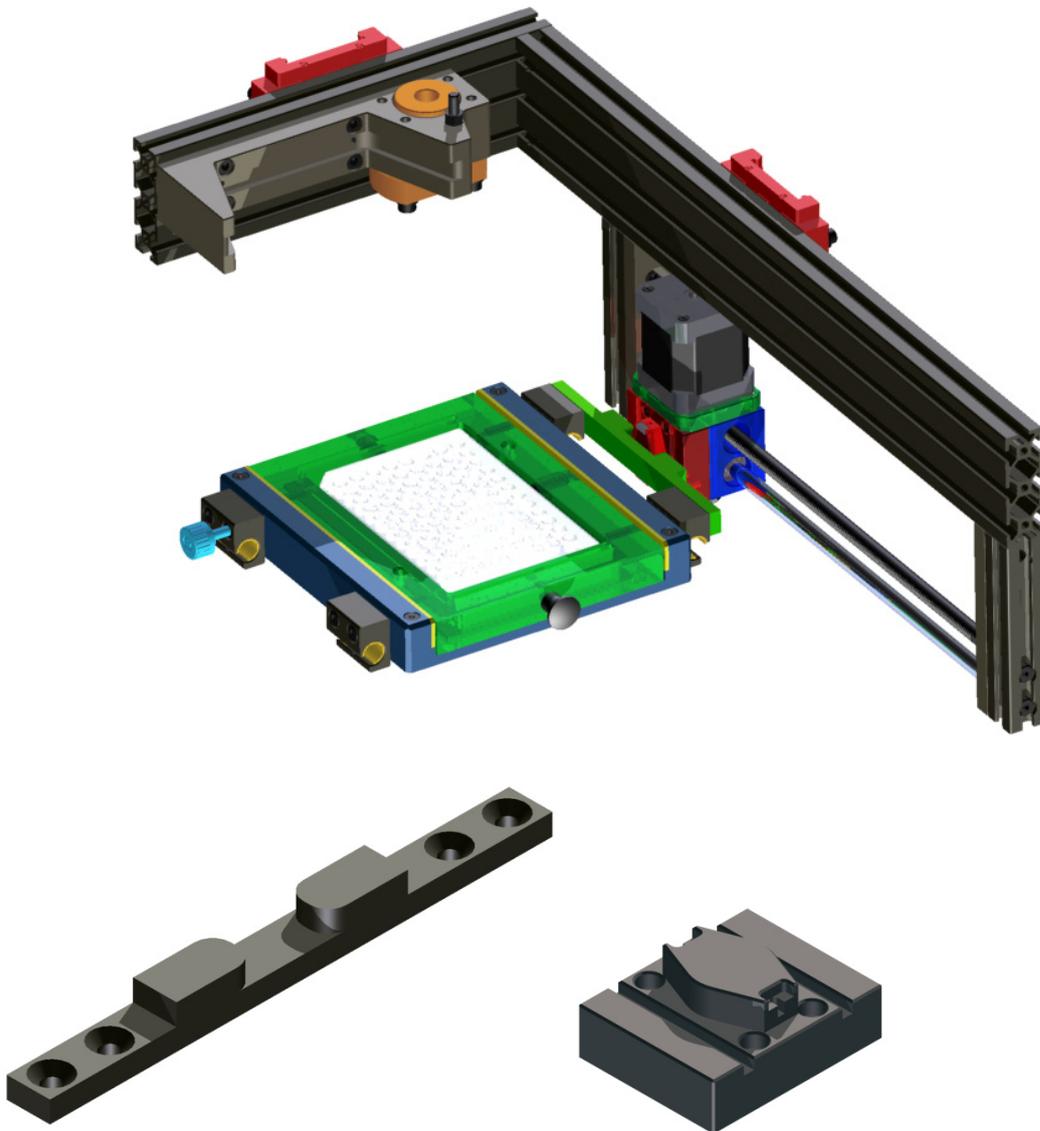


Κινητήρας / πινιόν

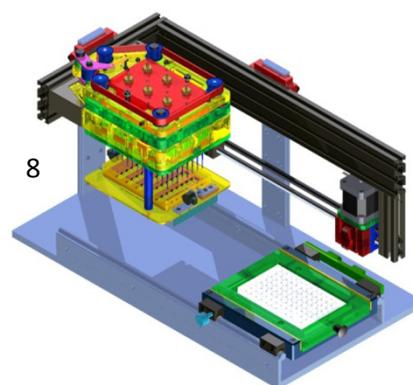
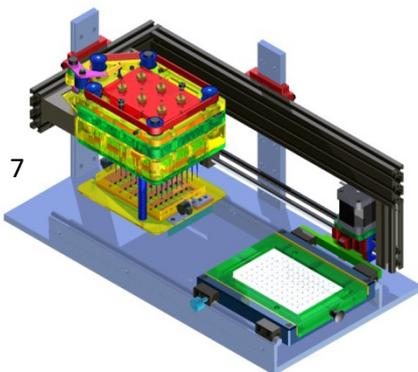
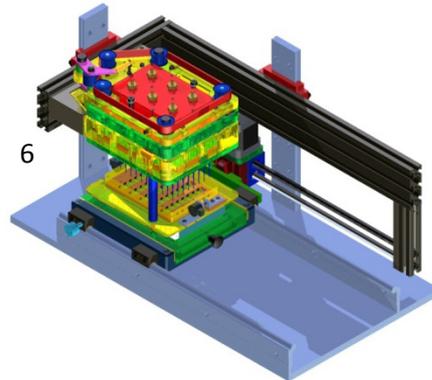
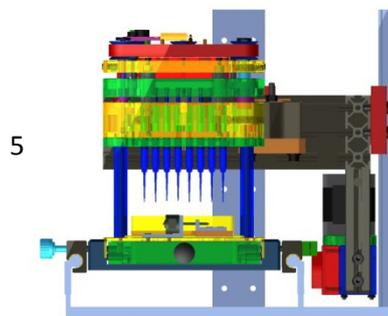
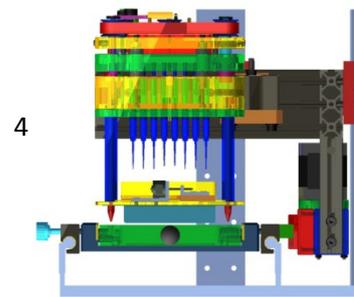
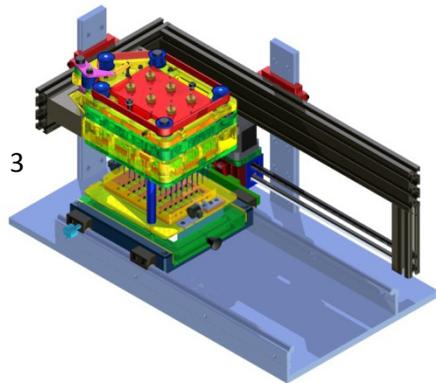
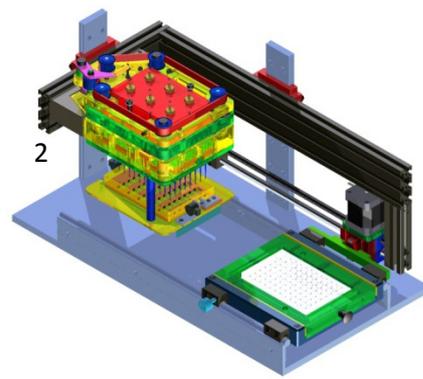
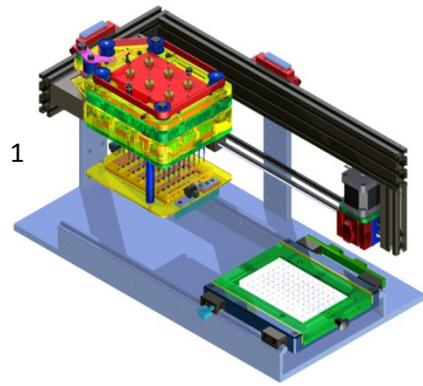
Για τη μετακίνηση των πλακών έγινε εκτίμηση του φορτίου που μπορεί να χρειαστούμε για κάθε περίπτωση βαγονέτου. Το φορτίο εκτιμήθηκε στα 50 N. Σημειώνεται εδώ πως αυτό το φορτίο έχει να κάνει κυρίως με τη συναρμογή των γραμμικών εδράνων, τα οποία επειδή είναι έδρανα τριβής (δεν θέλουμε ένσφαιρα έδρανα κοντά στα δείγματα γιατί απαιτούν λιπαντικά τα οποία μπορεί να στάξουν πάνω στα δείγματα) μπορεί να είναι σχετικά σκληρά όταν φορτίζονται έκκεντρα. Επίσης, οι γραμμικοί οδηγοί πακτώνονται πάνω σε στραντζαριστά κομμάτια, τα οποία δεν παίρνουν αναφορά το ένα για το άλλο παρά μόνο μέσα από το πλαίσιο από προφίλ αλουμινίου. Για ενδεχόμενη κακή ευθυγράμμιση λοιπόν αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο κινητήρα που έχουμε στην κεφαλή, **Nanotec® ST4118L3004**. Ο κινητήρας αυτός, στα 150 RPM δίνει 0.47 Nm. Με δεδομένο ότι η διάμετρος αρχικού κύκλου του πινιόν είναι $7.5/2=3.75$ mm, ο κινητήρας δίνει στη κρεμαγιέρα $0.47 \times 1000 / 3.75 = 125$ N, τιμή αρκετά μεγαλύτερη που εξασφαλίζει καλή λειτουργία. Εάν κατά τις δοκιμές αποδειχθεί ότι είναι υπερβολικά μεγάλος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε επόμενη έκδοση της μηχανής, είτε κινητήρα με άλλο NEMA αλλάζοντας τα σχέδια, είτε κινητήρα με ίδιο NEMA αλλά πιο κοντό, πχ τον **ST4118X1404**, που δίνει 40 N στις ίδιες στροφές. Τέλος, το πινιόν είναι **MISUMI® ,GEABN0.5-15-8-K-5** , υλικό C45E (EN 1.1191), με δυνατότητα μετάδοσης μέχρι και 0.72 Nm.



End Effector



Το άκρο του μηχανισμού και η υποδοχή της φέρουσας πλάκας έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί το ένα να κλειδώσει μέσα στο άλλο κατά τον άξονα x , όμως προοδευτικά, ώστε να αντισταθμίζονται τυχόν λάθη στην τοποθέτηση. Όπως εικονίζεται παραπάνω, το άκρο προοδευτικά εισέρχεται στο διάκενο που σχηματίζει ο υποδοχέας της πλάκας, μέχρι το σημείο που κλειδώνει ή το μέγιστο πλάτος των δύο τεμαχίων. Εάν ο υποδοχέας συνεχίσει να κινείται καθοδικά, θα ξεκλειδώσει ο μηχανισμός. Αυτό είναι σημαντική δυνατότητα, γιατί ο μηχανισμός κίνησης κατά x και η κεφαλή του μηχανισμού είναι δεμένα στο ίδιο z , όμως το z που χρειάζεται ο μηχανισμός x για να μετακινήσει μια πλάκα είναι διαφορετικό από το z που χρειάζεται η κεφαλή για να εργαστεί στα βοθρία αυτής της πλάκας. Ο λόγος είναι προφανής εάν εξεταστούν τα σχέδια: η πλάκα θα χτυπούσε στις πιπέτες κατά την κίνηση z . Έτσι ο μηχανισμός πρέπει να κλειδώνει μεν την πλάκα σε ένα x , πρέπει όμως να την ξεκλειδώνει όταν η κεφαλή κατέρχεται για να κάνει αναρρόφηση υγρού, αφού, όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, η κεφαλή έχει δικό της σύστημα ευθυγράμμισης με τις 96άρες πλάκες.



Παραπάνω εικονίζεται η διαδικασία μετακίνησης πλακών. Το συγκεκριμένο setup δεν υπάρχει παρά μόνο ως υποσύνολο της πλατφόρμας, απλά σχεδιάστηκε για να αναλυθεί η διαδικασία:

- ✓ Το δείγμα έχει τοποθετηθεί στην πλατφόρμα και η φέρουσα βάση είναι στη θέση user
- ✓ Ο μηχανισμός κατεβαίνει και κλειδώνει την βάση με το άκρο του βαγονέτου. Πλέον η βάση δεν μπορεί να μετακινηθεί παρά μόνο από το σύστημα πινιόν/κρεμαγιέρας
- ✓ Ο μηχανισμός x ενεργοποιείται και η βάση μετακινείται στη θέση machine
- ✓ Φαίνεται πως η κεφαλή μέχρι στιγμής δεν έχει ακουμπήσει την πλάκα. Το δύο συστήματα δεν επηρεάζουν το ένα το άλλο
- ✓ Ο μηχανισμός κατεβαίνει κι άλλο. Η πλάκα ταυτόχρονα ξεκλειδώνεται από τον gripper x και κλειδώνεται από την κεφαλή. Πραγματοποιείται το πρωτόκολλο όπως έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενα κεφάλαια
- ✓ Ο μηχανισμός ανεβαίνει, η πλάκα ξεκλειδώνεται από την κεφαλή και κλειδώνεται από τον gripper.
- ✓ Η πλάκα μεταφέρεται στη θέση user
- ✓ Ο μηχανισμός απελευθερώνει την πλάκα και ανεβαίνει στην αρχική του θέση

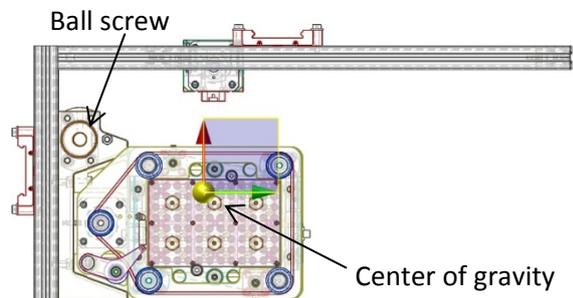
Σημασία του διπλού κλειδώματος της πλάκας:

Η κεφαλή και το σύστημα μετακίνησης κατά x έχουν ανεξάρτητους τρόπους να κλειδώνουν την πλάκα με τα δείγματα στη θέση όπως αναλύθηκε παραπάνω. Η χρησιμότητα αυτής της μεθόδου είναι πως δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα η σχετική τοποθέτηση των δύο μηχανισμών. Γενικά σε μηχανισμούς που χρειάζεται ακρίβεια, όπως αυτός, κατασκευάζεται ένα reference frame, δηλαδή μια κατασκευή που μπορεί να είναι ο σκελετός ή κάποιο άλλο κομμάτι της μηχανής που εγγυάται την ακριβή τοποθέτηση των υποσυστημάτων της. Αυτές οι κατασκευές είναι ακριβές και περιορίζουν το σχεδιασμό ενός μηχανήματος. Αντί αυτού, στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιούμε συστήματα που λειτουργούν ανεξάρτητα και περιορίζουν την ακρίβειά τους στην θέση εργασίας τους χωρίς να είναι κατ' ανάγκη τέλεια ευθυγραμμισμένα μεταξύ τους. Αυτό μας επιτρέπει σε ένα εμπορικό πρωτότυπο να χρησιμοποιήσουμε κοινά στραντζαριστά κομμάτια για τον σκελετό της μηχανής, και όχι ακριβές συγκολλητές κατασκευές ή συστήματα ευθυγράμμισης. Προφανώς οι παραπάνω μηχανισμοί αναιρούν μικρή απόκλιση (της τάξης του 1mm) σε απόσταση ενός άξονα, οπότε υπάρχει και άνω όριο στις ανοχές που επιτρέπουμε κατά την κατασκευή και συναρμολόγηση.

Η κεφαλή κλειδώνει στο μηχανισμό με τα εξαρτήματα που φαίνονται στα δεξιά. Το κωνικό σχήμα της ένωσης μεταθέτει την ακρίβεια ευθυγράμμισης στην γωνία του κώνου, δηλαδή σε μια διάσταση που έχει πολύ μικρό σφάλμα στο κατασκευασμένο κομμάτι σε σχέση με σφάλματα ευθύτητας οπών και πολύ περισσότερο σε σφάλματα που γίνονται κατά το 2° ή 3° πιάσιμο κομματιού σε εργαλειομηχανή. Αυτά είναι σφάλματα που θα υπήρχαν αν το δέσιμο και η ευθυγράμμιση των δύο εξαρτημάτων γινόταν με πύρους και κοχλίες.



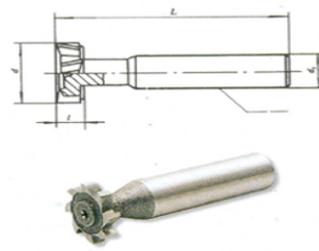
Στα δεξιά φαίνεται η θέση του κέντρου βάρους του μηχανισμού σε σχέση με το σημείο του κοχλία κίνησης. Το ιδανικό θα ήταν αυτά τα δύο να είναι στην ίδια θέση ώστε να μην υπάρχουν ροπές στις κάθετες γλίστρες, επειδή όμως αυτό δεν είναι εφικτό σχεδιαστικά, απλά τις πλησιάσαμε κατά το δυνατόν και διαλέξαμε γλίστρες με σώματα κύλισης που να μπορούν να παραλάβουν ροπές σε όλους τους άξονες. Δεν χρειάστηκε να γίνει υπολογισμός αντοχής, καθώς το επιτρεπόμενο συνεχές φορτίο της γλίστρας είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να δημιουργηθεί στην κατασκευή. Εάν ωστόσο παρατηρηθούν προβλήματα κατά τη λειτουργία του μηχανισμού, υπάρχει η επιλογή της τοποθέτησης αντίβαρου για την εξισορρόπηση του συναρμολογήματος, επιβαρύνοντας όμως τον κινητήρα του άξονα z.



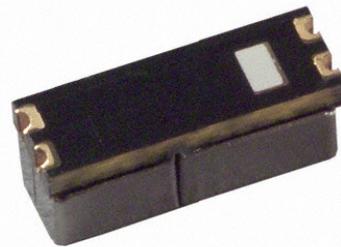
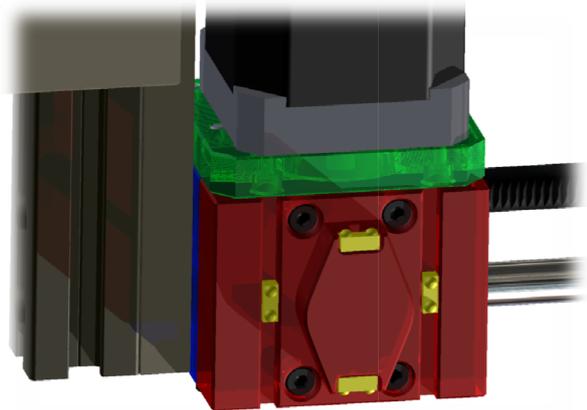
Για ευκολία στην κατασκευή του φέροντος σκελετού, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε προφίλ κράματος αλουμινίου (ENAC – 51400 / AlMgSi0,7 –T5). Παρότι είναι μία φτηνή λύση και πρακτικά δεν έχουμε παραμορφώσεις λόγω κάμψης (το προβολικό κομμάτι του μηχανισμού δεν φορτίζεται παρά μόνο από το ίδιο βάρος), χρειάζεται συναρμολόγηση και ευθυγράμμιση κατά την τοποθέτηση.



Για την κατασκευή του αυλακιού στο εξάρτημα που κάνει τη σύνδεση ανάμεσα στην κεφαλή και το μηχανισμό χρειάζεται slot mill που εικονίζεται στην εικόνα δεξιά. Εμείς χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο **2913600196** της **Sartorius D19.5, B4** με αρκετά καλό αποτέλεσμα σε ποιότητα επιφάνειας. Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται εργαλείο με $D < 20,00$ για το ράδιο.



Το άκρο του μηχανισμού είναι εξοπλισμένο με 4 αισθητήρες προσέγγισης υπέρυθρης ακτινοβολίας ώστε να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις κατά την κίνηση των μηχανισμών ή λόγω παρέμβασης του χρήστη. Εδώ δεν χρησιμοποιούμε τερματικούς διακόπτες γιατί δεν υπάρχει αρκετός χώρος αλλά επιπλέον οι τερματικοί είναι ακριβά εξαρτήματα, ενώ οι αισθητήρες αυτού του τύπου είναι πολύ φτηνοί. Το μειονέκτημα που έχει η επιλογή αυτού του αισθητήρα όμως είναι πως είναι αναλογικός, και η διακοπή της λειτουργίας του μηχανισμού γίνεται με λογισμικό που παρακολουθεί την τιμή εξόδου της φωτοδίοδου. Εμείς ωστόσο, τον χρησιμοποιούμε σαν τερματικό διακόπτη σε επίπεδο λογικής προγράμματος, δηλαδή αναγνωρίζουμε μόνο την κατάσταση 0 (δεν υπάρχει κάτι κοντά) και την κατάσταση 1 (υπάρχει κάτι κοντά), όπου το κοντά είναι μια απόσταση ασφάλειας, δηλαδή τόση ώστε να προλάβει να σταματήσει ο κινητήρας πριν τη σύγκρουση. Ο αισθητήρας είναι της εταιρίας **AVAGO Tech**, μοντέλο **HSDL-9100-021**.



Block Layout

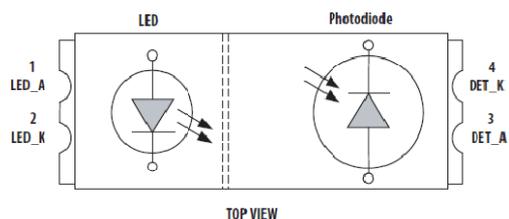
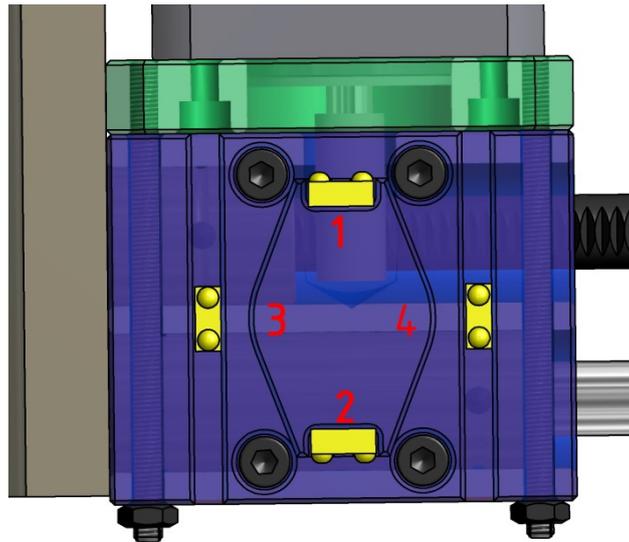


Figure 1. Block Layout of HSDL-9100



Πιθανές καταστάσεις είναι:

| Έξοδος αισθητήρα | | | | Κατάσταση |
|------------------|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | Κατά την κατακόρυφη κίνηση, το άκρο ετοιμάζεται να χτυπήσει σε υποδοχέα πλάκας που δεν έχει τοποθετηθεί σωστά. Κατά την οριζόντια κίνηση το άκρο της μηχανής περνάει απλά πάνω από υποδοχέα πλάκας. |
| 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Το άκρο έχει κλειδώσει υποδοχέα πλάκας |
| 0 | 0 | 0 | 1 | Το άκρο έχει χάσει το κέντρο του υποδοχέα και βρίσκεται στα δεξιά ή στα αριστερά του ή ετοιμάζεται να χτυπήσει κατά την κίνηση x |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Κανονική κατάσταση όταν η κεφαλή είναι στην ανώτερη θέση |
| 1 | 1 | 1 | 1 | Θαύμα θαύμα! |

Εάν ενεργοποιηθεί alarm και η πλατφόρμα σταματήσει, μετά πρέπει να υπάρχει κάποιος αλγόριθμος για να την επαναφέρει στο 0 και να ξεκινήσει από την αρχή ότι έκανε πριν. Οι αισθητήρες σε αυτή τη διαδικασία παίζουν το ρόλο της ανάδρασης καθώς η μηχανή προσπαθεί να αναιρέσει το υπάρχον πρόβλημα. Δηλαδή, εάν πχ πάρουμε τιμή 1 στον αισθητήρα 2 ενώ η κεφαλή κατεβαίνει, αυτό σημαίνει ότι ακριβώς από κάτω υπάρχει υποδοχέας πλάκας που έχει χάσει τη θέση του. Τότε το άκρο θα πρέπει να βρει την θέση στην οποία θα κατέβει για να πιάσει την πλάκα και να την επαναφέρει στη θέση user. Αυτό θα το κάνει ψάχνοντας με τον αισθητήρα τα δύο άκρα της υποδοχής, και μετά διαιρώντας την απόσταση που διένυσε από το ένα άκρο στο άλλο για να βρει το μέσο, και εκεί να κατέβει.

Τα καλώδια του βαγονέτου τοποθετούνται μέσα σε οδηγό όπως αυτός που φαίνεται στα δεξιά, ώστε να μην μπερδευτούν σε κάποιο κομμάτι του μηχανισμού κατά την κίνηση. Ο οδηγός κρέμεται από το βαγονέτο στη μία άκρη και από τον μηχανισμό στην άλλη, και επιτρέπει κινήσεις μόνο στο επίπεδο xz.



Presentation_main_1_A2

a_d2_v1_motor_base_A4

d_a2_v1_carriage_A4

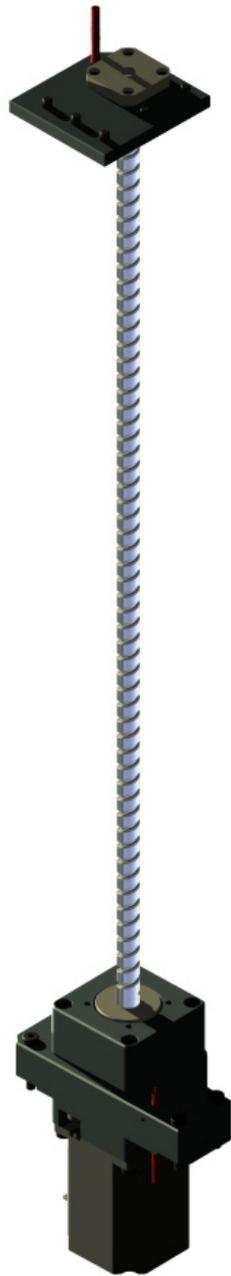
d_a2_v1_x_axis_support_A4

ST4118X1404 Layout1 (1)

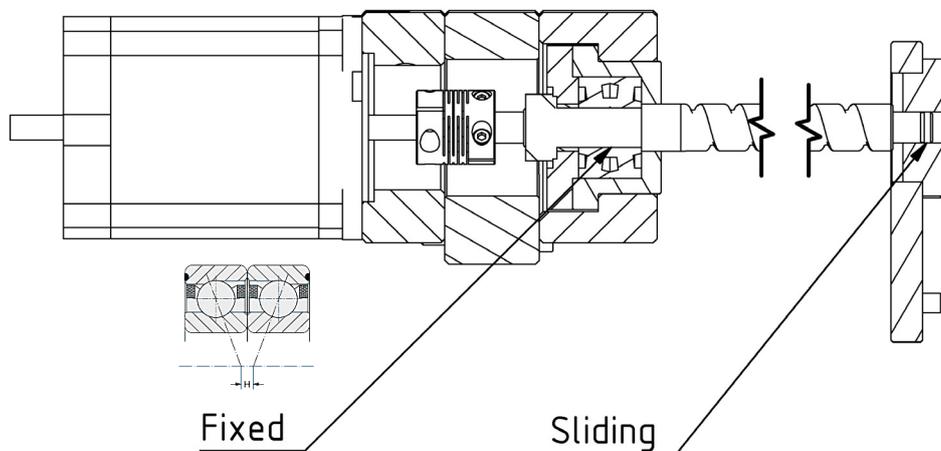
d_a2_v1_magnetic_module_gripper_A3

d_a2_v1_robot_gripper_A3

10. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου - Σύστημα κίνησης κατά Z



Μετάδοση κίνησης / Εδράσεις



Ο μηχανισμός παίρνει κίνηση από βηματικό κινητήρα μέσω κόπλερ και οδηγεί έναν κοχλία κίνησης για ένασφαιρο περικόχλιο (ball screw). Η έδραση στα αριστερά (πλευρά του κινητήρα) είναι σταθερή με δύο ρουλεμάν γωνιώδους επαφής σε διάταξη πρόσωπο με πρόσωπο. Η έδραση στα δεξιά είναι ελεύθερη, με ρουλεμάν βαθείας αύλακος. Τα διάφορα εξαρτήματα (ρουλεμάν, κινητήρας, κέλυφος ρουλεμάν) εδράζονται σε τεμάχια από αλουμίνιο, κατασκευασμένα από εμάς, με υποδοχές για πίρους ευθυγράμμισης.

Υπολογισμοί

Οι εργασίες που επιτελεί ο μηχανισμός είναι οι εξής:

1. Κάθετη κίνηση για απλή μεταφορά της κεφαλής και του άξονα x
2. Κάθετη κίνηση για κλείδωμα των πιπετών στην κεφαλή
3. Κάθετη κίνηση για ξεκλείδωμα των πιπετών από την κεφαλή

Οι τρεις αυτές κινήσεις απαιτούν διαφορετικά φορτία λειτουργίας. Σημειώνεται εδώ πως το φορτίο για το κλείδωμα μίας πιπέτας έχει υπολογιστεί στα 3 N ενώ το φορτίο για το ξεκλείδωμα μιας πιπέτας έχει υπολογιστεί στα 5 N. Λόγω του ότι η επιφάνεια του αντάπτορα της πιπέτας θα έχει μεγαλύτερη τραχύτητα από το μοντέλο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις, θα βάλουμε εδώ έναν συντελεστή λειτουργίας $s_f=2$ λόγω αυτού. Έτσι το συνολικό φορτίο για κλείδωμα όλων των πιπετών είναι $F_{in96}=96 \times (3 \times 2) = 576 \text{ N}$ και το συνολικό φορτίο για ξεκλείδωμα όλων των πιπετών είναι $F_{out96}=96 \times (5 \times 2) / 4 = 240 \text{ N}$. Διαιρούμε δια 4 επειδή ο εξολκέας είναι προοδευτικός 4 βαθμίδων. Έτσι τα φορτία υπολογίζονται:

$$F1 = (M_{head} + M_{x_assembly} + M_{additional}) \cdot g = (3 + 3 + 2) \cdot 9.81 = 78.48 \text{ N}$$

$$F2 = F_{in96} - F1 = 576 - 78.48 = 497.52 \text{ N}$$

$$F3 = F_{out96} + F1 = 240 + 78.48 = 318.48 \text{ N}$$

Όπου M οι μάζες της κεφαλής, του συστήματος x και των λοιπών εξαρτημάτων (σωληνώσεις, καλώδια, ηλεκτρονικά) και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Στο πρώτο σενάριο ο κοχλίας χρειάζεται απλά να σηκώσει το βάρος της κατασκευής. Στο δεύτερο κλειδώνει τις πιπέτες ασκώντας δύναμη προς τα κάτω, άρα το βάρος είναι βοηθητικό. Στο τρίτο ξεκλειδώνει τις πιπέτες ασκώντας δύναμη προς τα πάνω, άρα το βάρος είναι επιπλέον φορτίο. Από αυτά τα σενάρια, το δεύτερο είναι το χειρότερο και με αυτό θα κάνουμε υπολογισμούς. Προφανώς στο 1^ο και 2^ο σενάριο η ταχύτητα κίνησης δεν παίζει ρόλο γιατί η διαδρομή είναι πολύ μικρή (περίπου 5 mm) αλλά στο 1^ο σενάριο είναι βασικό μέγεθος. Οπότε θέλουμε κινητήρα που να μπορεί να ικανοποιεί και τις δύο καταστάσεις.

