

**ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &  
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Π. Μ. Σ. ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ**

**Διπλωματική εργασία**

Αυτοματοποίηση γραμμής παραγωγής πλαστικού  
με χρήση PLC και SCADA

Όνοματεπώνυμο : Ιωακείμ Μαμάτας

Επιβλέπων : Απόστολος Τσαγκάρης

**Φεβρουάριος 2024**

## Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια ην οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένα Συστήματα Αυτοματοποίησης του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του ΔιΠαΕ Θεσσαλονίκης.

**Ιωακείμ Μαρμάτας**



**12 Φεβρουαρίου 2024**

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κύριο Απόστολο Τσαγκάρη, ο οποίος με την καθοδήγηση του και τις επισημάνσεις υπήρξε σημαντικός αρωγός για την διεκπεραίωση της..

Επίσης την εταιρία παραγωγής πλαστικών εξαρτημάτων PALAPLAST Α.Ε. για την παραχώρηση φωτογραφιών και πληροφοριών, προσδίδοντας τη ρεαλιστική προσέγγιση, στα θέματα που αναλύονται στην εργασία.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ, στη σύντροφο μου και στην οικογένεια μου για την στήριξη και την υπομονή που δείχνουν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, σε όλη μου τη σταδιοδρομία.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	6
1. Εισαγωγή στην παραγωγή πλαστικών σωλήνων με PLC και HMI.....	7
1.1 Τι είναι το πλαστικό - Πρώτες ύλες .....	8
1.1 Εισαγωγή στις γραμμές παραγωγής πλαστικών σωλήνων.....	11
1.2 Κατηγορίες Extruder .....	13
1.2.1 Εξωθητήρες μονού κοχλία – Single Screw Extruder.....	13
1.2.2 Εξωθητήρες διπλού κοχλία – Twin Screw Extruder .....	13
1.2.3 Εξωθητήρες πολλών στρωμάτων – Co – Extruder .....	14
2. Εξοπλισμός μηχανών γραμμής παραγωγής .....	15
2.1 Τμήματα Extruder .....	15
2.2 Δεξαμενή ψύξης και Vacuum .....	21
2.2.1 Εξοπλισμός δεξαμενών Vacuum .....	21
2.3 Μηχανή εξαγωγής σωλήνα Haul Off (Τραβηχτικό) .....	23
2.4 Μηχανή κοπής σωλήνα – Cutter .....	26
3. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός γραμμής extruder.....	29
3.1 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στους εξωθητήρες.....	29
3.1.1 Θερμοστοιχεία (Thermocouples) :.....	29
3.1.2 Αντιστάσεις θέρμανσης .....	31
3.1.3 Ελεγκτές θερμοκρασίας – Temperature Controllers.....	33
3.1.4 Αισθητήρες πίεσης τήγματος – Melt pressure sensors : .....	34
3.1.5 Solid State Relay (SSR):.....	38
3.1.6 Ανεμιστήρες ψύξης.....	39
3.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στις δεξαμενές Vacuum και ψύξης.....	40
3.2.1 Αισθητήρες μέτρησης στάθμης.....	41
3.2.2 Αισθητήρες μέτρησης Vacuum.....	42
3.2.3 Βάνες πλήρωσης και αφαίρεσης νερού .....	42
3.3 Haul Off και κοπτικό σωλήνα – Cutter .....	44
3.3.1 Διακόπτες προσεγγίσεως – τερματικοί διακόπτες .....	44
3.3.2 Περιστροφικοί κωδικοποιητές ή παλμογεννήτριες – Rotary encoder ...	46
3.3.3 Πνευματικές βαλβίδες και έμβολα.....	47
3.4 Κινητήρες και Drives .....	49
3.4.1 Κινητήρες και drives AC .....	49

3.4.2	Κινητήρες και drives DC .....	51
3.4.3	Servo motors και servo drives.....	52
4.	Η χρήση των PLC και HMI στην βιομηχανία .....	54
4.1	Εισαγωγή.....	54
4.2	Κατασκευαστές PLC & HMI .....	55
4.3	Το PLC που χρησιμοποιήθηκε .....	57
4.4	Περιγραφή της εφαρμογής .....	63
4.4.1	Οθόνη εποπτείας extruder.....	65
4.4.2	Οθόνη εποπτείας vacuum – ψύξης .....	69
4.4.3	Οθόνη Haul Off και κοπτικού.....	71
4.4.4	Οθόνη Alarms .....	73
4.4.5	Οθόνη ρυθμίσεων .....	74
5.	Συμπεράσματα .....	75
6.	Βιβλιογραφία .....	76

## Περίληψη

Αυτή η διπλωματική εργασία εμβαθύνει στις γραμμές παραγωγής πλαστικών σωλήνων που ενσωματώνουν τις τεχνολογίες προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) και συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA). Η εστίαση έγκειται στην πλήρη κατανόηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας βασικών τμημάτων που απαρτίζουν μια τέτοια γραμμή, όπως ο εξωθητήρας, η δεξαμενή ψύξης κενού, η μονάδα εξαγωγής και το κοπτικό.

Μέσω της περιγραφής του εξοπλισμού παρέχεται μια βαθιά κατανόηση της λειτουργικότητας της γραμμής παραγωγής. Αποσαφηνίζεται η διαδικασία εξώθησης, ο κρίσιμος ρόλος των συστημάτων κενού στη διασφάλιση της ποιότητας, η ακρίβεια του μηχανισμού εξαγωγής και η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας κοπής. Αναλύοντας σχολαστικά κάθε στάδιο, αυτή η εργασία συμβάλλει στην απόκτηση γνώσεων γύρω από τη σύγχρονη παραγωγή πλαστικών σωλήνων.

Στο κεφάλαιο 3 ερευνάται η ηλεκτρική υποδομή, καλύπτοντας μια σειρά από αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλα κρίσιμα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία των μηχανών. Αυτή η λεπτομερής ανάλυση όχι μόνο περιγράφει τις τεχνικές προδιαγραφές αλλά εμβαθύνει και στους ρόλους τους με στόχο τη διατήρηση της σταθερότητας της διαδικασίας και της ποιότητας του προϊόντος.

Κλείνοντας στο κεφάλαιο 4, περιγράφεται όλο το υλικό hardware PLC και HMI που απαιτείται για την πλήρη αυτοματοποίηση μιας τέτοιας γραμμής. Μέσω της προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής, δίνεται η δυνατότητα από ένα εικονικό περιβάλλον για τη μελέτη συμπεριφοράς και τη βελτιστοποίηση του συστήματος. Αυτή η προσομοίωση χρησιμεύει ως ένα εργαλείο για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων, την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων και τη βελτίωση των λειτουργικών παραμέτρων.

## **1. Εισαγωγή στην παραγωγή πλαστικών σωλήνων με PLC και HMI**

Η παραγωγή πλαστικών με extruder ή αλλιώς εξωθητήρες αποτελεί ένα καίριο κομμάτι του σύγχρονου βιομηχανικού τομέα, καθώς προσφέρει αποτελεσματικές λύσεις για την κατασκευή ποικίλων πλαστικών προϊόντων. Ο εξωθητήρας, αναδεικνύεται ως σημαντικό εργαλείο στη διαδικασία αυτή, επιτρέποντας τον προηγμένο έλεγχο του σχήματος και των χαρακτηριστικών των πλαστικών υλικών.

Στον τομέα της παραγωγής σωλήνων, οι γραμμές παραγωγής αυτοματοποιούνται με τη χρήση συστημάτων PLC (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής) και SCADA, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια και απόδοση. Η αυτοματοποίηση αυτή διευκολύνει τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα, την ποιότητα και την ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων.

Οι πλαστικοί σωλήνες έχουν γίνει ένα απαραίτητο εξάρτημα σε διάφορες εφαρμογές, προσφέροντας ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές λύσεις για συστήματα μεταφοράς και διανομής νερού. Οι κατασκευαστές στρέφονται σε προηγμένες τεχνολογίες κατασκευής που αυτοματοποιούν τις εργασίες για να καλύψουν τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για πλαστικούς σωλήνες υψηλής ποιότητας. Τα PLC, οι οθόνες (HMI) και τα συστήματα SCADA, έχουν αναδειχθεί ως απαραίτητα εργαλεία για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και της ασφάλειας.

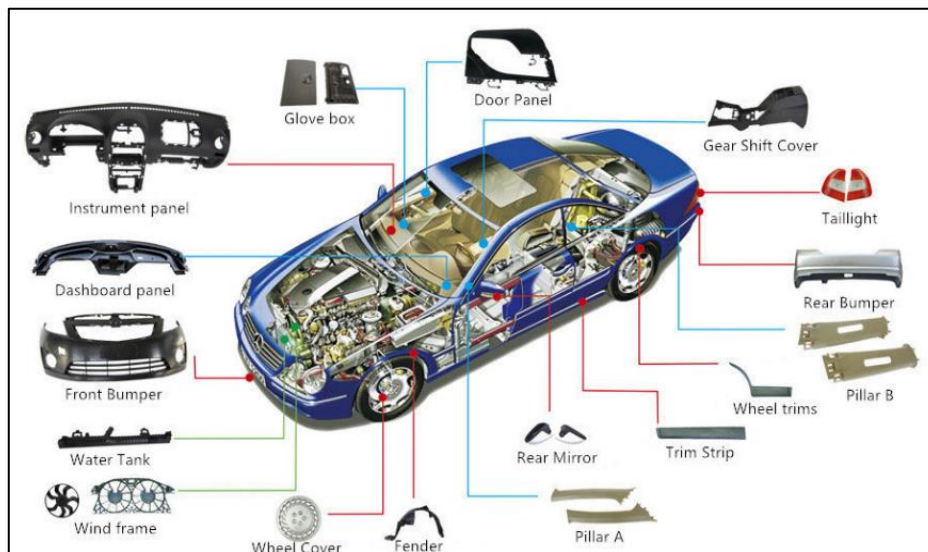
Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, εξετάζεται η σημασία της εφαρμογής της τεχνολογίας αυτοματισμού στην παραγωγή πλαστικών σωλήνων, εστιάζοντας στη παραγωγή πλαστικού σωλήνα και την ολοκληρωμένη χρήση συστημάτων PLC και HMI. Μέσα από αυτήν τη μελέτη, αναλύουμε τις προκλήσεις, τα οφέλη και τις τεχνολογικές καινοτομίες που συμβάλλουν στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ποιότητας στην παραγωγή πλαστικών σωλήνων.

## 1.1 Τι είναι το πλαστικό - Πρώτες ύλες

Ο όρος πλαστικό είναι μια γενική ορολογία για ένα μεγάλο εύρος προϊόντων που χρησιμοποιούνται και αναπτύσσονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που καλύπτει τομείς όπως η συσκευασία, η δόμηση, ιατρικά αναλώσιμα, υφάσματα, παιχνίδια, αυτοκινητοβιομηχανία κ.ά.



Εικόνα 1-1 Πλαστικά μέρη και εξαρτήματα [Πηγή : (<http://master-batches.com/1-plastic-pipe-fittings-color-masterbatch.html>, n.d.) ]



Εικόνα 1-2 Η χρήση των πλαστικών στα αυτοκίνητα. Πηγή : (<https://www.hollyplasticparts.com/solution/automotive-plastic-injection-molding>, n.d.)

Με τον όρο πλαστικό, εννοούμε εκείνο το υλικό που μπορεί να μορφοποιηθεί και δηλώνει μια μεταβλητότητα κατά την κατεργασία, πράγμα που επιτρέπει την παραγωγή με κατεργασίες έγχυσης σε καλούπι (injection) και εξώθησης (extrusion), σε μια πληθώρα σχημάτων και εξαρτημάτων (φιλμ, ίνες, πλαίσια, σωλήνες, μπουκάλια, κιβώτια, εξαρτήματα και άλλες μορφές). Τα πλαστικά διευκολύνουν την καθημερινότητά μας δημιουργώντας αναλώσιμα, οικονομικά και ανακυκλώσιμα προϊόντα. Πρόκειται για οργανικά υλικά με κύριες πρώτες ύλες την κυτταρίνη, το φυσικό αέριο, άλατα και το μαζούτ.



Τα πλαστικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- τα θερμοπλαστικά και
- τα θερμοσκληρυνόμενα.

Τα θερμοπλαστικά μορφοποιούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας μιας ποσότητας πλαστικού σε θερμοκρασία μεγαλύτερης από τη θερμοκρασία τήξης και την προώθηση τους σε μία γραμμή παραγωγής όπου γίνεται η μορφοποίηση και η ψύξη, ώστε να πάρουν την τελική μορφή τους μέσω της διαδικασίας πλαστικοποίησης. Το τελικό προϊόν με θέρμανση και πάλι πάνω από το σημείου τήξης του κάθε υλικού, μπορεί να επαναμορφοποιηθεί εκ νέου (ανακύκλωση).

Τα θερμοσκληρυνόμενα αντιθέτως μορφοποιούνται αρχικά μια φορά μετά από τήξη της αρχικής ποσότητας πρώτης ύλης και μόλις στερεοποιηθούν και γίνει η πλαστικοποίηση μέσω της διαδικασίας παραγωγής, παίρνουν την τελική μορφή η οποία δεν μπορεί να τροποποιηθεί με επαναθέρμανση.

Μερικά παραδείγματα θερμοπλαστικών:

- ABS (Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο)
- PC (Πολυκαρβονικό),
- PE (Πολυαιθυλένιο)
- PET (Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο)
- PVC (Πολυβίνυλοχλωριδίο)
- PMMA (Πολυμεθακρυλικό μεθύλιο)
- PP (Πολυπροπυλένιο),
- PS (Πολυστυρένιο).

Μερικά παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων:

- EP (εποξικό)
- PUR(Πολυουρεθάνη)
- PTFE (Πολυτετραφθοραιθυλένιο)

Η ποιότητα των πλαστικών συχνά ενισχύεται με τη χρήση πρόσθετων που βελτιώνουν τις φυσικές τους ιδιότητες (μονωτικά ή αγώγιμα, επιβραδυντές φλόγας). Βασική, αλλά όχι αναγκαία διαδικασία, είναι ο χρωματισμός του πλαστικού που κατά κύριο λόγο γίνεται με τη χρήση masterbatch (παρθένο υλικό ή αλλιώς φορέας, το οποίο είναι βαμμένο με σκόνη και κοκκοποιημένο) για καλύτερη ομογενοποίηση στο τήγμα. Επιπλέον η χρήση διευκολυντών ροής, αποσμητικών, UV, αφυγραντικών, αντιοξειδωτικών μέσων και άλλων εξειδικευμένων πρόσθετων ενισχύει την αντοχή τους στη φθορά και τη φωτογήρανση αλλά διευκολύνει και τη διαδικασία παραγωγής τους.



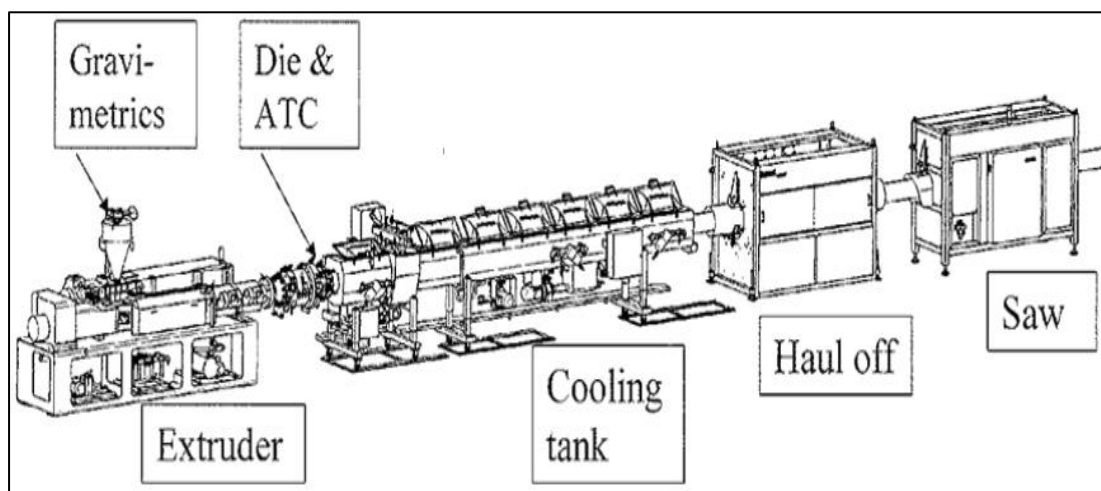
Εικόνα 1-3 Masterbatch για το χρωματισμό των πλαστικών. Πηγή : (<https://purepolymers.net>, n.d.)

Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία η γραμμή παραγωγής στην οποία γίνεται αναφορά, παράγει σωλήνες από πολυαιθυλένιο, όπου ανάλογα με τον τύπο του πολυαιθυλενίου, προκύπτουν και τα τελικά προϊόντα με τις ανάλογες ιδιότητες και εφαρμογές. Για παράδειγμα υπάρχει πολυαιθυλένιο χαμηλής και υψηλής πυκνότητας (LDPE, HDPE) που χρησιμοποιούνται σε έργα ύδρευσης – άρδευσης, ενώ άλλοι σωλήνες παράγονται με άλλο τύπο πολυαιθυλενίου που είναι ανθεκτικό σε υψηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες και βρίσκουν εφαρμογή σε δίκτυα σωληνώσεων ενδοδαπέδιας θέρμανσης, συστήματα θέρμανσης – ψύξης (κλιματισμού) καθώς και σε εγκαταστάσεις γεωθερμίας.

## 1.1 Εισαγωγή στις γραμμές παραγωγής πλαστικών σωλήνων

Η παραγωγή πλαστικών σωλήνων είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων μηχανημάτων και την εφαρμογή διαφόρων σταδίων παραγωγής. Η παραγωγή τους στηρίζεται στην εξώθηση που είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία παραγωγής πλαστικών γενικότερα. Κεντρικό στοιχείο για την επιτυχία αυτής της διαδικασίας είναι η ελεγχόμενη εφαρμογή θερμότητας για την τήξη και τη διαμόρφωση του πλαστικού υλικού.

Έπειτα, το λιωμένο υλικό και μέχρι να πάρει την τελική του μορφή περνάει από διάφορα άλλα στάδια και μηχανήματα. Συνοπτικά, τα στάδια που συναντάμε σε μια γραμμή παραγωγής (εικόνα 1-4) είναι τα εξής :



Εικόνα 1-4 Γραμμή παραγωγής πλαστικού σωλήνα

- Τροφοδοσία πρώτης ύλης (Gravimetrics)  
Η πρώτη ύλη, αφού αναμειχθεί κατάλληλα, ανάλογα με τις προδιαγραφές του τελικού προϊόντος εισέρχεται στη χοάνη τροφοδοσίας (Hopper) που είναι τοποθετημένη στο πάνω μέρος του extruder. Παράλληλα, μέσω του βαρυμετρικού συστήματος γίνεται ακριβής μέτρηση και έλεγχος της ροής διαφόρων πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία παραγωγής πλαστικών σωλήνων. Για αυτή τη μέτρηση χρησιμοποιούνται κυψέλες φορτίου και ζυγιστικά ακριβείας. Το βαρυμετρικό σύστημα διασφαλίζει τη διατήρηση της σωστής αναλογίας υλικών, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων και ποιότητας των πλαστικών σωλήνων.
- Εξωθητήρας και κεφαλή (Extruder και Die)  
Η πρώτη ύλη εισέρχεται στο extruder το οποίο αποτελείται από έναν θερμαινόμενο κύλινδρο, έναν κοχλία και από τις ζώνες θέρμανσης. Το υλικό μεταφέρεται μέσω του κοχλία κατά μήκος του κυλίνδρου, όπου λόγω της τριβής και των συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας που επικρατούν, το πλαστικό λιώνει και αποκτά σταθερή και ομοιογενή σύνθεση σε μορφή τήγματος. Έπειτα οδηγείται σε μια μήτρα. Η μήτρα έχει άνοιγμα με το επιθυμητό σχήμα διατομής του τελικού προϊόντος. Το υλικό πιέζεται μέσα από αυτό το άνοιγμα και η

μήτρα το διαμορφώνει στην επιθυμητή μορφή όπου όταν εξέρχεται από αυτή, έχει γίνει ο αρχικός σχηματισμός του σωλήνα.

- Διαμόρφωση και ψύξη υπό κενό (Cooling tank)  
Μετά τη μήτρα και λίγο πριν εισέρθει στη δεξαμενή κενού, ο σωλήνας περνάει από τους μηχανισμούς διαμόρφωσης ώστε να διασφαλιστεί ότι θα διατηρηθεί το σχήμα και το μέγεθός του. Λόγω της άμεσης ψύξης και των συνθηκών κενού που επικρατούν στις δεξαμενές vacuum, ο θερμός πλαστικός σωλήνας προσκολλάται στους μηχανισμούς διαμόρφωσης και διατηρεί το τελικό σχήμα και διαστάσεις καθώς ψύχεται γρήγορα.
- Απομάκρυνση σωλήνα – “Τραβηχτικό” (Haul Off)  
Αφού ο σωλήνας πλέον έχει πάρει την τελική του μορφή, εισέρχεται στην μονάδα απομάκρυνσης. Το σύστημα Haul Off, σε συντονισμό με τη διαδικασία εξώθησης, ρυθμίζει την ταχύτητα με την οποία έλκεται ο σωλήνας από τη μήτρα. Αυτή η ταχύτητα προσαρμόζεται με βάση την ανάδραση σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνεται από το σύστημα ζύγισης, διασφαλίζοντας ότι ο σωλήνας πληροί το επιθυμητό βάρος και τις διαστάσεις.
- Κοπή σωλήνα (Cutter – Saw)  
Το τελευταίο στάδιο είναι η κοπή του σωλήνα. Η κοπή είναι ιδιαίτερα σημαντική ειδικότερα σε μεγάλες διατομές σωλήνων καθώς θα πρέπει να γίνεται on the fly και τα κινούμενα μέρη του κοπτικού, πρέπει να συγχρονίζονται με την ταχύτητα γραμμής του σωλήνα. Ανάλογα με την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί ο σωλήνας, η κοπή του μπορεί να είναι είτε σε βέργες (π.χ. 6 μέτρα) είτε σε κουλούρες για παράδειγμα των 200 μέτρων.



Εικόνα 1-5 Έτοιμοι πλαστικοί σωλήνες

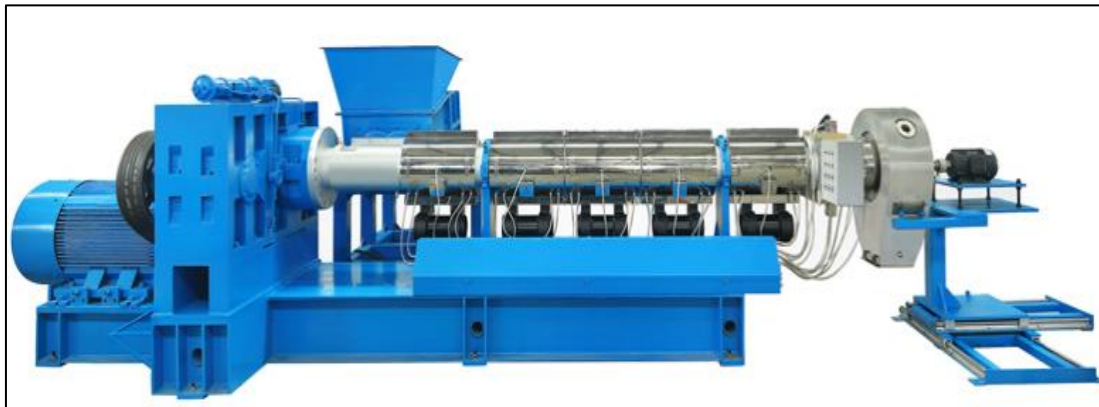
Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται μια εκτενέστερη ανάλυση και περιγραφή όλων των παραπάνω διεργασιών και εξοπλισμού.

## 1.2 Κατηγορίες Extruder

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του τελικού προϊόντος υπάρχουν διάφοροι τύποι εξωθητήρων, οι οποίοι διαφέρουν ως προς την κατασκευή. Έτσι διακρίνουμε τους :

### 1.2.1 Εξωθητήρες μονού κοχλία – Single Screw Extruder

Οι εξωθητήρες μονού κοχλία είναι οι πιο συνηθισμένοι στην παραγωγή πλαστικών σωλήνων, διότι καλύπτουν μια μεγάλη ποικιλία από σωλήνες διαφορετικών μεγεθών και διαστάσεων.



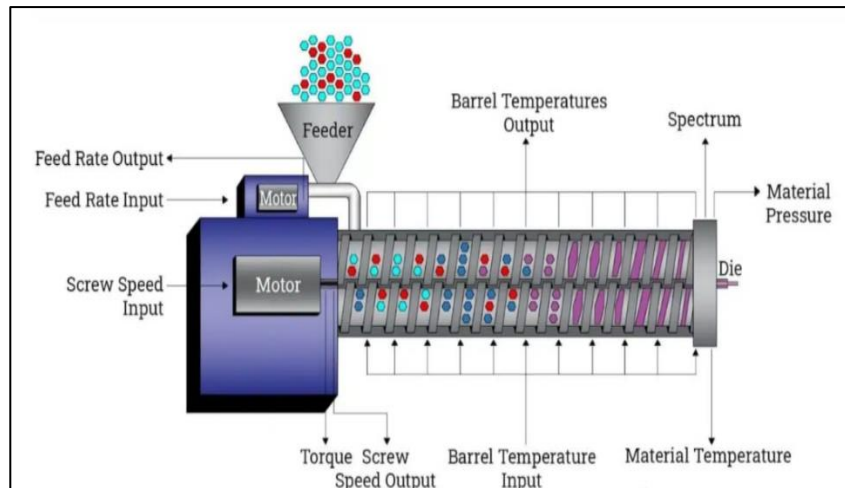
Εικόνα 1-6 Extruder μονού κοχλία [Πηγή : (<https://www.useon.com/machine/single-screw-extruder/>, n.d.)]

Ουσιαστικά, αποτελούνται από έναν μόνο κοχλία, ο οποίος περιστρέφεται μέσα σ' ένα θερμαινόμενο “θάλαμο” που στην κατασκευαστική ορολογία λέγεται *Extruder barrel* ή *Extruder cylinder*. Η πλαστική πρώτη ύλη, τροφοδοτείται εντός του θερμαινόμενου κυλίνδρου (barrel) και κατά την περιστροφή του κοχλία, το ζεστό και λιωμένο υλικό, προωθείται κατά μήκος του θαλάμου μέχρι να φτάσει στην κεφαλή.

### 1.2.2 Εξωθητήρες διπλού κοχλία – Twin Screw Extruder

Σε αυτήν την περίπτωση συναντάμε δύο περιστρεφόμενους κοχλίες μέσα στο θάλαμο barrel, όπου η φορά περιστροφής τους είναι αντίθετη η μία της άλλης. Με αυτόν τον τρόπο η ανάμειξη, η ομογενοποίηση και η θέρμανση των υλικών εντός του θαλάμου είναι αποτελεσματικότερη. Ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ότι υπάρχει μια συνεχόμενη ροή του υλικού προς μία κατεύθυνση για την τελική διαμόρφωση του υλικού.

Οι συγκεκριμένοι εξωθητήρες, έχουν την ικανότητα να διαχειρίζονται ένα πολύ μεγάλο φάσμα πρώτων υλών, από PVC μέχρι και πολυαιθυλένιο, παρέχοντας καλύτερη ακρίβεια ως προς τη θερμοκρασία, την πίεση και την τροφοδοσία των υλικών, γεγονός που οδηγεί στην παραγωγή απαιτητικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών.



Εικόνα 1-7 Extruder διπλού κοχλίας [Πηγή : <https://engineeringlearn.com/types-of-extruders-application-working-principle/>]

### 1.2.3 Εξωθητήρες πολλών στρωμάτων – Co – Extruder

Στην περίπτωση των πολυστρωματικών εξωθητήρων το τελικό προϊόν, όπως προδίδει και η λέξη, αποτελείται από διαφορετικά στρώματα, όπου κάθε ένα στρώμα, προσδίδει διαφορετικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Ουσιαστικά, μια τέτοια γραμμή παραγωγής αποτελείται από μικρότερα Co - Extruders (εικόνα 1-8) τα όποια είναι συνδεδεμένα κατάλληλα με μηχανικό τρόπο ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν.



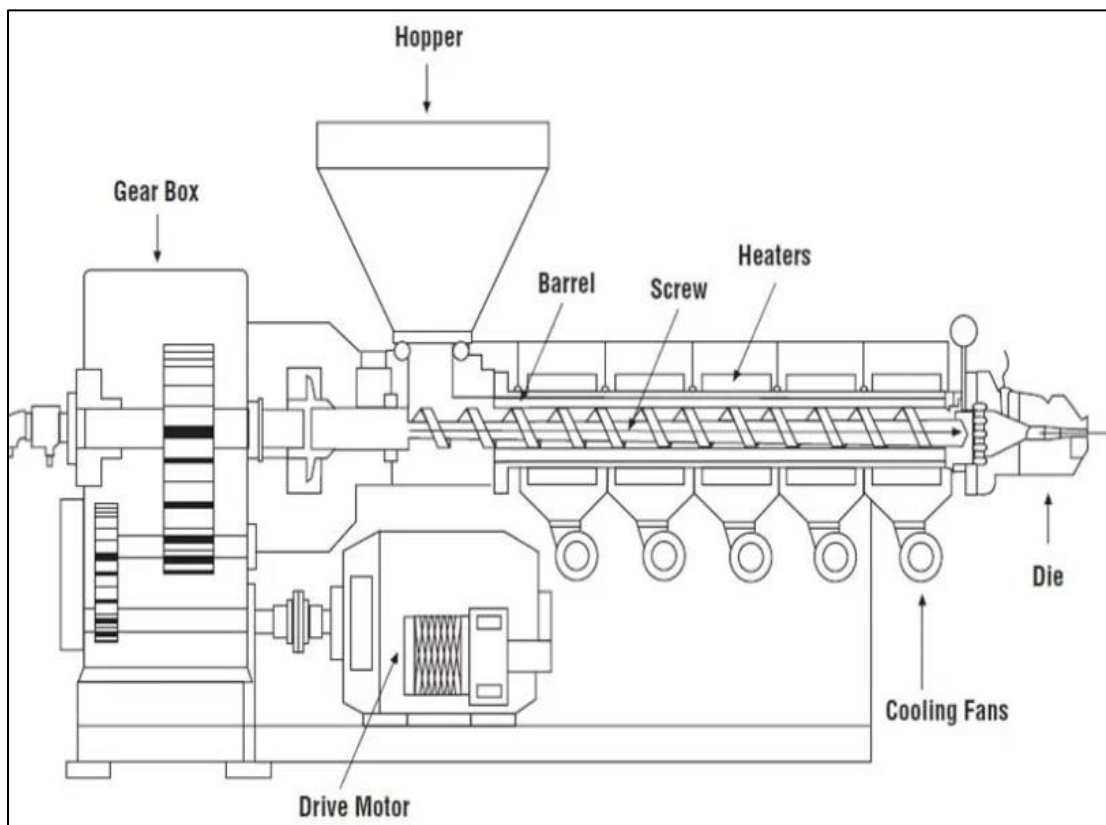
Εικόνα 1-8 Πολυστρωματικό Extruder [Πηγή : <https://extrudex.de/en/multilayer-extrusion-lines/>]

Έτσι κάθε ένα στρώμα, σε αυτήν την κατηγορία, προσδίδει διαφορετικές ιδιότητες στο τελικό προϊόν όπως για παράδειγμα ένα εξωτερικό στρώμα UV, ένα μεσαίο με ενισχυμένη αντοχή και ένα εσωτερικό με ενισχυμένη χημική σύσταση. Θα μπορούσε επίσης να γίνει προσθήκη χρώματος στο πλαϊνό του σωλήνα ως διακριτικό (ρίγα), ώστε να ξεχωρίζει ότι προορίζεται για συγκεκριμένη χρήση.

## 2. Εξοπλισμός μηχανών γραμμής παραγωγής

### 2.1 Τμήματα Extruder

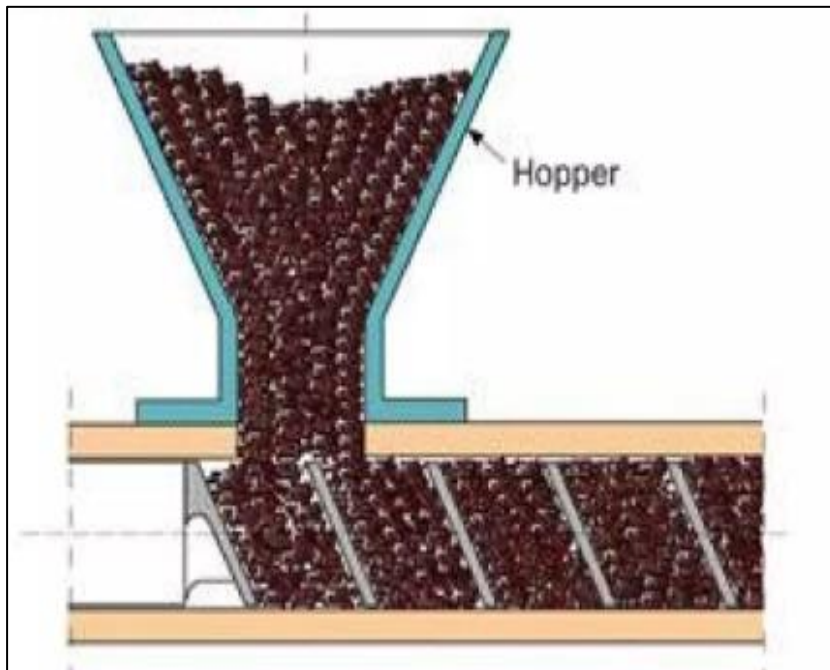
Τα δομικά στοιχεία ενός extruder για να λειτουργήσει, ανεξάρτητα από το μέγεθος και τον τύπο του, είναι τα ίδια σε κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα και όπως φαίνεται και στην εικόνα 2-1 μια μηχανή extruder αποτελείται από τα εξής τμήματα :



Εικόνα 2-1 Δομικά στοιχεία extruder. Πηγή : [7]

- Τη χοάνη τροφοδοσίας πρώτης ύλης (hopper)

Το hopper αποτελεί ουσιαστικά την αποθήκη της πρώτης ύλης. Από τη μία πλευρά είναι ανοιχτό ώστε να εισέρχεται το πλαστικό στην αρχική του μορφή και από την άλλη ο “λαιμός” της χοάνης βρίσκεται στη είσοδο του barrel και το υλικό εισέρχεται στο αρχικό μέρος του κοχλία, το οποίο έχει και το μεγαλύτερο βάθος για να εισέρχεται μεγαλύτερη ποσότητα υλικού. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι θα υπάρχει συνεχώς υλικό εντός του extruder και μέχρι το προϊόν να φτάσει στην έξοδο του κοχλία, να είναι ένα ομοιογενές τήγμα.



Εικόνα 2-2 Hopper [Πηγή: (<https://www.slideshare.net/ChannaKarunathilaka/hoppers>, n.d.)]

- Τον φούρνο ή αλλιώς θερμαινόμενο κύλινδρο (barrel)

Ανεξάρτητα από τις διαστάσεις, κάθε extruder αποτελείται από το θερμαντικό κύλινδρο από τις ζώνες θέρμανσης και τον κοχλία (εικόνα 2-1). Ο αριθμός των ζωνών εξαρτάται από το μέγεθος του εξωθητήρα, που κυμαίνεται από τρεις έως δώδεκα και η κάθε μία ελέγχεται ανεξάρτητα. Κάθε μία ζώνη αποτελείται από το θερμοστοιχείο που μετράει τη τρέχουσα θερμοκρασία, την αντίσταση που ζεσταίνει τη ζώνη και τον ανεμιστήρα ψύξης. Ο σκοπός αυτών των τριών είναι να διατηρούν τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα.

Οι σταδιακές ρυθμίσεις θερμοκρασίας, ξεκινώντας από χαμηλές τιμές, βοηθούν στην πρόληψη της πρόωρης τήξης και διασφαλίζουν μια ελεγχόμενη διαδικασία εξώθησης. Ο ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας είναι απαραίτητος για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων του υλικού και την πρόληψη προβλημάτων όπως η ανομοιόμορφη τήξη ή υποβάθμιση του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 2-3 Ζώνες θέρμανσης extruder



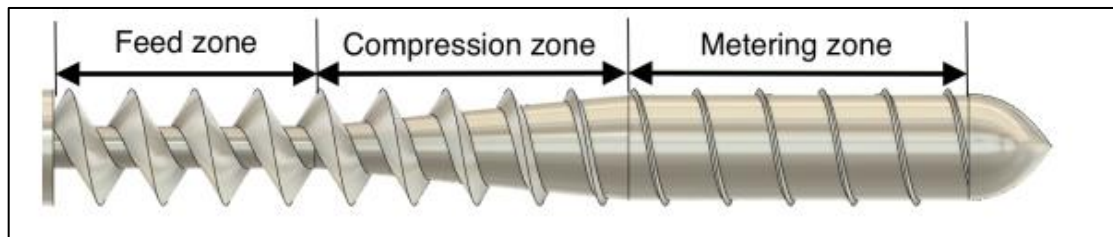
- Τον κοχλία

Ο κοχλίας αποτελεί ένα ουσιαστικό κομμάτι για την αποτελεσματική μεταφορά, θέρμανση, τήξη και ανάμειξη υλικού, για αυτό και ο σχεδιασμός του είναι πολύ σχολαστικός. Προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, που χρησιμοποιούν δεδομένα προσομοίωσης συμπεριφοράς των υλικών, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του κοχλίου. Οι αλλαγές στη σχεδίαση του κοχλίου θα πρέπει να έχουν σαφείς στόχους, με δοκιμές να προτείνονται πριν από την εφαρμογή.

Οι προδιαγραφές για την προμήθεια ενός κοχλίου περιλαμβάνουν ζητήματα όπως ο τύπος πολυμερούς που θα επεξεργασθεί, οι απαιτήσεις απόδοσης, η διάμετρος, ο λόγος συμπίεσης, το βάθος και οι απαιτήσεις ψύξης. Η σωστή ευθυγράμμιση του κοχλίου και του φούρνου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η κακή ευθυγράμμιση μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή ζημιά κατά τη λειτουργία.

Συνοπτικά, ο συνδυασμός ενός καλά σχεδιασμένου κοχλίου και ενός ανθεκτικού κυλίνδρου, με κατάλληλα συστήματα ψύξης και θέρμανσης, είναι απαραίτητος για την επίτευξη ομοιόμορφης και ελεγχόμενης εξώθησης σε εξωθητήρες μονού κοχλίου που χρησιμοποιούνται σε γραμμές παραγωγής πλαστικών σωλήνων.

Ο κοχλίας γενικώς αποτελείται από τρεις ζώνες, τη ζώνη τροφοδοσίας (feed zone), συμπίεσης (compression ή transition) και μέτρησης (metering).



Εικόνα 2-4 Ζώνες κοχλίου. Πηγή:[2]

- Feed zone:

Η ζώνη τροφοδοσίας είναι το αρχικό τμήμα του εξωθητήρα όπου οι πρώτες ύλες, συνήθως με τη μορφή κόκκων ή σφαιριδίων, εισάγονται στον εξωθητήρα. Ο πρωταρχικός σκοπός της ζώνης τροφοδοσίας είναι να μεταφέρει και να συμπιέζει την πρώτη ύλη έτσι ώστε να μπορεί να υποστεί αποτελεσματική επεξεργασία στις επόμενες ζώνες. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, το βάθος σε αυτό το σημείο είναι και το μεγαλύτερο, σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα του κοχλίου, συνεπώς εισέρχεται και ωθείται η μεγαλύτερη ποσότητα υλικού από τη χοάνη στα υπόλοιπα στάδια.

- Compression – Transition zone:

Η ζώνη συμπίεσης ακολουθεί τη ζώνη τροφοδοσίας και είναι υπεύθυνη για την περαιτέρω συμπίεση και θέρμανση του υλικού. Καθώς το υλικό κινείται κατά μήκος του φούρνου, το βήμα του κοχλίου μειώνεται, οδηγώντας σε αυξημένη πίεση και θερμοκρασία. Η ζώνη συμπίεσης παίζει καθοριστικό ρόλο στην προετοιμασία του

υλικού για τήξη στις επόμενες ζώνες και στην εξασφάλιση ομοιόμορφης θερμοκρασίας τήξης.

- Metering zone:

Στη ζώνη μέτρησης το λιωμένο υλικό ομογενοποιείται και ο ρυθμός ροής του, ελέγχεται πριν εξέλθει από το extruder. Σε αυτή τη ζώνη, η δομή του κοχλίου προσαρμόζεται για να παρέχει σταθερή ροή και πίεση, διασφαλίζοντας ότι το υλικό έχει ομοιόμορφη σύνθεση. Η γεωμετρία του κοχλίου, συμπεριλαμβανομένου του βήματος, του βάθους και του λόγου συμπίεσης, είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό της απόδοσης της ζώνης μέτρησης.