Επιπλέον μεταβλητές προβλήματος

| | | |
|---|--------|-------------|
| Διαδρομή | Str | 500 mm |
| Μάζα μετακινούμενων μερών | Wa | 8 kg |
| Γραμμική ταχύτητα κίνησης | Vs | 50 mm/sec |
| Χρόνος επιτάχυνσης | Acct | 0.5 sec |
| Ακρίβεια τοποθέτησης | Pr | 0.1 mm |
| Διάρκεια ζωής | Ls | 30000 h |
| Συντελεστής τριβής | uf | 0.02 |
| Διάμετρος κοχλίας | ds | 12 mm |
| Βήμα κοχλίας | Lead | 1 cm |
| Συντελεστής ασφάλειας | Sf | 1.5 |
| Μέτρο Young υλικού κοχλίας | Es | 2.06e+5 MPa |
| MISUMI CALC, Fixed support method, 1 st variable | nn | 2 |
| MISUMI CALC, Fixed support method, 2 st variable | mn | 10 |
| Βαθμός απόδοσης κοχλίας | h | 0.9 |
| Βαθμός απόδοσης γλίστρας | Sl_eff | 0.9 |

Υπολογισμός επιφάνειας κοχλίας:

$$As = \pi \cdot \frac{ds^2}{4} = 122.718 \text{ mm}^2$$

Υπολογισμός ροπής αδρανείας:

$$Is = \frac{\pi}{64} \cdot ds^4 = 1.198 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Επιτρεπόμενα αξονικό φορτίο (Misumi technical calculations, p1895):

$$P1 = mn \cdot \frac{ds^4}{Str^2} \cdot 10^4 = 9.766 \cdot 10^3, P2 = nn \cdot \pi^2 \cdot Es \cdot \frac{Is}{Str^2 \cdot sf} = 1.299 \cdot 10^4$$

$$P = \min(P1, P2) = 9.766 \cdot 10^3$$

Ειδική βαρύτητα:

$$gs = 7.8 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^{-3}$$

Μεταβλητές έδρασης κοχλία:

$$gfs = 15.1, ls = 3.927$$

Επιτρεπόμενη ταχύτητα περιστροφής:

$$Nc1 = gfs \cdot \frac{ds \cdot 10^7}{Str^2} = 7.55 \cdot 10^3 \text{ (min}^{-1}\text{)}, Nc2 = \frac{60 \cdot ls^2}{fa \cdot 2 \cdot \pi \cdot Str^2} \cdot \sqrt{Es \cdot ls \cdot \frac{1000}{gs}} = 6.986 \cdot 10^4 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$Nc = \min(Nc1, Nc2) = 7.55 \cdot 10^3 \text{ (min}^{-1}\text{)} = 1200 \text{ RPM}$$

Σενάριο 1° (μεταφορά):

Αδρανειακό φορτίο κατά την επιτάχυνση:

$$P_{\max_Inertial} = Wa \cdot \frac{Vs \cdot 10^{-3}}{Acct} = 0.8 \text{ N}$$

Συνολικό φορτίο στη βίδα:

$$P_{\max_1} = \frac{Wa \cdot g + P_{\max_Inertial}}{Sl_eff} = 97.877 \text{ N}$$

Ροπή στον κινητήρα:

$$T_1 = P_{\max_1} \cdot \frac{Lead}{2 \cdot \pi \cdot h} = 17.31 \text{ Ncm}$$

Στροφές κινητήρα:

$$n = \frac{Vs \times 60}{Lead} = 300 \text{ RPM}$$

Σενάριο 2° (κλείδωμα πιπετών, αγνοούμε αδρανειακά φορτία):

$$P_{\max_2} = \frac{Fin96}{Sl_eff} = 614.2 \text{ N}$$

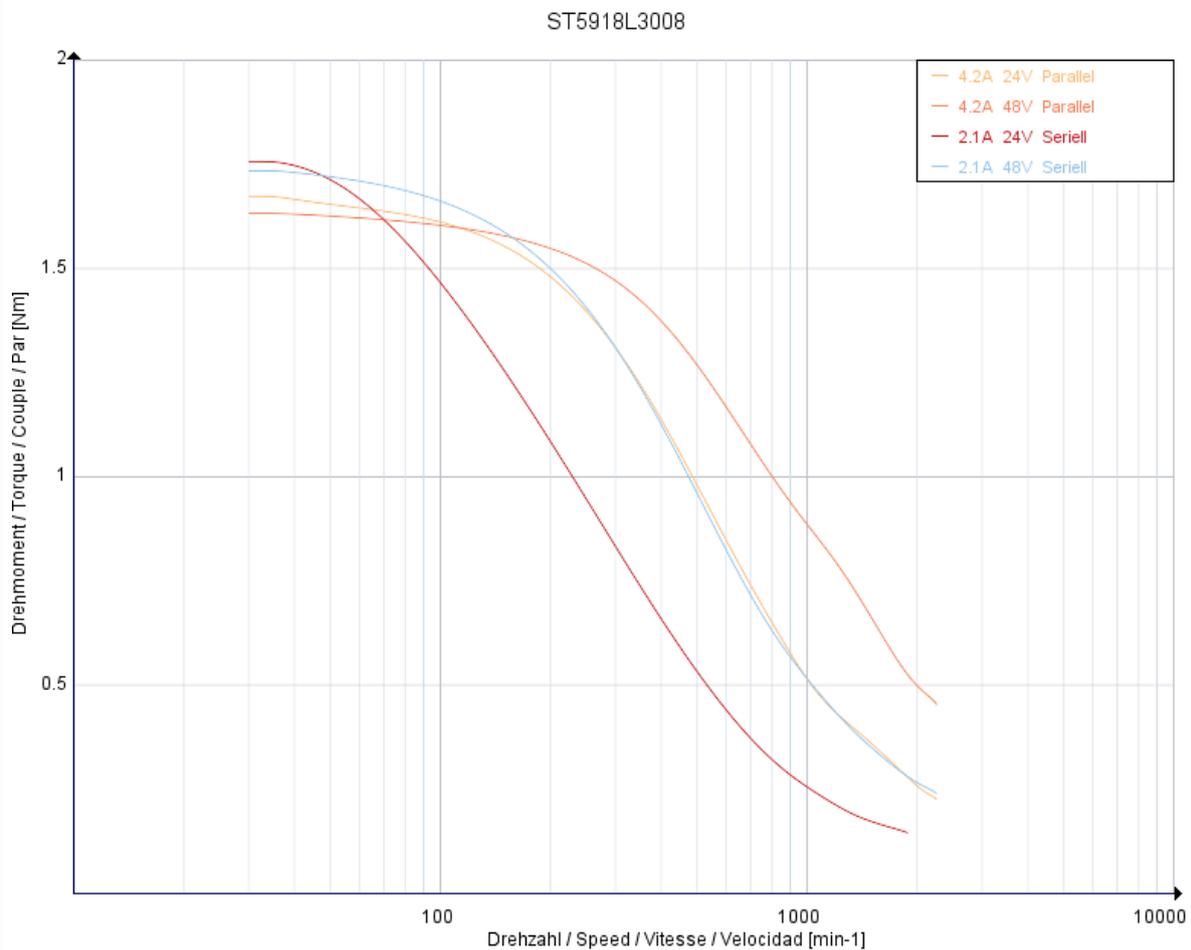
Ροπή στον κινητήρα:

$$T_2 = P_{\max_2} \cdot \frac{Lead}{2 \cdot \pi \cdot h} = 108.6 \text{ Ncm}$$

Από τα παραπάνω βλέπουμε κατ αρχάς πως από πλευράς αντοχής υπάρχει συντελεστής ασφάλειας πάνω από 10. Σημειώνεται εδώ πως αυτό μπορεί να θεωρηθεί overdesign από πλευράς αντοχής, ωστόσο η επιλογή των εξαρτημάτων δεν έγινε με κριτήριο την αντοχή, αλλά με κριτήριο το βήμα του κοχλία, το οποίο έπρεπε να είναι 10 mm τουλάχιστον για να πετύχουμε την επιθυμητή ταχύτητα, και το μήκος του. Επιπλέον βλέπουμε ότι ο κινητήρας που θα επιλεγεί πρέπει να πληροί τα παρακάτω κριτήρια:

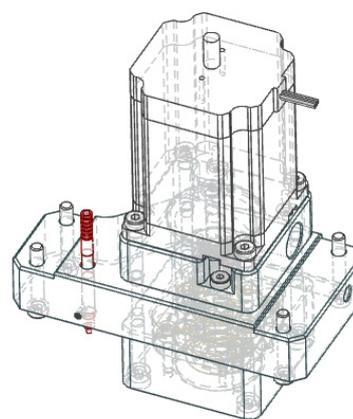
- ✓ $T > 0,17 \text{ Nm}$, 1885 min^{-1}
- ✓ $T > 1,08 \text{ Nm}$, 150 min^{-1}

Επιλέγουμε και πάλι βηματικό κινητήρα αφού είναι στο εύρος στροφών που βολεύει και επιπλέον σε αυτή τη θέση χρειαζόμαστε το μικρό μήκος του κινητήρα για να μη χρειαστεί να δώσουμε επιπλέον ύψος σε ολόκληρη την κατασκευή. Επιλέγεται ο κινητήρας **ST5918L3008-B** της εταιρίας **Nanotec®**:



Επιλέχθηκε ένας αρκετά πιο δυνατός κινητήρας για ασφάλεια, ο οποίος, εάν δεν απαιτείται τόσο μεγάλο φορτίο μπορεί να αντικατασταθεί στο μέλλον με έναν μικρότερο του ίδιου NEMA.

- ✓ Για να αποφύγουμε την κατασκευή σχιστού κελύφους για την σταθερή έδραση, σχεδιάστηκε κέλυφος με 3 βαθμίδες αξονικά, μία για το δέσιμο του κινητήρα, μία για το δέσιμο του ρουλεμάν και μία για τον ενδιάμεσο χώρο στον οποίο μπαίνει το κόπλερ. Η τελευταία δένεται πάνω στα προφίλ αλουμινίου. Το πρόβλημα με αυτή τη λύση είναι πως το συναρμολόγημα κινητήρας / κόπλερ / κοχλίας κίνησης πρέπει να είναι δεμένο πριν τοποθετηθεί στις βάσεις, κάτι που δεν γίνεται. Η λύση είναι το κόπλερ να βιδωθεί στον κινητήρα αφού συναρμολογηθούν οι βαθμίδες, και αυτό πρέπει να γίνει από την πλαϊνή οπή που φαίνεται στην πρώτη εικόνα δεξιά.
- ✓ Οι 3 αξονικές βαθμίδες ευθυγραμμίζονται μεταξύ τους με 2 πύρους ανοχής που περνάνε και από τις 3 και σφίγγουν στις δύο ακραίες. Ο κινητήρας ευθυγραμμίζεται με την πρώτη βαθμίδα με ποκέτα ανοχής.
- ✓ Για να παίρνει ο μηχανισμός τα μηδέν αλλά και για να μην χτυπήσει το περικόχλιο σε κάποια από τα δύο άκρα, χρησιμοποιούμε τους τερματικούς διακόπτες που φαίνονται στα δεξιά. Με χρήση κοχλιών μπορούμε στο πειραματικό πρωτότυπο να ρυθμίσουμε ποια θα είναι τα άκρα της διαδρομής. Σε εμπορικό πρωτότυπο αυτό δεν πρέπει να υπάρχει.
- ✓ Και σε αυτό τον κινητήρα χρησιμοποιούμε οπτικό encoder ως διαγνωστικό εργαλείο. Εδώ ενδεχομένως να χρειαστεί να παραμείνει και στο εμπορικό πρωτότυπο, αφού ο μηχανισμός δεν έχει περιθώριο να παίρνει το 0 συχνά επειδή είναι αρκετά αργή διαδικασία στα 50 mm/sec ταχύτητα που έχουμε ορίσει.



Z_motion_Assembly_realistic-1_A2

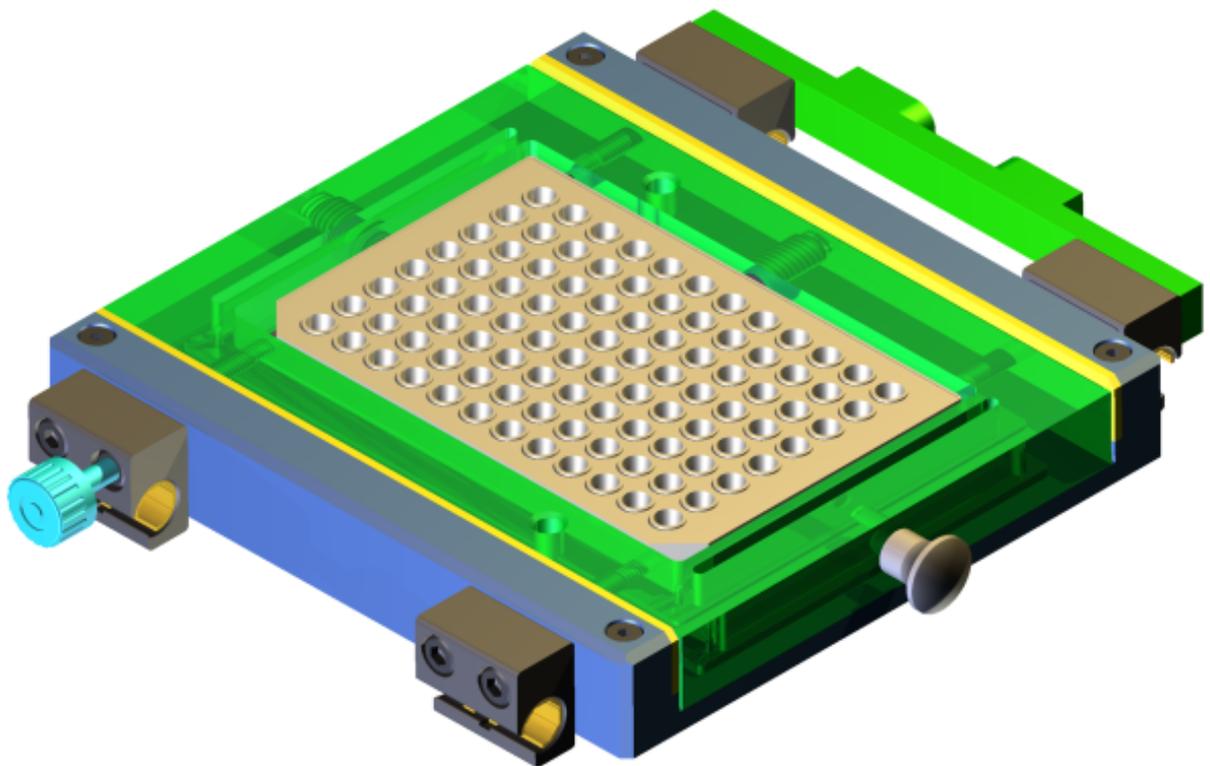
d_a3_v4_bearing_nest_A4

d_a3_v4_motor_support_A4

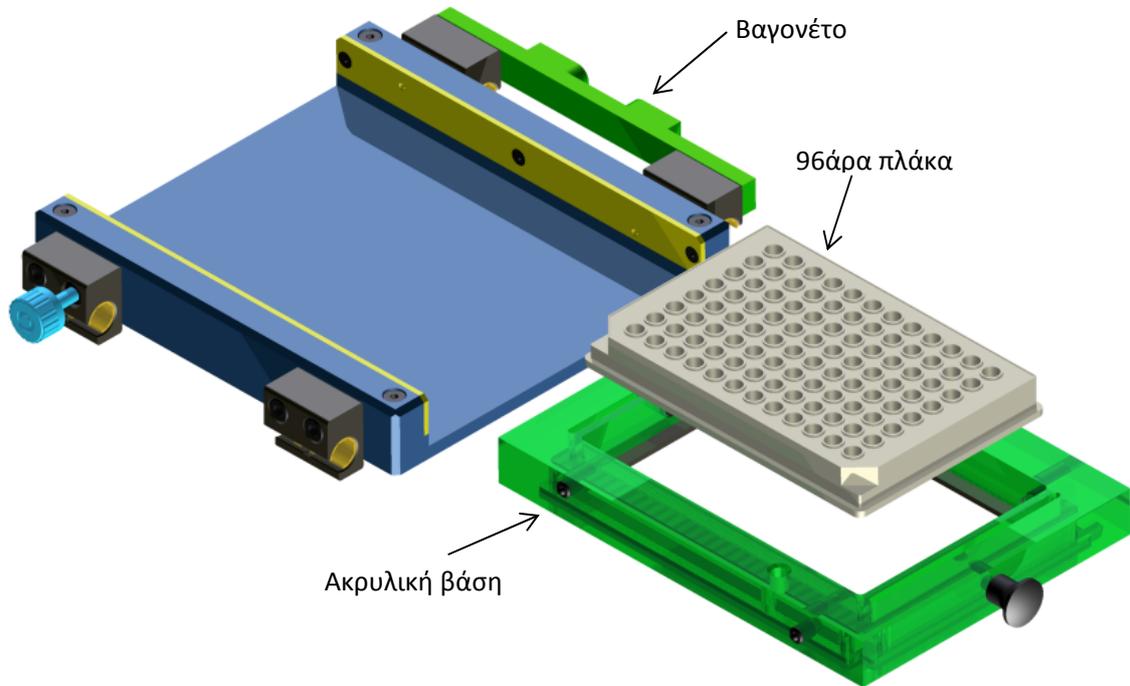
d_a3_v4_support_nest_A4

d_a3_v1_bearing_support_A3

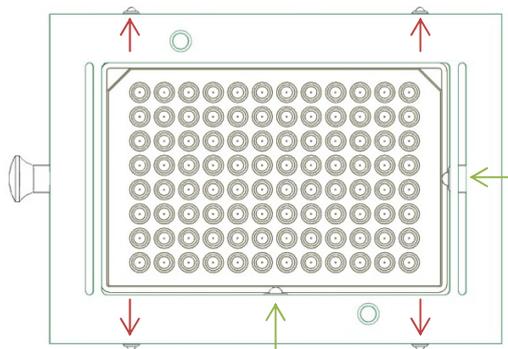
11. Σχεδιασμός πρωτοτύπου - Βαγονέτα για πλάκες 96 βοθρίων

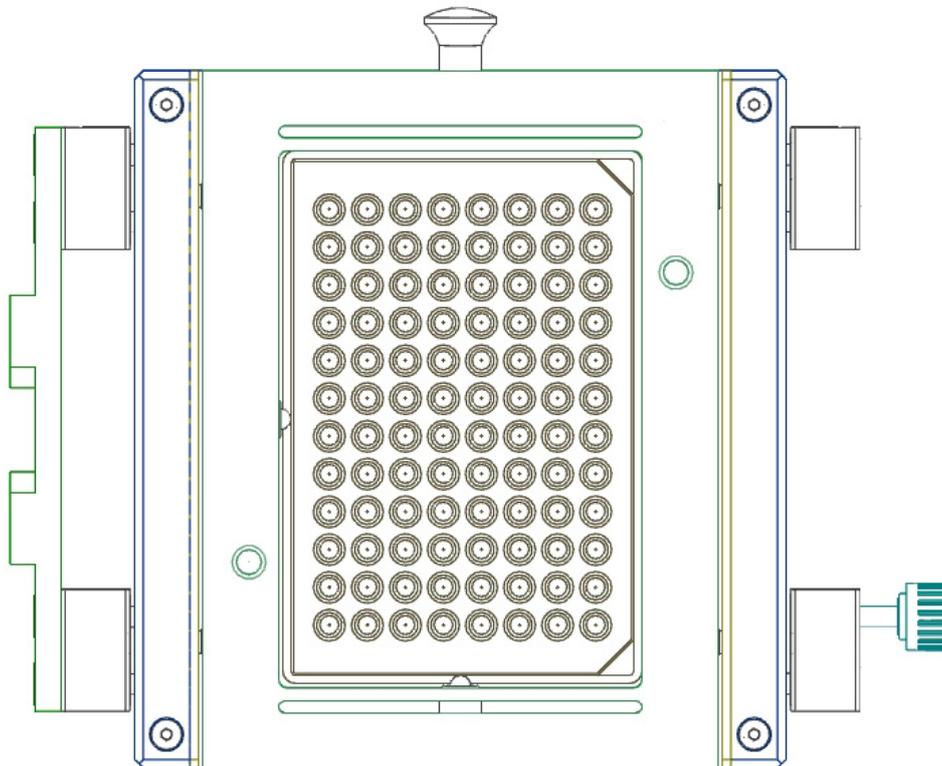


Βασικά μέρη και ευθυγράμμιση



Η πλατφόρμα είναι εξοπλισμένη με 3 βαγονέτα σαν αυτό που εικονίζεται παραπάνω. Οι 96άρες πλάκες τοποθετούνται μέσα σε ακρυλικές βάσεις πριν τοποθετηθούν στην πλατφόρμα. Η έδραση της πλάκας μέσα στη βάση γίνεται με δύο ball plungers, δηλαδή μηχανισμούς με εσωτερικό ελατήριο και σφαίρα στο άκρο που ασκούν μια συνεχή πίεση στην δεξιά και πίσω πλευρά της πλάκας με αποτέλεσμα αυτή να είναι διαρκώς σε επαφή με την αριστερή και εμπρός πλευρά. Επιπλέον η μικρή κωνικότητα της πλάκας έχει ως αποτέλεσμα και μια μικρή κάθετη δύναμη προς τα κάτω. Με τη σειρά της η βάση έχει ενσωματωμένα 4 ball plungers, 2 δεξιά και 2 αριστερά. Οι ακραίες σφαίρες αυτών των εξαρτημάτων μπαίνουν μέσα σε οπές που έχει το βαγονέτο στην εσωτερική δεξιά και αριστερή πλευρά. Όταν ο χρήστης τοποθετήσει την βάση κοντά στη σωστή θέση οι σφαίρες εισέρχονται στις οπές και η βάση κλειδώνει. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να αφήσουμε ένα διάκενο ανάμεσα στο εσωτερικό του βαγονέτου και της βάσης ώστε να υπάρχει ανοχή για να γίνει η ευθυγράμμιση της πλάκας με τους άξονες ευθυγράμμισης της κεφαλής αργότερα.

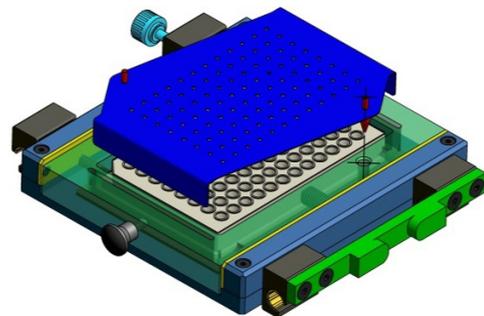




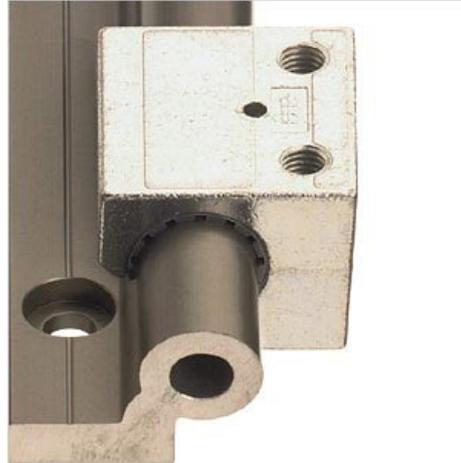
Το διάκενο ανάμεσα στην βάση και το βαγονέτο είναι 1 mm. Αυτό επιτρέπει σφάλμα τοποθέτησης 1mm στον Y άξονα και απόκλιση γωνίας 0.7 deg. Η επιτρεπόμενη απόκλιση στον άξονα X ορίζεται από τις δύο οπές που φαίνονται στο πάνω τμήμα της βάσης. Εκεί τοποθετούνται οι οδηγοί της κεφαλής. Για να καταφέρουν οι οδηγοί να βρουν τις οπές και να μην χτυπήσουν πάνω στη βάση πρέπει να υπάρχει μέγιστη απόκλιση θέσης σε κάθε κατεύθυνση 2 mm. Εκατέρωθεν του βαγονέτου βρίσκονται τα γραμμικά έδρανα τριβής. Στο αριστερό κομμάτι όπως φαίνεται στο άνω σχήμα τοποθετείται η υποδοχή της αρπάγης για την μετακίνηση στον άξονα x. Στο δεξί κομμάτι υπάρχει πετούγιο για την χειροκίνητη μετακίνηση των βαγονέτων.

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες / Ηλεκτρονικά

Στην βάση υπάρχουν εσοχές μέσα στις οποίες μπαίνουν οι πλευρές της μαγνητικής θωράκισης της κεφαλής. Στην εικόνα στα δεξιά φαίνεται η μαγνητική θωράκιση πριν καλύψει την πλάκα και τα άκρα ευθυγράμμισης πριν μπουν στις οπές.



Για την έδραση των βαγονέτων χρησιμοποιούνται 4 πολυμερή έδρανα τριβής **Igus® DryLin WS10**. Τα δύο έδρανα από την πλευρά της υποδοχής της αρπάγης έχουν συναρμογή ακρίβειας για ευθύγραμμη κίνηση. Τα δύο έδρανα από την άλλη πλευρά είναι floating, δηλαδή έχουν ελεύθερη συναρμογή ώστε ο μηχανισμός να μην κλειδώσει από τη έκκεντρη φόρτιση της αρπάγης.



Στην αρχή και το τέλος της διαδρομής των βαγονέτων υπάρχουν τερματικοί διακόπτες που χρησιμεύουν σαν ένδειξη για τη θέση του κάθε βαγονέτου. Οι πιθανές θέσεις όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι θέση user (εμπρός τερματικός κλειστός), θέση μηχανής (πίσω τερματικός κλειστός), ενδιάμεσες θέσεις (και οι δύο τερματικοί ανοικτοί). Με αυτό τον τρόπο ο controller καταλαβαίνει εάν είναι ασφαλές να κινηθεί η κεφαλή ή εάν πρέπει να εκκινήσει διαδικασία επαναφοράς των βαγονέτων στην θέση user.



Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατασκευαστικά σχέδια για το συναρμολόγημα.

Presentation_tray_assembly (1)_A2

d_a1_v2_support_for_plate_A4

d_a3_v1_handle_A4

d_a3_v4_shelf_side_MIR_A4

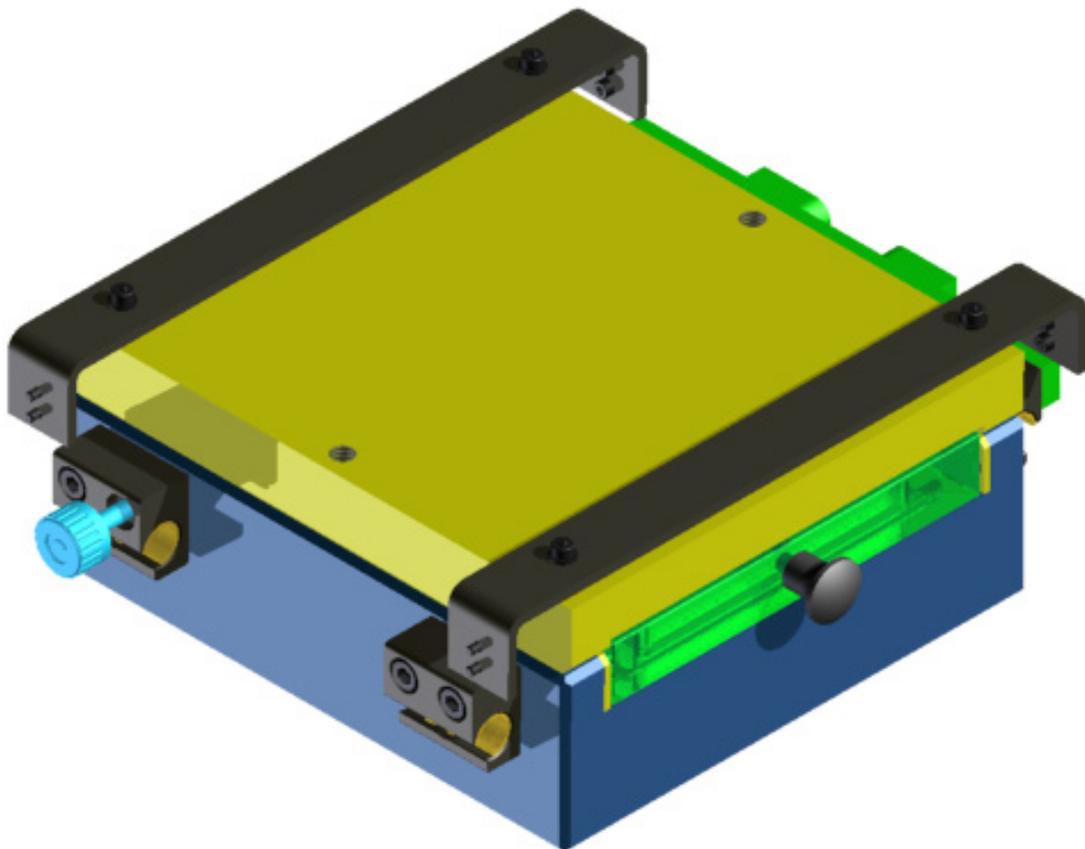
d_a3_v4_shelve_small_A4

d_a3_v4_side_slider_A4

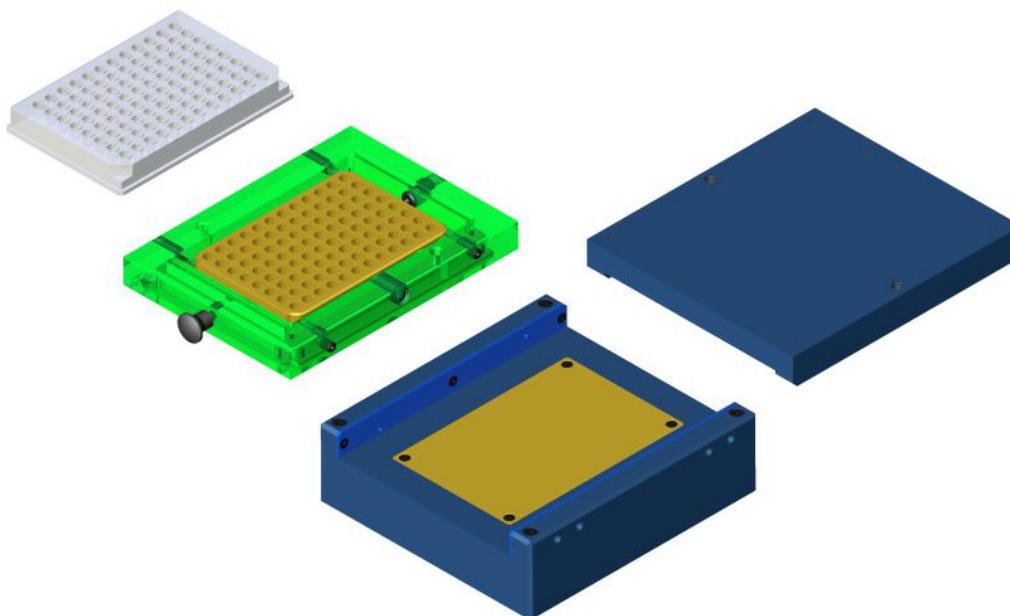
d_a1_v3_insulation_for_copper_base_A3

12. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Βαγονέτα με σύστημα ψύξης

Η Πλατφόρμα είναι εξοπλισμένη με δύο βαγονέτα με σύστημα ψύξης. Παρακάτω αναλύεται η δομή τους και κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες.



Δομή και μονωτικά στοιχεία

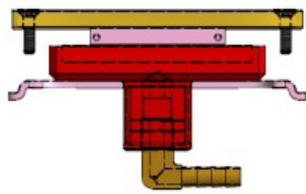


Το συναρμολόγημα αποτελείται από 4 μέρη:

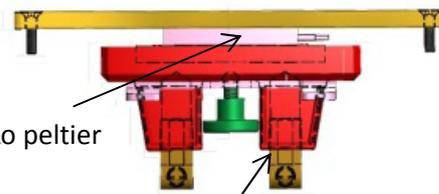
1. Βαγονέτο με σύστημα ψύξης
2. Ακρυλική βάση με εναλλάκτη χαλκού
3. Πλάκα 96 βοθρίων
4. Καπάκι

Το βαγονέτο με σύστημα ψύξης έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τα απλά βαγονέτα (γραμμικά έδρανα τριβής, συστήματα ευθυγράμμισης της βάσης κλπ), όμως αντί αλουμινίου χρησιμοποιείται PA6, ένα σκληρό μηχανολογικό πλαστικό με μονωτικές ιδιότητες ($E=2300 \text{ MPa}$, $k=0.245 \text{ W/m.K}$) που έχει καλή κατεργασιμότητα. Το τεμάχιο με μπλε χρώμα στην παραπάνω εικόνα αποτελούνται από αυτό το υλικό.

Στο σημείο επαφής της ακρυλικής βάσης με το βαγονέτο υπάρχει πλάκα χαλκού, κάτω από την οποία και σε επαφή με αυτή βρίσκεται στοιχείο peltier ισχύος 50W. Η ακρυλική βάση φέρει επιπλέον χάλκινο εναλλάκτη με σκαλιστή την αρνητική γεωμετρία του κάτω μέρους της 96άρας πλάκας. Όταν όλα αυτά τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, ανάμεσα στο στοιχείο peltier και την κάτω πλευρά των βοθρίων υπάρχει μόνος χαλκός και διεπιφάνειες, αλλά καθόλου αέρα. Το στοιχείο peltier ενεργοποιείται και αντλεί θερμότητα από τα βοθρία με αποτέλεσμα τελικά να τα ψύχει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Καθώς το στοιχείο peltier λειτουργεί σαν αντλία θερμότητας, από την άλλη πλευρά του η θερμοκρασία αυξάνεται. Για την ψύξη αυτής της θερμής πλευράς χρησιμοποιούμε σύστημα υδρόψυξης με εναλλάκτη που βρίσκεται σε επαφή με το στοιχείο peltier από την κάτω πλευρά του. Δεδομένης της ισχύος των θερμοστοιχείων που είναι κοντά στην θερμότητα που παράγει ένας επεξεργαστής υπολογιστή, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε συστήματα υδρόψυξης υπολογιστών λόγω του χαμηλού κόστους τους και της μεγάλης γκάμας προϊόντων που εγγυάται εναλλαξιμότητα στα μέρη της πλατφόρμας.

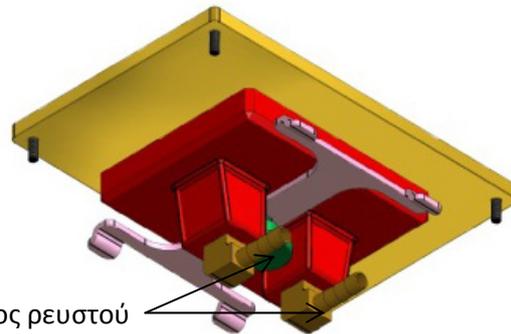
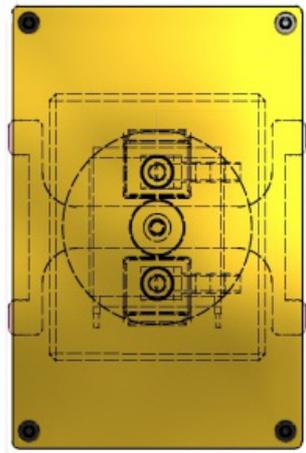


Στοιχείο peltier



Υδρόψυξη του θερμοστοιχείου

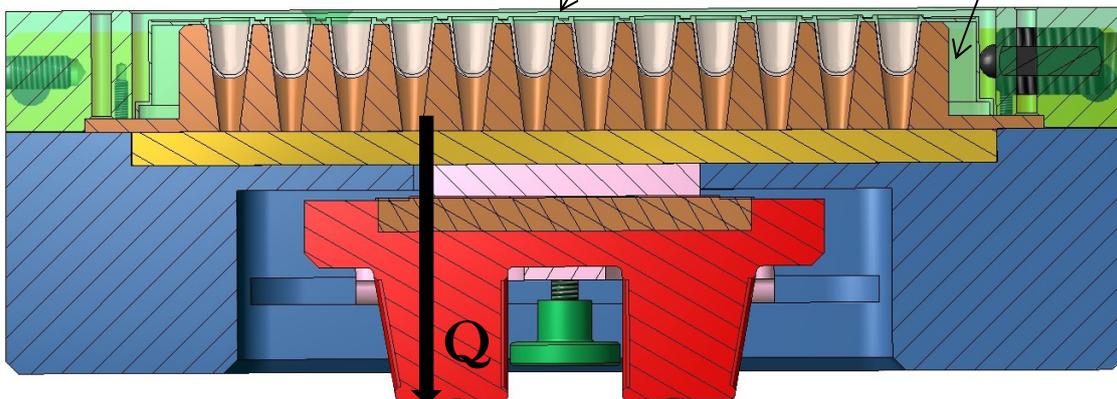
Ψυχρή πλάκα



Είσοδος / Έξοδος ρευστού

Βοθρία αποθήκευσης δειγμάτων

Χάλκινη βάση



Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων

Για την εκλογή της απαραίτητης ισχύος του στοιχείου peltier έγινε εκτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς της κατασκευής με μονοδιάστατη ανάλυση:

| | | |
|--|-----------|-----------------------|
| Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας PA6 | K_{PA6} | 0.245 W/m.K |
| Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας νεοπρενίου | K_{NP} | 0.300 W/m.K |
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | T_0 | 25° C |
| Θερμοκρασία δείγματος | T_s | 0° C |
| Επιφάνεια άνω πλευράς | $S1$ | 1.1e-2m ² |
| Επιφάνεια κάτω πλευράς | $S2$ | 9.0e-3m ² |
| Περιφερειακές επιφάνειεςA | $S3$ | 6.8e-3 m ² |
| Περιφερειακές επιφάνειες B | $S4$ | 1.0e-3m ² |
| Επιφάνεια νεοπρενίου | $S5$ | 4.0e-4 m ² |
| Πάχος άνω πλευράς | $H1$ | 2.0e-2m |
| Πάχος κάτω πλευράς | $H2$ | 2.0e-2m |
| Πάχος περιφερειακών επιφανειών A | $H3$ | 1.8e-2m |
| Πάχος περιφερειακών επιφανειών B | $H4$ | 1.1e-3 m |
| Πάχος επιφάνειας νεοπρενίου | $H5$ | 2.0e-3 m |
| Ειδική θερμοχωρητικότητα χαλκού | C_c | 0.385 J/g.K |
| Όγκος χαλκού | V_c | 1577 g |

Απώλειες άνω πλευράς:

$$Q1 = K_{PA6} \cdot S1 \cdot \frac{T_0 - T_s}{H1} = 3.371 \text{ W}$$

Απώλειες κάτω πλευράς:

$$Q2 = K_{PA6} \cdot S2 \cdot \frac{T_0 - T_s}{H2} = 2.756 \text{ W}$$

Περιφερειακές απώλειες:

$$Q34 = K_{PA6} \cdot (T_0 - T_s) \left(\frac{S3}{H3} + \frac{S4}{H4} \right) = 2.882 \text{ W}$$

Απώλειες επιφανειών νεοπρενίου:

$$Q5 = K_{NP} \cdot S5 \cdot \frac{T_0 - T_s}{H5} = 0.161 \text{ W}$$

Συνολικές απώλειες:

$$Q_{tot} = Q1 + Q2 + Q34 + Q5 = 9.17 \text{ W}$$

Στόχος είναι να μπορούμε να διατηρήσουμε την χάλκινη πλάκα που ενσωματώνει τα βοθρία στους 0°C.

Είδαμε ότι για να διατηρηθεί αυτή η κατάσταση χρειάζεται θεωρητικά τουλάχιστον 9.17 W ψυκτικό φορτίο χωρίς να υπολογίσουμε το ότι η μία πλευρά επηρεάζεται από διαρροές θερμότητας της θερμής πλευράς του στοιχείου peltier.

Θερμική μάζα των χάλκινων εξαρτημάτων:

$$CM = C_c \cdot V_c = 607 \text{ J/K}$$

Η ενεργειακή διαφορά για θερμοκρασιακή πτώση 25°C είναι:

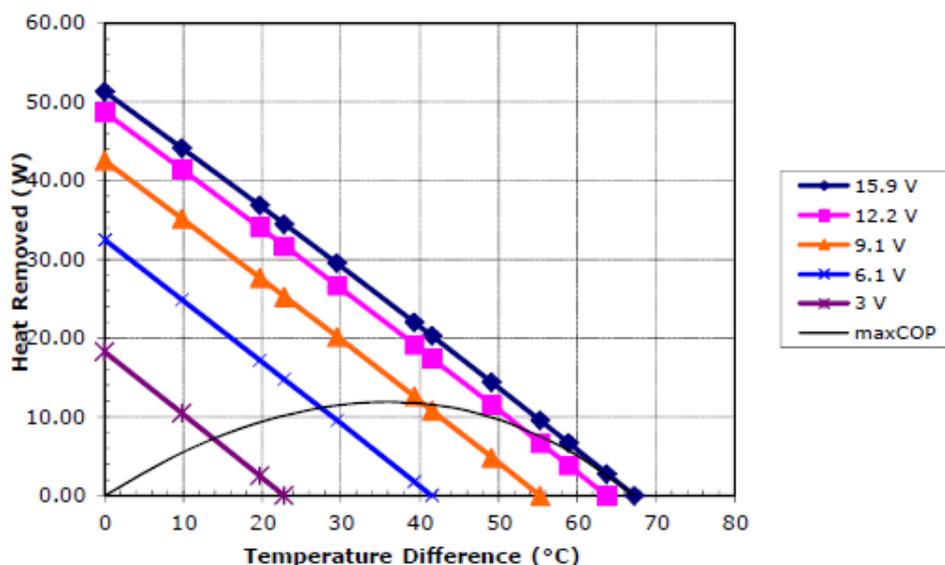
$$E_{tot} = CM \cdot \Delta T = 15178 \text{ J}$$

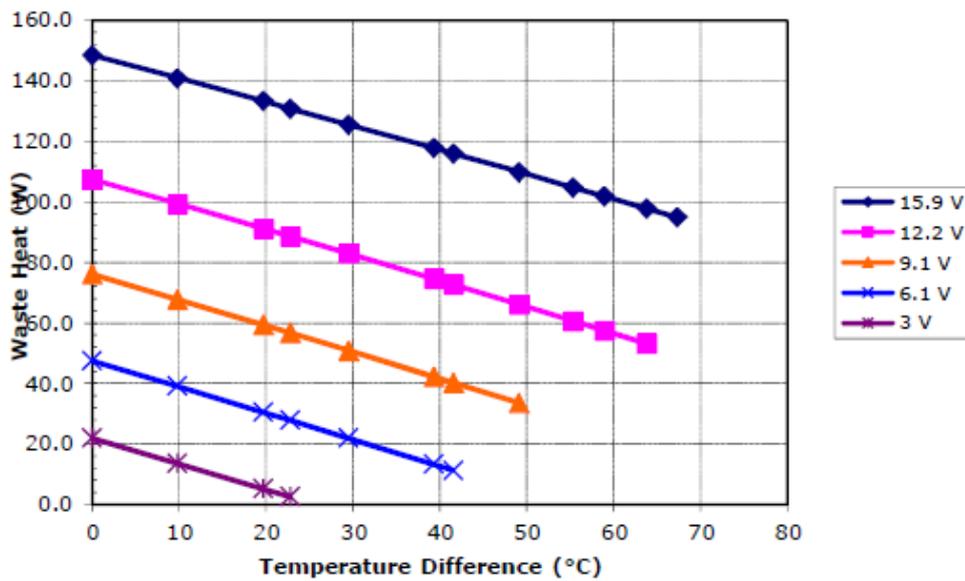
Άρα, θεωρητικά, με αρχική απαγωγή θερμότητας 50 W (θερμοκρασιακή διαφορά 0, μηδενικές απώλειες) και τελική απαγωγή θερμότητας 40.83 W (Τα υπόλοιπα χάνονται σε θερμικές απώλειες) υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσουμε στην τελική θερμοκρασία:

$$t_{req} = \frac{E_{tot}}{(50 + 40.83) / 2} = 334 \text{ sec} \approx 5.5 \text{ min}$$

Σημειώνεται ότι το παραπάνω αποτέλεσμα είναι θεωρητικό αφού η ανάλυση είναι μονοδιάστατη, η θερμική μάζα θεωρείται σταθερή για μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος και η απαγόμενη θερμότητα του στοιχείου peltier θεωρείται σταθερή, καθώς επίσης δε λαμβάνονται υπόψη όλα τα σώματα.

Τελικά επιλέγεται στοιχείο peltier ονομαστικής ισχύος 62W της εταιρίας **TE technology inc.**, μοντέλο **HP-127-1.4-1.5-74** με μέγιστη ισχύ απαγωγής θερμότητας 50 W.



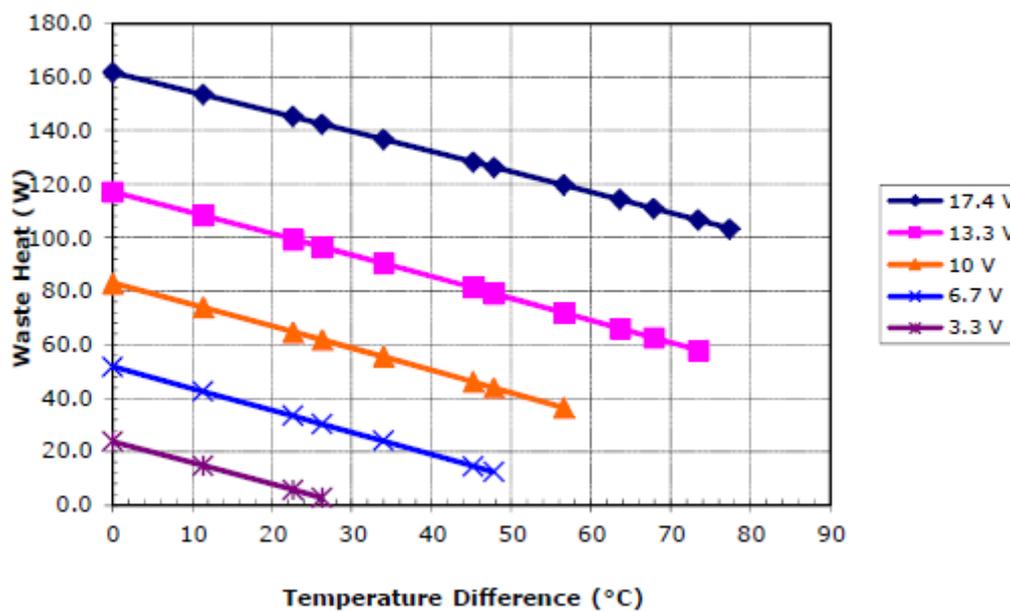
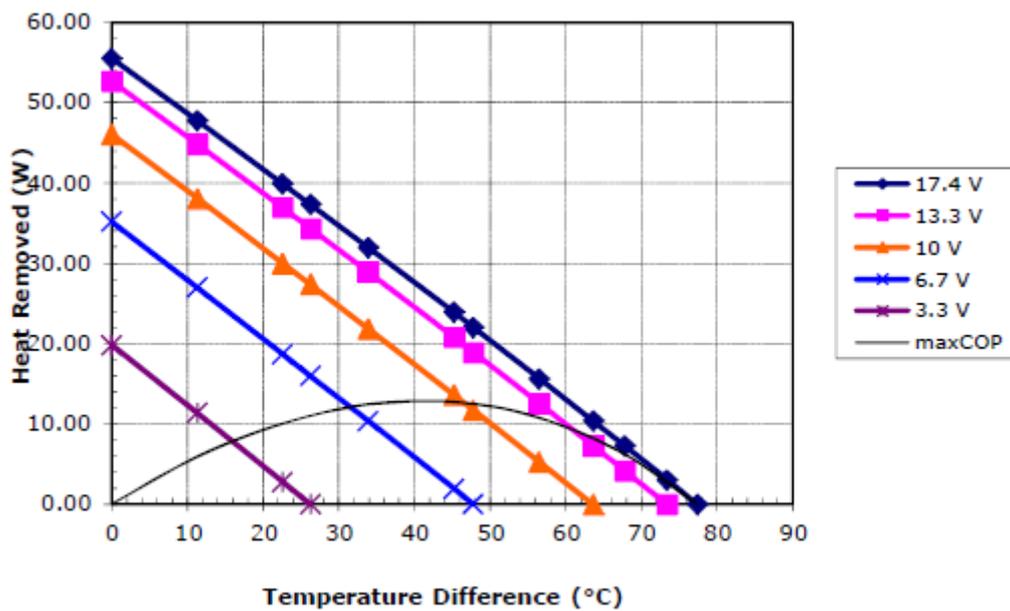


Τα παραπάνω διαγράμματα ισχύουν για θερμοκρασία θερμής πλευράς στοιχείου peltier 30 °C. Βλέπουμε ότι ο στόχος είναι εφικτός, αρκεί να καταφέρουμε να απομακρύνουμε 150W που παράγονται στη θερμή πλευρά του στοιχείου peltier. Η ισχύς του στοιχείου peltier, τόσο από πλευράς απαγωγής θερμότητας όσο και παραγωγής θερμότητας στην θερμή πλευρά εξάγεται από τα παραπάνω διαγράμματα εισάγοντας στον οριζόντιο άξονα την θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στη θερμή και την ψυχρή πλευρά. Άρα στο ξεκίνημα η διαφορά είναι στους 5°C και στο τέλος στους 30°C. Δηλαδή στην αρχή έχουμε απαγωγή θερμότητας 48W και Waste heat 145 W ενώ στο τέλος έχουμε απαγωγή θερμότητας 30 W και απαγωγή θερμότητας 125 W.

Ο χρόνος που απαιτείται τώρα τροποποιείται:

$$t_{req} = \frac{E_{tot}}{(50 + 30 - 9.17) / 2} = 441 \text{sec} = 7.4 \text{ min}$$

Εάν δεν καταφέρουμε να απομακρύνουμε αυτά τα ποσά θερμότητας από την θερμή πλευρά, περνάμε σε υψηλότερες θερμοκρασίες στοιχείου peltier:

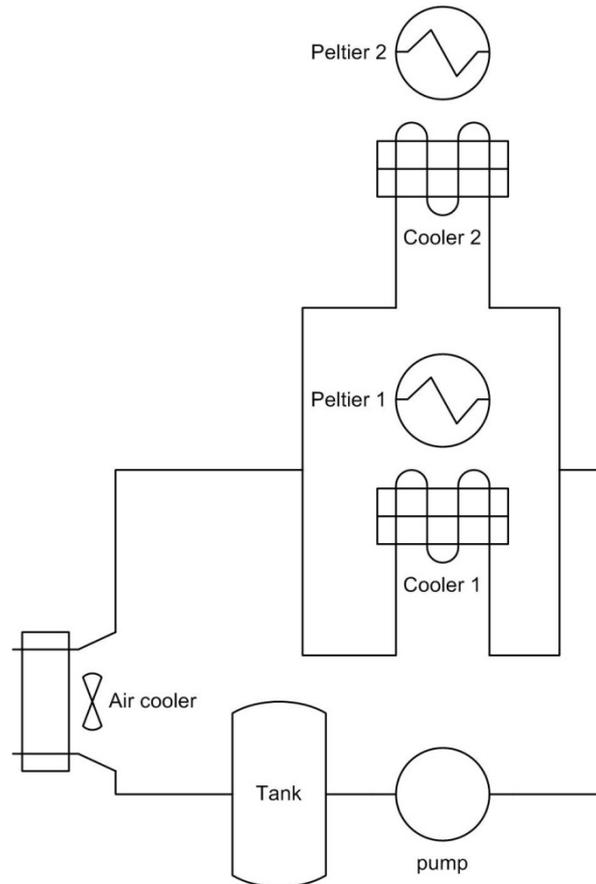


Τα παραπάνω ισχύουν για θερμοκρασία θερμής πλευράς 50°C. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε απαγωγή θερμότητας 38 W και waste 145 W στην αρχή και 20 W με waste 125 W στο τέλος. Σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος είναι:

$$t_{req} = \frac{E_{tot}}{(38 + 20 - 9.17) / 2} = 622 \text{ sec} = 10.4 \text{ min}$$

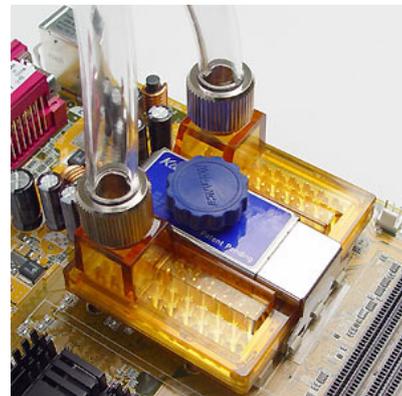
Σε κάθε περίπτωση, αυτές οι τιμές είναι αποδεκτές ως χρόνος προθέρμανσης της πλατφόρμας. Πρέπει ωστόσο να εκλεγεί σύστημα υδρόψυξης ικανό να διατηρήσει της θερμοκρασία τουλάχιστον στους 50°C ώστε να μην πέσει η διαθέσιμη ισχύς για συνεχή λειτουργία κάτω από τα 20 W (χρησιμοποιούμε τουλάχιστον 9.17 για να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία στους 0°C). Σημειώνεται εδώ πως ο έλεγχος του στοιχείου peltier γίνεται με ρύθμιση της τάσης, γι αυτό το λόγο επιλέγεται κάθε φορά η υψηλότερη τιμή τάσης, υπό την υπόθεση ότι στο ξεκίνημα το στοιχείο θα δουλέψει στην υψηλότερη τάση για πιο γρήγορη ψύξη.

Σχεδιάζεται το κύκλωμα υδρόψυξης των θερμοστοιχείων:

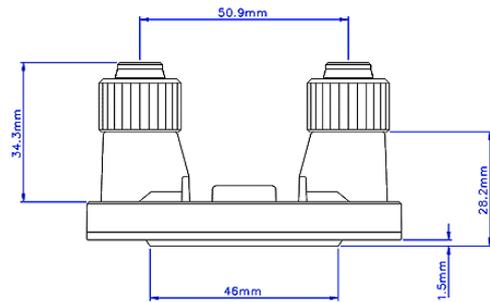


Ψύκτρα

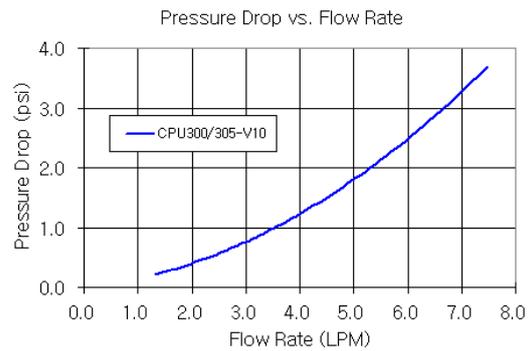
Ψύκτρα επεξεργαστή. Χρησιμοποιεί εσωτερικό εναλλάκτη από επιχρυσωμένο χαλκό και χρησιμοποιείται σε πηγές θερμότητας μέχρι και 300W. Η συναρμολόγηση γίνεται με μπρακέτο για socket Intel 478.



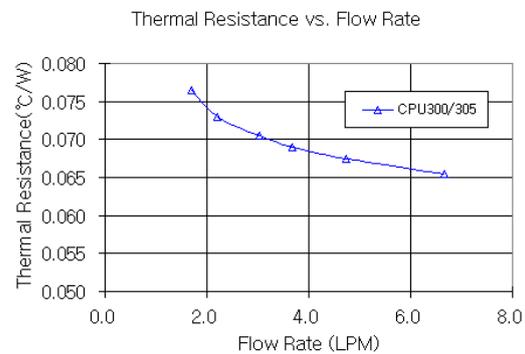
Η σύνδεση του εναλλάκτη με το υπόλοιπο κύκλωμα γίνεται με σωλήνες εσωτερικής διαμέτρου 10 mm και ενσωματωμένους σφικτήρες. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν leak-proof σύνδεσμοι, οι οποίοι αποσυνδέονται χωρίς να χρειάζεται αποστράγγιση του κυκλώματος.



Στα δεξιά φαίνεται το διάγραμμα πτώσης πίεσης στον εναλλάκτη ανάλογα με την παροχή της αντλίας.



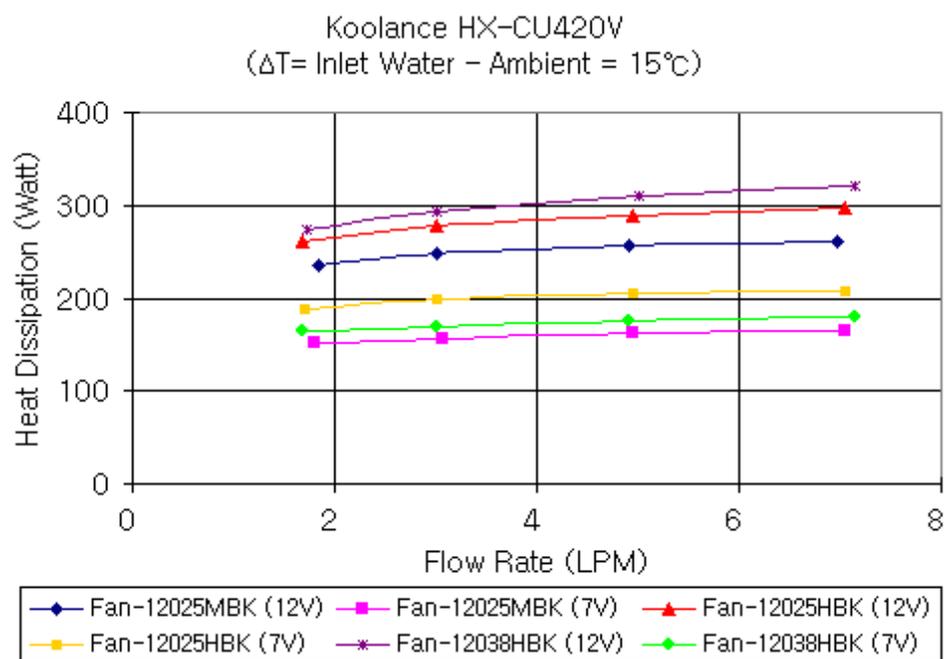
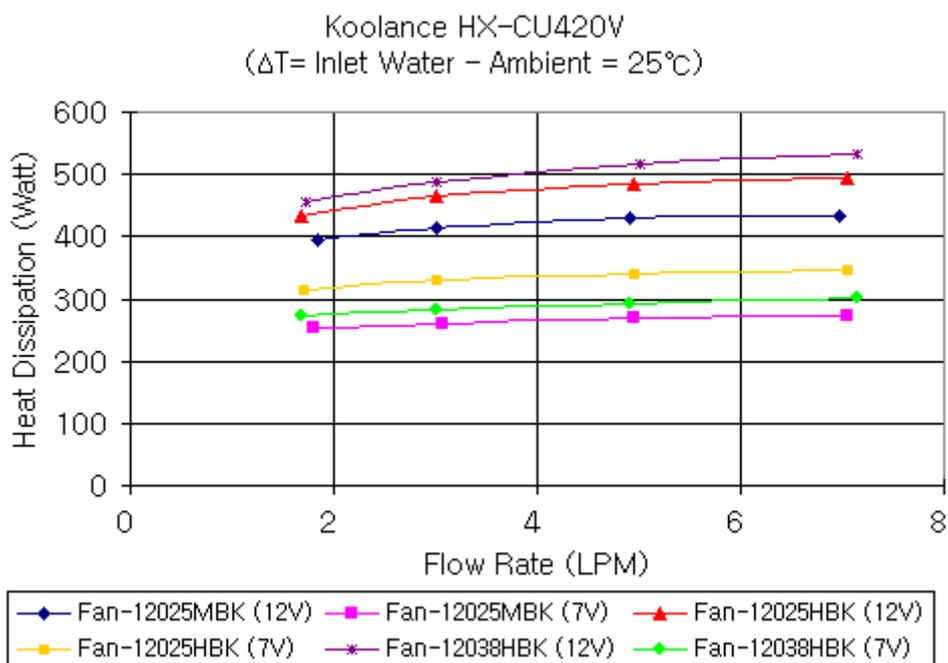
Εδώ φαίνεται η θερμική αντίσταση του κυκλώματος σε συνάρτηση με την παροχή ψυκτικού μέσου.