Το μέγεθος κάθε ζώνης εξαρτάται από τη συμπεριφορά που έχουν τα πολυμερή υλικά όταν λιώνουν. Για παράδειγμα αν το υλικό δεν λιώνει εύκολα τότε το feed zone πρέπει να είναι μεγαλύτερο ενώ αν έχει χαμηλό ιξώδες τότε θα πρέπει ο κοχλίας να έχει μικρό feed zone και μεγαλύτερο compression zone.

Το μέγεθος κάθε ζώνης εξαρτάται σημαντικά από την αντίδραση των πολυμερών υλικών κατά τη διαδικασία της τήξης. Συγκεκριμένα, η ευκολία τήξης ενός υλικού διαμορφώνει το μέγεθος της περιοχής τροφοδοσίας (feed zone). Σε περιπτώσεις όπου το υλικό αντιδρά δυσκολότερα στην τήξη, απαιτείται μια μεγαλύτερη περιοχή τροφοδοσίας. Αντίθετα, όταν το υλικό έχει χαμηλό ιξώδες, είναι αναγκαίο να διαμορφωθεί ένας κοχλίας με μικρή περιοχή τροφοδοσίας και μεγαλύτερη περιοχή συμπίεσης.

- Το σύστημα μετάδοσης κίνησης του κοχλίου

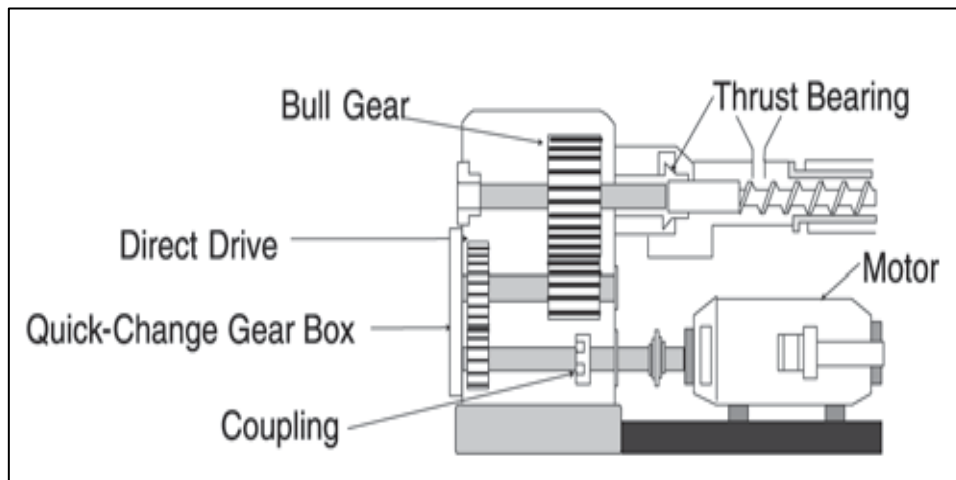
Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν κινητήρα και από σύνολο μηχανολογικών εξαρτημάτων, αποτελούμενο από μειωτήρες, τροχαλίες, ιμάντες, ρουλεμάν κ.λπ. που όλα μαζί έχουν σκοπό να μετατρέψουν την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σε στροφές του κοχλίου με σταθερή ταχύτητα και τη μέγιστη ροπή.

Κατά την κατασκευή των extruder, η χρήση των DC κινητήρων είναι και η επικρατέστερη ειδικότερα στα μεγάλα μεγέθους. Ο κυριότερος λόγος είναι, ότι οι DC κινητήρες παρέχουν μεγαλύτερη ροπή στις χαμηλότερες ταχύτητες. Η ροπή, ειδικότερα στην εξώθηση, είναι ένα κρίσιμο μέγεθος διότι μας εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του κινητήρα στις διακυμάνσεις του ιξώδους του υλικού, χωρίς να μειωθεί η απόδοσή του.

Τα συστήματα άμεσης και έμμεσης μετάδοσης κίνησης είναι μηχανισμοί για τη μεταφορά της ισχύος του κινητήρα στον κοχλίο ενός εξωθητήρα. Το σύστημα άμεσης μετάδοσης κίνησης, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2-5, χρησιμοποιεί ένα μειωτήρα για να μετατρέψει τις στροφές του κινητήρα ανά λεπτό (rpm) στις επιθυμητές στροφές κοχλίου, προσαρμόζοντας έτσι το εύρος στροφών του κοχλίου εξώθησης.

Για να αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής του κοχλίου, αλλάζοντας τη σχέση μετάδοσης θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι ο κινητήρας έχει επαρκή ιπποδύναμη για να δημιουργήσει αρκετή ροπή ώστε να μπορεί να διαχειριστεί την ποσότητα πλαστικής

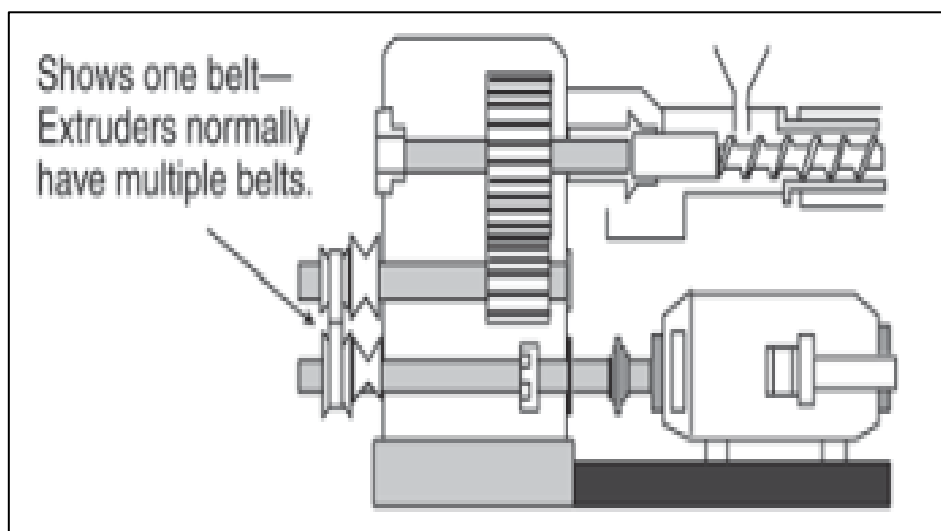
ρητίνης που προορίζεται για χρήση στον εξωθητήρα στις υψηλότερες ταχύτητες του κοχλίου.



Εικόνα 2-5 Συστήμα άμεσης μετάδοσης κίνησης. Πηγή : [5]

Η αλλαγή της σχέσης μετάδοσης χωρίς να καθοριστεί εάν η ιπποδύναμη του κινητήρα είναι επαρκής για την επεξεργασία του υλικού, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή ταχύτητα κοχλίου με ανεπαρκή ροπή, ώστε να μην μπορεί να κινηθεί ο κοχλίας όταν ο εξωθητήρας είναι γεμάτος.

Από την άλλη πλευρά, ένας εξωθητήρας έμμεσης μετάδοσης κίνησης, λειτουργεί χρησιμοποιώντας τροχαλίες. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2- 6 ένας εξωθητήρας έμμεσης μετάδοσης κίνησης, χρησιμοποιεί ένα πλήθος από τροχαλίες και μάντες



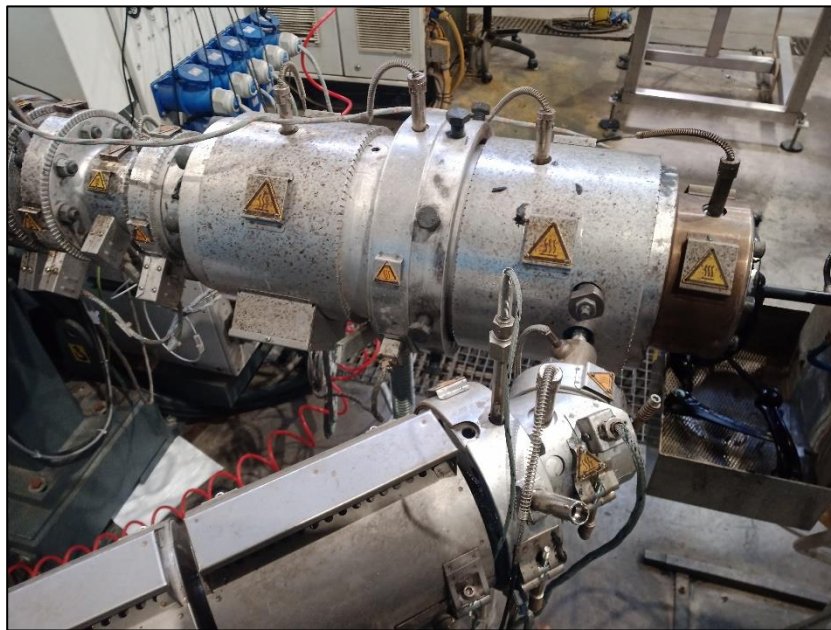
Εικόνα 2-6 Συστήμα έμμεσης μετάδοσης κίνησης Πηγή : [5]

- Τη μήτρα – κεφαλή (Die)

Η μήτρα δεν αποτελεί μέρος του extruder, όμως είναι απαραίτητη για το τελικό προϊόν. Βρίσκεται τοποθετημένη στην έξοδο του extruder και είναι ουσιαστικά ο μηχανισμός που προσδίδει το επιθυμητό σχήμα και διαστάσεις στο λιωμένο πλαστικό καθώς εξωθείται. Τυπικά αποτελείται από ένα περίπλοκο σύστημα καναλιών και ανοιγμάτων που διευκολύνουν την ελεγχόμενη ροή του τηγμένου πλαστικού, επιτρέποντας το σχηματισμό του επιθυμητού προφίλ σωλήνα. Ανάλογα λοιπόν με το πως έχει σχεδιαστεί η μήτρα, καθορίζεται τόσο η διατομή όσο και το πάχος του σωλήνα, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από απλούς στρογγυλούς σωλήνες έως πιο σύνθετα προφίλ.

Τροφοδοτούνται και ελέγχονται ως προς την θερμοκρασία τους, από το κεντρικό extruder. Επιπλέον τα υλικά με τα οποία κατασκευάζεται μια κεφαλή, πρέπει να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που σχετίζονται με τη διαδικασία εξώθησης, εξασφαλίζοντας ανθεκτικότητα και μακροζωία.

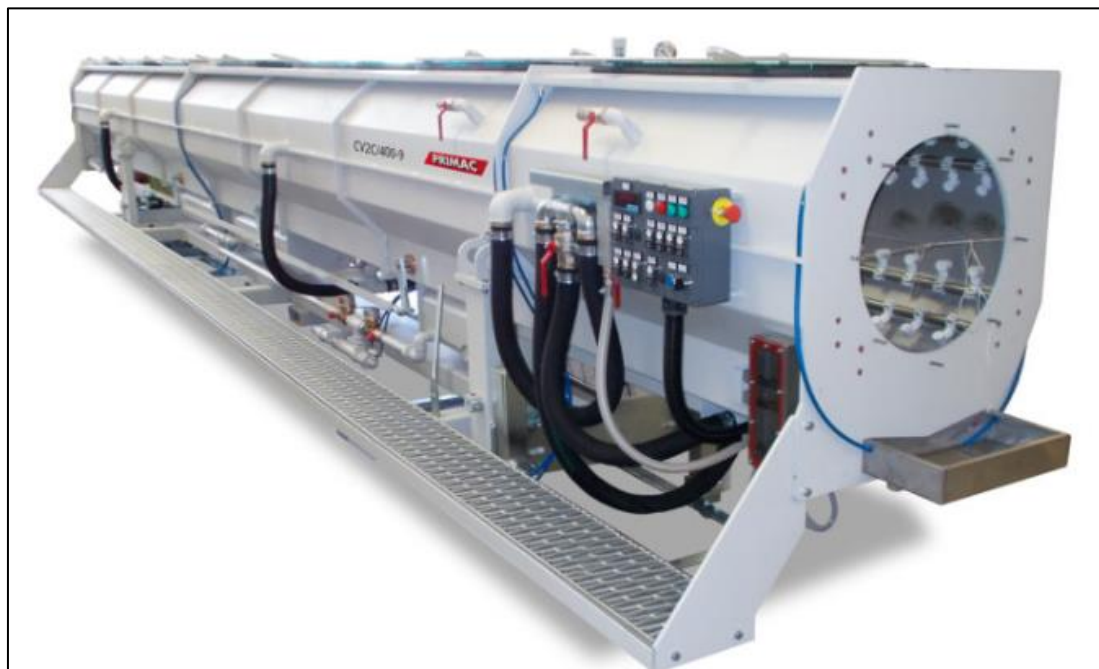
Υπάρχουν μήτρες μονής στρώσης, από τις οποίες παράγονται απλοί σωλήνες και πολυστρωματικές, όπου με τη χρήση των co-extruders παράγονται σωλήνες με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά και εμφάνιση.



*Εικόνα 2-7 Κεφαλή (Die) συνδεδεμένη με co extruder*

## 2.2 Δεξαμενή ψύξης και Vacuum

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της εξώθησης και πλέον το τήγμα έχει περάσει και από την κεφαλή και έχει πάρει τις αρχικές διαστάσεις και μορφή, στο επόμενο στάδιο, το προϊόν εισέρχεται στη δεξαμενή υποπίεσης και ψύξης.



Εικόνα 2-8 Δεξαμενή Vacuum (<https://www.baruffaldi.eu/product/sizing-tanks/>, χ.χ.)

Ο ρόλος αυτών των δεξαμενών είναι πολύ κρίσιμος και καθοριστικός στην τελική διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Ο πρωταρχικός ρόλος αυτών των δεξαμενών είναι να ψύχουν άμεσα εξωτερικά το ζεστό εξωθημένο υλικό. Η γρήγορη διαδικασία ψύξης βοηθά στη διατήρηση του επιθυμητού σχήματος και ελαχιστοποιεί οποιαδήποτε παραμόρφωση ή στρέβλωση των πλαστικών σωλήνων. Το περιβάλλον κενού εξασφαλίζει ομοιόμορφη ψύξη και αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων αέρα στην επιφάνεια του σωλήνα, με αποτέλεσμα ένα λείο και ομοιόμορφο φινίρισμα.

### 2.2.1 Εξοπλισμός δεξαμενών Vacuum

Οι σύγχρονες δεξαμενές κενού έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν διαφορετικά μεγέθη σωλήνων. Τα κύρια εξαρτήματα μιας τυπικής δεξαμενής κενού περιλαμβάνουν:

- Σώμα της δεξαμενής:

Το κύριο περίβλημα της δεξαμενής κενού είναι συνήθως κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα ή άλλα υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση. Το μήκος της δεξαμενής έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει επαρκή χρόνο ψύξης για τους πλαστικούς σωλήνες καθώς διέρχονται μέσα από αυτή.

- Περιβάλλον κενού:

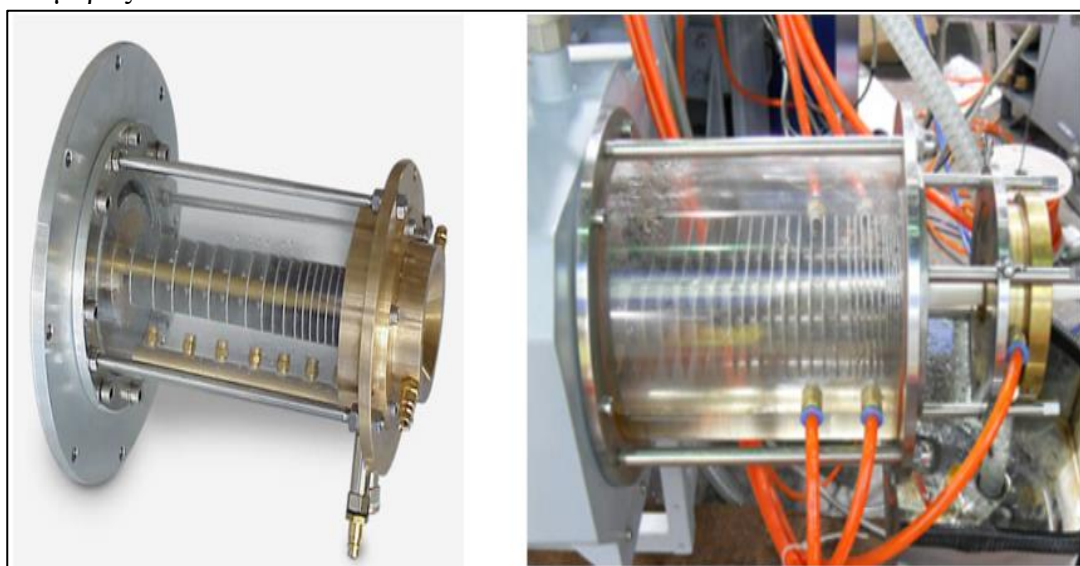
Μέσω μιας αντλίας κενού δημιουργείται μια ελεγχόμενη αρνητική πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής. Με αυτές τις συνθήκες υποπίεσης διασφαλίζεται ότι ο

πλαστικός σωλήνας προσκολλάται στενά στην καλίμπρα της δεξαμενής και επιτυγχάνεται τόσο ομοιόμορφη ψύξη όσο και σταθεροποίηση στην τελική μορφή

- Καλίμπρα – Vacuum Calibrator :

Η καλίμπρα ουσιαστικά αποτελεί το εξάρτημα εκείνο το οποίο διαμορφώνει και το τελικό σχήμα και διάσταση του σωλήνα. Μπορεί να βρίσκεται τοποθετημένη στην είσοδο ή και στο εσωτερικό της δεξαμενής vacuum, ενώ τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της, εξαρτώνται από τη διάμετρο του σωλήνα που θέλουμε να παραχθεί.

Είναι το πρώτο τμήμα με το οποίο έρχεται σε επαφή ο σωλήνας μετά την έξοδο του από την κεφαλή. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, στις καλίμπρες, συναντάμε υποδοχές διασύνδεσης νερού για ψύξη, όπου είναι και το πρώτο σημείο όπου ο σωλήνας ψύχεται. Το νερό χρησιμοποιείται επίσης και για την ψύξη της ίδιας της καλίμπρας.



Εικόνα 2-9 Καλίμπρες

Λόγω του ότι στη δεξαμενή επικρατούν συνθήκες κενού, ο σωλήνας κατά την διαδρομή του, αφού περάσει από την καλίμπρα έχει αποκτήσει την τελική του μορφή και την συνέχεια, σε όλη τη διαδρομή του ακολουθεί ψύξη.

- Κύκλωμα κυκλοφορίας και ψεκασμού νερών ψύξης: Η δεξαμενή κενού είναι εξοπλισμένη με ένα σύστημα κυκλοφορίας νερού που περιλαμβάνει δεξαμενή νερού, αντλίες και ακροφύσια ψεκασμού. Το νερό κυκλοφορεί συνεχώς μέσα από τη δεξαμενή για να διατηρείται η απαιτούμενη θερμοκρασία ψύξης.