Εναλλάκτης περιβάλλοντος

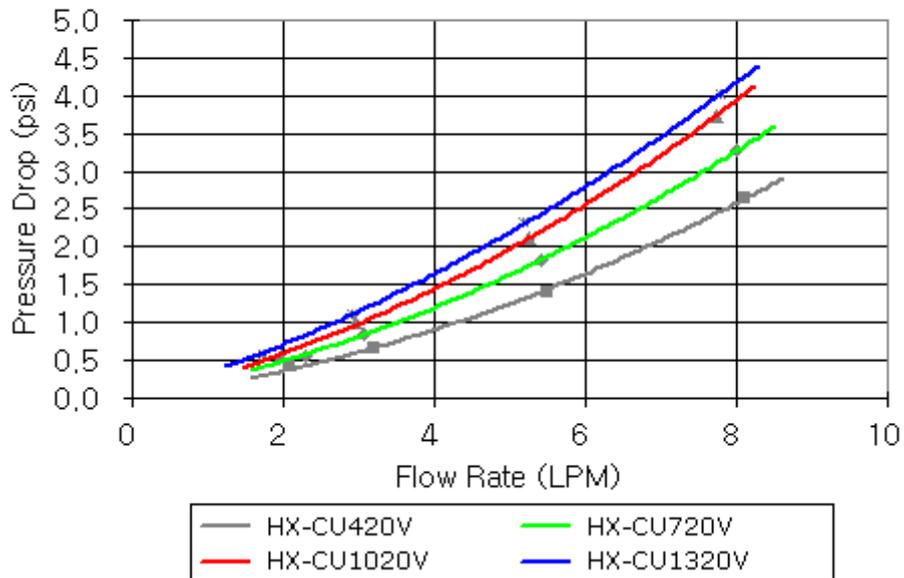
Ο εναλλάκτης αυτός ψύχει υγρό ψύξης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος με χρήση ανεμιστήρα. Και αυτός είναι της ίδιας εταιρίας, τύπος **HX-CU420V**



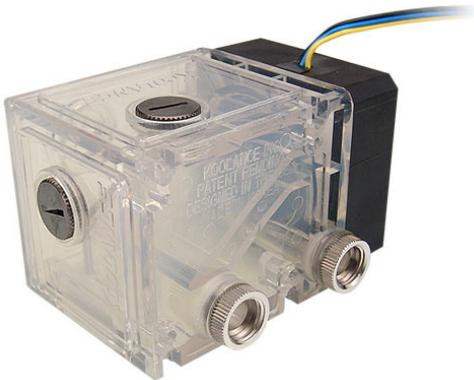


Εδώ φαίνεται η απομάκρυνση θερμότητας σε συνάρτηση με τη ροή εργαζόμενου μέσου. Εμείς χρησιμοποιούμε τον ανεμιστήρα **12038HBK**, άρα κοιτάμε τη μωβ καμπύλη. Παρακάτω φαίνεται η πτώση πίεσης μέσα στον εναλλάκτη ως συνάρτηση της ροής της αντλίας. Ο εναλλάκτης είναι ο HX-CU420V άρα κοιτάμε την γκρι καμπύλη.

Koolance HX-CUxxxV Heat Exchangers
(10/13mm ID Nozzle)

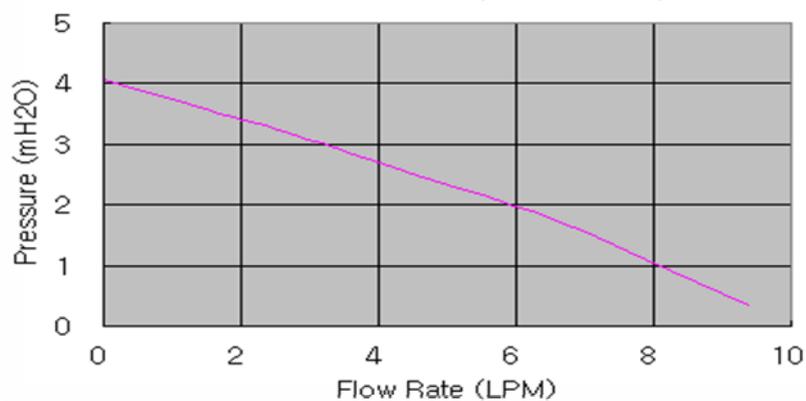


Αντλία



Η αντλία είναι επίσης της εταιρίας Koolance, τύπος **TNK-400**. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα παροχής/πίεσης της αντλίας. Το ρεζερβουάρ είναι ενσωματωμένο στην αντλία και έχει χωρητικότητα 142 mL.

TNK-400 (10mm Nozzles)



Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα καταλήγουμε στο σημείο λειτουργίας για το κύκλωμα των **5 LPM**, αγνοώντας γραμμικές απώλειες. Άρα σε κάθε ψύκτρα έχουμε θεωρητική παροχή **2.5 LPM**. Από τα διαγράμματα θερμικού ενδιαφέροντος παίρνουμε για αυτή την τιμή παροχής:

Θερμική αντίσταση ψύκτρας: $R=0.070^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Θερμοαπαγωγή εναλλάκτη σε $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$: $P_{25}=540\text{W}$
Θερμοαπαγωγή εναλλάκτη σε $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$: $P_{15}=330\text{W}$

Κατ' αρχάς από τα παραπάνω φαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση είμαστε εντός προδιαγραφών, αφού η συνολική ισχύς που μπορεί να αποδώσει ο εξωτερικός εναλλάκτης στο περιβάλλον είναι μεγαλύτερη από την ισχύ που αποδίδουν τα στοιχεία peltier στην ψύκτρα.

Εκκίνηση του συστήματος ψύξης:

Από τα διαγράμματα των θερμοστοιχείων βλέπουμε πως η waste θερμότητα μένει περίπου σταθερή στα 145W ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία θερμής πλευράς.

Άρα για 145W θερμότητας από το στοιχείο peltier παίρνουμε θερμοκρασία στη θερμή πλευρά της ψύκτρας και άρα στο στοιχείο peltier:

$$T_{peltier}^{trans} = T_{fluid} + 145 \cdot R$$

Μόνιμη κατάσταση:

Η θερμότητα που αποδίδεται από την θερμή πλευρά του peltier είναι 125W. Άρα:

$$T_{peltier}^{perm} = T_{fluid} + 125 \cdot R$$

Υπολογίζουμε την αύξηση θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου όταν εκκινεί η διαδικασία ψύξης (θερμοκρασία ψυκτικού μέσου = θερμοκρασία δωματίου). Ειδική θερμοχωρητικότητα: $c_p=3.7683 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ για διάλυμα προπυλενογλυκόλης 30% , περίπου σταθερή στο θερμοκρασιακό εύρος που μελετάμε.

$$\dot{E} = \dot{m} \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{\dot{E}}{c_p \dot{m}} = \frac{\dot{E}}{c_p Q \rho}$$

Με \dot{E} το θερμικό φορτίο που παραλαμβάνει το ρευστό, \dot{m} την παροχή μάζας, Q την παροχή όγκου και $\rho=1 \text{ kg/l}$ την πυκνότητα του νερού. ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας με αναφορά τους 25°C .

Άρα για τιμές $\dot{E}_1 = 145 \text{ W}$ και $\dot{E}_2 = 125 \text{ W}$ παίρνουμε:

$$\Delta T_1 = \frac{\dot{E}}{c_p Q \rho} = \frac{145 \cdot \frac{J}{s}}{3768 \cdot \frac{J}{kgK} \cdot \frac{2.5}{60} \cdot \frac{l}{s} \cdot 1 \cdot \frac{kg}{l}} = 0.924K$$

$$\Delta T_2 = \frac{\dot{E}}{c_p Q \rho} = \frac{125}{3768 \cdot \frac{2.5}{60}} = 0.796K$$

Άρα βλέπουμε ότι η αύξηση θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή για παροχή 2.5 l/min. Αυτό σημαίνει ότι σε διπλάσια παροχή θα είναι ακόμα μικρότερη και άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και διάταξη σειράς στους εναλλάκτες. Επίσης βλέπουμε ότι πρακτικά, για να φτάσουμε να έχουμε την επιθυμητή απαγωγή θερμότητας από τον εξωτερικό εναλλάκτη, το υγρό ψύξης στην εισαγωγή του θα πρέπει να έχει θερμοκρασία 40°C, και στην έξοδό του θα έχει θερμοκρασία 39°C. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία στη θερμή πλευρά του peltier δεν μπορεί να είναι κάτω από 40°C. Θέτουμε ως θερμοκρασία περιβάλλοντος τη θερμοκρασία ρευστού για την ψύκτρα και παίρνουμε:

$$T_{peltier}^{trans} = T_{fluid} + 145 \cdot R = 39.17 + 145 \cdot 0.070 = 49.32^\circ C$$

$$T_{peltier}^{perm} = T_{fluid} + 125 \cdot R = 39.17 + 125 \cdot 0.070 = 47.92^\circ C$$

Άρα προσεγγιστικά ισχύει το δεύτερο διάγραμμα λειτουργίας του θερμοστοιχείου (θερμοκρασία θερμής πλευράς 50°C).

Σε διάταξη σειράς:

Τα θερμικά φορτία όπως τα αντλαμβάνεται ο εξωτερικός εναλλάκτης είναι ίδια. Όμως η έξοδος της πρώτη ψύκτρας είναι είσοδος για τη 2^η. Οπότε ισχύουν τα παρακάτω:

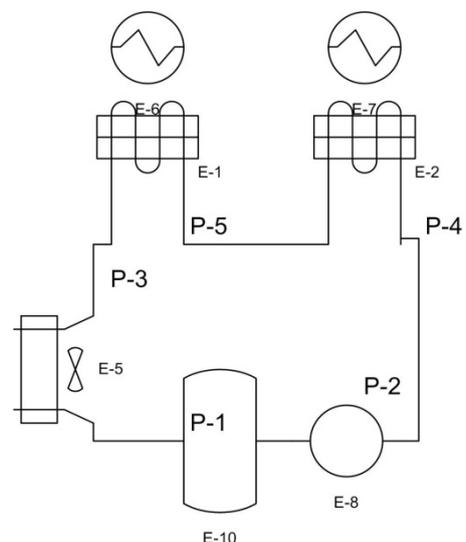
$$T_{in2}^{trans} = T_{out1}^{trans} = T_{fluid} + \Delta T1 / 2 = 39 + 0.924 / 2 = 39.46^\circ C$$

$$T_{peltier2}^{trans} = T_{in2}^{trans} + 145 \cdot R = 39.46 + 145 \cdot 0.070 = 49.61^\circ C$$

$$T_{in2}^{perm} = T_{out1}^{perm} = T_{fluid} + \Delta T2 / 2 = 39 + 0.796 / 2 = 39.40^\circ C$$

$$T_{peltier2}^{perm} = T_{in2}^{perm} + 125 \cdot R = 39.4 + 125 \cdot 0.070 = 48.15^\circ C$$

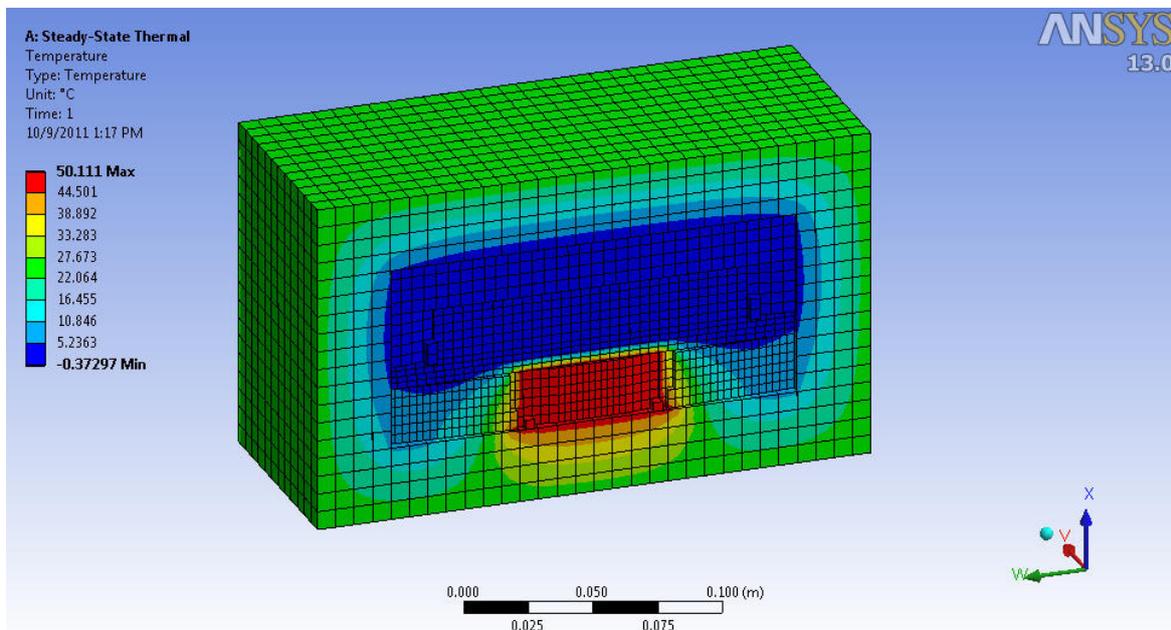
Άρα πρακτικά δεν υπάρχει διαφορά στο να συνδέσουμε τα στοιχεία στη σειρά. Αυτό είναι κάτι που μας βολεύει αφού χρειάζονται λιγότερα εξαρτήματα και δεν χρειάζεται να ανησυχούμε για διαφορετικό ΔP στα δύο παράλληλα κυκλώματα. Το νέο κύκλωμα φαίνεται στα δεξιά:



Υπολογιστικό μοντέλο

Για τη διακρίβωση των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκε υπολογιστικό μοντέλο στο λογισμικό **ANSYS Workbench** με απλοποιημένες δομές (blocks) για τα μέρη του μηχανισμού ψύξης. Ο στόχος είναι να βρεθεί η πραγματική τιμή του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου στην μόνιμη κατάσταση. Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε το στοιχείο peltier αδιαβατικό, με τη θερμή πλευρά του στους 50°C και την ψυχρή πλευρά του ως επιφάνεια άντλησης 9.17 W θερμότητας. Κάτω από το στοιχείο peltier τοποθετήθηκε χάλκινη ψύκτρα (401 W/mK) που σε μικρή απόσταση από το στοιχείο αντλεί 125 W θερμότητας από αυτό. Η χάλκινη πλάκα σχεδιάστηκε ως μπλοκ που καταλαμβάνει ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο. Γύρω από το συναρμολόγημα τοποθετήθηκε κιβώτιο αέρα (0.025 W/mK) με offset 30mm από την επιφάνεια και ορίστηκε συναγωγή θερμότητας με film coefficient 5W/(m².K) από τις εξωτερικές επιφάνειες του συναρμολογήματος προς τον αέρα, τιμή που ελήφθη από πίνακες για προβλήματα ελεύθερης συναγωγής. Τα στοιχεία είναι εξαεδρικά με μέγεθος από 2 έως 4 mm. Οι διεπιφάνειες ορίστηκαν αυτόματα από το σύστημα και, ελλείψει διαθέσιμων στοιχείων, δεν υπολογίστηκαν συντελεστές αγωγιμότητας διεπιφανειών. Ορίστηκε οριακή θερμοκρασία 25°C στην εξωτερική επιφάνεια του μπλοκ αέρα.

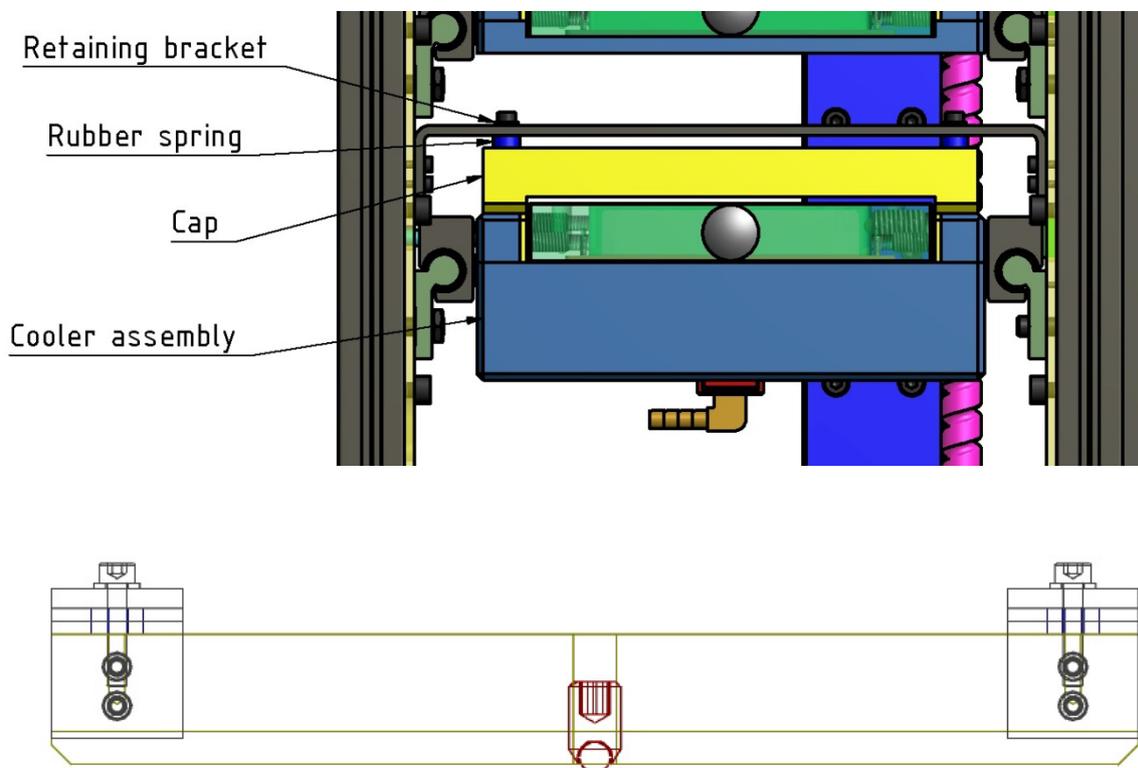
Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ανάλυση που ως τώρα έχει γίνει, αν και αυτό το μοντέλο είχε κατασκευαστεί όταν στο συναρμολόγημα θα χρησιμοποιούσαμε άλλη ψύκτρα, κυκλικής διατομής επιφάνειας ψύξης. Ωστόσο στο υπάρχον μοντέλο δεν αναμένουμε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα.



Αξιολόγηση

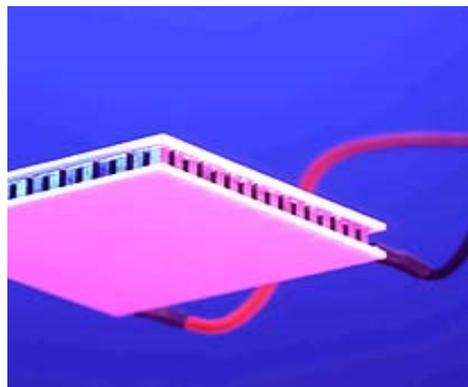
Με βάση όλα τα παραπάνω, ο εξοπλισμός που έχουμε διαλέξει αξιολογείται κατάλληλος για χρήση στο πρόβλημά μας. Ωστόσο, σημειώνεται πως όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί είναι προσεγγιστικοί και μόνο με πειραματικό προσδιορισμό μπορούν να εξαχθούν στοιχεία για τις πραγματικές μεταβλητές της διάταξης. Πιο συγκεκριμένα, ο έλεγχος της διάταξης γίνεται με έλεγχο τάσης από τον controller του θερμοστοιχείου. Ο βρόχος κλείνει με θερμοστοιχείο το οποίο βρίσκεται μέσα στη χάλκινη πλάκα. Με βάση αυτά τα δύο πρέπει να σχεδιαστεί νόμος ελέγχου για όλες τις περιπτώσεις λειτουργίας του ψυκτικού μηχανισμού.

Λειτουργικά στοιχεία



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος μέσα στην πλατφόρμα. Το βαγονέτο βρίσκεται στη θέση user. Το καπάκι του εδράζεται στα δύο πλευρικά τμήματα της μηχανής, και βιδώνεται σε οριζόντιες λάμες με ενδιάμεσα ελαστομερή ελατήρια που το πιέζουν πάνω στο βαγονέτο. Όταν το βαγονέτο πρέπει να μετακινηθεί στη θέση μηχανής, η αρπάγη, με τον ίδιο τρόπο που μετακινεί τα απλά βαγονέτα, κλειδώνει τον υποδοχέα και παρασύρει τον μηχανισμό μαζί της, αφήνοντας όμως το καπάκι στην θέση user. Οι λοξομήσεις (chamfer) στις ακμές υποδοχής που φέρουν το καπάκι και το βαγονέτο έχουν γωνία 45° και τοποθετήθηκαν εκεί ώστε κατά την επαναφορά του βαγονέτου στην αρχική θέση, να λειτουργήσουν ως ramps για να καταφέρουν να συμπίεσουν τα ελατήρια του καπακιού και να μπορέσει να επανέλθει στην αρχική του θέση. Τέλος, το καπάκι φέρει δύο ball plungers, ένα σε κάθε πλευρά, τα οποία έχουν αντίστοιχα spots πάνω στο βαγονέτο. Όταν το καπάκι βρεθεί κοντά στην σωστή θέση, θα κλειδώσουν τα plungers στα spots και θα γίνει ακριβής τοποθέτηση των δύο κομματιών.

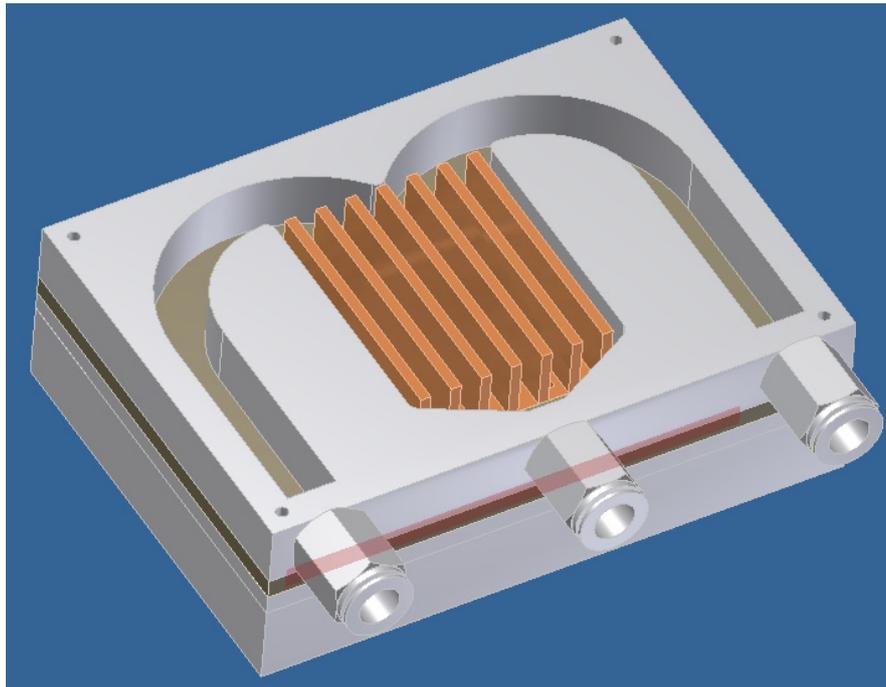
Στα δεξιά βλέπουμε το στοιχείο peltier **HP-127-1.4-1.5-74** της εταιρείας **TE tech**, τον controller **TC-48-20 OEM** της ίδιας εταιρείας και το θερμοστοιχείο **MP2444** με θερμοκρασιακό εύρος από -20°C μέχρι 100°C . Αυτά είναι τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν στο πειραματικό πρωτότυπο για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του συστήματος ψύξης. Ωστόσο δεν προτείνεται η χρήση του controller σε εμπορικό πρωτότυπο, καθώς είναι ιδιαίτερα ακριβός και έχει πολλές δυνατότητες που εμάς δεν μας ενδιαφέρουν, ενώ η λογική κατασκευής του είναι να λειτουργεί ως standalone controller, κάτι που επίσης δεν μας ενδιαφέρει. Αντ' αυτού μπορεί να κατασκευαστεί ένας ρυθμιστής τάσης στα άκρα του peltier που θα ελέγχεται από τον κεντρικό controller μας, και ένας ενισχυτής για το σήμα του θερμοστοιχείου, που πάλι θα συνδέεται με τον κεντρικό controller.



Δίπλα φαίνεται θερμοστοιχείο που τοποθετείται στο κύκλωμα υδρόψυξης. Αυτό χρησιμοποιείται ως διαγνωστικό εργαλείο στο πρωτότυπο για να ελέγχουμε τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου από και προς τις ψύκτρες.



Λοιπά στοιχεία



Στο concept design του μηχανισμού, το στοιχείο peltier ήταν αερόψυκτο με τη διάταξη που παρουσιάζεται παραπάνω. Αυτό το σύστημα θα έπιανε λιγότερο συνολικό όγκο στη μηχανή και σε επίπεδο πρωτοτύπου θα είχε μικρότερο κόστος επειδή θα το φτιάχναμε εμείς. Όμως τα επίπεδα θορύβου θα ήταν πολύ υψηλότερα και θα είχαμε αύξηση του μηχανουργικού κόστους που δεν θα μπορούσε να μειωθεί εύκολα. Ωστόσο δεν έχει γίνει εκτεταμένη ανάλυση των υπέρ και των κατά των δύο λύσεων, αφού, σε επίπεδο concept δεν γνωρίζαμε ακριβή στοιχεία για την υδρόψυξη. Ενδεχομένως αυτή η λύση να πρέπει να εξεταστεί στο μέλλον.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά σχέδια του συναρμολογήματος

d_a1_v7_A2

d_a1_v4_plate_wound_A3

d_a1_v8_A3

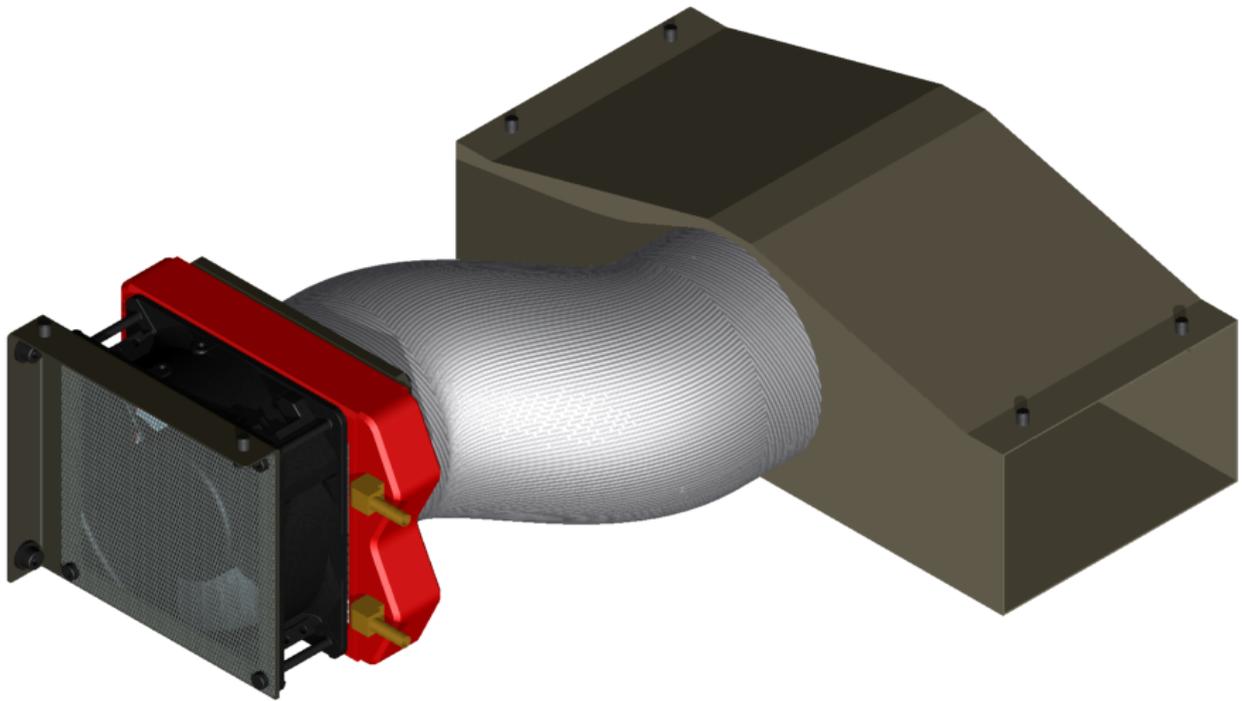
d_a1_v2_copper_base_A4

d_a1_v7_cooler_cap_A4

d_a3_v4_shelf_side_MIR_A4

13. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Σύστημα υδρόψυξης

Το σύστημα υδρόψυξης έχει αναλυθεί ως τμήμα των μονάδων ψύξης της πλατφόρμας. Εδώ θα παρουσιαστούν τα δομικά του στοιχεία και κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες.



Λειτουργία / Μέρη συστήματος

Η λειτουργία του συστήματος είναι πολύ απλή: ένας ανεμιστήρας ψύχει εναλλάκτη μέσα από τον οποίο περνά το ρευστό που ψύχει τα στοιχεία peltier. Ο ανεμιστήρας λειτουργεί στα 12 VDC, 2A, στις 3000 RPM και έχει μέγιστη παροχή 5.2 m³/min. Κατασκευάζεται από την εταιρία **Koolance** και το μοντέλο του είναι το **12038HBK-184**. Ο εναλλάκτης είναι επίσης της εταιρίας Koolance, μοντέλο

HX-CU420V, και τα χαρακτηριστικά του έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα υπόλοιπα μέρη είναι η εξαγωγή του αέρα, που γίνεται στα πλευρικά της πλατφόρμας, και ο εύκαμπτος αγωγός όδευσης του αέρα προς την έξοδο. Η σύνδεση του συστήματος με την υπόλοιπη πλατφόρμα γίνεται με το στραντζαριστό κομμάτι που φαίνεται στο εμπρός τμήμα του και με την εξαγωγή του αέρα. Αυτά τα μέρη βιδώνονται απ ευθείας στο σκελετό της πλατφόρμας με ενδιάμεσο όμως ελαστομερή παράκυκλο για την απορρόφηση των κραδασμών.

Στον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, ο αγωγός ήταν ευθύς και οδηγούσε στο πίσω τμήμα της πλατφόρμας από όπου γινόταν και η εξαγωγή. Αυτή η λύση είχε το πλεονέκτημα πως η ροή δεν άλλαζε κατεύθυνση, όμως κατασκευαστικά ήταν πιο δύσκολη και επιπλέον είχε ως προϋπόθεση πως το πίσω τμήμα της πλατφόρμας δεν θα έχει κάποιο εμπόδιο, όπως πχ έναν τοίχο, ώστε να γίνεται σωστά η εξαγωγή. Επιλέξαμε την λύση που φαίνεται στο σχήμα γιατί είναι κατασκευαστικά εύκολη και γεωμετρικά επιθυμητή για την άρμωση του μηχανισμού.