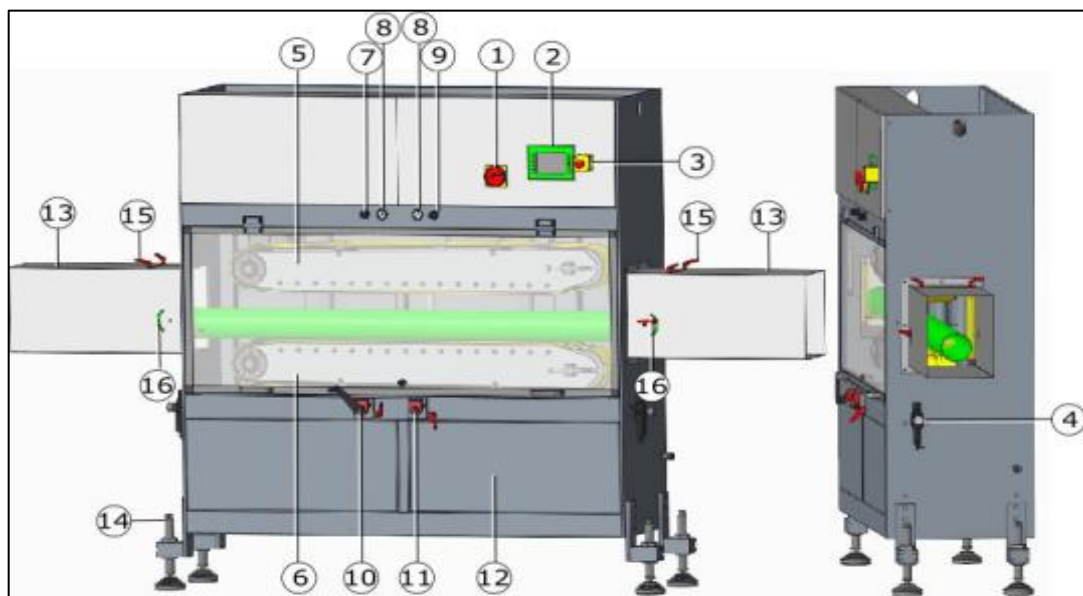
Εικόνα 2-10 Σύστημα ψεκασμού. Πηγή : (<https://www.directindustry.com/prod/masfen-makina/product-158182-1630344.html>)

Ως προς τη λειτουργία των δεξαμενών vacuum, κρίσιμο σημείο είναι η θερμοκρασία του νερού να είναι χαμηλή και η στάθμη του νερού να είναι σταθερή. Ο έλεγχος αυτός, πραγματοποιείται μέσω του PLC όπου με τους κατάλληλους αισθητήρες μέτρησης και με αναλογικές ή ψηφιακές ηλεκτροβάνες (κεφάλαιο 3), το νερό εισέρχεται και εξέρχεται στο σύστημα.

### **2.3 Μηχανή εξαγωγής σωλήνα Haul Off (Τραβηγτικό)**

Η παραγωγή πλαστικών σωλήνων βασίζεται στον περίπλοκο συντονισμό διαφορετικών μηχανημάτων, με τη μηχανή εξαγωγής σωλήνα – haul off να στέκεται ως κρίσιμο στοιχείο που διαμορφώνει το τελικό προϊόν. Ο σκοπός του είναι να διατηρήσει την κατάλληλη τάση και τον έλεγχο της ταχύτητας προκειμένου να διασφαλιστούν οι

ακριβείς διαστάσεις και η ποιότητα των σωλήνων. Μια τυπική μηχανή εξαγωγής σωλήνα εξωτερικά είναι όπως η παρακάτω εικόνα και αποτελείται από τα εξής μέρη:



Εικόνα 2-11Μηχανή εξαγωγής σωλήνα. Πηγή [1]

1	Κεντρικός διακόπτης	9	Ρυθμιστής πίεσης αντίθλιψης
2	Οθόνη αλληλεπίδρασης με το χρήστη	10	Ρύθμιση ύψους εξωθητή
3	Emergency stop	11	Ρύθμιση σταθερού ανοίγματος άνω στηρίγματος
4	Ρυθμιστής πίεσης πνευματικού συστήματος	12	Πίνακας ελέγχου
5	Άνω στήριγμα	13	Προστασία από παρέμβαση
6	Κάτω στήριγμα	14	Ρύθμιση ύψους
7	Ρυθμιστής πίεσης για την πίεση εφαρμογής	15	Ρύθμιση κατακόρυφου ράουλου οδήγησης
8	Μανόμετρο	16	Ρύθμιση οριζόντιου ράουλου οδήγησης

Κατά την λειτουργία του, παρέχει συνεχή και ελεγχόμενη δύναμη έλξης στον πλαστικό σωλήνα καθώς βγαίνει από τον **εξωθητή** και περνάει από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας. Συνεπώς η ταχύτητά του είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον ρυθμό απόδοσης του εξωθητήρα. Η διατήρηση ενός σταθερού ανοίγματος μήτρας και ενός δεδομένου ρυθμού παραγωγής του extruder, δημιουργεί μια μοναδική ταχύτητα στη μηχανή haul off, που παράγει τις σωστές διαστάσεις στο τελικό προϊόν.

Κατά συνέπεια, η ταχύτητα του haul off πρέπει να προσαρμοστεί σχολαστικά με τον ρυθμό εξόδου του εξωθητήρα για να διασφαλιστεί η ακρίβεια των διαστάσεων του τελικού προϊόντος. Επίσης, ένα λειτουργικό πρόβλημα είναι η ολίσθηση του σωλήνα στους μηχανισμούς κίνησης του haul off. Κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει τμήματα με μεγαλύτερο πάχος στο τελικό προϊόν που δεν πληρούν τα απαιτούμενα πρότυπα.





*Εικόνα 2-12 Μηχανές Haul Off με ιμάντες και ερπύστριες*

Επίσης η πίεση του haul off παίζει διπλό ρόλο. Αρχικά εμποδίζει την ολίσθηση του προϊόντος ενώ αποφεύγει την παραμόρφωση εξαρτημάτων ή τα σημάδια στην επιφάνεια. Ωστόσο, η υπερβολική πίεση haul off ενέχει κίνδυνο σύνθλιψης του τελικού προϊόντος, καθιστώντας το άχρηστο.

Τα κύρια τμήματα που συναντάμε σε μια μηχανή haul off είναι τα εξής :

α. Ερπύστριες ή ιμάντες :

Το τραβηχτικό διαθέτει δύο ή περισσότερα σετ ερπυστριών ή ιμάντων που συγκρατούν τον σωλήνα από τις αντίθετες πλευρές. Οι μηχανισμοί αυτοί παρέχουν τη δύναμη έλξης που απαιτείται για την κίνηση του σωλήνα κατά μήκος της γραμμής παραγωγής. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι ιμάντες, αποτελούν μια κρίσιμη πτυχή της κατασκευής του haul off και προσφέρουν ένα φάσμα ιδιοτήτων. Από το φυσικό λάστιχο που παρέχει επιφάνειες υψηλής πρόσφυσης έως το κυψελωτό νεοπρένιο με εξαιρετική αντοχή στην τριβή και το καουτσούκ σιλικόνης με αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία, η επιλογή του υλικού του ιμάντα επηρεάζει σημαντικά την απόδοση.

β. Σύστημα Κίνησης : Το σύστημα ελέγχου κινητήρα και μετάδοσης κίνησης διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του haul off. Παράγοντες όπως το κόστος, το απαιτούμενο εύρος ταχύτητας και η ικανότητα διατήρησης σταθερής ταχύτητας επηρεάζουν την επιλογή των συστημάτων ελέγχου. Συνεπώς η τελική επιλογή ανάμεσα στους AC, DC ή Servo motors, προσφέρουν ποικίλα χαρακτηριστικά, καθένα από τα οποία ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις. Η επιλογή μεταξύ κινητήρων AC και DC εξαρτάται από την εφαρμογή.

γ. Έλεγχος Ταχύτητας :

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα τραβηχτικά μπορεί να είναι είτε AC είτε DC είτε ακόμα και servo κινητήρες. Η επιλογή του τύπου κινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή, οπότε ανάλογο θα είναι και το μέσο οδήγησής του. Σε κάθε περίπτωση, ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου επιτρέπει στους χειριστές να ρυθμίζουν με ακρίβεια την ταχύτητα του haul off, ώστε να ταιριάζει με την ταχύτητα

παραγωγής από το extruder. Αυτός ο συγχρονισμός εξασφαλίζει μια ομαλή και συνεπή διαδικασία παραγωγής σωλήνων.

## 2.4 Μηχανή κοπής σωλήνα – Cutter

Εφόσον ο σωλήνας έχει περάσει πλέον από όλα τα στάδια παραγωγής το τελευταίο στάδιο, πριν την αποθήκευση ή την αποστολή στον τελικό καταναλωτή, είναι η κοπή του. Αναλόγως λοιπόν, της διατομής των σωλήνων υπάρχει πληθώρα μηχανημάτων που εκτελούν τη λειτουργία κοπής. Αν και οι βασικές διαφορές είναι ως προς το μηχανολογικό εξοπλισμό και το μέγεθος, η φιλοσοφία ως προς τον τρόπο λειτουργίας του αυτοματισμού, γενικότερα είναι η ίδια.

Η κοπή ενός σωλήνα, αν και ακούγεται αρχικά απλή, στη πράξη αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, από μηχανικής άποψης. Ο λόγος είναι ότι ένα τέτοιο σύστημα, πέρα του ότι θα πρέπει να λειτουργεί αυτόματα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγικότητα, θα πρέπει να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων όσον αφορά τόσο το επιθυμητό πάχος του σωλήνα αλλά κυρίως το επιθυμητό μήκος του σωλήνα.



Εικόνα 2-13 Κοπτικά μεγάλων και μικρών διαμέτρων (Πηγή : <https://www.sarem.com.tr/en/cutting-unit/>)

Η ακρίβεια κοπής στο επιθυμητό μήκος αποτελεί ίσως και το πιο σημαντικό ζήτημα στην παραγωγή σωλήνων. Η κοπή θα πρέπει να είναι απόλυτα εγκάρσια και ακριβώς στα επιθυμητά μέτρα. Και επειδή συνήθως η κοπή γίνεται On the fly, ειδικά στις μεσαίες και μεγάλες διατομές, γίνεται αντιληπτό ότι ένα τέτοιο σύστημα έχει την πολυπλοκότητα του.

Τα βασικότερα τμήματα που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα από μηχανολογικής άποψης είναι τα παρακάτω :

1. Τους μηχανισμούς συγκράτησης του σωλήνα (Clamps)



Εικόνα 2-14 Μηχανισμός συγκράτησης σωλήνα

Συνήθως, η κίνηση των clamps γίνεται με την χρήση πνευματικών εμβόλων.

## 2. Το φορείο μεταφοράς σωλήνα κατά τη διάρκεια κοπής



*Εικόνα 2-15 Φορείο μεταφοράς σωλήνα*

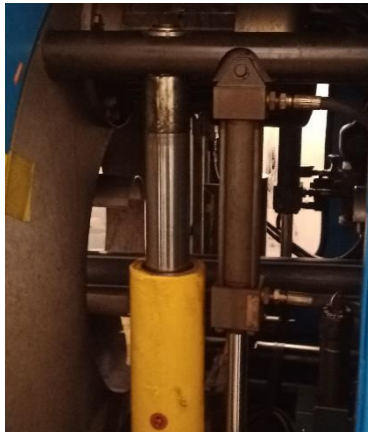
Η μετακίνηση του φορείου, σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός εμβόλου το οποίο όσο διαρκεί η κοπή, και εφόσον οι σιαγόνες είναι κλειστές και συγκρατούν το σωλήνα, το φορείο μετακινείται με την ταχύτητα της γραμμής. Οι νεότερες κατασκευές πλέον χρησιμοποιούν servo Motors τα όποια μέσω μια παλμογεννήτριας διαβάζουν την ταχύτητα της γραμμής και δίνουν τους απαραίτητους παλμούς ώστε να κινηθεί το φορείο ανάλογα με την ταχύτητα του.

Περιστροφικό τύμπανο, στο οποίο είναι τοποθετημένα υδραυλικά και πνευματικά έμβολα καθώς και το μαχαίρι ή ο δίσκος κοπής. Συνήθως το περιστροφικό τύμπανο αποτελείται από έναν απλό τριφασικό κινητήρα ο οποίος οδηγείται από ένα Inverter.



*Εικόνα 2-16 Περιστροφικό τύμπανο με έμβολο συγκράτησης δίσκου κοπής*

3. Τα υδραυλικά και πνευματικά έμβολα τα οποία οδηγούνται από βαλβίδες πνευματικές και υδραυλικές



Εικόνα 2-17 Υδραυλικά και πνευματικά έμβολα

Η διαδικασία κοπής ξεκινάει και ολοκληρώνεται ως εξής :

1. Εφόσον ο σωλήνας εισέλθει στο μηχάνημα κοπής και έχουν παρέλθει τα απαιτούμενα μέτρα τότε το σύστημα δημιουργεί το σήμα έναρξης της κοπής
2. Τα clamps κλείνουν και “αγκαλιάζουν τον σωλήνα“ ώστε η κοπή να είναι σταθερή
3. Το φορείο ξεκινάει και μετακινείται, με την ταχύτητα την οποία κινείται ο σωλήνας πάνω στην γραμμή (το PLC στέλνει τους κατάλληλους παλμούς στο servo ενισχυτή
4. Το τύμπανο περιστροφής ξεκινάει και περιστρέφεται πάνω στο σωλήνα
5. Ενεργοποιούνται τα κατάλληλα έμβολα ώστε ο μηχανισμός, που βρίσκεται το μαχαίρι ή ο δίσκος κοπής, ασκεί την απαιτούμενη πίεση πάνω στο σωλήνα. Έτσι ο δίσκος κοπής εισέρχεται προοδευτικά στο σωλήνα και όσο περιστρέφεται ολοκληρώνεται σταδιακά η κοπή
6. Η κοπή ολοκληρώνεται μόλις το έμβολο που ωθεί το δίσκο κοπής «πατήσει» το τερματικό κλεισίματος. Αφού ολοκληρωθεί η κοπή, τότε τα έμβολα του δίσκου κοπής επιστρέφουν στην αρχική τους θέση
7. Τα clamps ανοίγουν ώστε να ελευθερωθεί ο σωλήνας και
8. Το φορείο επιστρέφει στην αρχική του θέση και αναμένει το επόμενο σήμα έναρξης

Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας και με βάση το αποτέλεσμα που προκύπτει, εκτός του ότι έχουμε μια αδιάκοπη αυτόματη λειτουργία, η κοπή στο σωλήνα (βάση πραγματικών αποτελεσμάτων) είναι απόλυτα κάθετη, αφού γίνεται on the fly. Ακόμα και να προκύψουν μεταβολές στην ταχύτητα του σωλήνα το PLC θα στείλει τους απαραίτητους παλμούς ώστε ο σερβοενισχυτής να διορθώσει την ταχύτητα του φορείου και ο κύκλος να ολοκληρωθεί χωρίς κανένα πρόβλημα.

### 3. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός γραμμής extruder

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τις παραπάνω περιγραφές της γραμμής παραγωγής πλαστικών σωλήνων, πίσω από την απρόσκοπτη και αποδοτική λειτουργία των επιμέρους μηχανημάτων, υπάρχει μια τεράστια ποικιλία σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Πέρα από το PLC και την οθόνη HMI που θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα, συναντάμε μια πληθώρα από διακοπτικό υλικό, αισθητήρων και φορτίων.

Συγκεκριμένα, στις γραμμές παραγωγής πλαστικών, συναντάμε αναλογικούς και ψηφιακούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είτε για να μετρήσουν κάποιο φυσικό μέγεθος (π.χ. θερμοκρασία) είτε για να πληροφορούν το σύστημα ελέγχου για τη θέση που βρίσκεται το τμήμα μιας μηχανής (διακόπτες προσεγγίσεως). Όλα αυτά τα σήματα συλλέγονται στο PLC, το οποίο αφού τα επεξεργαστεί κατάλληλα και με βάση το πρόγραμμα που εκτελείται, στέλνονται εντολές στους ενεργοποιητές του συστήματος ώστε να εκτελέσουν την λειτουργία που πρέπει.

Οι ενεργοποιητές που συναντάμε σε μια τέτοια γραμμή, είναι από απλά πνευματικά και υδραυλικά έμβολα, μέχρι ηλεκτρονικά ισχύος inverter ή servo drives, που “οδηγούν” κινητήρες και αντλίες στην επιθυμητές τιμές ώστε το παραχθεί ένα τελικό προϊόν υψηλών προδιαγραφών. Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια αναφορά όλων αυτών των ηλεκτρικών στοιχείων που συναντάμε κατά κύριο λόγο, σε κάθε ένα μηχάνημα μιας γραμμής παραγωγής πλαστικών, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.

#### 3.1 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στους εξωθητήρες

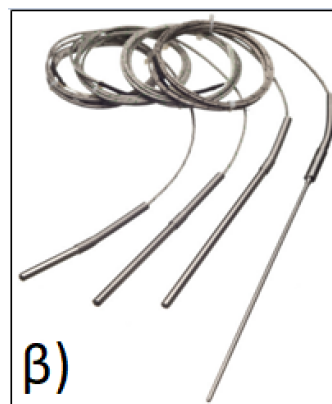
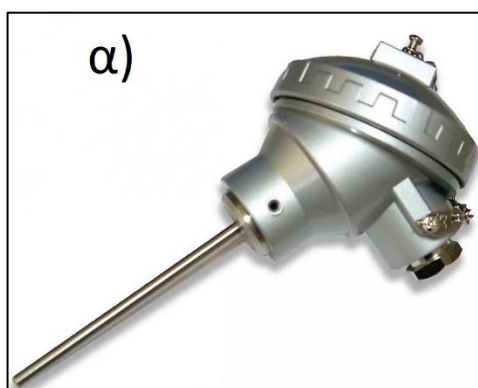
##### 3.1.1 Θερμοστοιχεία (Thermocouples) :

Η θερμοκρασία είναι γενικώς ένα από τα πιο σημαντικά φυσικά μεγέθη που μας ενδιαφέρουν τόσο στην καθημερινότητά μας όσο και στις βιομηχανικές εφαρμογές. Η ακρίβεια στη μέτρηση τους, συνήθως είναι καθοριστική σε πολλές περιπτώσεις, τόσο στη μέτρηση του παραγόμενου προϊόντος όσο και σε κρίσιμα σημεία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Συνεπώς, οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας αποτελούν τα πιο συνηθισμένα αισθητήρια που συναντάμε σε βιομηχανικές εφαρμογές και διεργασίες. Ειδικότερα στους εξωθητήρες, η μέτρηση και ο έλεγχος της τρέχουσας θερμοκρασίας κάθε ζώνης, διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού και τις σωστές συνθήκες παραγωγής πλαστικού.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αισθητήρων μέτρησης που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, από  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $2000^{\circ}\text{C}$ . Παρόλο που διαφέρουν ως προς την δομή τους και τα υλικά κατασκευής, ο σκοπός τους είναι να μετατρέψουν το φυσικό μέγεθος της θερμοκρασίας σε ηλεκτρικό σήμα ώστε να μπορεί να το επεξεργαστεί το σύστημα ελέγχου που χρησιμοποιούμε.

Στις βιομηχανικές εφαρμογές για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία χρησιμοποιούμε τα RTDs (Resistive Temperature Detectors) (εικόνα 2-1α) και τα θερμοστοιχεία (Thermocouples) (εικόνα 2.1β). Στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα εστιάσουμε περισσότερο στα θερμοστοιχεία, μιας και είναι αυτά που συναντάμε στις γραμμές

παραγωγής των εξωθητήρων. Παρ' όλα αυτά αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά στα RTD.



Εικόνα 3-1α) RTD β) Thermocouples (Πηγή α) (<https://www.pctflow.com/our-products/temperature/probes/pct-pt100-rtd-with-terminal-head/>, n.d.), Πηγή β) (<https://cartridgeheaters.co.uk/temp-sensors/k-type-thermocouples/>, n.d.)

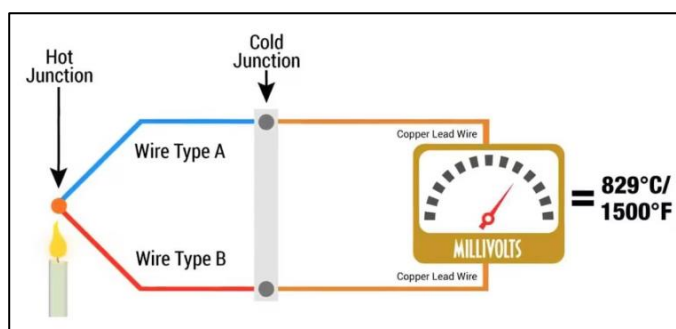
Όσον αφορά τα RTD, όπως προκύπτει από το όνομά τους, η μέτρηση της θερμοκρασίας οφείλεται στο γεγονός ότι η αντίσταση ενός μετάλλου μεταβάλλεται όσο μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Συνεπώς, είτε εφαρμόσουμε μια σταθερή τάση και μετρώντας την πτώση τάσης ή το ρεύμα στην έξοδο RTD, είτε μετρώντας την τιμή της αντίστασης, με τις κατάλληλες διατάξεις αντίστοιχα, όσο μεταβάλλεται η θερμοκρασία μπορούμε να υπολογίσουμε την τρέχουσα θερμοκρασία μιας και αντιστοίχηση της τιμής της αντίστασης, ενός RTD, με τη τιμή της θερμοκρασίας είναι γνωστή.

Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι πλατίνα ή χαλκός ή νικέλιο. Η περίπτωση της πλατίνας είναι και η επικρατέστερη, για αυτό και τα αποκαλούμε και PT100. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά μερικές διαφορές στις ιδιότητες των υλικών

ΥΛΙΚΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	Ω/°C
Πλατίνα	-260 έως 850 °C	Καλύτερη σταθερότητα, καλή γραμμικότητα	100Ω στους 0 °C
Χαλκός	-100 έως 260 °C	Καλύτερη γραμμικότητα	10Ω στους 0 °C
Νικέλιο	-100 έως 260 °C	Χαμηλό κόστος, υψηλή ευαισθησία	120Ω στους 0 °C

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά RTD ανά υλικό κατασκευής (Πηγή : [https://www.instrumentationtoolbox.com/2011/01/sensors-used-in-industrial\\_23.html](https://www.instrumentationtoolbox.com/2011/01/sensors-used-in-industrial_23.html), n.d.)

Όσον αφορά τα θερμοστοιχεία, η αρχή λειτουργίας διαφέρει σε σχέση με τα RTD. Το στέλεχος των αισθητήρων αυτών αποτελείται από τη μίξη δύο μετάλλων, τα οποία ενώνονται στη μία άκρη τους. Όταν αυτή η ένωση, θερμανθεί ή ψυχθεί τότε στην άλλη άκρη, που καταλήγουν τα καλώδια, δημιουργείται μια τάση, της τάξης των mV (εικόνα 2-2).



Εικόνα 3-2 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας θερμοστοιχείων(Πηγή: (<https://www.omega.com/en-us/resources/thermocouple-hub>, n.d.)

Η τάση αυτή που παράγεται στη συνέχεια οδηγείται σε κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, ώστε το σήμα να ενισχυθεί και να μπορεί να επεξεργαστεί κατάλληλα από το σύστημα ελέγχου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμοστοιχείων και η κυριότερη διαφορά μεταξύ τους, εστιάζεται στο συνδυασμό των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους. Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, το κάθε θερμοστοιχείο έχει και το ανάλογο εύρος μέτρησης και ιδιότητες οι οποίες περιγράφονται παρακάτω. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά μερικοί τύποι θερμοστοιχείων που συναντάμε με τα υλικά κατασκευής τους και το εύρος μέτρησης:

ΤΥΠΟΣ	ΘΕΤΙΚΟ ΑΚΡΟ	ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΑΚΡΟ	ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
K	Νικέλιο & χρώμιο	Νικελίου & αλουμίνιο	-200 έως 1370 °C
J	Σίδηρος	Constantan (Χαλκός & Νικέλιο)	-210 έως 1200 °C
T	Χαλκός	Constantan (Χαλκός & Νικέλιο)	-200 έως 400 °C
E	Νικέλιο & χρώμιο	Constantan (Χαλκός & Νικέλιο)	-270 έως 900 °C
N	Νικέλιο, Χρώμιο & Πυρίτιο	Νικέλιο & Πυρίτιο	-200 έως 1300 °C
B	Πλατίνα & Ρόδιο	Πλατίνα	0 έως 1820 °C
R	Πλατίνα & Ρόδιο	Πλατίνα	0 έως 1480 °C

Πίνακας 2 Τύποι θερμοστοιχείων

Και σε αυτήν την περίπτωση η επιλογή εξαρτάται από τις τρέχουσες απαιτήσεις της εφαρμογής που υλοποιείται. Αυτά που συναντάμε συνήθως στη βιομηχανία είναι τα τύπου K και τύπου J.

### 3.1.2 Αντιστάσεις θέρμανσης

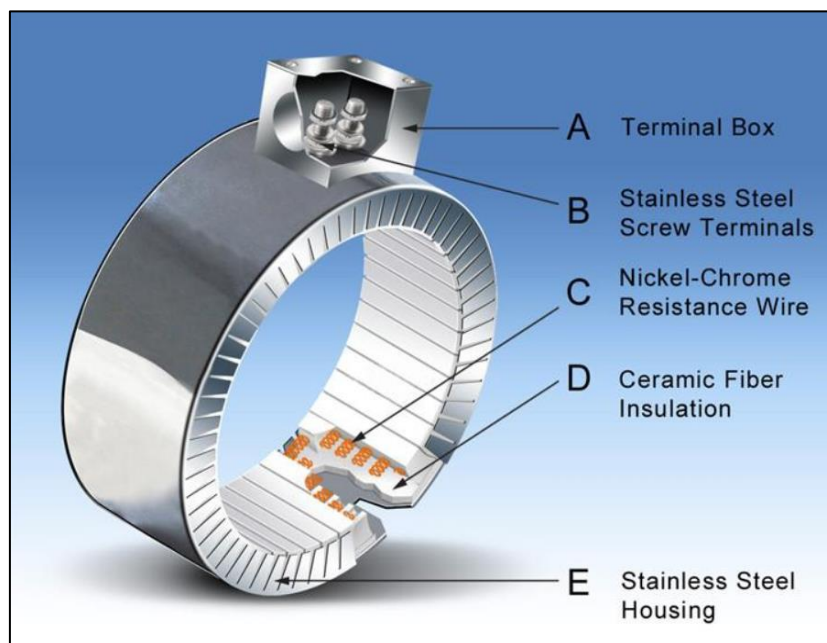
Η θέρμανση των ζωνών στους εξωθητήρες, επιτυγχάνεται με τη χρήση των αντιστάσεων θέρμανσης. Οι αντιστάσεις θέρμανσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3-3 κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όσον αφορά την απόδοσή τους. Μέσω αυτών των αντιστάσεων επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση στο πλαστικό, που κινείται εντός του barrel του extruder, έως

όπου να πάρει την τελική του μορφή. Η επιλογή τους φυσικά εξαρτάται από το μέγεθος και τη δυναμικότητα του extruder.



Εικόνα 3-3 Αντιστάσεις θέρμανσης (Πηγή : (<https://www.btelement.com/btceramicbandheaters>, n.d.)

Ως προς τη δομή τους, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3-4, θα μπορούσαμε να πούμε ότι μία αντίσταση αποτελείται από τα εξής μέρη :



Εικόνα 3-4 Δομή θερμαντικής αντίστασης. (Πηγή : (<https://www.heatersmfg.com/heaters/mica-band-heaters/extruder-mica-band-heater-for-plastic.html>, n.d.)

- A&B: Terminal Box – Stainless steel screw terminals

Είναι το σημείο όπου γίνονται οι ηλεκτρικές συνδέσεις παροχής ρεύματος. Τα σημεία A και B δεν θα πρέπει να έχουν καμιά φθορά και θα πρέπει να σφραγίζει πλήρως ώστε να αποτρέπεται η είσοδος υγρασίας. Για αυτό και το σημείο διασύνδεσης είναι ανοξείδωτο.



- C: Nickel -Chrome Resistance Wire

Μέσα στο μεταλλικό περίβλημα, υπάρχει τυλιγμένο το σύρμα αντίστασης. Αυτό το σύρμα είναι κατασκευασμένο από υλικά με υψηλή ηλεκτρική αντίσταση, που αποτελούνται από κράμα νικελίου και χρωμίου. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα από το καλώδιο αντίστασης, παράγει θερμότητα λόγω της αντίστασης, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται στο μεταλλικό περίβλημα και φυσικά στο πλαστικό υλικό.

- D: Ceramic fiber insulation

Για να διασφαλιστεί η ηλεκτρική ασφάλεια και να αποτραπεί η απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον, υπάρχει ένα στρώμα μονωτικού υλικού μεταξύ του σύρματος αντίστασης και της μεταλλικής θήκης. Αυτό το μονωτικό στρώμα βοηθά στον περιορισμό της θερμότητας που παράγεται από το σύρμα αντίστασης στο πλαστικό υλικό εντός του κυλίνδρου εξώθησης.

- E: Stainless steel housing

Το εξωτερικό τμήμα μιας θερμαντικής αντίστασης είναι συνήθως μια μεταλλική θήκη, συχνά κατασκευασμένη από υλικά όπως ανοξείδωτο ατσάλι ή αλουμίνιο. Αυτό το μεταλλικό περίβλημα χρησιμεύει και ως προστατευτικό κάλυμμα και ως αγωγός της θερμότητας.

### 3.1.3 Ελεγκτές θερμοκρασίας – Temperature Controllers

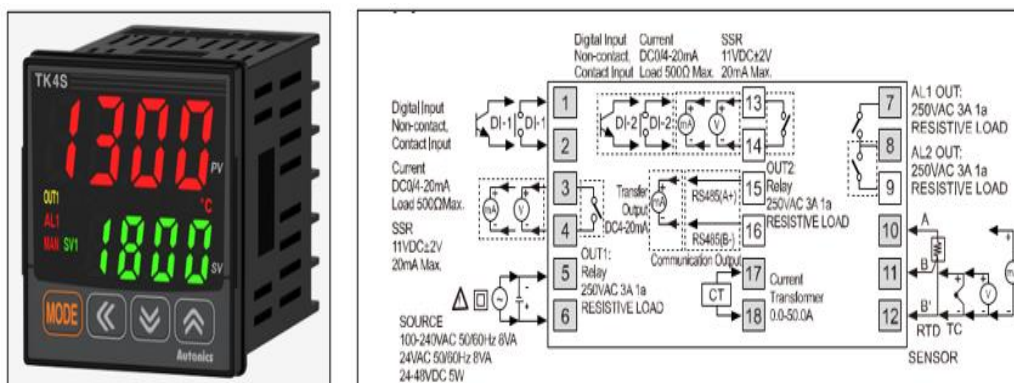
Για να γίνει ο έλεγχος και η διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα, πρέπει όλα τα παραπάνω στοιχεία να διασυνδεθούν κατάλληλα. Σε μεγάλα extruders, όπου υπάρχουν ολοκληρωμένες λύσεις ο έλεγχος αυτός γίνεται με συστήματα PLC και ειδικές κάρτες που είναι σχεδιασμένες για να συνδέονται αποκλειστικά αισθητήρια θερμοκρασίας, κάτι το οποίο θα αναλυθεί, εκτενέστερα στο κεφάλαιο των PLC. Σε μικρότερα μεγέθους extruders όπως τα Co – Extruder μια συσκευή που συναντάμε συχνά για το έλεγχο κάθε ζώνης οι controllers θερμοκρασίας. (εικόνα 3-5)



Εικόνα 3-5 Πίνακας ελέγχου ζωνών με Controllers (Πηγή : (<https://www.autonics.com/industry/view/MM/185>, n.d.)

Οι συγκεκριμένοι controllers είναι εντελώς αυτόνομοι και προγραμματιζόμενοι με πολλές δυνατότητες, μπορούν να διαχειριστούν πλήρως τον έλεγχο ψύξης ή θέρμανσης σε ένα σύστημα. Στην αγορά υπάρχει πληθώρα από τέτοιους controllers με διαφορετικές δυνατότητες όσον αφορά τα σήματα εισόδων και εξόδων που μπορούν να διαχειριστούν. Επιπρόσθετα, η δυνατότητα που παρέχουν για εκτέλεση PID ελεγκτών, εξασφαλίζει ακρίβεια στον έλεγχο και διατήρηση της θερμοκρασίας.

Ο controller της εικόνας 3-6, όπως φαίνεται το διάγραμμα συνδέσεων, μπορεί να δεχτεί σαν είσοδο οποιοδήποτε αισθητήρα θερμοκρασίας είτε θερμοστοιχείο είτε RTD (terminals 10, 11, 12), μπορεί να δώσει δύο alarms (terminals 7, 8, 9) να διαχειριστεί αναλογικά σήματα 4-20mA ή 0-10Volt (terminals 3,4) και να διασυνδεθεί απευθείας με ένα solid state relay (terminals 13,14).



Εικόνα 3-6 Controller θερμοκρασίας (Πηγή : (<https://www.autonics.com/series/3000412>, n.d.)

Εφόσον γίνει η σωστή διασύνδεση των υλικών, θα πρέπει ο controller να παραμετροποιηθεί κατάλληλα, μέσα από ένα γκρουπ παραμέτρων ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή.

### 3.1.4 Αισθητήρες πίεσης τήγματος – Melt pressure sensors :

Ο αισθητήρας πίεσης τήγματος είναι ίσως ο κρισιμότερος αισθητήρας που χρησιμοποιείται στους εξωθητήρες. Ο ρόλος τους εκτός από την παρακολούθηση και τον έλεγχο της πίεσης μέσα στον εξωθητήρα, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η συνοχή των εξωθημένων προϊόντων, είναι ταυτόχρονα και η ασφάλεια τόσο του προσωπικού όσο και του εξοπλισμού.



Εικόνα 3-7 Αισθητήρες μέτρησης πίεσης τήγματος Πηγή : (<https://www.mpipressure.com/melt-pressure-transducers-melt-pressure-transmitters>, n.d.)

Συγκεκριμένα, αν μεταβληθούν οι συνθήκες της εξώθησης και δεν είναι οι εντός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή αν το τήγμα δεν εξωθείται στην προκαθορισμένη θερμοκρασία, αυτό θα έχει ως συνέπεια να ανεβεί η πίεση τήγματος. Αμέσως μεταβάλλονται και οι συνθήκες λειτουργίας του κοχλία με αποτέλεσμα να “ζοριστεί” κατά την εξώθηση, έχοντας σαν τελικό αποτέλεσμα, σε ακραίες περιπτώσεις, ακόμα και το σπάσιμό του. Από το παραπάνω, γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα ύπαρξης αυτού του αισθητήρα και για αυτό το λόγο, κανένα extruder δεν θα πρέπει να λειτουργεί χωρίς αυτό.

Ως προς την κατασκευή τους, χρησιμοποιούνται ανοξείδωτα υλικά που έχουν αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και υψηλές πιέσεις. Μπροστά στο μεταλλικό στέλεχος υπάρχει ένα διάφραγμα το οποίο, αντιλαμβάνεται τις μεταβολές της πίεσης του τήγματος και ουσιαστικά τις μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα μέσω του κατάλληλου μετατροπέα. Επίσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2-7, οι αισθητήρες τήγματος, μπορεί να διαφέρουν ως προς την κατασκευή τους και συγκεκριμένα μπορεί το στέλεχος του διαφράγματος είτε να απέχει από το μετατροπέα είτε να είναι συνέχεια με αυτόν. Παρ’ όλα αυτά εκτελούν την ίδια λειτουργία και η επιλογή τους αφορά την εκάστοτε εφαρμογή.

Ως προς τα μετρούμενα μεγέθη, συνήθως συναντάμε 2 κατηγορίες :

- Τους αισθητήρες που μετράνε μόνο την πίεση του τήγματος (εικόνα 2-8)



Εικόνα 3-8 Αισθητήρας μέτρησης πίεσης. Πηγή : (<https://www.dynisco.com/sensors-and-measurement/sensors/Melt-Pressure-Transducers>, χ.χ.)

- Και τους αισθητήρες που μετράνε ταυτόχρονα και την πίεση και την θερμοκρασία του τήγματος (εικόνα 2-9)



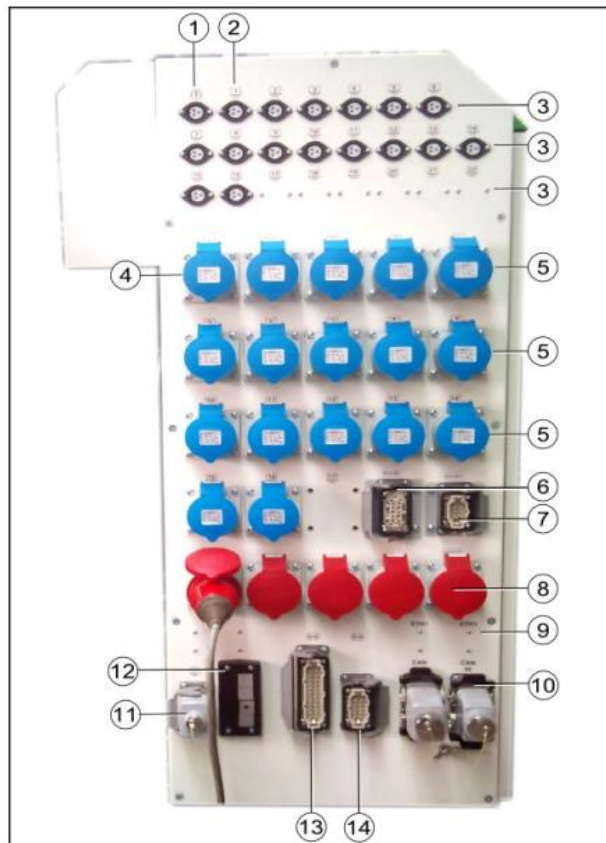
Εικόνα 3-9 Αισθητήρας μέτρησης πίεσης και θερμοκρασίας Πηγή : (

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία το θερμοστοιχείο τύπου J είναι ενσωματωμένο με το αισθητήριο πίεσης, για αυτό άλλωστε υπάρχει και ξεχωριστό καλώδιο ώστε να συνδεθεί ανάλογα.

Ως προς την έξοδο του ηλεκτρικού σήματος συναντάμε συνήθως δύο επιλογές και συγκεκριμένα η έξοδος του να είναι είτε 4-20mA ή 0-10Volt. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα αυξηθεί η πίεση του τήγματος τότε αυξάνεται και το ρεύμα ή η τάση στην έξοδο του αισθητήρα. Η επιλογή της εξόδου έχει να κάνει καθαρά με το σύστημα ελέγχου και τα υλικά που έχουν επιλεγεί για το σύστημα ελέγχου.

Κλείνοντας την περιγραφή για τους αισθητήρες τήγματος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την επιλογή τους είναι το εύρος μέτρησης. Στο εμπόριο συναντάμε διαφορετικές περιοχές εύρους μέτρησης που μπορεί να φτάνουν από μερικές εκατοντάδες PSI μέχρι και χιλιάδες. Και σε αυτήν την περίπτωση η επιλογή έχει να κάνει με την εφαρμογή και κατά συνέπεια του μεγέθους του extruder.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία συνδέονται εξωτερικά με συνδέσμους (φίς) βιομηχανικών προδιαγραφών στο πλαϊνό μέρος του κεντρικού πίνακα του extruder. Στο ίδιο σημείο συνδέονται και όλα εκείνα τα επιπλέον σήματα που αφορούν την υπόλοιπη γραμμή, έτσι ώστε το κεντρικό PLC να επικοινωνεί με όλους του μηχανισμούς και να έχει και τον τελικό έλεγχο.



Εικόνα 3-10 Πλαϊνό μέρος πίνακα extruder. Πηγή :[1]

Αναλυτικότερα και όπως φαίνεται στην εικόνα 3-10 στο πλαϊνό μέρος του extruder συναντάμε τα παρακάτω σημεία διασύνδεσης :

- 1,2&3. Αισθητήρας θερμοκρασίας τήξης σε ζώνη θέρμανσης
- 4&5. Πρίζα δικτύου στη ζώνη θέρμανσης
- 6. Δεδομένα ανέμης
- 7. Δεδομένα παλμού ανατροπής
- 8. Βύσμα δικτύου κατάντη μηχανημάτων
- 9. Γραμμή δεδομένων οπτικοποίησης
- 10. Γραμμή δικτύου ανταλλαγής δεδομένων
- 11. Γραμμή δεδομένων emergency stop
- 12. Γραμμή δεδομένων εξωτερικής συσκευής
- 13. Ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι υπόλοιπης γραμμής
- 14. Αναλογικές είσοδοι/έξοδοι υπόλοιπης γραμμής

### 3.1.5 Solid State Relay (SSR):

Ένα από τα πιο σημαντικά ηλεκτρικά εξαρτήματα που συναντάμε σε έναν ηλεκτρολογικό πίνακα extruder, είναι τα relay στερεάς κατάστασης ή αλλιώς Solid State Relays (SSR). Τα SSR είναι συσκευές που εμπεριέχουν ηλεκτρονικούς ημιαγωγούς για να ελέγχουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς τη χρήση μηχανικά κινούμενων επαφών ή διακοπών, όπως είναι τα κλασσικά relay. Αντί λοιπόν για μηχανικά μέρη, στα SSR χρησιμοποιούνται τρανζίστορ και οπτοζεύκτες για την λειτουργία μεταγωγής τους.