Πλέον των κομματιών που φαίνονται πάνω, υπάρχουν οι σωληνώσεις (εύκαμπτοι σωλήνες, ID=10mm) και η αντλία/ρεζερβουάρ που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατασκευαστικά σχέδια για το σύστημα.

fan_assembly

d_a3_v4_flexible_hose

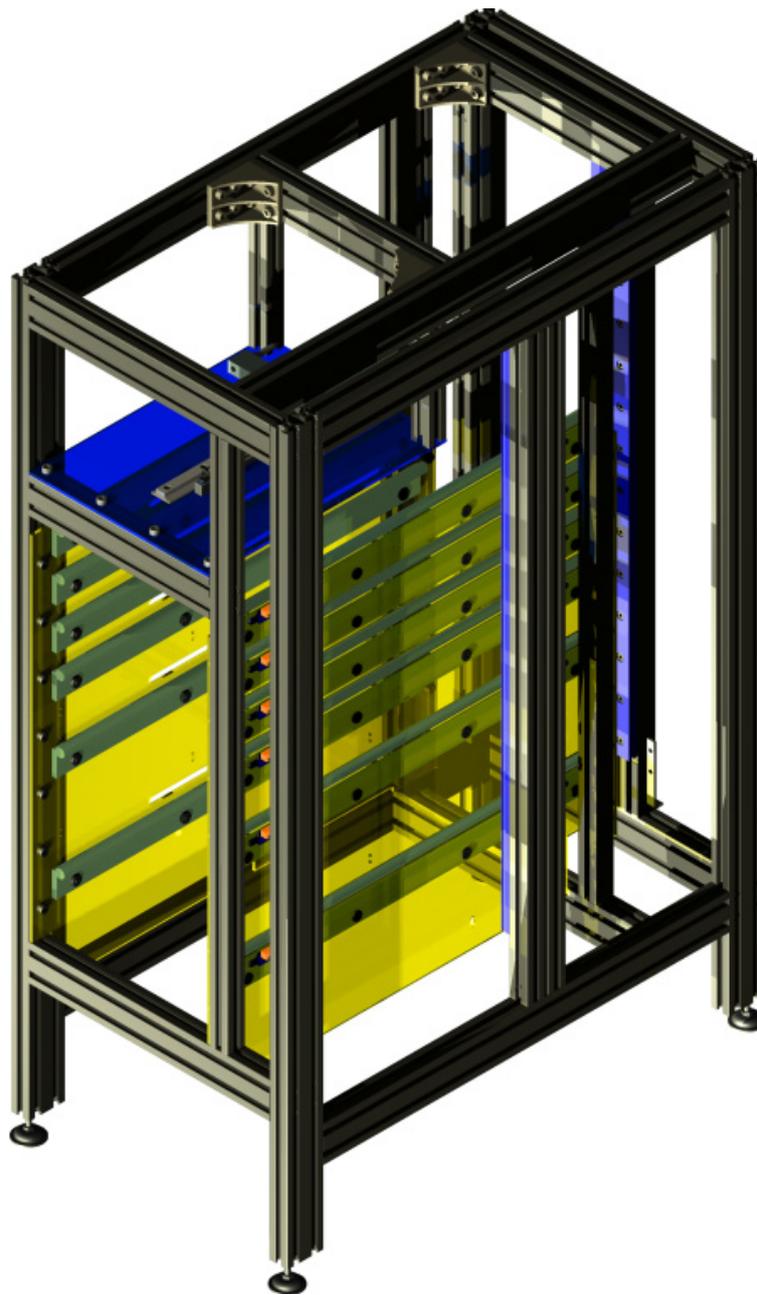
air_hose_sheet1

air_hose_sheet2

d_a3_v4_fan_support-1

14. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Σκελετός της Πλατφόρμας

Ο σκελετός της πλατφόρμας φέρει όλα τα δομικά μέρη της και τις γλίστρες των αξόνων. Θα γίνει μια παρουσίαση των μερών του και της τεχνολογίας που ενσωματώνει.



Δομικά στοιχεία

Ο σκελετός της πλατφόρμας αποτελείται από προφίλ αλουμινίου ENAC – 51400 / AlMgSi0,7 –T5, διαστάσεων 20x20mm το μονό και αντιστοίχως 20x40 mm το διπλό και 20x60 mm το τριπλό.

Τα προφίλ δένονται μεταξύ τους με 3 διαφορετικούς τρόπους μέσα στο σκελετό. Ο πρώτος τρόπος (A) είναι με διπλή αγκύρωση που εδράζεται σε πιν περαστό σε εγκάρσια οπή στο ένα προφίλ, και αγκυρώνει στο αυλάκι του δεύτερου. Αυτός ο τρόπος έχει το πλεονέκτημα πως είναι post-assembly joint, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κομμάτια τα οποία είναι ήδη προσδεδεμένα αλλού, αλλά βέβαια είναι η ακριβότερη μέθοδος σύνδεσης. Σημειώνεται εδώ πως το κριτήριο για να κριθεί εάν ένα joint είναι post ή pre assembly είναι η προσβασιμότητα στα αυλάκια εκατέρωθεν του προφίλ. Εάν τα αυλάκια είναι κλειστά λόγω συναρμολόγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο post assembly joints.

Ο δεύτερος τρόπος (B) είναι με μονή αγκύρωση που εδράζεται και πάλι σε πιν μέσα στο ένα προφίλ, μόνο που τώρα η έδραση γίνεται με περαστό άξονα που έχει διαμόρφωση Vστη μία πλευρά του, και σκουληκόβιδα. Όταν η σκουληκόβιδα σφίξει, θα κινηθεί στο μέσο του V και ο άξονας θα σφίξει.

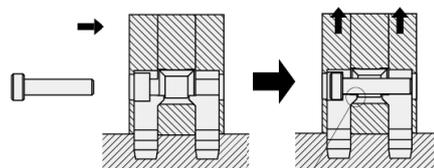
Ο τρίτος τρόπος (C) είναι με απλή βίδα και διαμόρφωση που σφίγγει μέσα στο αυλάκι. Αυτός είναι και ο φτηνότερος τρόπος, αλλά απαιτεί σπείρωμα στο ένα προφίλ και οπή στο σημείο που θα βιδωθεί με το άλλο ώστε να περάσει το άλεν.

Τα πλεονεκτήματα του δεύτερου τρόπου έναντι του τρίτου είναι πως η σύνδεση μπορεί να μετακινηθεί. Οπότε εάν υπάρχει αβεβαιότητα για το που πρέπει να τοποθετηθεί ένα προφίλ, ή στοχεύουμε σε modular design, χρησιμοποιούμε αυτή τη σύνδεση. Ο τρίτος τρόπος είναι κυρίως για μόνιμες συνδέσεις σε γωνίες, όπου υπάρχει προσβασιμότητα και δεν χρειάζεται μεταφορά της σύνδεσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνδέσεις στο σκελετό της πλατφόρμας με χρώματα:

A-Μπλε
B-Κόκκινο
C-πράσινο



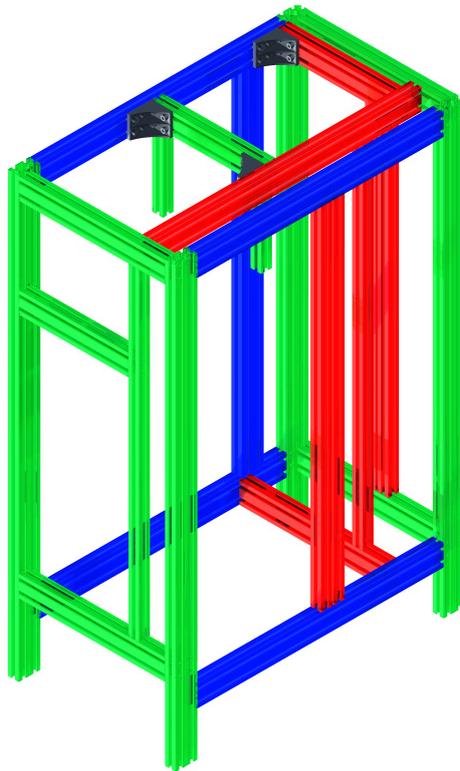
A



B



C



Επιπλέον στοιχεία σύνδεσης που χρησιμοποιούμε είναι οι γωνιές σύνδεσης για θέσεις στις οποίες θέλουμε εύκολη/γρήγορη άρμωση και ευθυγράμμιση. Ωστόσο είναι ογκώδεις και ακριβές, οπότε η χρήση τους πρέπει να είναι περιορισμένη.

Η σύνδεση των προφίλ με εξωτερικά μέρη γίνεται με περικόχλια μορφής που μπαίνουν μέσα στα αυλάκια των προφίλ. Για τα δικά μας προφίλ χρησιμοποιούμε κοχλιοσυνδέσεις M4 και M5. Και εδώ υπάρχουν post και preassembly περικόχλια. Τα pre(2^η εικόνα) πρέπει να τοποθετηθούν στο αυλάκι πριν γίνει η άρμωση του σκελετού, ενώ τα post (3^η εικόνα) μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε φάση. Εμείς χρησιμοποιούμε μόνο post joints γιατί θέλουμε modularity στην κατασκευή.



Έδρανα και οδηγοί

Πάνω στο σκελετό της πλατφόρμας εδράζονται οι οδηγοί για τους άξονες x και z. Στην πάνω εικόνα βλέπουμε τον τύπο οδηγού που χρησιμοποιείται για τον z άξονα. Πρόκειται για ένασφαιρο γραμμικό έδρανο της εταιρίας **MISUMI**, μοντέλο **ssebwm16g_590_2_03** από ανοξείδωτο χάλυβα (1.4125 / X10CrMo17). Επιλέχθηκε αυτός ο τύπος έδρασης γιατί χρειαζόταν κάποιο σύστημα που μπορεί να παραλάβει κάμψεις στους άξονες x και y. Η τελική επιλογή του εξαρτήματος δεν έγινε με κριτήριο την αντοχή, που όπως βλέπουμε από τον πίνακα είναι εξασφαλισμένη, αλλά με το μήκος οδηγού, που ήταν διαθέσιμο μόνο στη σειρά 16.

Στην 3^η εικόνα βλέπουμε τον τύπο οδηγού για τον άξονα x. Πρόκειται για γραμμικό σύστημα με έδρανο ολίσθησης από ειδικό πολυμερές που το κατασκευάζει η εταιρία **Igus**[®] και δε μας λέει από τι είναι. Αυτό το έδρανο βγαίνει σε δύο τύπους: κανονική ανοχής και ελεύθερο (floating). Εμείς χρησιμοποιούμε στην πλευρά οδήγησης κανονικά έδρανα και στην άλλη ελεύθερα ώστε να μην κλειδώσει ο μηχανισμός λόγω της έκκεντρης φόρτισης και επίσης να μπορεί να παραλάβει τυχόν σφάλματα ευθυγράμμισης/ κατασκευής. Το μοντέλο του οδηγού είναι το **WS10,400 mm**, με 4 οπές πρόσδεσης.

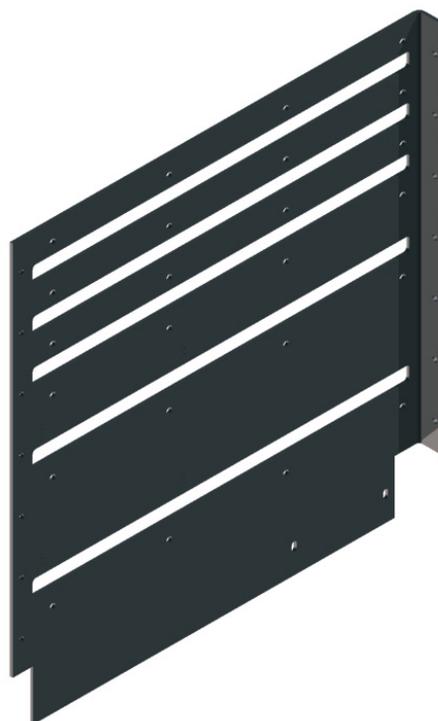
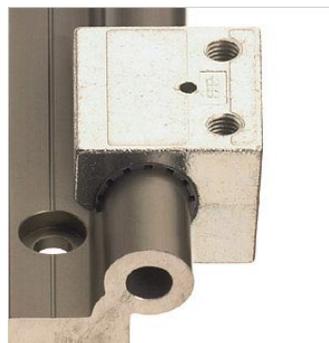
Η πρόσδεση των οδηγών γίνεται πάνω σε χαλύβδινα φύλλα διαμορφωμένα με laser και στράντζα (4^η εικόνα) πάχους 3 mm. Τα φύλλα προσδένονται πάνω στα προφίλ αλουμινίου και πάνω τους δένονται οι οδηγοί, οι τερματικοί των βαγονέτων και το δοχείο λυμάτων της πλατφόρμας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατασκευαστικά σχέδια για τα βασικά μέρη του συναρμολογήματος.



kgf=Nx0.101972

| H | Basic Load Rating | | Allowable Static Moment | | | Mass | |
|----|-------------------|----------------|-------------------------|--------|--------|-----------|------------------|
| | C (Dynamic) kN | Co (Static) kN | Ma N·m | Me N·m | Mc N·m | Blocks kg | Guide Rails kg/m |
| 9 | 1.4 | 2.2 | 7.8 | 7.8 | 15.5 | 0.095 | 0.50 |
| 12 | 2.3 | 3.7 | 13.7 | 16.3 | 30.4 | 0.06 | 0.96 |
| 14 | 3.5 | 5.3 | 20.6 | 22.3 | 52.1 | 0.11 | 1.40 |
| 16 | 5.8 | 8.5 | 40.2 | 43.6 | 148 | 0.2 | 2.95 |



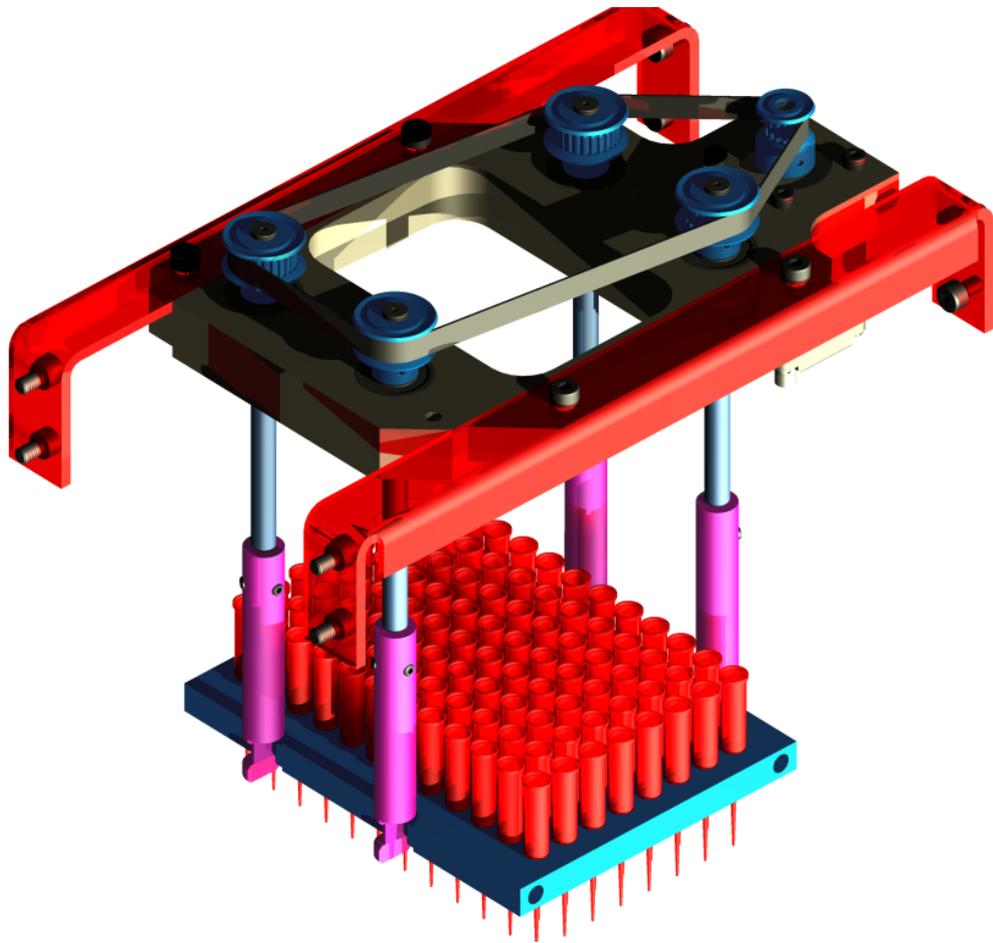
Presentation_Assembly_1_A2

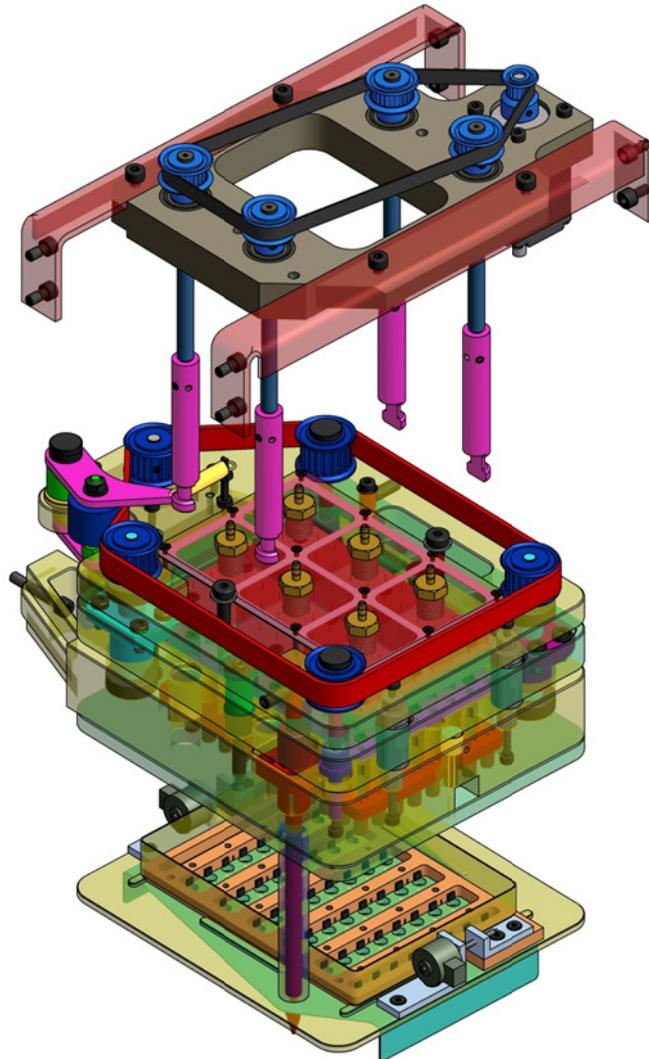
d_a3_v4_support_sheet_right2

d_a3_v4_support_sheet_left2

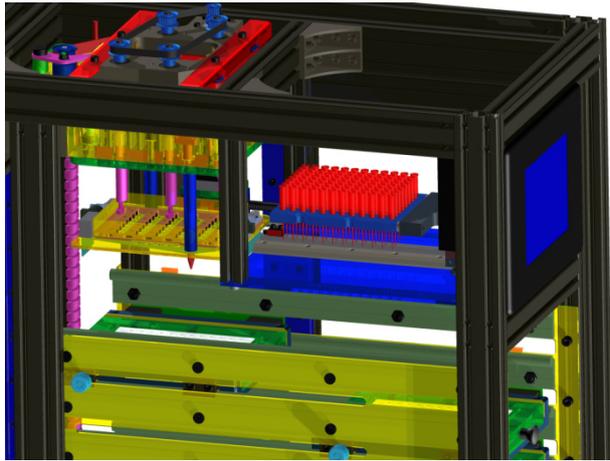
15. Σχεδιασμός Πρωτοτύπου – Μηχανισμός Τοποθέτησης πιπετών

Ο μηχανισμός τοποθέτησης πιπετών είναι το σύστημα που ευθυγραμμίζει και κλειδώνει τη βάση των 96 πιπετών καθώς η κεφαλή τις εφαρμόζει στην υποδοχή τους.

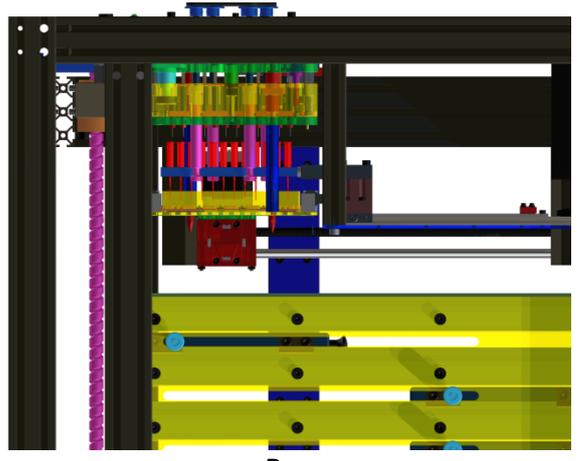




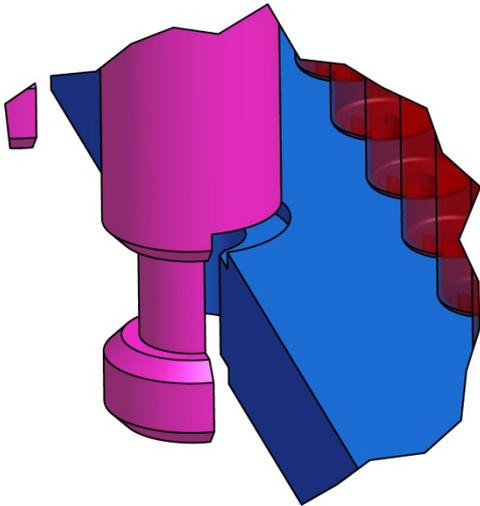
Η τοποθέτηση του συστήματος σε σχέση με την κεφαλή φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Οι πύροι ευθυγράμμισης περνάνε μέσα από έδρανα που ενσωματώνει η κεφαλή. Αυτό το σύστημα δίνει στους άξονες την αναφορά της κεφαλής, δηλαδή είναι σαν να εδράζονταν εξαρχής πάνω στην κεφαλή από πλευράς ανοχών τοποθέτησης. Η βάση 96 πιπετών φέρεται από βαγονέτο που στο πειραματικό πρωτότυπο είναι χειροκίνητο (A). Όταν η κεφαλή ανεβαίνει στην άνω θέση, η βάση 96 πιπετών εισέρχεται ανάμεσα στους μαγνήτες και την κεφαλή ενώ οι πύροι ευθυγράμμισης είναι σε θέση που επιτρέπει την διέλευσή της (B). Όταν η βάση τοποθετηθεί κατά προσέγγιση στη σωστή θέση, οι πύροι περιστρέφονται και η βάση κλειδώνεται στην ακριβή της θέση (C),(D). Τότε η κεφαλή κατέρχεται, οι πιπέτες κλειδώνουν στις υποδοχές τους και οι πύροι περιστρέφονται ξανά στον αρχικό τους προσανατολισμό ώστε να απελευθερωθεί η βάση (E). Το βαγονέτο επιστρέφει στην αρχική του θέση και ξεκινά το πειραματικό πρωτόκολλο (F).



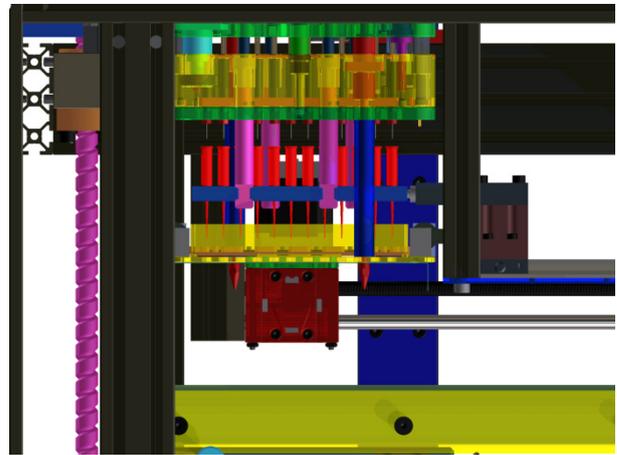
A



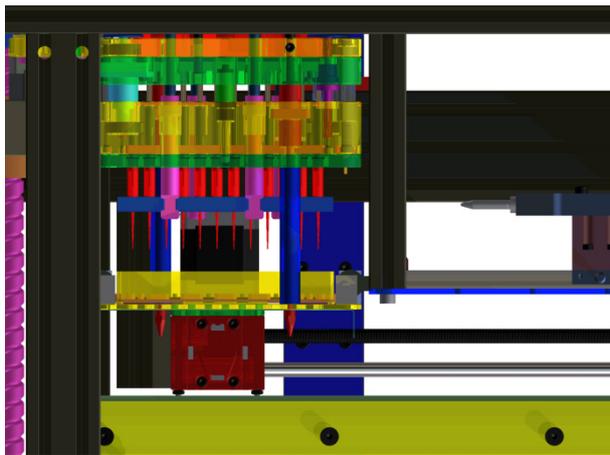
B



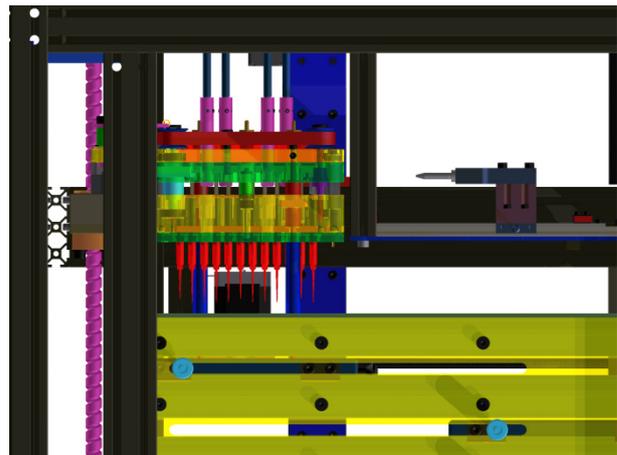
C



D



E



F

Εξαρτήματα / Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Για την μετάδοση της κίνησης στους πίσους χρησιμοποιήθηκε ιμαντοκίνηση με ιμάντες χρονισμού από βηματικό κινητήρα με λόγο μετάδοσης 16:25. Ο κινητήρας αποδίδει 0.1 Nm στα 100 min^{-1} , που είναι η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής. Θεωρητικά το φορτίο είναι ελάχιστο και οφείλεται μόνο στην ιμαντοκίνηση και τις εδράσεις, όμως επιλέξαμε έναν σχετικά ισχυρό κινητήρα για ασφάλεια. Τα εξαρτήματα της ιμαντοκίνησης είναι της εταιρίας **MISUMI** και ο κινητήρας είναι ο **ST2818L1006**, NEMA 11 της εταιρίας **NANOTEC**. Τα έδρανα είναι και πάλι βαθείας αύλακος **635,2rs1 SKF**, μόνο που αυτή τη φορά χρησιμοποιούμε δύο, με μικρό offset το ένα από το άλλο (2 mm) επειδή η κατασκευή περιλαμβάνει πρόβολο. Οι πίστοι πρέπει να κατασκευαστούν σε τόρνο και μετά σε φρέζα με ανοχές που αναγράφονται στο σχέδιο. Είναι πολύ σημαντικό τα τύμπανα της ιμαντοκίνησης, που βρίσκονται σε επαφή με ενδιάμεσο δακτύλιο με τα ρουλεμάν της κατασκευής, να κλειδωθούν αξονικά πάνω στους πίστους με κάθετες βίδες, ακριβώς όπως φαίνεται στο σχέδιο. Οι σκουληκόβιδες είναι μόνο για την μεταφορά της ροπής, οι κάθετες βίδες κρατάνε το αξονικό φορτίο από την κεφαλή!

Στη συνέχεια παρατίθενται τα κατασκευαστικά σχέδια του συναρμολογήματος.



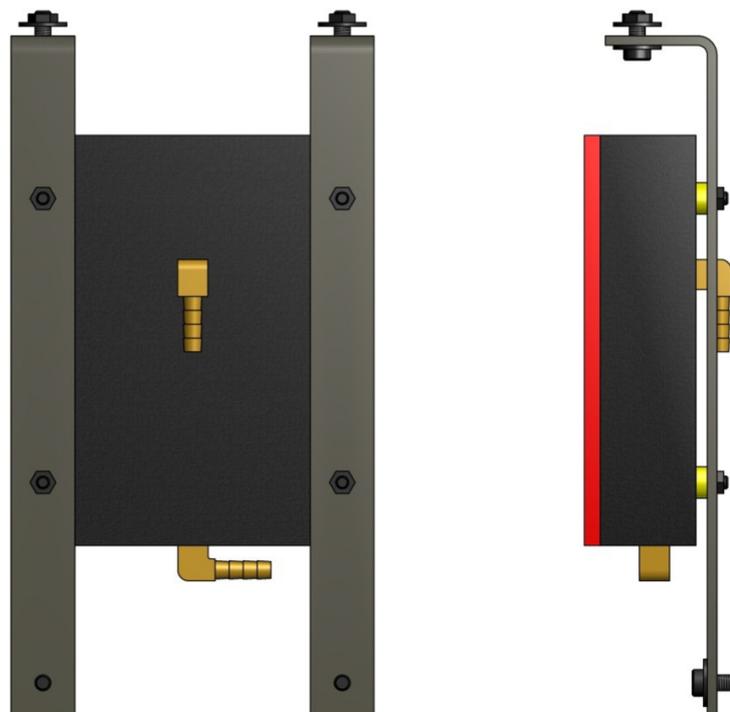
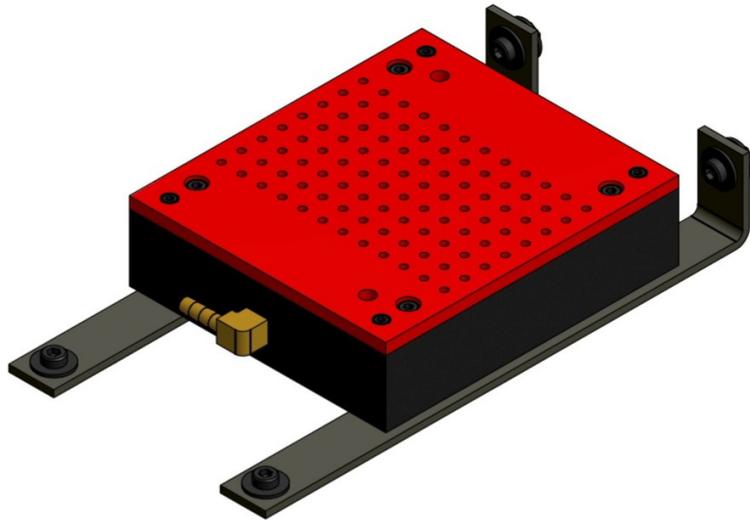
Presentation_lock

model_shaft_5mm-1

d_a3_v4_pipette_head_custom

d_a3_v4_vertical_retainer (2)

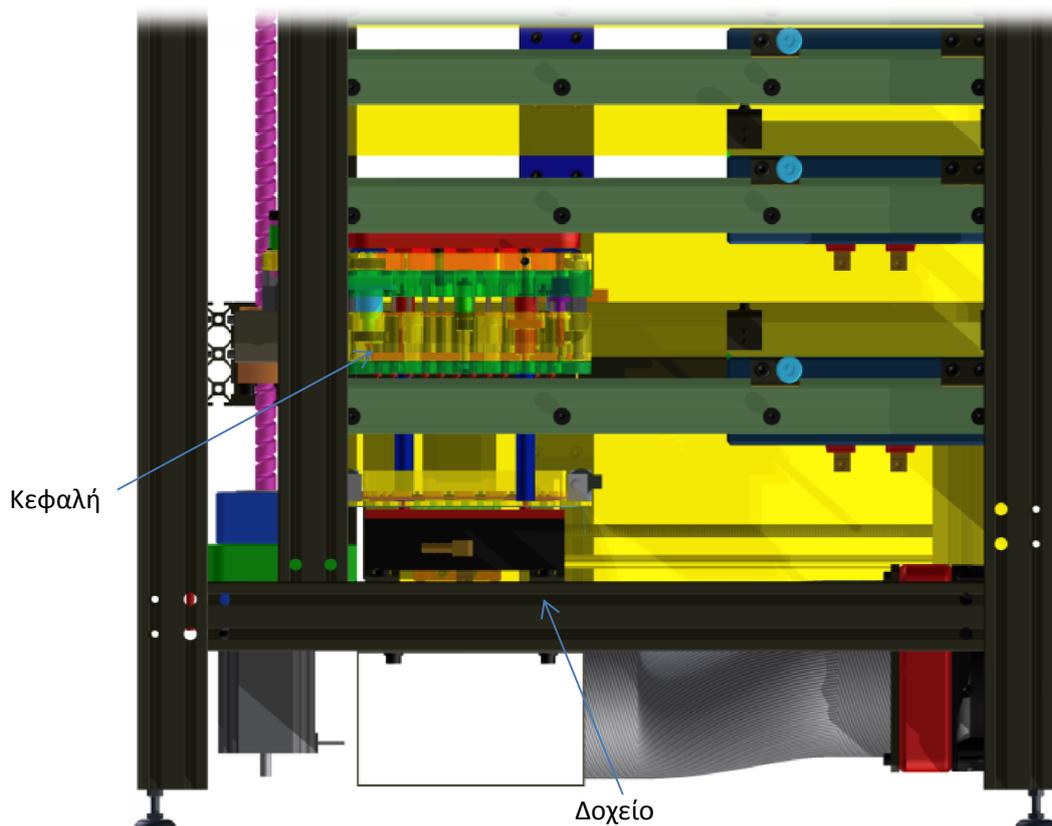
16. Σχεδιασμός πρωτοτύπου - Δοχείο απομάκρυνσης διαλύματος πλύσης



Σχεδιασμός

Το δοχείο απομάκρυνσης διαλύματος πλύσης είναι ουσιαστικά το δοχείο λυμάτων της πλατφόρμας. Το βιολογικό υλικό που ξεπλένεται μέσα από τις πιπέτες καταλήγει εκεί. Η κατασκευή βρίσκεται στο κάτω μέρος της πλατφόρμας και προσεγγίζεται από την κεφαλή μέσω του άξονα z κάθε φορά που πρέπει να γίνει πρωτόκολλο πλύσης. Υπάρχουν δύο υποδοχές, ένα inlet υγρού (πλάγια) και ένα outlet (κάτω). Σε πρώτη φάση εμείς θα χρησιμοποιούμε μόνο το outlet, το οποίο καταλήγει σε δοχείο έξω από τη συσκευή. Για την πλύση του δοχείου σε αυτή την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα διαλύματος πλύσης που θα βγαίνει από τις βελόνες της κεφαλής. Αυτό είναι χρονοβόρο και γίνεται σπατάλη διαλύματος. Για αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να γίνεται εισαγωγή αποστειρωτικού διαλύματος από το inlet και ανακυκλοφορία του με περισταλτική αντλία. Ωστόσο αυτή η διάταξη απαιτεί κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας του διαλύματος ώστε να μην υπερχειλίσει το δοχείο, κάτι που δεν έχει σχεδιαστεί ακόμα.

Παρακάτω παρουσιάζεται το δοχείο μέσα στην πλατφόρμα και παρατίθενται κατασκευαστικά σχέδια του συναρμολογήματος.



drain_assembly_A3

d_a3_v4_drainbox_cap_A4

d_a3_v4_drainbox_A4

17. Κατασκευή – Γενικά

Η κατασκευή του πειραματικού πρωτοτύπου ήταν από πλευράς χρόνου το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της εργασίας. Ξεκίνησε τον Μάιο του 2011 και 6 μήνες αργότερα βρίσκεται στα τελευταία στάδια. Η κατασκευή περιλαμβάνει τα παρακάτω είδη κατεργασιών/ μορφοποιήσεων:

| | |
|---|---|
| Κατεργασίες σε CNC φρέζα | ΕΜΠ, Τομέας Μηχ. Κατ. Και αυτομάτου ελέγχου |
| Κατεργασίες σε συμβατική φρέζα / φρεζοδράπανο | ΕΜΠ, Τομέας Μηχ. Κατ. Και αυτομάτου ελέγχου |
| Κατεργασίες σε CNC τόρνο | ΕΜΠ, Τομέας Κατεργασιών |
| Κατεργασίες σε συμβατικό τόρνο | ΕΜΠ, Τομέας Μηχ. Κατ. Και αυτομάτου ελέγχου |
| Κοπή laser ακρυλικών και ελαστομερών | ΕΜΠ, Τομέας Μηχ. Κατ. Και αυτομάτου ελέγχου |
| Κοπή laser μετάλλων | Βιομηχανία |
| Στράντζα | Βιομηχανία |

Ο αρχικός μας στόχος ήταν να κατασκευάσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα μέρη μέσα στα εργαστήρια του ΕΜΠ και έτσι έγινε.

Για την κατασκευή των κομματιών χρησιμοποιήθηκαν:

- CNC φρέζα **Haas ES0205L MiniMill**
- Τόρνος συμβατικός μοντελισμού **Proxxon**
- Τόρνος συμβατικός βιομηχανικού τύπου
- Φρεζοδράπανο συμβατικό **Optimum**
- Φρέζα συμβατική με προβοσκίδα βιομηχανικού τύπου
- Μηχάνημα κοπής laser χαμηλής ισχύος **ULS: VLS3.50**

Από πλευράς κατανομής χρόνου, το 80% δαπανήθηκε στην CNC φρέζα και το 20% σε όλα τα υπόλοιπα.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιες κατεργασίες και μερικές λεπτομέρειες για τις μεθόδους και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε στην κατασκευή.

18. Κατασκευή - CNC Φρέζα



Γενικά

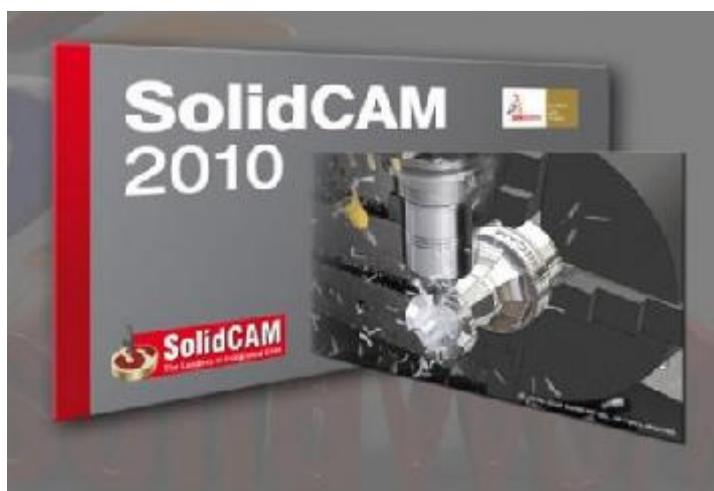
Η HaasMiniMill είναι μια CNC φρέζα που χρησιμοποιείται κυρίως για κατασκευή πρωτοτύπων, ή λίγων κομματιών, όχι σε μονάδες με μεγάλη παραγωγή. Είναι φρέζα 3+1 αξόνων (ο 4^{ος} είναι ένθετος και λειτουργεί με πλατώ, δεν μετακινεί ολόκληρη την τράπεζα), με μύλο 10 εργαλείων. Κάποια χαρακτηριστικά της μηχανής:

| | |
|-------------|------------------------------|
| Ενεργό X | 16 in |
| Ενεργό Y | 12 in |
| Ενεργό Z | 10 in |
| Max RPM | 6000 |
| Taper size | #40 |
| Ισχύς άξονα | 7.5 hp peak, 5 hp continuous |

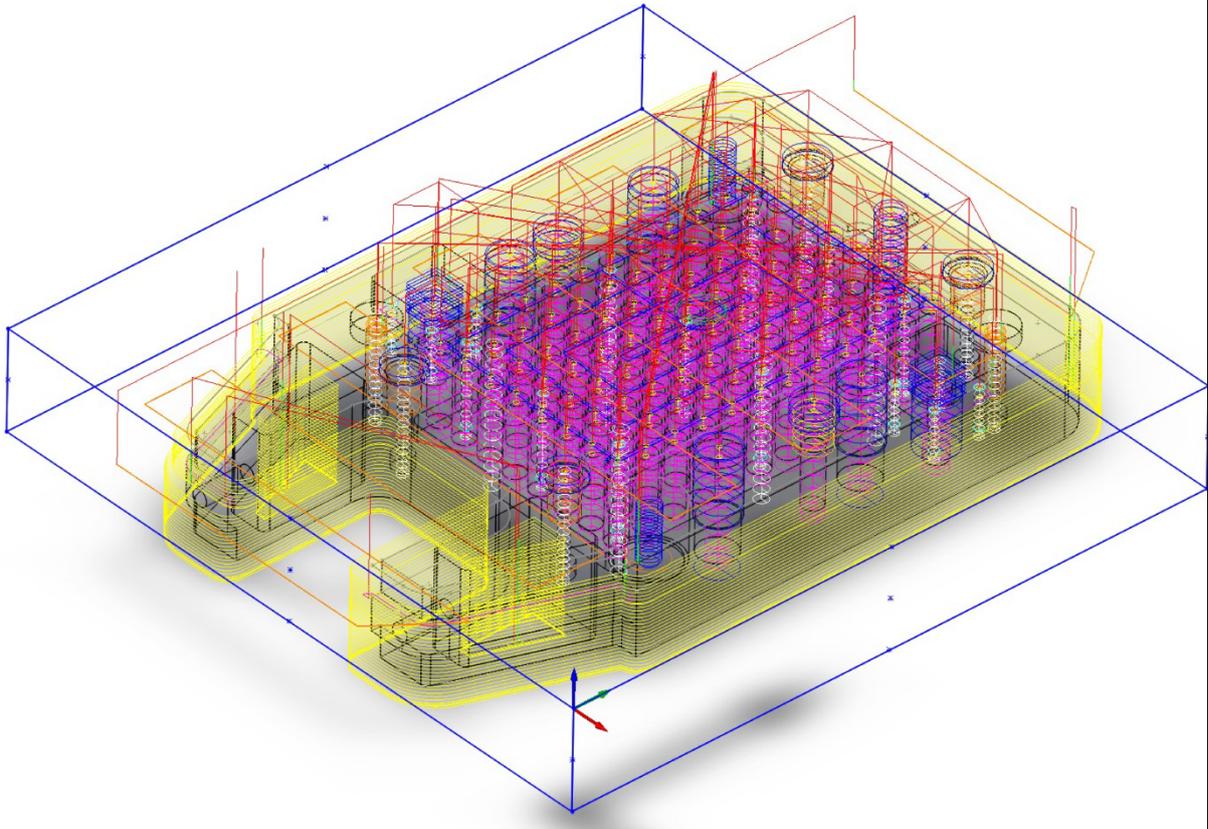
Η δημιουργία του G κώδικα έγινε στο χέρι για απλές κατεργασίες και με χρήση λογισμικού CAM για πιο σύνθετες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **SolidCAM**[®] για τη μετάφραση της διαδρομής του εργαλείου σε Gcode και το λογισμικό **CNC simulator** για την προσομοίωση της κατεργασίας. Οι συνθήκες κοπής κατά κανόνα λαμβάνονταν από τεχνικά εγχειρίδια των κατασκευαστών των εργαλείων.

SolidCAM

Το SolidCAM είναι από τα πλέον διαδεδομένα πακέτα CAM στην αγορά αυτή τη στιγμή, λόγω της ευκολίας στους χειρισμούς του και στην καλή συμβατότητά του με εμπορικά πακέτα CAD όπως το **SolidWorks**[®] και το **Inventor**[®]. Θεωρητικά μπορεί να χειριστεί μέχρι και 5 άξονες σε μία μηχανή, εμείς όμως το χρησιμοποιήσαμε μόνο για κατεργασίες 2.5D milling. Η γενική ιδέα είναι πως ο χρήστης, με τη βοήθεια εργαλείων που παρέχει το πρόγραμμα, σχεδιάζει την τροχιά του κοπτικού εργαλείου, εισάγει τις μεταβλητές κοπής και το πρόγραμμα μεταφράζει όλα αυτά τα δεδομένα σε G κώδικα. Ο Controller της Haas έχει γενικά καλή συμβατότητα με τον κώδικα που βγάζει το SolidCam για controller fanuc οπότε χρησιμοποιήσαμε αυτή την επιλογή για όλες τις κατεργασίες.



CAM



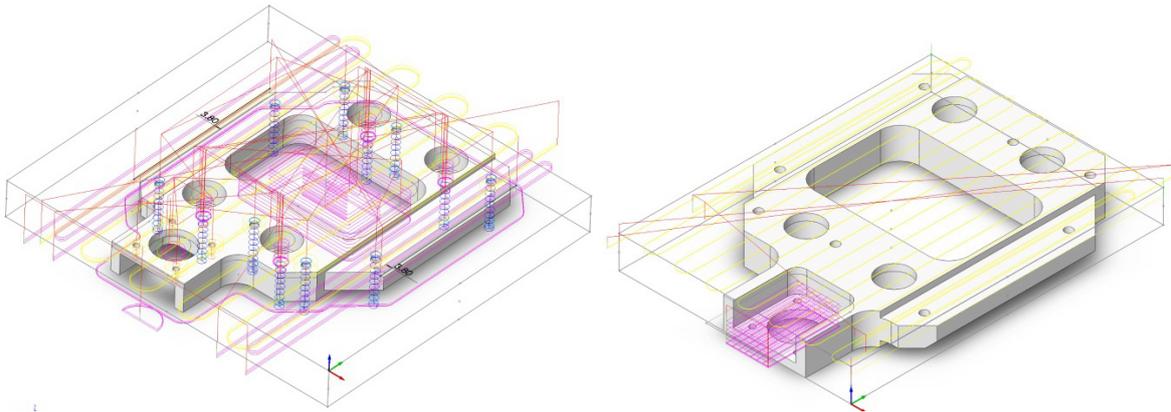
```
%  
O5000 (FDG.TAP)  
( MCV-OP ) (10-JUN-2011)  
(SUBROUTINES: O2 .. O0)  
G90 G17  
G80 G49 G40  
G54  
G91 G28 Z0  
G90  
M01  
N1 M6 T10  
G90 G00 G40 G54  
G43 H10 D40 G0 X-144.298 Y216. Z60. S1000 M3  
M8  
(-----)  
(FM-FACEMILL-T10 - FACE-MILLING)  
(-----)  
X-144.298 Y216. Z21.  
Z2.  
G1 Z-0.7 F25  
X-58.702 F160  
X-42.8 Y194.909 F100  
X-158.2 F160  
....
```

Παραπάνω βλέπουμε τις τροχιές των εργαλείων που σχεδιάστηκαν για το κομμάτι d_a1_v1_syringe_tube_solid, που είναι το βασικό κομμάτι της κεφαλής. Αυτές οι τροχιές σχεδιάζονται μία μία, με ειδικά εργαλεία που παρέχει το λογισμικό που επιταχύνουν τη διαδικασία, και έπειτα μεταφράζονται σε G code. Ο κώδικας που βλέπουμε παραπάνω είναι οι πρώτες 20 γραμμές από 2682 γραμμές κώδικα που περιγράφουν αυτήν την κατεργασία:

| | |
|--|--|
| ␣ | Αρχή προγράμματος |
| O5000 (FDG.TAP) | Όνομα προγράμματος |
| (MCV-OP) (10-JUN-2011) | Ημερομηνία |
| (SUBROUTINES: O2 .. O0) | Χρήση υπορουτίνων |
| G90 G17 | Απόλυτο σσ, Επίπεδο XY |
| G80 G49 G40 | Ακύρωση όλων των κύκλων κατεργασίας, επαναφορά του Z, ακύρωση αντιστάθμισης εργαλείου |
| G54 | Χρήση σσG54 |
| G91 G28 Z0 | Σχετικό σσ, επιστροφή στο home, z στο 0 |
| G90 | Απόλυτο σσ |
| M01 | Προαιρετικό stop |
| N1 M6 T10 | Χρήση εργαλείου 10 |
| G90 G00 G40 G54 | Απόλυτο σσ, ταχεία κίνηση, ακύρωση αντιστάθμισης εργαλείου, χρήση σσ G54 |
| G43 H10 D40 G0 X-144.298 Y216. Z60. S1000 M3 | Αντιστάθμιση εργαλείου, ταχεία κίνηση στις συντεταγμένες που αναγράφονται, 1000 RPM στην άτρακτο ωρολογιακά. |
| M8 | Ενεργοποίηση αντλίας ψυκτικού |
| (-----) | Σχόλια |
| (FM-FACEMILL-T10 - FACE-MILLING) | |
| (-----) | |
| X-144.298 Y216. Z21. Z2. | Ταχεία κίνηση στις συντεταγμένες |
| G1 Z-0.7 F25 | Κίνηση με πρόωση 25 mm/min προς το z που αναγράφεται |
| X-58.702 F160 | Κατεργασία |
| X-42.8 Y194.909 F100 | |
| X-158.2 F160 | |
| | |

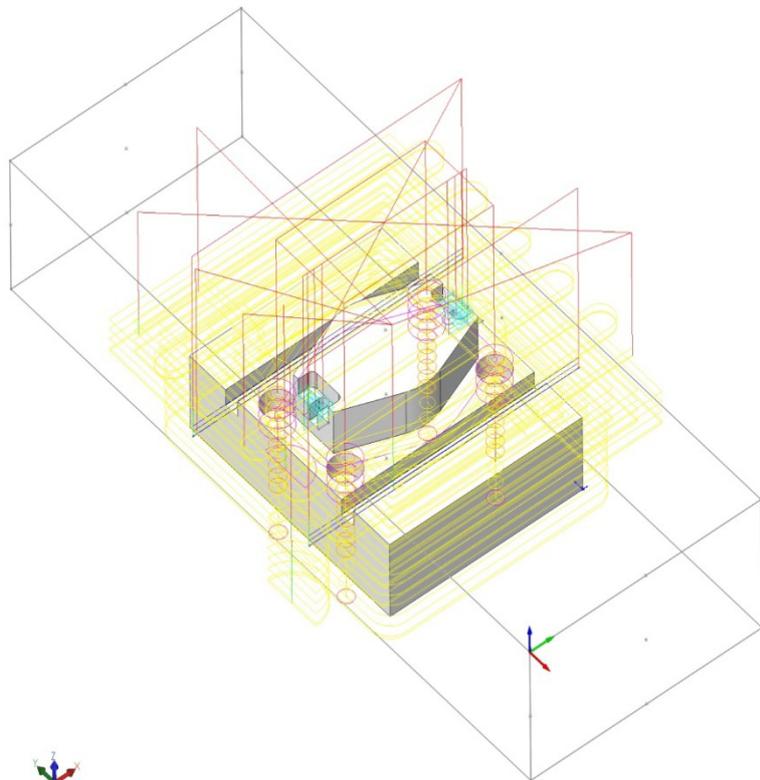
Ο όγκος που εγκιβωτίζει το κομμάτι και εμφανίζεται παραπάνω με γραμμές μπλε χρώματος είναι το stock, δηλαδή το αρχικό κομμάτι υλικού. Το σύστημα συντεταγμένων που φαίνεται στο σχέδιο είναι τυπικά το G54 που ορίζεται πριν την κατεργασία.

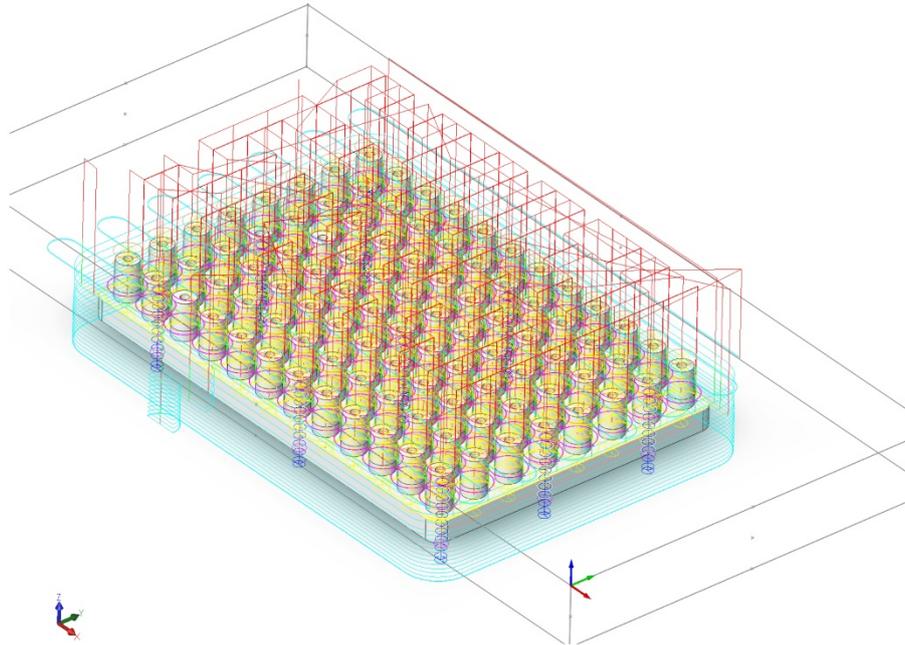
Ομοίως δημιουργούνται και οι υπόλοιποι κώδικες



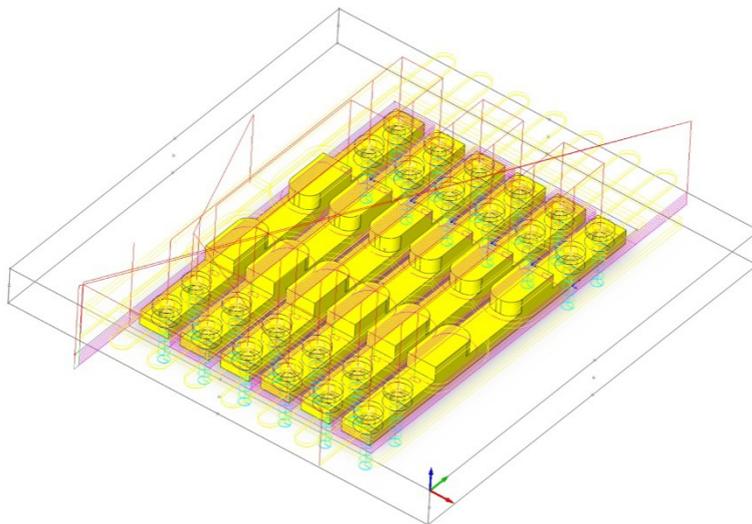
Σε κομμάτια που χρειάζονται γύρισμα, δηλαδή που απαιτείται κατεργασία σε δύο ή περισσότερες πλευρές τους, δημιουργούνται και οι αντίστοιχοι κώδικες. Στο παραπάνω κομμάτι χρειάζεται ένα γύρισμα, άρα δύο κώδικες. Το πρόβλημα που προκύπτει σε τέτοιου είδους κομμάτια είναι πως η αρχή συντεταγμένων μετράται δύο φορές και άρα εισάγεται σφάλμα που τελικά αποτυπώνεται στην κατεργασία. Ωστόσο προσπαθούμε να το ελαχιστοποιήσουμε με χρήση εξοπλισμού που θα παρουσιαστεί πιο κάτω.

Στα περισσότερα κομμάτια, η διαδρομή του εργαλείου είναι προφανής. Σε κάποια όμως, όπως το διπλανό, υπάρχουν νησίδες ή ποκέτες ή και 3D γεωμετρίες και οι διαδρομές (toolpaths) δεν είναι προφανείς. Για αυτές τις γεωμετρίες υπάρχει τρόπος αυτόματης γένεσης toolpath από το πρόγραμμα (contour milling). Ωστόσο, επειδή το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται το πρόβλημα ως καθαρά γεωμετρικό, δεν λαμβάνει υπόψη στοιχεία όπως το ότι η απότομη αλλαγή κατεύθυνσης άξονα αφήνει σημάδια στο κομμάτι ή ότι εάν ένα προφίλ δεν είναι κλειστό αλλά γίνεται με πολλές τροχιές που τέμνονται, το αποτέλεσμα δεν θα είναι καλό. Γενικά αυτό που κάναμε ήταν να χρησιμοποιούμε το contour milling με ένα offset από την τελική επιφάνεια και να προγραμματίζουμε την κοπή φινιρίσματος με δικά μας toolpaths.





Η αυτόματη γένεση κώδικα για σύνθετες γεωμετρίες δεν συμφέρει όταν οι γεωμετρίες είναι σαν την παραπάνω. Το κομμάτι αυτό είναι η πλάκα με τις 96 κεφαλές πιπετών και είναι το πιο δύσκολο από πλευράς κώδικα κομμάτι πάνω στη μηχανή και το πιο χρονοβόρο στην κατασκευή του. Ο καθαρός χρόνος κοπής για αυτό το κομμάτι είναι 8 ώρες με χειροκίνητο προγραμματισμό και μικρό overlapping στις τροχιές. Ο λόγος είναι πως οι κεφαλές είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και η κατεργασία πρέπει να γίνει με κονδύλι 3mm. Ο αντίστοιχος χρόνος με αυτόματη γένεση κώδικα ήταν 22 ώρες.



Όμοια κομμάτια που είναι και μικρά σε μέγεθος μπορούν να κατεργαστούν όλα μαζί με ένα δέσιμο και από ένα αρχικό κομμάτι υλικού, όπως φαίνεται παραπάνω.

Κατεργασία- Δεσίματα

Το δέσιμο του κομματιού στη φρέζα παίζει πολύ μεγάλο ρόλο και στη διαδικασία κατεργασίας που θα ακολουθηθεί και στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Πρακτικά, εάν το προφίλ, δηλαδή η περίμετρος, είναι έτοιμο και δεν χρειάζεται περαιτέρω κατεργασία, απλά δένουμε το κομμάτι με τη μέγγενη ή με νύχια και κάνουμε την κατεργασία. Για να είναι το προφίλ έτοιμο από πριν πρέπει το stock να περάσει πρώτα από κοπή laser ή υδροκοπή και να πάρει την μορφή που θέλουμε. Εμείς δεν αξιοποιήσαμε τέτοιες κατεργασίες καθώς ήταν δύσκολο να γίνει ο χρονικός προγραμματισμός του έργου εάν απευθυνόμασταν σε μηχανουργεία έξω από το ΕΜΠ. Οπότε χωρίς αρχικό προφίλ υπάρχουν δύο τρόποι να γίνει το δέσιμο:

Δέσιμο στο τραπέζι με offset X:

1. Το αρχικό κομμάτι σχεδιάζεται λίγο μεγαλύτερο στην κατεύθυνση x.
2. Κάτω από το κομμάτι τοποθετείται κάποιο σκληρό πλαστικό ή μέταλλο (understock) που του δίνει offset από το τραπέζι
3. Το κομμάτι δένεται με νύχια στο τραπέζι από τα μέρη του που περισσεύουν προς την κατεύθυνση x.
4. Γίνονται όλες οι κατεργασίες εκτός από την κοπή προφίλ
5. Γίνεται διάνοιξη σπών στο κομμάτι. Μέσα από αυτές τις σπές γίνεται διάνοιξη σπειρώματος στο understock. Το κομμάτι βιδώνεται στο understock.
6. Γίνεται η κοπή προφίλ. Το κομμάτι δεν μένει ποτέ στον αέρα γιατί ακόμα και στο τελευταίο πάσο κοπής (cutoff) παραμένει βιδωμένο στο understock, το οποίο είναι δεμένο με τα νύχια μέσω του εναπομείναντος υλικού.

Πλεονεκτήματα

- Το μέγεθος του κομματιού περιορίζεται μόνο από τις ικανότητες της μηχανής
- Η κατεργασία γίνεται χωρίς αναγκαστικό γύρισμα του κομματιού
- Έχουμε μικρή σπατάλη υλικού

Μειονεκτήματα

- Χρειάζεται επιπλέον κομμάτι για να τοποθετηθεί κάτω από το stock το οποίο επίσης κατεργάζεται στο τελευταίο πάσο. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να του παίρνουμε πρόσωπα κάθε φορά που θέλουμε να το επαναχρησιμοποιήσουμε.
- Όσο πιο μαλακό και παχύ το understock τόσο μεγαλύτερη η κάμψη του τελικού κομματιού. Όσο πιο σκληρό τόσο πιο δύσκολο είναι να ανοιχτούν τα σπειρώματα.
- Το επιπλέον υλικό δίνει ελαστικότητα στο συναρμολόγημα stock / understock. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ταλαντώσεις.