*Εικόνα 3-11 Solid state relay από πίνακα extruder*

Σε σχέση με τα κλασσικά relay, τα solid state ενδεικτικά υπερτερούν στα εξής :

1. Εφόσον δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, παρουσιάζουν μικρότερη φθορά και μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο
2. Πολύ γρήγορη εναλλαγή On / Off της τάξης των microseconds, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορο και ακριβή έλεγχο
3. Η εναλλαγή της κατάστασης του είναι αθόρυβη
4. Χαμηλότερη κατανάλωση κατά τον “οπλισμό τους”
5. Έχουν μικρότερο μέγεθος και είναι πιο συμπαγή σαν κατασκευή, κάτι που τα κάνει καταλληλά για περιπτώσεις που υπάρχει περιορισμένος χώρος

Η επιλογή για αν θα χρησιμοποιηθεί SSR ή μηχανικό ρελέ γενικά, εξαρτάται πάντα από τη εκάστοτε εφαρμογή. Στην περίπτωση των extruders χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά τα SSR, μιας και είναι ιδανικά για εφαρμογές ελέγχου θερμοκρασιών. Επίσης, η επιλογή του SSR εξαρτάται από το φορτίο που θα τροφοδοτηθεί, γι' αυτό το λόγο υπάρχουν στην αγορά πληθώρα από Solid State Relays που είναι για φορτία AC μονοφασικά ή τριφασικά και το καθένα έχει τη δική του αντοχή σε ampere.

### 3.1.6 Ανεμιστήρες ψύξης

Οι ανεμιστήρες ψύξης (εικόνα 3.12) βρίσκονται τοποθετημένοι σε κάθε ζώνη του barrel και ο ρόλος τους είναι να διατηρούν τη θερμοκρασία κάθε ζώνης στα επιθυμητά επίπεδα σε συνδυασμό με τις αντιστάσεις που αναφέραμε παραπάνω. Είναι ουσιαστικά μονοφασικοί κινητήρες και για την ενεργοποίησή τους χρησιμοποιούνται relay.



*Εικόνα 3-12 Ανεμιστήρας ψύξης*

### 3.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στις δεξαμενές Vacuum και ψύξης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο σε αυτές τις δεξαμενές, επιτυγχάνεται η ψύξη και η τελική διαμόρφωση του σωλήνα που εισέρχεται μετά τον εξωθητήρα. Στις δεξαμενές αυτές υπάρχει ένα κατάλληλο δικτύωμα σωληνώσεων όπου μέσω μιας αντλίας γίνεται πλήρωση της δεξαμενής με νερό. Η υποπίεση του θαλάμου, επίσης δημιουργείται μέσω μιας αντλίας. Ως προς το ηλεκτρικό μέρος και οι δύο αντλίες αποτελούνται από τριφασικούς κινητήρες όπου η οδήγησή τους γίνεται συνήθως με ρελέ μιας και η ισχύς τους είναι χαμηλή. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και Inverter, για πλήρη αυτόματο έλεγχο της διεργασίας αλλά κάτι τέτοιο θα ανέβαζε το τελικό κόστος.



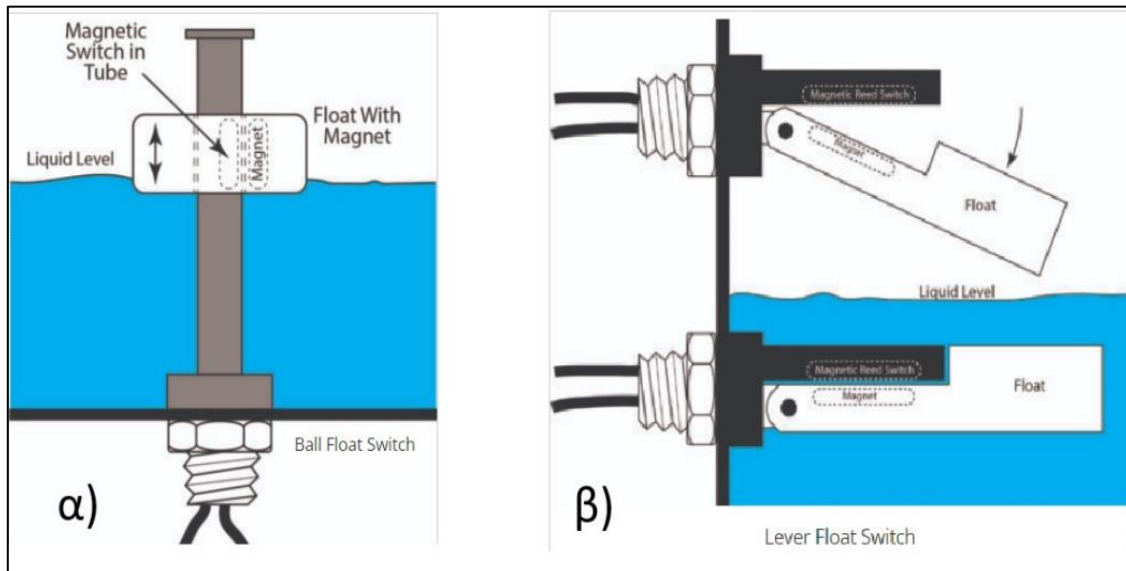
Εικόνα 3-13 Συγκρότημα αντλιών νερού και Vacuum

Εφόσον λοιπόν, η ψύξη επιτυγχάνεται με νερό, θα πρέπει η στάθμη του κατά την παραγωγή, να βρίσκεται στο κατάλληλο επίπεδο για την ομαλή λειτουργία. Με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης στάθμης διασφαλίζεται πάντα ότι η στάθμη είναι στα προ απαιτούμενα επίπεδα.



### 3.2.1 Αισθητήρες μέτρησης στάθμης

Για την μέτρηση της στάθμης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες μέτρησης διακριτών επιπέδων, τα γνωστά floater (εικόνα 3-14). Τα floater αποτελούνται από μηχανικά κινούμενα μέρη και συνήθως συναντάμε τα floater μπάλας (εικόνα 3-14α) και τα floater με μοχλό (εικόνα 3-14 β).



Εικόνα 3-14α) Floater μπάλας β) floater με μοχλό. (Πηγή : (<https://techblog.ctgclean.com/2020/02/liquid-level-sensors-floats/>, n.d.)

Και οι δύο τύποι δουλεύουν με το ίδιο ακριβώς τρόπο, δηλαδή μόλις ανέβει η στάθμη του νερού, τότε μέσω ενός μαγνήτη κλείνει μια επαφή όποτε παίρνουμε ένα σήμα ότι η στάθμη βρίσκεται στο επιθυμητό επίπεδο. Ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα floaters είναι ότι λόγω της ποιότητας του νερού (άλατα, ακαθαρσίες κλπ.) που συνήθως χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, τα μηχανικά μέρη που κινούνται μετά από χρόνο μπορεί να παρουσιάσουν δυσλειτουργίες. Στη περίπτωση όμως, που θέλουμε η μέτρηση και η ποσότητα νερού που εισέρχεται στη δεξαμενή να είναι ακριβής, τότε χρησιμοποιούμε αναλογικούς αισθητήρες όπου το σήμα εξόδου μπορεί να είναι 4-20mA ή 0-10Volt.



Εικόνα 3-15 Αναλογικός αισθητήρας στάθμης [Πηγή : (<https://www.sick.com/us/en/catalog/products/process-sensors/level-sensors/lfp-cubic/lfp0400-b4nmb/p/p285223?tab=detail#technical-details>, n.d.)

Με αυτούς τους αισθητήρες, γνωρίζουμε συνεχώς την ακριβή στάθμη του νερού και σε συνδυασμό με μια αναλογική ηλεκτροβάνα, όπως αυτές που αναφέρονται στην ενότητα 3.2.3, το σύστημα ελέγχου με την υλοποίηση PID ελεγκτών μπορεί να πετύχει με ακρίβεια το επιθυμητό επίπεδο στάθμης.

Επίσης, η διατήρηση της σωστής στάθμης νερού είναι απαραίτητη ώστε η λειτουργία των αντλιών και γενικά του συστήματος να γίνεται πάντα όταν υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα νερού, διότι σε διαφορετική περίπτωση ξερή λειτουργία, μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και ζημιά του εξοπλισμού.

### 3.2.2 Αισθητήρες μέτρησης Vacuum

Για να μετρήσουμε την υποπίεση του θαλάμου της δεξαμενής χρησιμοποιούμε έναν αισθητήρα vacuum (εικόνα 3-16) ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος στη δεξαμενή. Ως προς το ηλεκτρικό τους μέρος, υπάρχουν αισθητήρες που στην έξοδό τους δίνουν 4-20mA ή 0-10Volt. Ότι και να επιλεγθεί θα πρέπει να συνδεθεί κατάλληλα ηλεκτρικά σε αναλογική είσοδο στο PLC και να γίνει και η κατάλληλη παραμετροποίηση. Επίσης, δίπλα από αυτούς τους αισθητήρες και γενικότερα όπου απαιτείται η μέτρηση πίεσης, τοποθετούμε πάντα και ένα μανόμετρο (εικόνα 3-16) με την κατάλληλη κλίμακα για να έχουμε και μια οπτική ένδειξη τοπικά.



Εικόνα 3-16 Αναλογικός αισθητήρας μέτρησης Vacuum & Μανόμετρο μέτρησης (Πηγή : (www.wika.com, n.d.)

### 3.2.3 Βάνες πλήρωσης και αφαίρεσης νερού

Για την ομαλή λειτουργία της δεξαμενής vacuum και ψύξης θα πρέπει τα νερά να βρίσκονται σε χαμηλή θερμοκρασία και η στάθμη σε καθορισμένο επίπεδο. Η πλήρωση με κρύο νερό καθώς και το άδειασμα της δεξαμενής στα επιθυμητά επίπεδα γίνεται μέσω ηλεκτροβάνας. Συνεπώς, για τη θερμοκρασία χρησιμοποιούμε έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, συνήθως RTD και έναν αισθητήρα για τον έλεγχο της στάθμης.

Οι ηλεκτροβάνες που χρησιμοποιούνται είναι είτε On/Off (εικόνα 3-17α), είτε αναλογικές (εικόνα 3-17β) όπου σε αυτήν την περίπτωση έχουμε καλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα.



Εικόνα 3-17 α) Ηλεκτροβάνα ON/OFF (Πηγή : (<https://tameson.com/products/>, n.d.) β)Αναλογική ηλεκτροβάνα (Πηγή : (<https://valvesolutions.com/>, n.d.) )

Όσον αφορά το ηλεκτρολογικό μέρος της αναλογικής ηλεκτροβάνας και για να ανοίξει ή να κλείσει αρκεί να εφαρμόσουμε ένα αναλογικό σήμα είτε 4-20mA είτε 0-10Volt, άρα ο controller ή το PLC που θα την οδηγήσει, θα πρέπει να έχει αυτές τις προδιαγραφές εξόδου ή να υπάρχει μια κατάλληλη κάρτα με αναλογικές εξόδους.

### 3.3 Haul Off και κοπτικό σωλήνα – Cutter

Και σε αυτές τις δυο μηχανές συναντάμε μια πληθώρα αισθητηρίων και ενεργοποιητών όπου το κάθε ένα διασφαλίζει την σωστή λειτουργία τους.

#### 3.3.1 Διακόπτες προσεγγίσεως – τερματικοί διακόπτες

Οι συγκεκριμένοι διακόπτες χρησιμοποιούνται όταν μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τις τερματικές θέσεις που βρίσκεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός όταν εκτελεί μια κίνηση. Οι επικρατέστεροι διακόπτες που χρησιμοποιούνται είναι οι μηχανικοί, οι μαγνητικοί και οι επαγωγικοί.

Οι μηχανικοί διακόπτες, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αποτελούνται από το σταθερό και το κινούμενο μέρος. Το σταθερό μέρος είναι και το σημείο που βρίσκεται και η ηλεκτρική επαφή, συνήθως μια normally open και μία normally close.



Εικόνα 3-18 Μηχανικοί τερματικοί διακόπτες. Πηγή : <https://www.designworldonline.com/achieving-precision-limit-switches/>

Ως προς το κινητό μέρος υπάρχουν διάφορα είδη μεταλλικών στελεχών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την εφαρμογή. Οι επιλογές είναι αρκετές όποτε κάθε ανάγκη μπορεί να καλυφθεί. Σαν λειτουργία φυσικά είναι η ίδια ανεξαρτήτου στελέχους αφού μόλις μετακινηθεί το μηχανικό τμήμα της μηχανής που μας ενδιαφέρει, ακουμπάει το στέλεχος και αυτό μέσω ενός ελατηρίου ενεργοποιεί την ηλεκτρική επαφή.

Μια κατηγορία μαγνητικών αισθητήρων που συναντάμε σε πάρα πολλές εφαρμογές είναι οι αισθητήρες κυλίνδρου εγκοπής ή πιο απλά πνευματικών εμβόλων. Τα μαγνητικά αισθητήρια προσαρμόζονται στις εσοχές που έχουν οι μπουκάλες και επειδή εσωτερικά οι μπουκάλες διαθέτουν ένα μαγνήτη, κάθε φορά που ανοίγει και κλείνει, ο αισθητήρας ενεργοποιείται και οδηγούμε το σήμα ενεργοποίησης στο σύστημα ελέγχου.



Εικόνα 3-19 Μαγνητικοί αισθητήρες σε πνευματικά έμβολα [Πηγή :  
(<https://www.ifm.com/ca/en/shared/products>, n.d.)

Ως προς το ηλεκτρικό μέρος, για να λειτουργήσουν χρειάζονται τροφοδοσία συνήθως 24Vdc και επίσης η έξοδος μπορεί να είναι είτε PNP είτε NPN.

Η χρήση των επαγωγικών αισθητήρων, σε αντίθεση με τους μαγνητικούς, δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένους ενεργοποιητές καθώς μπορούν να προσαρμοστούν σε οποιοδήποτε σημείο του εξοπλισμού. Συνήθως, τοποθετούνται σε ειδικές βάσεις και σταθεροποιούνται στα σημεία που μας ενδιαφέρουν. Σε αντίθεση επίσης με τους μαγνητικούς, οι επαγωγικοί για να ενεργοποιηθούν, αρκεί να πλησιάσει σε πολύ κοντινή απόσταση μια μεταλλική επιφάνεια. Στην αγορά μπορεί να βρει κανείς μεγάλη γκάμα τέτοιων αισθητήρων σε διαφορετικά μεγέθη, σχήματα και διαμέτρους. Κάτι που δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να καλύψουν την όποια κατασκευαστική απαίτηση.

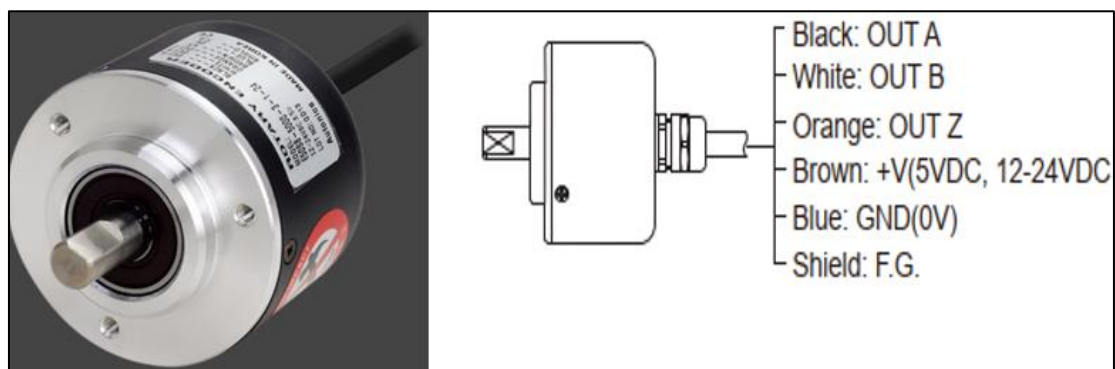


Εικόνα 3-20 Επαγωγικοί αισθητήρες [Πηγή : <https://www.ia.omron.com/products/category/sensors/proximity-sensors/>]

Ως προς το ηλεκτρικό μέρος, όπως και οι μαγνητικοί, έτσι και οι επαγωγικοί απαιτούν μια τάση τροφοδοσίας, συνήθως 24Vdc, ενώ η έξοδός τους μπορεί να είναι είτε NPN είτε PNP.

### 3.3.2 Περιστροφικοί κωδικοποιητές ή παλμογεννήτριες – Rotary encoder

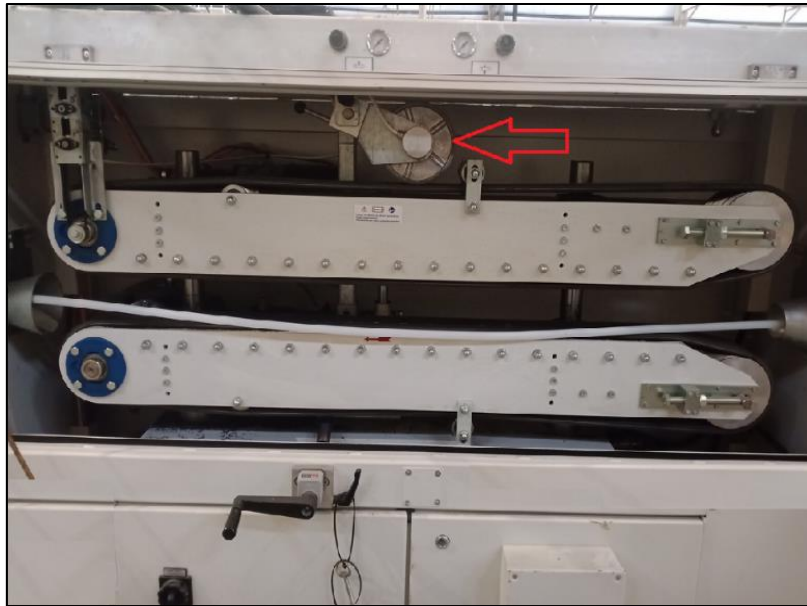
Μία από τις πιο σημαντικές συσκευές που χρησιμοποιούνται τόσο στην βιομηχανία παραγωγής σωλήνα όσο και γενικότερα σε αμέτρητες βιομηχανικές εφαρμογές είναι η παλμογεννήτρια.



Εικόνα 3-21 Encoder [Πηγή : <https://www.autonics.com/model/A2500000260>]

Όπως φαίνεται και στη εικόνα, στη μία πλευρά εξέχει ένας μικρός άξονας. Μέσω κατάλληλων συνδέσμων η παλμογεννήτρια μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί σε περιστρεφόμενο εξοπλισμό. Για να λειτουργήσει θα πρέπει αρχικά να τροφοδοτηθεί με μια τάση συνήθως 24Volt DC. Το χαρακτηριστικό το οποίο μας ενδιαφέρει σε αυτές τις συσκευές είναι οι παλμοί που μας δίνει κατά την περιστροφή της (Pulses per revolutions).

Στην παραγωγή σωλήνων, συνήθως τοποθετούμε μια ρόδα στον άξονά της και έπειτα εφάπτεται είτε πάνω στο σωλήνα που εξέρχεται από το Haul off είτε πάνω στους μάντες του ώστε να περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα. Συνδέοντας τα σήματα τις παλμογεννήτριας στο PLC, σε ειδικά διαμορφωμένες εισόδους μετατρέπουμε το πλήθος των παλμών σε ταχύτητα.



Εικόνα 3-22 Παλμογεννήτρια τοποθετημένη σε Haul Of

### 3.3.3 Πνευματικές βαλβίδες και έμβολα

Οι βαλβίδες και τα έμβολα, είναι θεμελιώδη στοιχεία στα πνευματικά συστήματα, τα οποία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε πολλές εφαρμογές αυτοματισμού. Γενικά, τα πνευματικά συστήματα περιλαμβάνουν τη χρήση πεπιεσμένου αέρα για τη μετάδοση και τον έλεγχο της ισχύος. Οι πνευματικές βαλβίδες διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη ρύθμιση της ροής του πεπιεσμένου αέρα μέσα σε ένα πνευματικό σύστημα. Μεταξύ των διαφόρων τύπων, οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης και οι ηλεκτροβαλβίδες είναι ιδιαίτερα απαραίτητες για τον έλεγχο της κίνησης των πνευματικών ενεργοποιητών.

Οι ηλεκτροβαλβίδες, διαθέτουν ένα πηνίο, το οποίο μόλις τροφοδοτηθεί με την κατάλληλη τάση, τότε αλλάζει η κατάστασή τους. Ο σκοπός αυτός των βαλβίδων είναι να ενεργοποιούν τα πνευματικά έμβολα, τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια από τον πεπιεσμένο αέρα σε γραμμική ή περιστροφική κίνηση.



Εικόνα 3-23 Πνευματικό έμβολο με βαλβίδα

Τόσο οι ηλεκτροβαλβίδες όσο και τα έμβολα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μονής ενέργειας και διπλής ενέργειας.