Δέσιμο στη μέγγενη με offset Z:

- Το αρχικό κομμάτι σχεδιάζεται μεγαλύτερο στην κατεύθυνση z.
- Το κομμάτι δένεται στη μέγγενη από το υλικό που περισσεύει στο z.
- Γίνεται ολόκληρη η κατεργασία
- Το κομμάτι λύνεται, δένεται ανάποδα και γίνεται κοπή του υλικού που περισσεύει

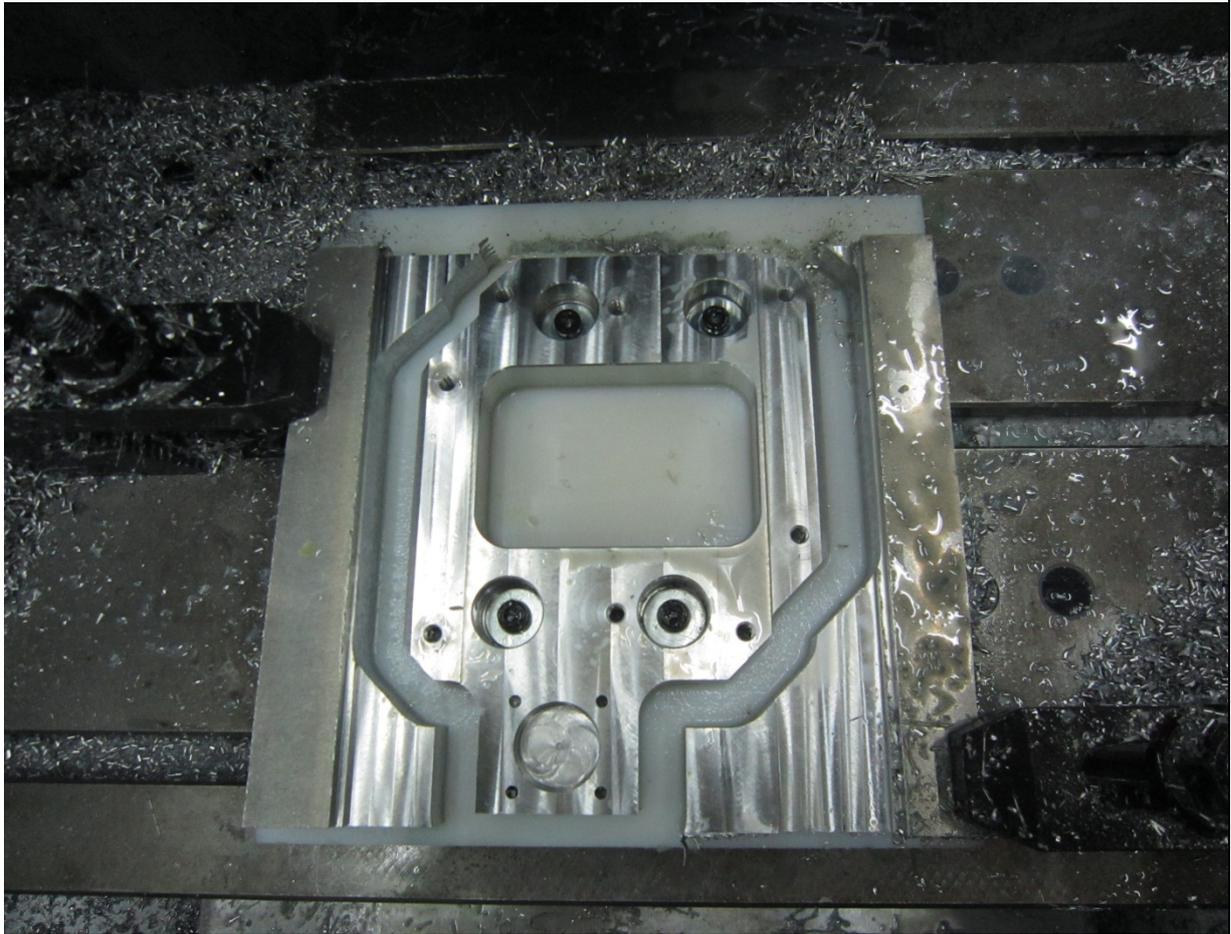
Πλεονεκτήματα

- Το κομμάτι έχει την ακρίβεια της μηχανής εάν οι συνθήκες κοπής είναι σωστές
- Το δέσιμο του κομματιού γίνεται γρήγορα

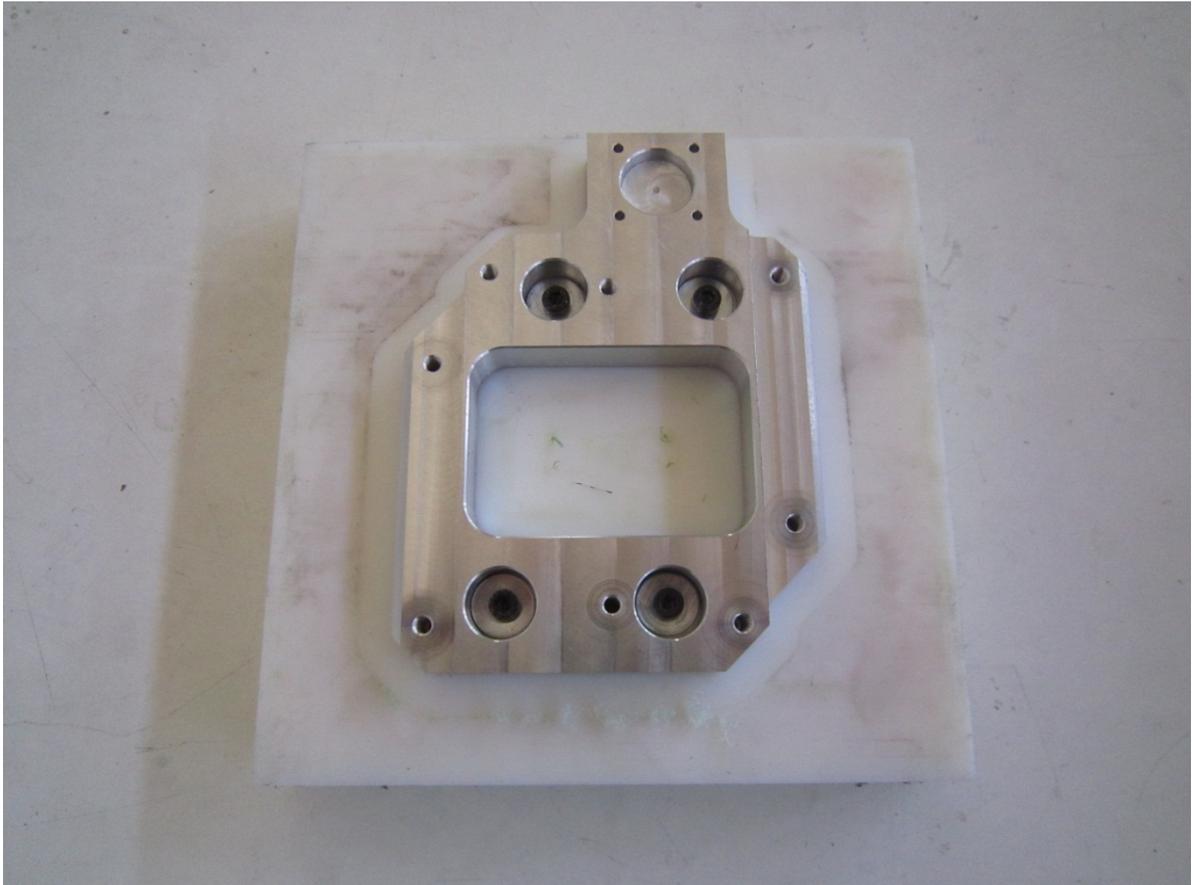
Μειονεκτήματα

- Γίνεται μεγάλη σπατάλη υλικού
- Χρειάζεται αρκετός χρόνος κατεργασίας για την αφαίρεση του επιπλέον υλικού

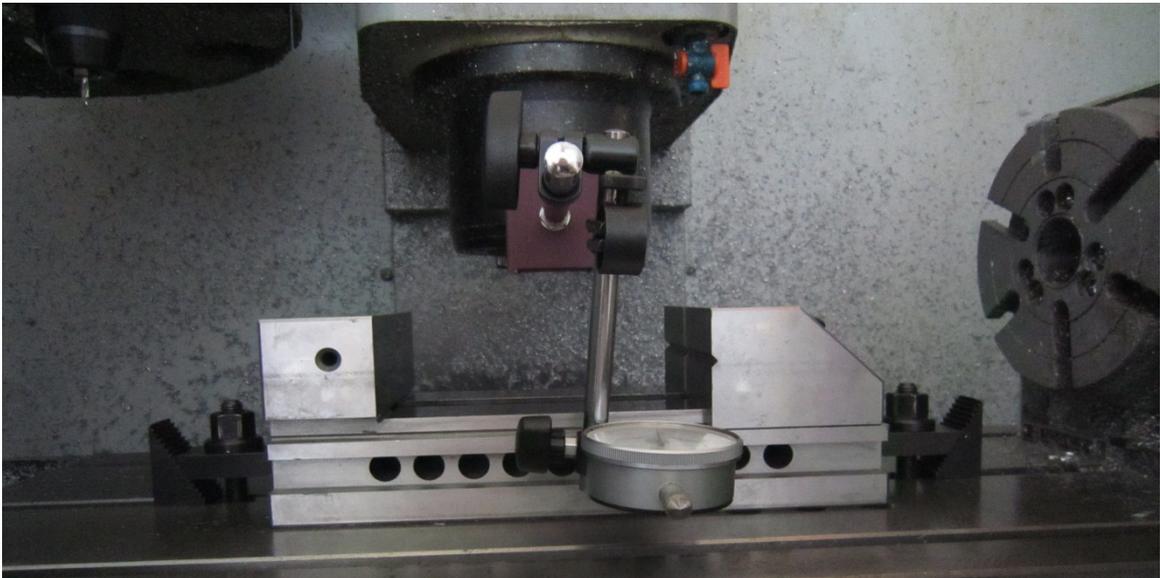
Φωτογραφίες



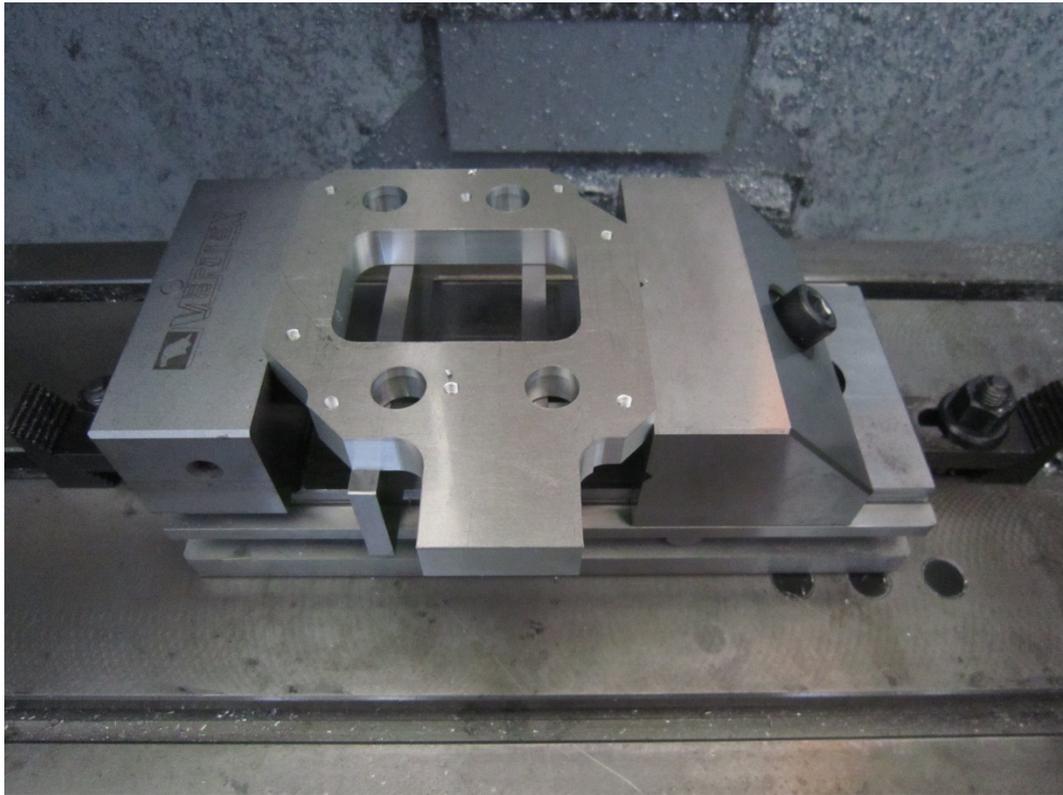
Το κομμάτι d_a3_v4_vertical_retainer, δομικό στοιχείο του συστήματος τοποθέτησης πιετών κατασκευάστηκε με την πρώτη μέθοδο δεσίματος. Φαίνονται οι κοχλίες πρόσδεσης μέσα στις φωλιές των ρουλεμάν. Γενικά για την πρόσδεση χρησιμοποιήσαμε διαθέσιμες οπές του εκάστοτε κομματιού, και αν δεν υπήρχαν ανοίγαμε επιπλέον. Κάτω από το κομμάτι βρίσκεται πλάκα PA6. Αυτή είναι η πρώτη φάση κατεργασίας, ξεκινώντας από μπλοκ αλουμινίου και καταλήγοντας στο εικονιζόμενο κομμάτι. Σε δεύτερη φάση το κομμάτι λύνεται και δένεται σε μέγγενη ανεστραμμένο για τους υπόλοιπους κύκλους κατεργασίας.



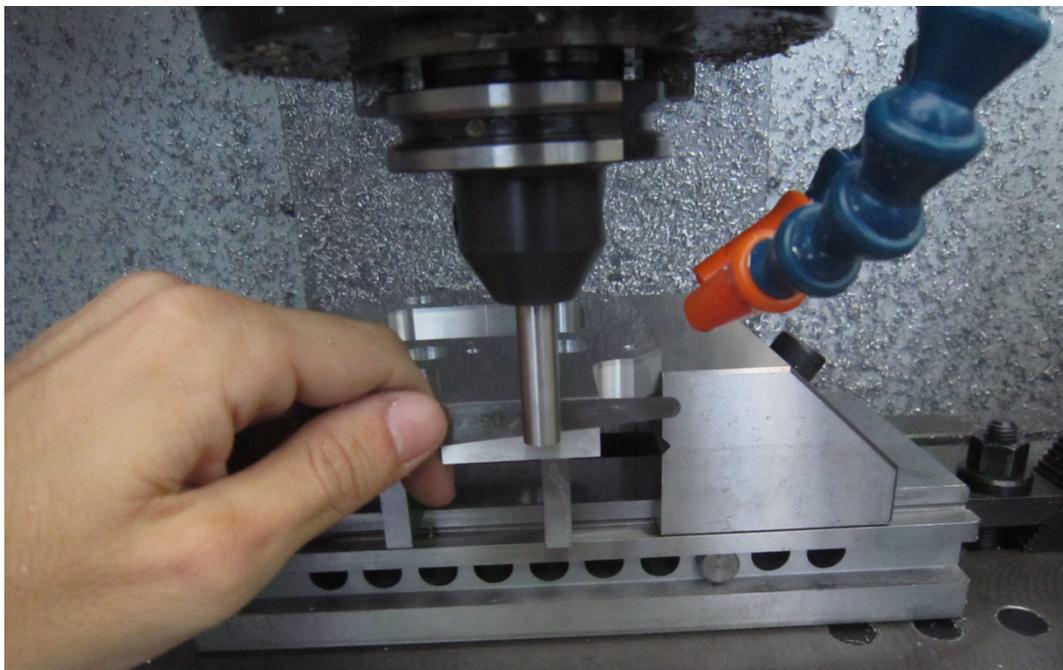
Το παραπάνω κομμάτι αφού λυθεί από την τράπεζα της φρέζας



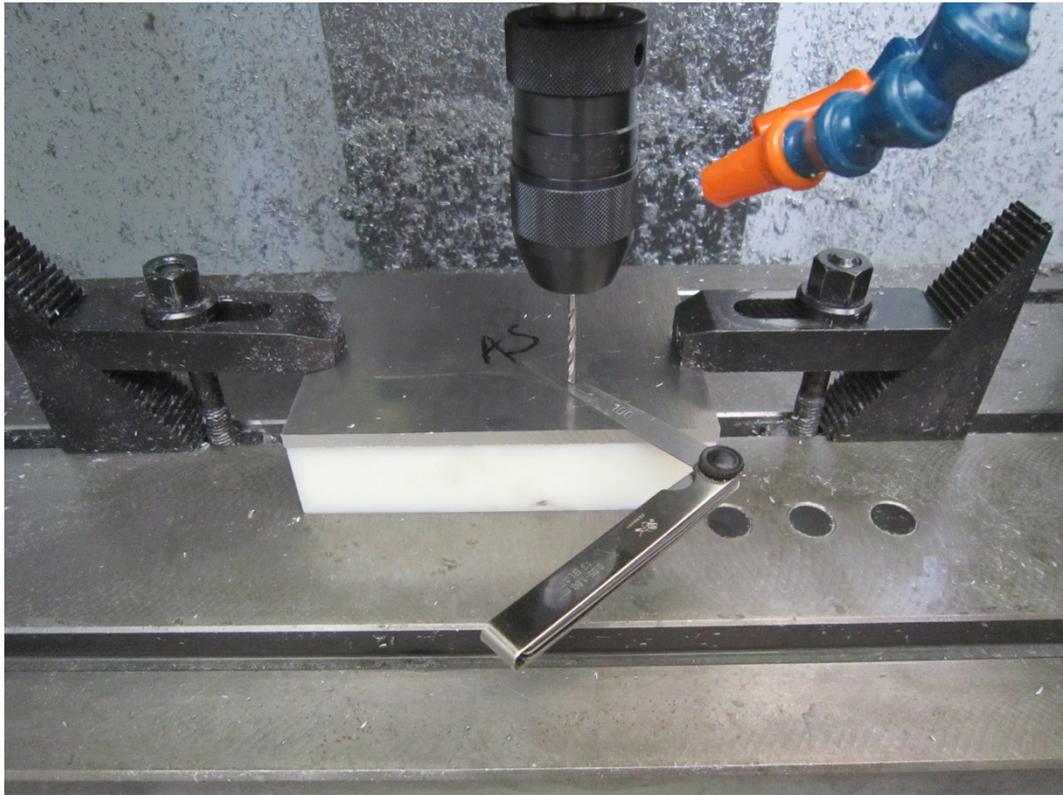
Πριν ξεκινήσει κατεργασία με μέγγενη πρέπει να γίνει ευθυγράμμιση με την τράπεζα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε μετρητικό ρολόι.



Το κομμάτι στη δεύτερη φάση κατασκευής του. Το δένουμε στη μέγγενη και παίρνουμε νέο ΣΣ.



Η θέση του ΣΣ γίνεται είτε με probe είτε με πρότυπο άξονα και φίλερ. Στην εικόνα γίνεται μέτρηση του $\gamma=0$ με φίλερ



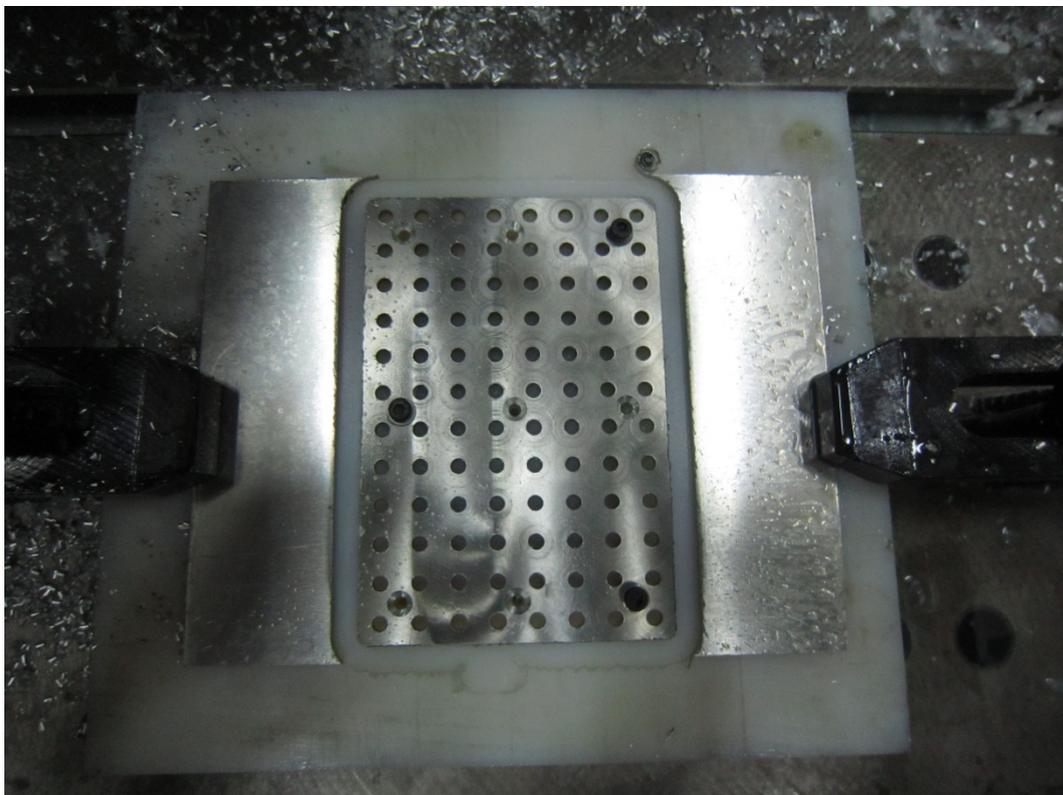
Η μέτρηση του εργαλείου μπορεί να γίνει είτε με auto-Z είτε με φίλερ. Εδώ γίνεται μέτρηση με φίλερ.



Κατασκευή 6 όμοιων κομματιών από ένα μπλοκ υλικού.



Οι αντάπτορες των βαγονέτων μετά το πέρας της κατεργασίας.



Κατεργασία λεπτού κομματιού στη φρέζα. Στα λεπτά κομμάτια αποτυπώνονται πιο έντονα τα σφάλματα λόγω κάμψης με αυτό τον τρόπο πρόσδεσης



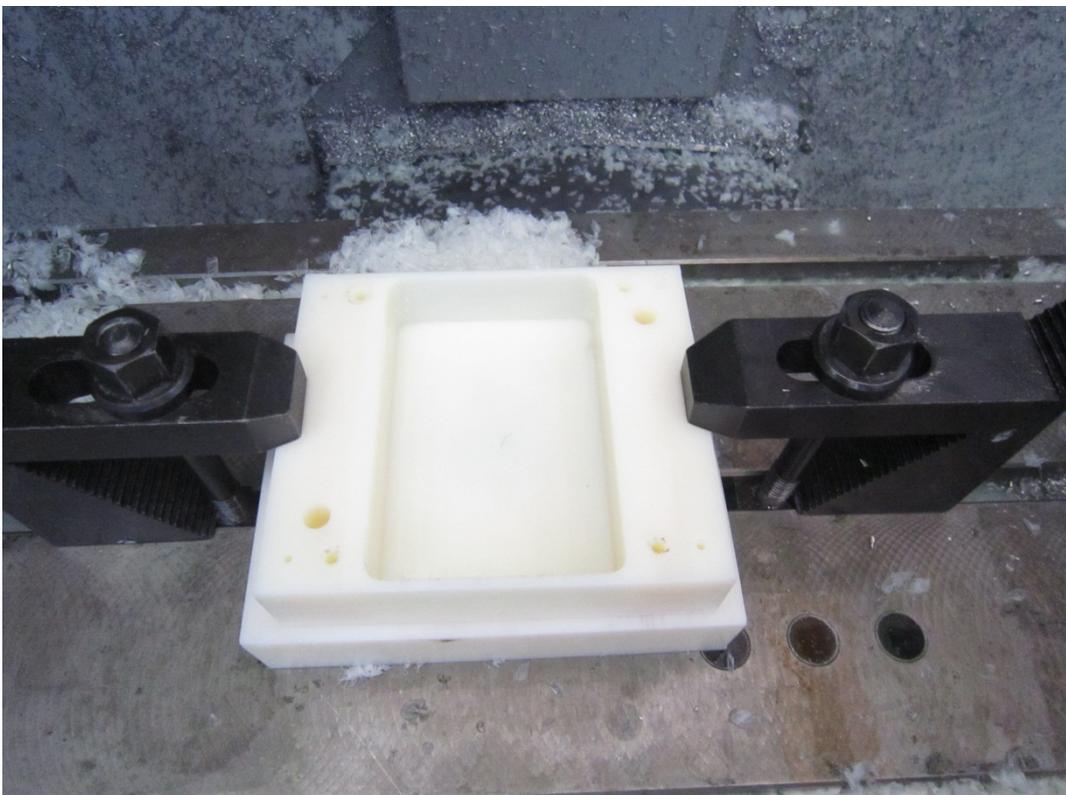
Οι οπές με ανοχή στη διάμετρο κατασκευάζονται είτε με γλύφανο, είτε, για μεγάλες διαστάσεις ή μικρό βάθος, με κοπή προφίλ. Πάνω φαίνεται διαμόρφωση για υποδοχή λαιμού κινητήρα που χρειάζεται ανοχή.



Και πάλι όμοια κομμάτια που κατασκευάζονται με έναν κώδικα από ένα μπλοκ υλικού. Αυτά τα κομμάτια είναι τα πλαϊνά μέρη των βαγονέτων που φέρουν τα δείγματα.



Κατασκευή όμοιων κομματιών μεγάλου μεγέθους από ένα μπλοκ υλικού.



Κατεργασία πλαστικού στη φρέζα. Το nylon 6 (PA6) έχει καλή κατεργασιμότητα και χρησιμοποιείται ευρέως σε μηχανολογικές κατασκευές.



Συσσωμάτωμα αλουμινίου στο κονδύλι λόγω ελλιπούς ψύξης.



Δοκιμαστικό κομμάτι για την επιλογή της γεωμετρίας της υποδοχής της πιπέτας



Probe και Auto-Z για την εύρεση του 0,0 και την αντιστάθμιση του ύψους των εργαλείων.

19 Κατασκευή - Λοιπές Κατεργασίες



Φρεζοδράπανο

Το φρεζοδράπανο του εργαστηρίου είναι της εταιρίας **Optimum**, μοντέλο **OPTIBF20-VARIO**, με συνεχή ρύθμιση στροφών. Χαρακτηριστικά της μηχανής:

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Ενεργή διαδρομή αξόνων (mm) | 175x280x280 |
| Max RPM | 3000 |
| Ισχύς στην άτρακτο (W) | 850 |
| Περιστροφή ατράκτου (°) | ±90 |

Η εργαλειομηχανή χρησιμοποιήθηκε κυρίως για διάτρηση και σπειροτόμηση, αλλά και για φρεζάρισμα προσώπων σε πλαστικά κομμάτια χωρίς διαστατικές ανοχές. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για λείανση αλουμινένιων κομματιών.



Λείανση αλουμινίου στο φρεζοδράπανο. Χρησιμοποιείται αρχικά σμυριδοτροχός (polishing) και έπειτα κετσές με πάστα λείανσης (buffing).



Λείανση αλουμινίου στο φρεζοδράπανο



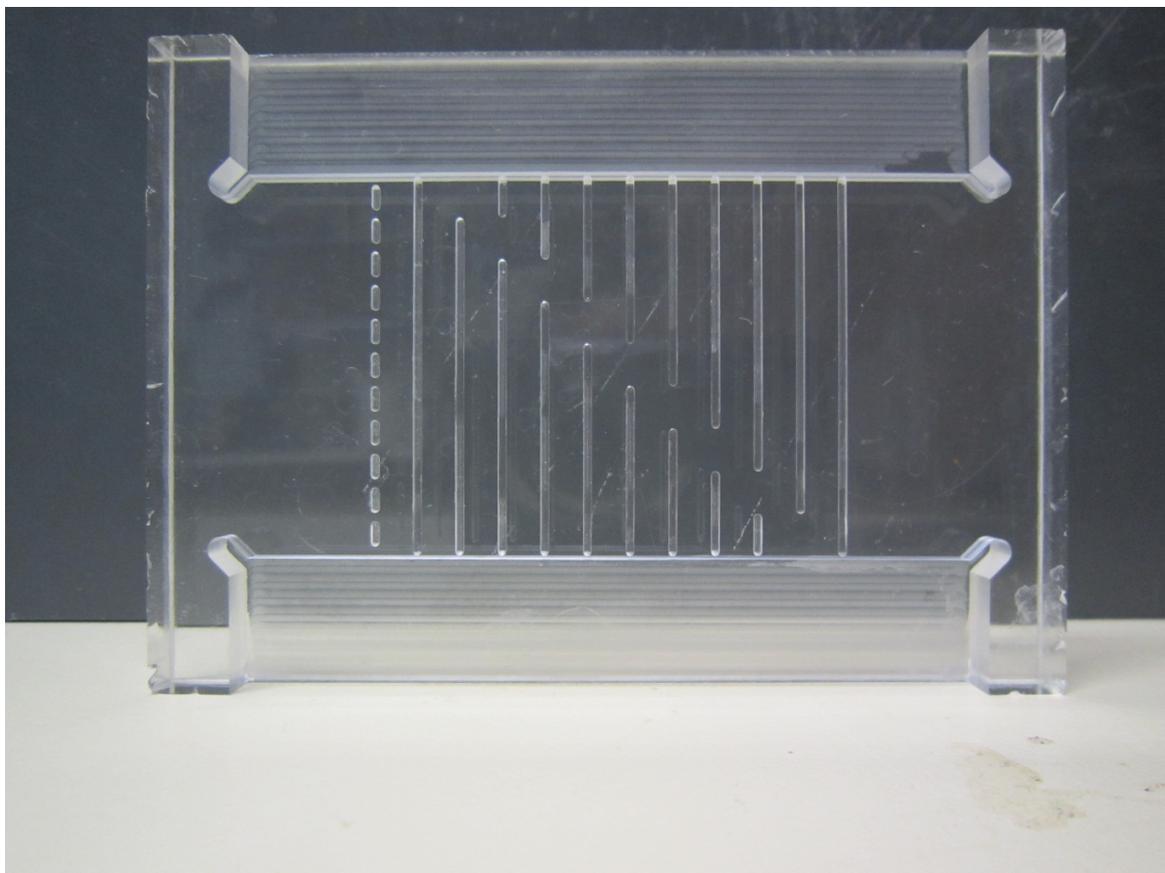
Φρεζάρισμα προσώπου στο φρεζοδράπανο, ξεχόνδρισμα.

Laser

Το μηχάνημα κοπής laser είναι της εταιρίας **Universal Laser Systems®**, μοντέλο **VLS3.50** για κοπές σε μικρά πάχη πλαστικών και για engraving. Εμείς το χρησιμοποιήσαμε για κοπές ακρυλικού στα βοηθητικά μέρη της πλατφόρμας και για πρωτοτυποποίηση. Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος:

| | |
|------------------------|------------|
| Ενεργή επιφάνεια κοπής | 610x305 mm |
| Ισχύς laser | 30 W |

Το μέγιστο πάχος κομματιού από ακρυλικό που κόβεται με ακρίβεια είναι 10mm. Η γένεση του κώδικα γίνεται αυτόματα από λογισμικό που διατίθεται με το μηχάνημα. Ο χρήστης αρκεί να το τροφοδοτήσει με μια 2D κλειστή γεωμετρία.



Το προφίλ του παραπάνω κομματιού έγινε με κοπή laser. Οι χαρακιές που φαίνονται στις πλευρές του οφείλονται σε ανάκλαση της ακτίνας κατά την κοπή. Η θερμική καταπόνηση δημιουργεί εσωτερικές τάσεις στις ακμές κοπής που μπορεί να οδηγήσουν σε ρωγμές, ειδικά εάν το κομμάτι πρέπει να υποστεί περαιτέρω κατεργασία. Γι αυτό το λόγο πρέπει να γίνεται ανόπτηση μετά την κοπή, σε χαμηλή θερμοκρασία (80°C).

Τόρνος

Για την κατασκευή κομματιών της πλατφόρμας και της πειραματικής διάταξης χρησιμοποιήθηκαν 2 τόρνοι βιομηχανικού τύπου και ένας τόρνος μοντελισμού. Η κύρια δουλειά ήταν η κοπή αξόνων και posts χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ακρίβειας, αλλά επίσης και οι δοκιμές κοπής σε τεμάχια τα οποία πρέπει να κατασκευαστούν σε CNC τόρνο για την εξακρίβωση της καταλληλότητας των εργαλείων.



Δοκιμή κατασκευής της ακμής του εμβόλου για το σύστημα διαχείρισης υγρών της πλατφόρμας. Η κατασκευή πρωτοτύπου αποδείχθηκε σωστή επιλογή για αυτό το κομμάτι γιατί μας εμφάνισε τα αδύναμα σημεία του σχεδιασμού και έγινε τροποποίηση του σχεδίου ώστε το τελικό τεμάχιο να ταιριάζει στα παρεμβύσματα που έχουν αγοραστεί.