- Ηλεκτροβαλβίδες και έμβολα μονής ενέργειας

Αυτές οι ηλεκτροβαλβίδες διαθέτουν ένα πηνίο μόνο και μόλις δεχτούν τάση αλλάζουν την κατάσταση της βαλβίδας. Μόλις το σήμα χαθεί τότε επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Η επαναφορά της βαλβίδας γίνεται μέσω ενός ελατηρίου που έχει εσωτερικά.

Ομοίως και τα πνευματικά έμβολα μονής ενέργειας, έχουν μόνο μία είσοδο για αέρα. Χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα για να μετακινήσουν το έμβολο προς μία κατεύθυνση, βασιζόμενα σε μια εξωτερική δύναμη (όπως ένα ελατήριο) για τη διαδρομή επιστροφής. όπου μόλις περάσει αέρας, το έμβολο αλλάζει κατάσταση. Αυτοί οι ενεργοποιητές είναι κατάλληλοι για εφαρμογές όπου απαιτείται δύναμη μόνο προς μία κατεύθυνση.



Εικόνα 3-24 Ηλεκτροβαλβίδα και έμβολο μονής ενεργείας. Πηγή (<https://eu-en.airtac.com/>)

- Ηλεκτροβαλβίδες και έμβολα διπλής ενέργειας

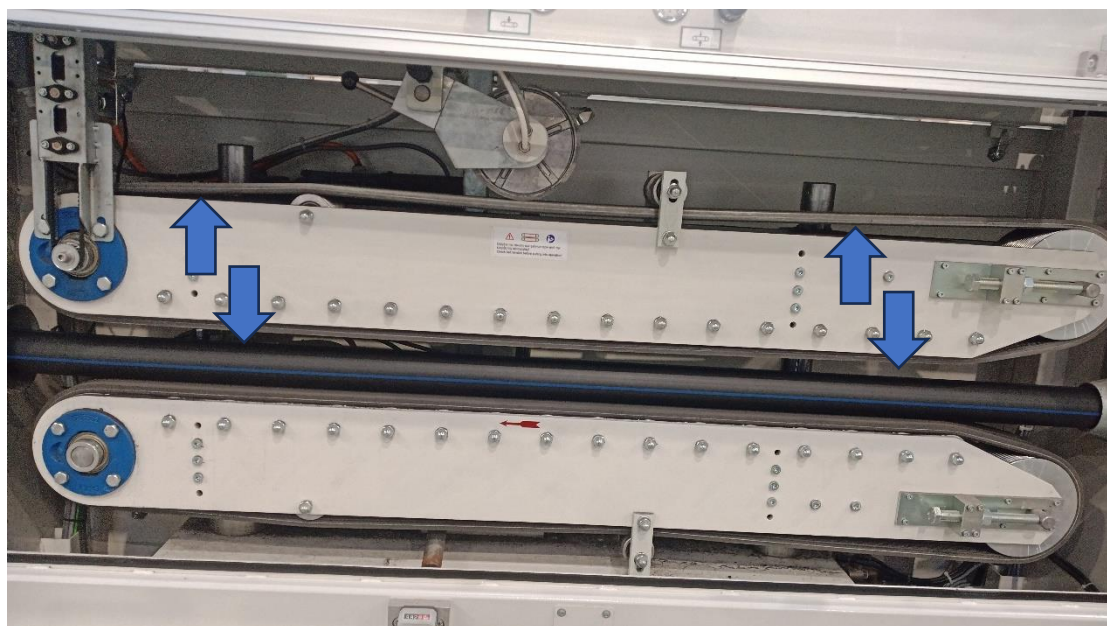
Σε αυτήν την κατηγορία οι ηλεκτροβαλβίδες διαθέτουν δύο πηνία. Συνεπώς, ανάλογα ποιο πηνίο ενεργοποιείται μεταβάλλεται η κατάσταση της ηλεκτροβαλβίδας από τη μία κατάσταση στην άλλη. Επίσης τα έμβολα διπλής ενέργειας χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα τόσο για την επέκταση όσο και για την επαναφορά του εμβόλου. Ο αμφίδρομος έλεγχος παρέχει πιο ακριβή και ευέλικτη κίνηση, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν έλεγχο και στις δύο διαδρομές.



Εικόνα 3-25 Ηλεκτροβαλβίδα και έμβολο διπλής ενεργείας. Πηγή : <https://eu-en.airtac.com/>



Τέτοιου είδους πνευματικά συστήματα στην μηχανή εξαγωγής σωλήνα χρησιμοποιούνται για την κίνηση του πάνω μάντα ή ερπύστριας ώστε να κρατάει σταθερά και στην πίεση που πρέπει τον σωλήνα.



Εικόνα 3-26 Μηχανισμός Haul Off

### 3.4 Κινητήρες και Drives

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που συναντάμε σε όλες τις μηχανές που αποτελούν μέρος της γραμμής παραγωγής των πλαστικών σωλήνων είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε διάφορες βιομηχανικές, εμπορικές και οικιακές εφαρμογές. Είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα κίνησης και ισχύος για διάφορα συστήματα.

Από τους ανεμιστήρες ψύξης του extruder, τις αντλίες του vacuum και νερού ψύξης, μέχρι τους μηχανισμούς κίνησης του haul off και το κοπτικό, συναντάμε πληθώρα από κινητήρες που μπορεί να είναι είτε ac, dc ή ακόμα και servo motors και η οδήγησή τους στηρίζεται σε ηλεκτρονικά ισχύος Inverters, DC drives και servo drive αντίστοιχα.

#### 3.4.1 Κινητήρες και drives AC

Οι κινητήρες AC χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της απλότητας, της αξιοπιστίας και της ευελιξίας τους. Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση ενός μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από εναλλασσόμενο ρεύμα και ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου που προκαλείται στο στάτορα του κινητήρα. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι κινητήρων AC που συναντάμε είναι οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες. Λειτουργούν με βάση την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, όπου ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ρεύμα στον ρότορα, προκαλώντας την περιστροφή του. Οι επαγωγικοί κινητήρες είναι στιβαροί και κατάλληλοι για διάφορες εφαρμογές, που κυμαίνονται από μικρές συσκευές έως μεγάλα βιομηχανικά μηχανήματα.

Οι κινητήρες αυτοί, μπορούν να λειτουργήσουν σε μεταβλητές ταχύτητες ενσωματώνοντας μονάδες μεταβλητής συχνότητας (VFD) ή αλλιώς inverter. Τα



Εικόνα 3-27 Τριφασικοί κινητήρες [Πηγή : (<http://www.electricalaxis.com/2023/01/3-phase-induction-motors-types-design.html>, n.d.)

inverter λειτουργούν μετατρέποντας το εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής συχνότητας από το δίκτυο σε τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβλητής συχνότητας, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της απόδοσης του κινητήρα.



Εικόνα 3-28 AC Inverters Πηγή : <https://www.deltaww.com/en-US/products/AC-Motor-Drives/ALL/>

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών, τα VFDs όταν συνδυάζονται με προηγμένους αλγόριθμους ελέγχου, συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας προσαρμόζοντας την ταχύτητα του κινητήρα με βάση τις πραγματικές απαιτήσεις φορτίου.

### 3.4.2 Κινητήρες και drives DC

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (Συνεχές Ρεύμα) μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική μέσω της αλληλεπίδρασης μαγνητικών πεδίων. Σε έναν βασικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ένα πηνίο μεταφοράς ρεύματος (οπλισμός) που τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο υφίσταται μια ροπή, προκαλώντας την περιστροφή του. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος προσφέρουν εξαιρετικό έλεγχο ταχύτητας και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο κίνησης.

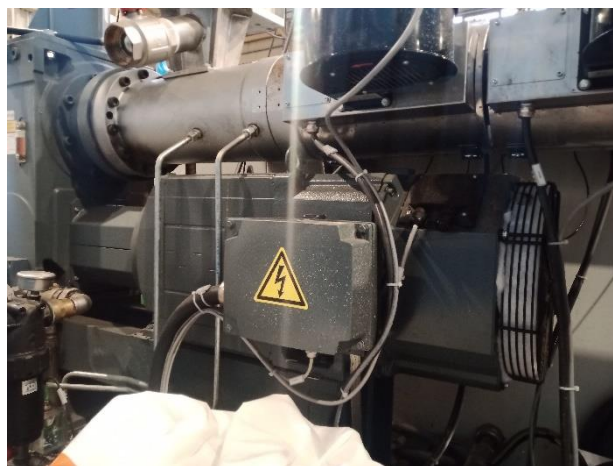
- **Brush motor:**

Η απλότητα και η οικονομική αποδοτικότητα καθιστούν τους κινητήρες με ψύκτρες συνεχούς ρεύματος κατάλληλους για εξωθητήρες όπου ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητας δεν αποτελεί κρίσιμη απαίτηση. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούν ψύκτρες για τη διατήρηση της ροής του ρεύματος στον οπλισμό. Αν και είναι οικονομικότεροι, μπορεί να εμφανίσουν φθορά λόγω τριβής της ψύκτρας.

- **Brushless motor**

Αυτοί οι κινητήρες έχουν κερδίσει δημοτικότητα για την απόδοσή τους και τις μειωμένες ανάγκες συντήρησης. Χρησιμοποιούν ηλεκτρονική μεταγωγή για τον έλεγχο της ροής ρεύματος στις περιελίξεις του κινητήρα, παρέχοντας ομαλότερη λειτουργία και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με βούρτσα.

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά των DC κινητήρων είναι ότι παρουσιάζουν υψηλά χαρακτηριστικά ροπής σε χαμηλές ταχύτητες, καθιστώντας τους κατάλληλους για τη φάση εκκίνησης των εξωθητήρων. Γεγονός που επιβεβαιώνεται στο ότι είναι και τα επικρατέστερα στην κατασκευή των extruders. Επίσης, παρέχουν μεγαλύτερη ευκολία ελέγχου ταχύτητας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος προσφέρουν εγγενώς ομαλό και ακριβή έλεγχο ταχύτητας, ζωτικής σημασίας για τις διαδικασίες εξώθησης.



*Εικόνα 3-29 Κινητήρας DC από extruder*

Ενώ όσον αφορά τα DC drive, είναι ηλεκτρονικές συσκευές που ελέγχουν την ταχύτητα και τη ροπή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Λειτουργούν μεταβάλλοντας την τάση που εφαρμόζεται στον σπλισμό του κινητήρα, ελέγχοντας τη ροή του ρεύματος και κατά συνέπεια, την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα.



*Εικόνα 3-30 DC drive από πραγματικό extruder*

### 3.4.3 Servo motors και servo drives

Οι σερβοκινητήρες είναι εξειδικευμένες συσκευές σχεδιασμένες για ακριβή έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας. Λειτουργούν με τις ίδιες βασικές αρχές με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, αλλά ενσωματώνουν μηχανισμούς ανάδρασης όπως κωδικοποιητές για να διασφαλίσουν την ακριβή θέση τους. Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως στη ρομποτική, τον αυτοματισμό και άλλες εφαρμογές όπου η ακρίβεια είναι κρίσιμη.



*Εικόνα 3-31 Servo motors και Servo drives*

Ως προς τη λειτουργία τους, οι σερβοκινητήρες λαμβάνουν σήματα (συνήθως παλμούς) από έναν ελεγκτή, υποδεικνύοντας την επιθυμητή θέση. Το εσωτερικό σύστημα ανάδρασης του κινητήρα παρακολουθεί συνεχώς την πραγματική θέση και προσαρμόζει τη λειτουργία του κινητήρα για να ελαχιστοποιήσει τυχόν σφάλματα. Αυτό το σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου επιτρέπει την ακριβή και γρήγορη τοποθέτηση, καθιστώντας τους σερβοκινητήρες απαραίτητους σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας.

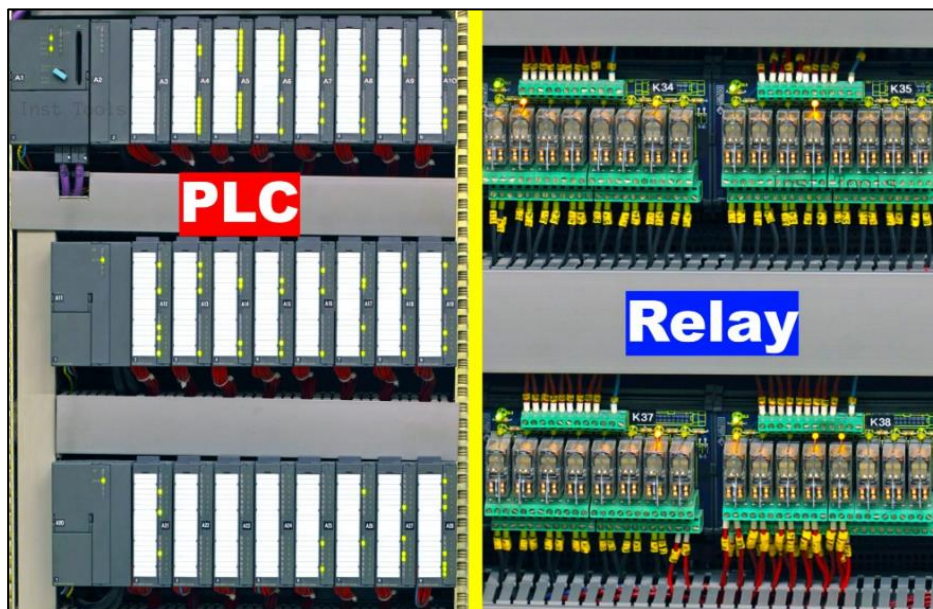
Όπως αναφέρθηκε, στη λειτουργία του κοχλία έχει καθιερωθεί να χρησιμοποιείται DC κινητήρας. Στα υπόλοιπα σημεία της γραμμής, όπως στις μηχανές κοπής και στο haul off, το τι είδος κινητήρα θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον κάθε κατασκευαστή και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

## 4. Η χρήση των PLC και HMI στην βιομηχανία

### 4.1 Εισαγωγή

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές ή εν συντομία PLC, αδιαμφισβήτητα σηματοδότησαν μια νέα εποχή και την επανάσταση στο χώρο του βιομηχανικού αυτοματισμού και των διεργασιών. Από τη δεκαετία του 1960, οι μηχανικοί της εποχής και βιομηχανικοί πρωτοπόροι αναζητούσαν έναν πιο ευέλικτο και προγραμματιζόμενο τρόπο για τη διαχείριση πολύπλοκων εργασιών.

Αυτή η ανάγκη, οδήγησε στη δημιουργία των πρώτων PLCs, που παρείχαν ψηφιακό τρόπο ελέγχου των μηχανημάτων και των διεργασιών. Έτσι από την εποχή του κλασικού αυτοματισμού με ηλεκτρονόμους (relays) περάσαμε στην προγραμματιζόμενη λογική όπου με την αλματώδη εξέλιξη της ηλεκτρονικής και γενικότερα της τεχνολογίας, οι αρχικοί ελεγκτές PLC εξελίχθηκαν σε προηγμένες συσκευές αυτοματισμού.



Εικόνα 4-1 Πίνακας με PLC & πίνακας με relay (<https://automationcommunity.com/difference-between-plc-and-relay/>, n.d.)

Οι δυνατότητες εκτέλεσης πολύπλοκης λογικής, η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων με άλλα συστήματα και γενικότερα η ευελιξία στο να προσαρμόζονται εύκολα στις διαρκώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας, όχι μόνο μείωσε σημαντικά χρόνους κατασκευής και παραγωγής αυξάνοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια των εργαζομένων σε δύσκολα βιομηχανικά περιβάλλοντα, αλλά θα μπορούσε να πει κανείς ότι αποτελούν θεμέλιο πυλώνα της 4ης βιομηχανίας (Industry 4.0).

Με τη συνεχόμενη βελτίωση των PLC, ο αυτοματισμός ολοκληρώνεται με τα συστήματα απεικόνισης HMI (εικόνα 4-2), τα οποία διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον έλεγχο μηχανών και διεργασιών. Το ακρωνύμιο HMI προκύπτει από Human Machine Interface και όπως γίνεται αντιληπτό, αποτελούν τη γέφυρα που συνδέει τον

ανθρώπινο παράγοντα με τη λειτουργία της μηχανής ή διεργασίας, επιτρέποντας την μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Συγκεκριμένα, οι οθόνες HMI, έχουν σχεδιαστεί ώστε να αναπαριστούν οπτικά την τρέχουσα διεργασία - λειτουργία, την εμφάνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και να παρέχουν δυνατότητες ελέγχου στον άνθρωπο, ώστε να προβεί σε διορθωτικές ενέργειες και τη βέλτιστη λειτουργία της μηχανής.



Εικόνα 4-2 Οθόνες HMI (Πηγή : (<https://www.deltaww.com/en-us/products/Touch-Panel-HMI-Human-Machine-Interfaces/ALL/>, n.d.)

Με τις οθόνες HMI, μειώνεται η ανάγκη για φυσικό χειροκίνητο έλεγχο, βελτιώνοντας την ασφάλεια των εργαζομένων σε δυνητικά επικίνδυνα περιβάλλοντα. Τα συστήματα αυτά, συμβάλλουν στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας μέσω των δυνατοτήτων πρόβλεψης συντήρησης, καθώς παρακολουθούν συνεχώς τις συνθήκες του εξοπλισμού και παρέχουν ειδοποιήσεις για τις ανάγκες συντήρησης πριν συμβούν κρίσιμες βλάβες.

Επιπλέον, τα συστήματα HMI επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο, επιτρέποντας στους χειριστές να επιβλέπουν και να κάνουν προσαρμογές στις διεργασίες από απόσταση, ένα χαρακτηριστικό που γίνεται ολοένα και πιο πολύτιμο με βάση τα σημερινά δεδομένα.

#### **4.2 Κατασκευαστές PLC & HMI**

Πίσω, λοιπόν, από την απρόσκοπτη λειτουργία των εργοστασίων και γενικά των γραμμών παραγωγής, βρίσκεται μια πληθώρα κατασκευαστών PLC και οθονών HMI, όπου ο καθένας από αυτούς παρέχει τη μοναδική του τεχνογνωσία και τεχνολογία στον χώρο του αυτοματισμών. Αυτοί οι κατασκευαστές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της καινοτομίας στον βιομηχανικό αυτοματισμό, ανταποκρινόμενοι στις δυναμικές απαιτήσεις ενός συνεχώς εξελισσόμενου παγκόσμιου τοπίου.

Ενδεικτικά μερικοί από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές σε PLC και οθόνες HMI είναι :

- **Siemens:** Η Siemens αδιαμφισβήτητα κατέχει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά και στον βιομηχανικό αυτοματισμό. Με πλούσια γκάμα προϊόντων για απλές μέχρι και τις πιο απαιτητικές εφαρμογές, η σειρά Siemens Simatic S7 και Simatic HMI, είναι γνωστές για την επεκτασιμότητα, την αξιοπιστία και τα προηγμένα χαρακτηριστικά τους.
- **Allen-Bradley:** Η Allen-Bradley που ανήκει στη Rockwell Automation με τις σειρές ControlLogix και Panelview χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανίες παγκοσμίως, προσφέροντας ευελιξία και συμβατότητα με ένα ευρύ φάσμα εξαρτημάτων αυτοματισμού.
- **Mitsubishi Electric:** Η Mitsubishi Electric προσφέρει φιλικές προς το χρήστη λύσεις PLC, με τις σειρές FX και GOT. Οι συγκεκριμένες σειρές PLC και HMI είναι γνωστές για την ευελιξία και την ευκολία προγραμματισμού τους, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές.
- **Omron:** Τα PLC της Omron, συμπεριλαμβανομένων των σειρών CJ και CP και τη σειρά NS για τις οθόνες, είναι γνωστά για τις ικανότητές τους σε επεξεργασία σημάτων υψηλών ταχυτήτων. Συχνά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ελέγχου ακριβείας.
- **ABB:** Τα PLC της σειράς AC500 της ABB και οι οθόνες CP6000, είναι γνωστά για την αξιοπιστία και την απόδοσή τους. Η ABB ειδικεύεται σε λύσεις αυτοματισμού και ελέγχου για βιομηχανίες όπως η ρομποτική, η ενέργεια και οι μεταφορές.
- **Delta Electronics:** Η Delta Electronics προσφέρει μια σειρά από συμπαγή και οικονομικά PLC κατάλληλα για διάφορες εργασίες ελέγχου. Συγκεκριμένα η σειρά AS200 – AS300 και η σειρά DOP για τις οθόνες, αναγνωρίζονται για την ποιότητά τους και το ανταγωνιστικό κόστος, γεγονός που τα καθιστά οικονομική επιλογή για έργα αυτοματισμού

Γενικότερα, όλοι οι κατασκευαστές PLC και HMI είναι εδραιωμένοι και έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη των βιομηχανιών παγκοσμίως παρέχοντας με συνέπεια λύσεις αυτοματισμού υψηλών προδιαγραφών. Η επιλογή της εταιρίας που θα χρησιμοποιηθεί σε κάποιο project, εξαρτάται συνήθως από παράγοντες όπως οι απαιτήσεις της εφαρμογής, τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά καθώς και το διαθέσιμο οικονομικό προϋπολογισμό. Για αυτό και όλοι οι κατασκευαστές παρέχουν πληθώρα επιλογών σε CPU με ανάλογη επεξεργαστική ισχύ σημάτων και υπολογισμών. Ταυτόχρονα, το ίδιο ισχύει και για τις οθόνες, όπου και εδώ οι επιλογές είναι άπειρες ως προς το μέγεθος και τη διασύνδεση και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν.