20. Περίληψη / Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκε η μελέτη, ο σχεδιασμός και τμήμα της κατασκευής μίας αυτοματοποιημένης πλατφόρμας για τη διεξαγωγή πειραμάτων ELISA. Παρουσιάστηκε πειραματική διάταξη για τον καθορισμό των μεταβλητών σχεδιασμού και προτάθηκαν πειράματα. Αναλύθηκαν τα υποσυστήματα της κατασκευής και παρουσιάστηκαν τα κατασκευαστικά σχέδια και οι λεπτομέρειες κατασκευής του συναρμολογήματος.

Από τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής της πλατφόρμας, αλλά και από το feedback ανθρώπων που βρίσκονται στο χώρο της βιοτεχνολογίας εξάχθηκαν κάποια συμπεράσματα για το όλο εγχείρημα:

- Είναι εφικτή η κατασκευή ενός πρωτοτύπου πλατφόρμας με τις προδιαγραφές που τέθηκαν στην αρχή της μελέτης και μέσα στα οικονομικά όρια που τέθηκαν.
- Οι μέθοδοι που έχουν επιλεγεί είναι αποδοτικές και έχουν καλή υποδοχή από την κοινότητα των βιοτεχνολόγων.
- Η χρήση μόνιμων μαγνητών μικρού μεγέθους για την παγίδευση μικροσφαιριδίων είναι αποδοτική και εύκολη λύση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάταξη 96 πιπετών.
- Παρότι η κατασκευή έχει ήδη αρκετά μικρότερο footprint από τις αντίστοιχες του εμπορίου, μπορεί να γίνει ακόμα μικρότερη και ελαφρύτερη. Σε κάποια κομμάτια έχουμε overdesign και από πλευράς αντοχής και από πλευράς πολυπλοκότητας.
- Το σύστημα πλύσης που προτείνουμε είναι λειτουργικό και έχει νόημα η ενσωμάτωσή του σε πλατφόρμα διαχείρισης υγρών. Ωστόσο η μέθοδος άρμωσης των βελονών πλύσης δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική και επιδέχεται βελτίωσης.
- Η μέθοδος κατασκευής που ακολουθήσαμε για τα φρεζαριστά κομμάτια επιδέχεται βελτίωσης. Προτείνεται τα προφίλ να κατασκευαστούν με κοπή laser και να γίνει έπειτα κατεργασία στη φρέζα. Με αυτό τον τρόπο έχουμε πολύ μικρότερη σπατάλη υλικού και άρα χαμηλότερο κόστος, ενώ μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας και αυξάνεται η ακρίβεια (λιγότερες ταλαντώσεις).
- Η χρήση της κλασικής μεθόδου διαχείρισης υγρών (έμβολο χιτώνιο) περιορίζει τον σχεδιασμό λόγω της αδυναμίας κατασκευής ελαστομερών παρεμβυσμάτων. Η χρήση αυτών των συστημάτων σε διάταξη 96 θέσεων δημιουργεί ανάγκες για επιβολή φορτίων δυσανάλογα μεγάλων για την εφαρμογή. Σε αυτό το σημείο θα είχε νόημα η έρευνα πάνω σε εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης υγρών.
- Ο σχεδιασμός καθορίζεται πλήρως από τα αναλώσιμα που χρησιμοποιεί η κατασκευή (πιπέτες, πλάκες 96 βοθρίων)
- Ο κλασικός σχεδιασμός της κεφαλής υποδοχής μίας πιπέτας σε 96 θέσεις δημιουργεί ανάγκες για επιβολή φορτίων δυσανάλογα μεγάλων για την εφαρμογή. Εδώ θα πρέπει να γίνει έρευνα πάνω σε γεωμετρίες που να εξασφαλίζουν στεγάνωση, χωρίς όμως να απαιτούν τόσο υψηλά φορτία

21. Δυνατότητες Περαιτέρω Διερεύνησης

Με βάση τα συμπεράσματα αλλά και τη λειτουργική αξιολόγηση του πρωτοτύπου παρουσιάζονται δυνατότητες περαιτέρω διερεύνησης του θέματος:

Πειραματικό πρωτότυπο

- Πλήρης συναρμολόγηση όλων των υποσυστημάτων και των ηλεκτρονικών
- Δημιουργία λογισμικού αρχικά σε βασικό περιβάλλον και έπειτα σε UI για τον χειρισμό της πλατφόρμας
- Αξιολόγηση της λειτουργίας τους σε πραγματικό περιβάλλον
- Αξιολόγηση της εργονομίας του συστήματος

Εμπορικό πρωτότυπο

- Αντικατάσταση των προφίλ αλουμινίου με στραντζαριστά κομμάτια
- Βελτιστοποίηση των επιμέρους κομματιών, μείωση βάρους, μείωση κόστους κατασκευής
- Βελτιστοποίηση της συνολικής κατασκευής από πλευράς όγκου
- Βελτιστοποίηση των εσωτερικών χώρων της κατασκευής για την τοποθέτηση των ηλεκτρονικών, θερμική ανάλυση στο εσωτερικό της συσκευής λόγω της θερμικής ισχύος των ηλεκτρονικών.
- Επανασχεδιασμός του τρόπου τοποθέτησης των πιπετών εντός της πλατφόρμας, ενδεχόμενη αυτοματοποιημένη λύση θα είχε καλή υποδοχή
- Εξέταση της συμβατότητας της πλατφόρμας με άλλες συσκευές, όπως ο αναλυτής Luminex ή ρομπότ εξυπηρέτησης μηχανημάτων βιοτεχνολογικού ενδιαφέροντος

Ανάπτυξη των τεχνολογιών

- Μελέτη νέων μεθόδων διαχείρισης υγρών που να μην απαιτούν υψηλά φορτία επενεργητών (μεμβράνες, στεγάνωση εμβόλων με διαφορετικά υλικά)
- Μελέτη νέων γεωμετριών συγκράτησης πιπετών που να μην απαιτούν υψηλά φορτία επενεργητών
- Ανάπτυξη της πλατφόρμας ώστε να ενσωματώνει και άλλα υποσυστήματα, όπως autosampler.

22. Βιβλιογραφία

(B) Βιβλία/Διπλωματικές

1. *“Σύστημα ανάκτησης μαγνητικών σφαιριδίων για βιοχημικές διεργασίες”*, διπλωματική εργασία, Γεώργιος Σουρλαντζής, 10/2010
2. *“Τεχνική Ατζέντα Βασικής Μηχανολογίας”*, ΕΤΕ, βιβλιοθήκη μηχανολογίας
3. *“Machine Design: An integrated approach”*, Robert L. Norton
4. *“Precision Machine Design”*, Alexander H. Slocum
5. *“Fundamentals of Heat and Mass Transfer”*, F.P. Incropera, D.P. DeWitt
6. *“Machinery’s Handbook”*, Erik Oberg
7. *“CNC Programming Techniques”*, Peter Smid
8. *“Electric Machinery Fundamentals”*, Stephen J. Chapman

(P) Δημοσιεύσεις

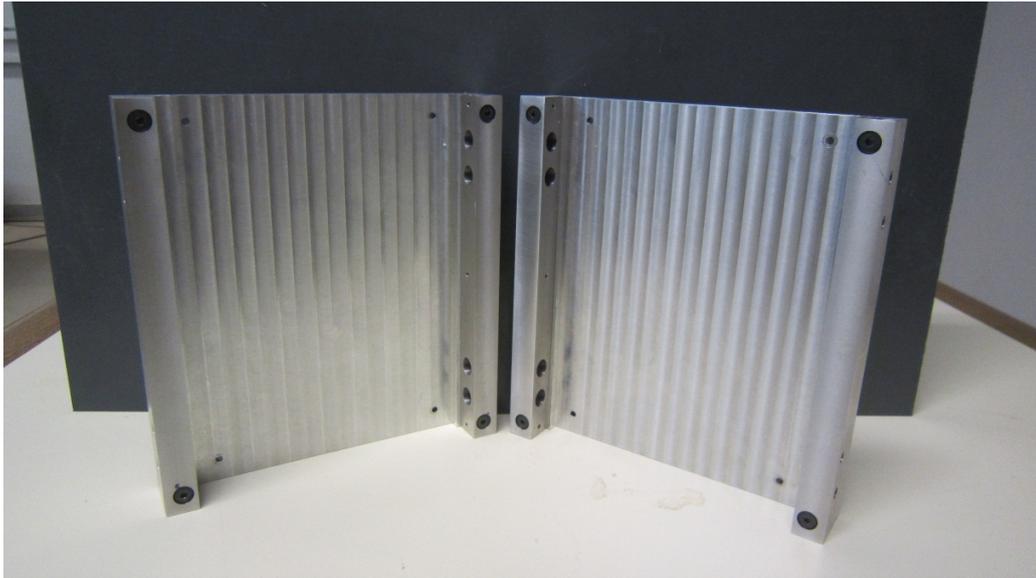
1. *“Determination of the magnetic susceptibility of labeled particles by video imaging”*, Sridhar Reddy, Lee R. Moore, Liping Sun, MaciejZborowski, Jeffrey J. Chalmers
2. *“On-chip micro-electromagnets for magnetic-based bio-molecules separation”*, Ramadan Qasem, Samper Victor, Poenar Daniel, Yu Chen
3. *“An integrated microfluidic platform for magnetic microbeads separation and confinement”*, Qasem Ramadan, Victor Samperb, Daniel P. Poenarc, Chen Yua
4. *“Overview of High-Throughput Screening”*, Michael Entzeroth, Horst Flotow, Peter Condron

Ευχαριστίες

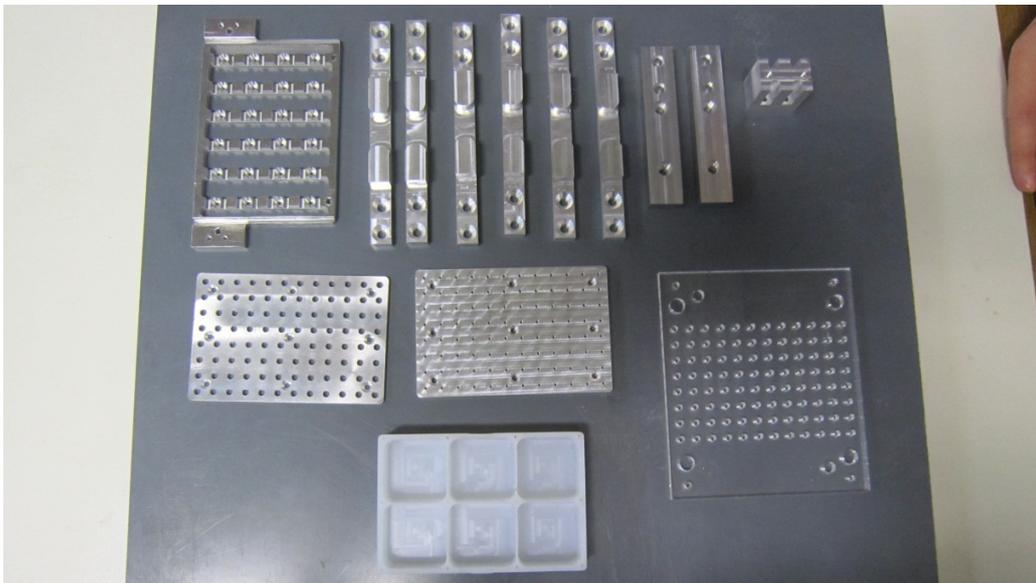
Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη συνδρομή πολλών φίλων. Θέλω να ευχαριστήσω την Τατιάνα Τζαναβάρα, τον Ανδρέα Ανδρουλακάκη, τον Γιάννη Κοντολάτη, τη Νατάσα Ανδρή, τον Χρήστο Αμπάτη, τον Χρήστο Λατανιώτη, τον Αλέξη Βάμβακα, τον Γιάννη και τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας FSAE, τον Γιάννη Νταβλιάκο, τον Μιχάλη Μακροδημήτρη, τον Δημήτρη Μεσσίνη, την Γεωργία Τσιμπούκη, τον Γιώργο Χαρίτο, τον Γιάννη Μελά και όλους όσους εργάζονται στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας και που ανέχτηκαν και ανέχονται την (προσωρινή) μετατροπή μέρους του σε μηχανουργείο, την Γιάννα Τσιτσίρη, τον Κο Δημήτρη Βενετσάνο, τον Κο Γεώργιο- Χριστόφορο Βοσνιάκο για τις συμβουλές του σε ζητήματα κατεργασιών και τον Κο Ευάγγελο Παπαδόπουλο για την παραχώρηση του εργαστηρίου του και των εργαλειομηχανών, τον Κο Θεόδωρο Κωστόπουλο και τον Κο Αθανάσιο Τριάντη για την παραχώρηση των εργαλειομηχανών, τον Σωτήρη από το εργαστήριο στροβιλομηχανών και όλους όσους ξεχνάω αυτή τη στιγμή και θα θυμηθώ όταν δεθεί ο τόμος.

Κυρίως θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου Κο Λεωνίδα Αλεξόπουλο για την εμπιστοσύνη του, την καθοδήγησή του και την πάρα πολύ καλή συνεργασία μας και την μητέρα μου Αντωνία-Αικατερίνη Καρουζάκη που με έχει στηρίξει πάρα πολύ.

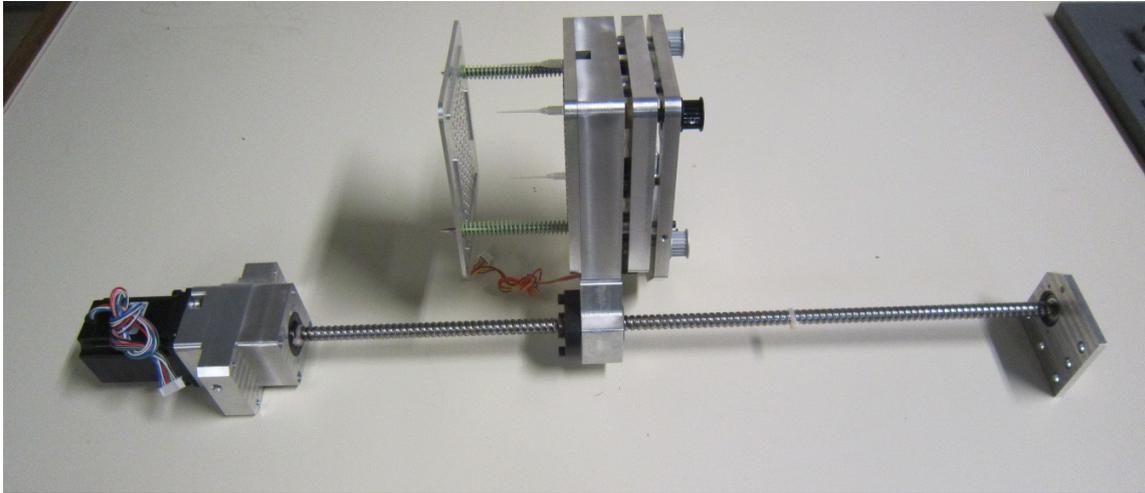
Παράρτημα - Φωτογραφίες



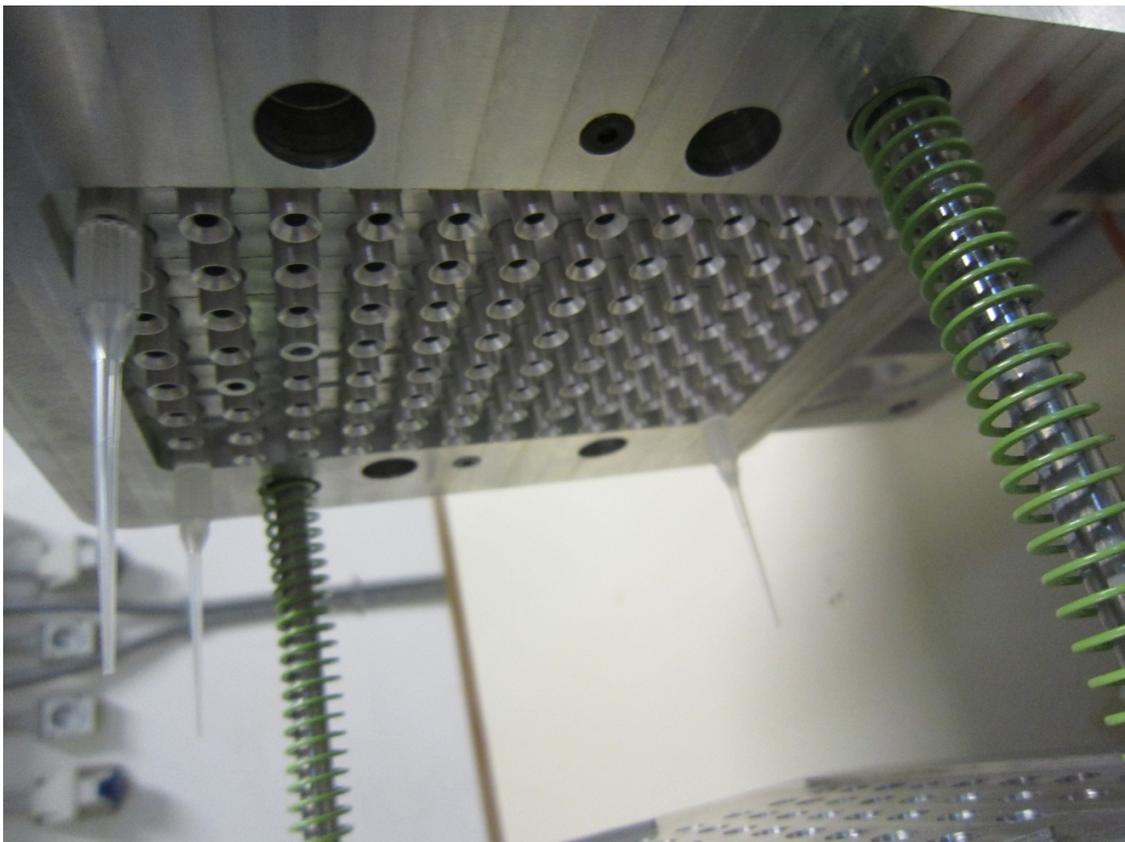
Κατασκευασμένα βαγονέτα σε φάση συναρμολόγησης



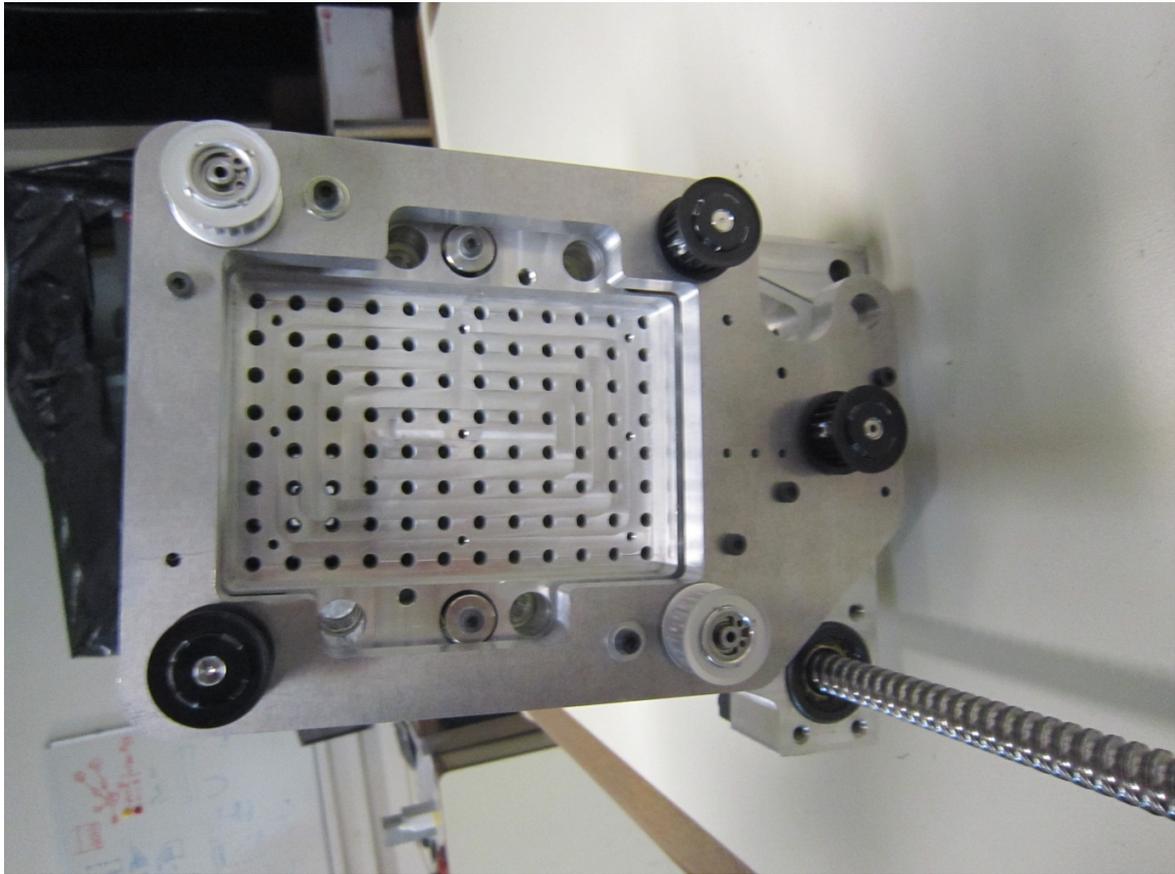
Κομμάτια από CNC φρέζα και κοπή laser



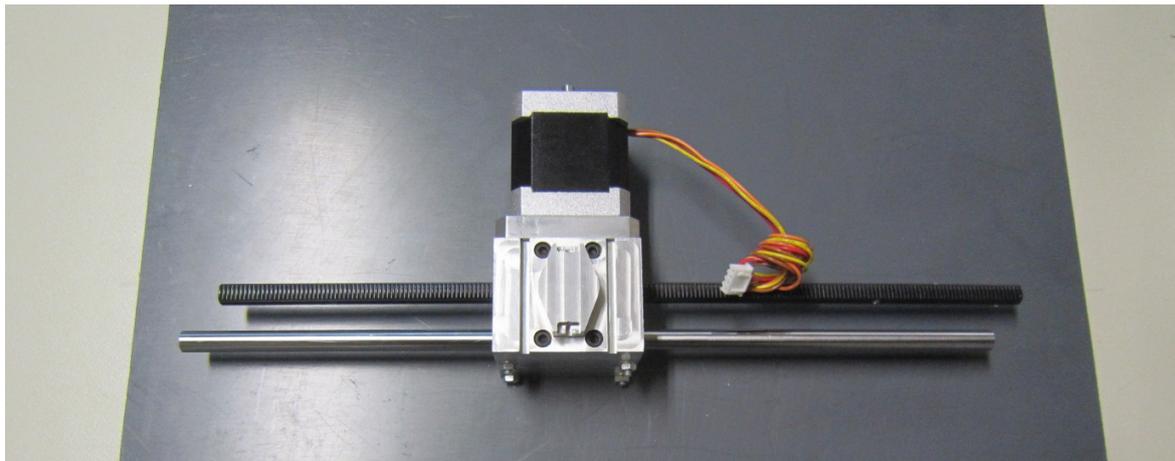
Το συναρμολόγημα της κεφαλής με σύστημα κίνησης Z



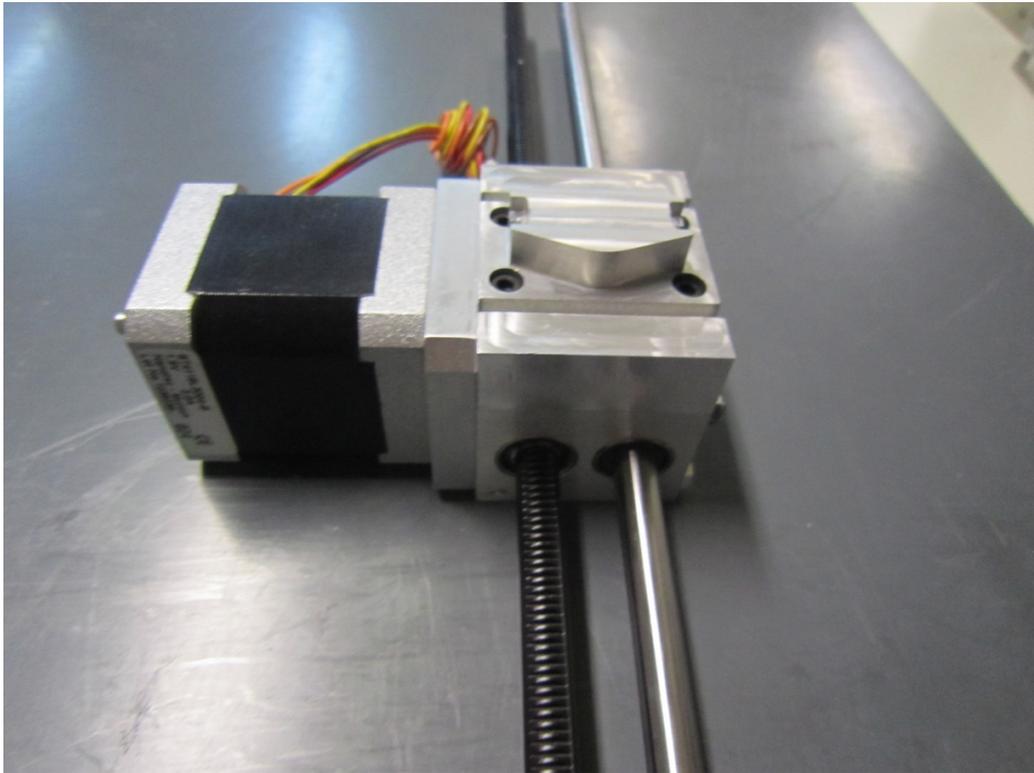
Η πλάκα υποδοχής των πιπετών και από πάνω της ο εξολκέας



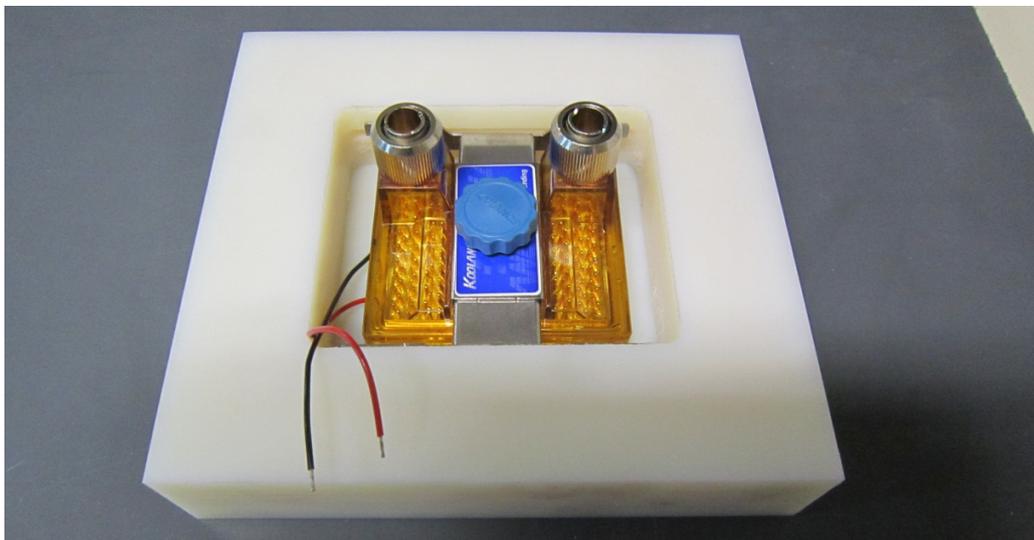
Το πάνω τμήμα της κεφαλής. Φαίνονται οι κώνοι υποδοχής των εμβόλων.



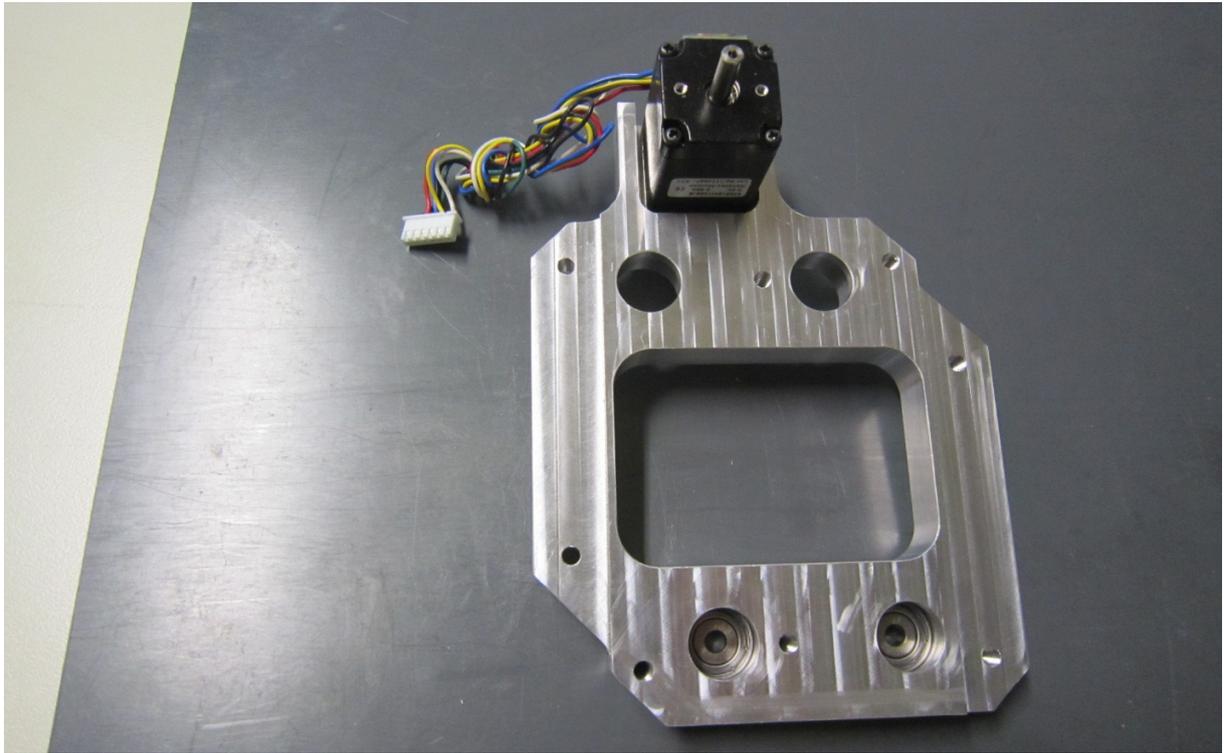
Ογκιρρετου συστήματος κίνησης κατά x.



Ογκομετρικού συστήματος κίνησης κατά x.



Το κάτω τμήμα της μονάδας ψύξης.



Το δομικό κομμάτι του συστήματος κλειδώματος των πλακών 96 πιπετών



Συναρμολόγηση!



Σκελετός της πλατφόρμας.