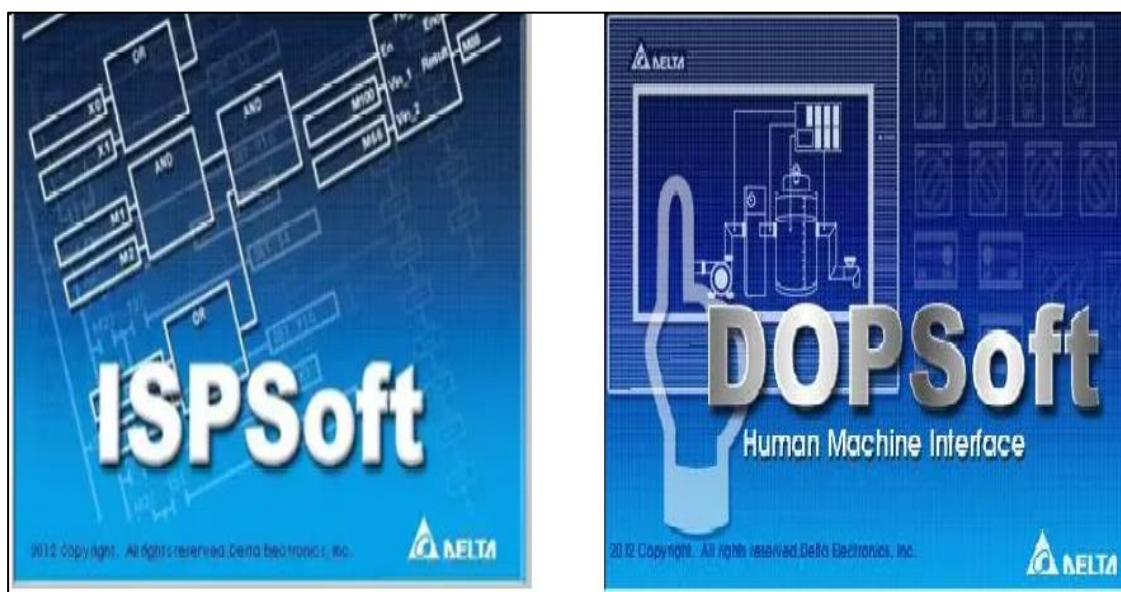
Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι κάθε κατασκευαστής παρέχει και το δικό του πακέτο λογισμικών, για το συγγραφή κώδικα για τα PLC καθώς και τον προγραμματισμό των οθονών HMI. Ανάλογα τον κατασκευαστή, το κάθε λογισμικό



μπορεί να προμηθευτεί κάποιος είτε αγοράζοντας τις άδειες χρήσης, όπου το κόστος σε μερικές περιπτώσεις είναι αρκετά υψηλό, είτε μπορεί να το παρέχει δωρεάν.

### 4.3 Το PLC που χρησιμοποιήθηκε

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για τον έλεγχο και την προσομοίωση όλης της γραμμής παραγωγής πλαστικού σωλήνα, το hardware PLC (CPU και μονάδες επέκτασης ψηφιακών και αναλογικών εισόδων-εξόδων) καθώς και της οθόνης HMI που επιλέχθηκαν, ανήκουν στην εταιρία Delta Electronics. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για το προγραμματισμό τους είναι το ISPSOft 3.18 για το PLC και το DOPSOft 4.00.16 για την οθόνη.



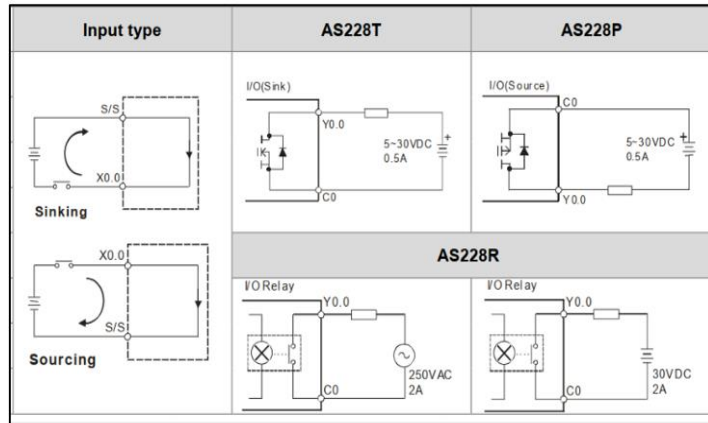
Εικόνα 4-3 Τα λογισμικά προγραμματισμού PLC και HMI

Αξίζει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι και τα δύο παρέχονται δωρεάν και είναι διαθέσιμα στο site της εταιρίας.

Στις ενότητες που ακολουθούν, γίνεται μια περιγραφή και αναφορά για τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού που χρησιμοποιήθηκε, σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή.

- Η CPU AS228(X)

Μελετώντας το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, διαπιστώνουμε ότι η συγκεκριμένη CPU διαθέτει 16 ψηφιακές εισόδους με διευθύνσεις από X0.0-X0.15 και 12 ψηφιακές εξόδους από Y0.0 – Y0.11. Η συγκεκριμένη CPU έχει διάφορες εκδόσεις όσον αφορά τη φύση των εξόδων. Συγκεκριμένα υπάρχουν έξοδοι relay (AS228-R), έξοδοι με transistor PNP (AS228-P) και με εξόδους NPN transistor (AS228-T). Ως προς τον προγραμματισμό και τις δυνατότητές τους είναι πανομοιότυπες, αυτό που τροποποιείται είναι ο τρόπος που θα συνδεθούν οι έξοδοι εφαρμογής.



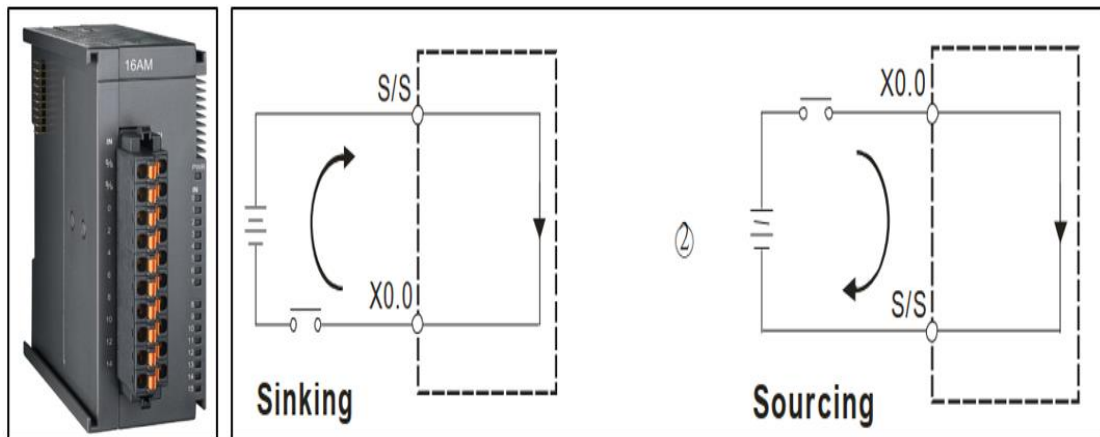
Εικόνα 4-4 H CPU AS200 Series

Επίσης ως προς τη διασύνδεση των εισόδων, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα από το φύλλο του κατασκευαστή, υποστηρίζεται είτε σύνδεση source είτε σύνδεση sink. Η επιλογή του mode γίνεται από τις εισόδους S/S και ανάλογα πρέπει να συνδεθούν οι εισοδοί.

Επίσης, ένα ακόμη από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης σειράς είναι η υποστήριξη επικοινωνιών με άλλες συσκευές μέσω διαφόρων δικτύων καθώς διαθέτει μια θύρα Ethernet, δύο θύρες RS-485 και μια θύρα CanBus

- AS16AM10N-A: Μονάδα επέκτασης 16 ψηφιακών εισόδων

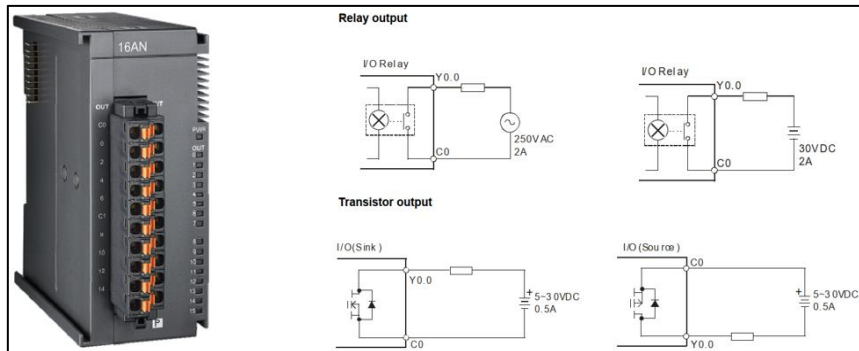
Η AS16AM10N-A είναι μια κάρτα επέκτασης 16 ψηφιακών εισόδων. Όπως ισχύει και για τις εισόδους της CPU υποστηρίζονται διασυνδέσεις είτε sink είτε source μέσω των εισόδων S/S και η τάση που θα πρέπει να συνδεθούν τα αισθητήρια είναι τα 24Vdc. Σε αυτές συνδέονται όλες οι απαιτούμενες εισοδοί της γραμμής παραγωγής, όπως μπουτόν, διακόπτες και ψηφιακοί αισθητήρες.



Εικόνα 4-5 Ψηφιακή κάρτα εισόδων

- AS16AN01-(X): Μονάδα επέκτασης 16 ψηφιακών εξόδων

Η AS16AN01N είναι μια κάρτα επέκτασης 16 ψηφιακών εξόδων. Όπως και στις CPU υπάρχουν συνολικά 3 διαφορετικοί τύποι ανάλογα με τη μορφή των εξόδων. Έτσι υπάρχει η AS16AN01-P με εξόδους PNP, η AS16AN01-N με εξόδους NPN και η AS16AN01-R με εξόδους relay όπου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μέχρι και 230 volt AC, ενώ στις άλλες μόνο από τροφοδοτικό 24Vdc.

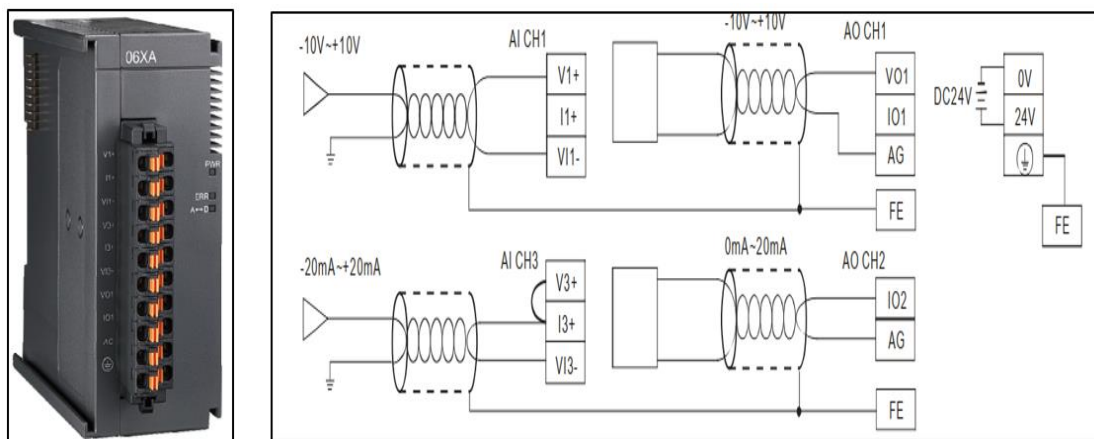


Εικόνα 4-6 Ψηφιακή κάρτα εξόδων

Συμπληρωματικά, πέρα από τις παραπάνω κάρτες εισόδων και εξόδων, υπάρχουν και κάρτες που διαθέτουν είτε μόνο 8 εισόδους, είτε μόνο 8 εξόδους ακόμα και μεικτές κάρτες των 8 εισόδων και 8 εξόδων. Το τι θα επιλεγθεί τελικά, εξαρτάται καθαρά από τις απαιτήσεις της εφαρμογής και το πλήθος εισόδων και εξόδων που θέλουμε να διαβάσει το PLC. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει ο χρήστης να συμβουλευτεί τα datasheet του κατασκευαστή ως προς τη σωστή συνδεσμολογία.

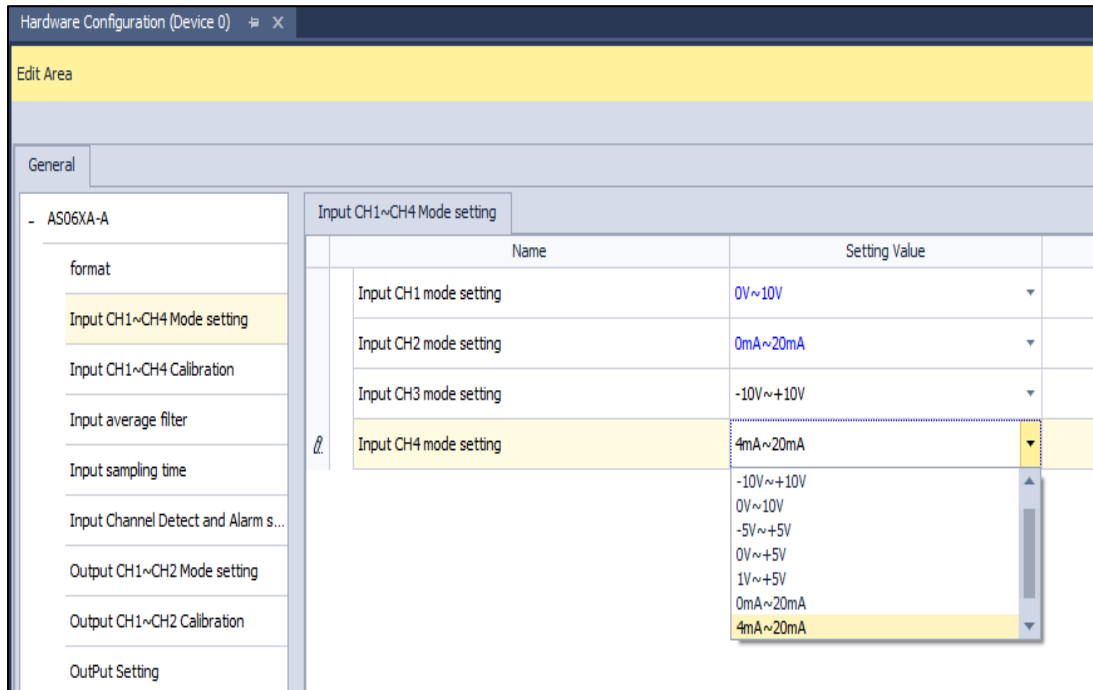
- AS06XA: Αναλογική κάρτα εισόδων και εξόδων

Η συγκεκριμένη κάρτα χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των αναλογικών σημάτων. Συγκεκριμένα αποτελείται από 4 κανάλια εισόδων και 2 κανάλια εξόδων το οποία μπορούν να επεξεργαστούν σήματα  $-10V \sim +10V$ ,  $0V \sim 10V$ ,  $-20mA \sim +20mA$ ,  $0mA \sim 20mA$  και  $4 \sim 20mA$ . Ανάλογα με το τη φύση του σήματος που παίρνουμε από τον αισθητήρα (τάση ή ρεύμα) θα πρέπει να γίνει και η κατάλληλη συνδεσμολογία στην κάρτα, αλλά και η κατάλληλη παραμετροποίηση μέσω του λογισμικού.



Εικόνα 4-7 Αναλογική κάρτα εισόδων και εξόδων

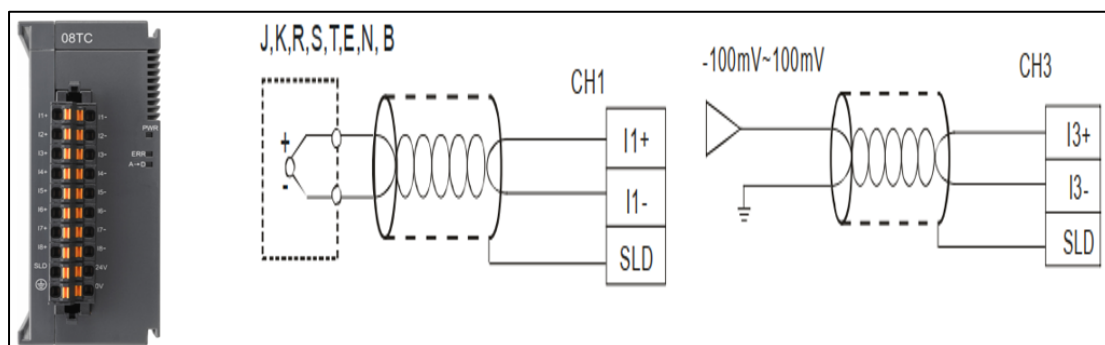
Το κάθε κανάλι είναι αυτόνομο και ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το κάθε κανάλι έχει διαμορφωθεί ώστε να διαβάσει διαφορετικό εύρος σήματος τάσης και ρεύματος.



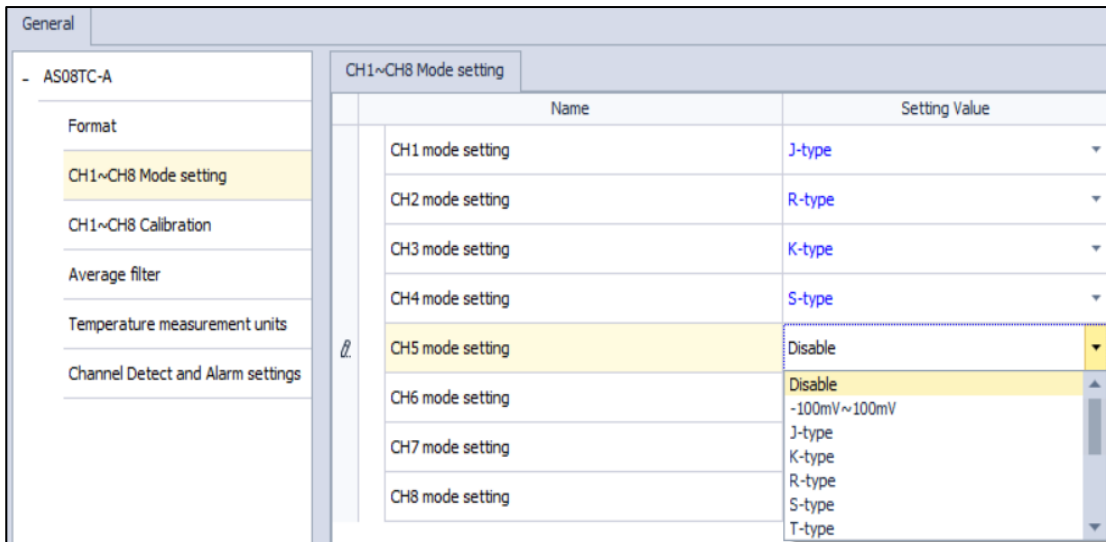
Εικόνα 4-8 Περιβάλλον διαμόρφωσης hardware αναλογικών καρτών

- AS08TC & AS06RTD-A: Κάρτες μέτρησης θερμοκρασιών

Οι συγκεκριμένες κάρτες, είναι ειδικά σχεδιασμένες για να υποστηρίξουν εφαρμογές μέτρησης θερμοκρασιών. Σε αυτές συνδέονται αποκλειστικά και μόνο αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασιών και συγκεκριμένα στην AS08TC τα θερμοστοιχεία τύπου J, K, R, T κλπ. η οποία διαθέτει 8 διαφορετικά ανεξάρτητα κανάλια.

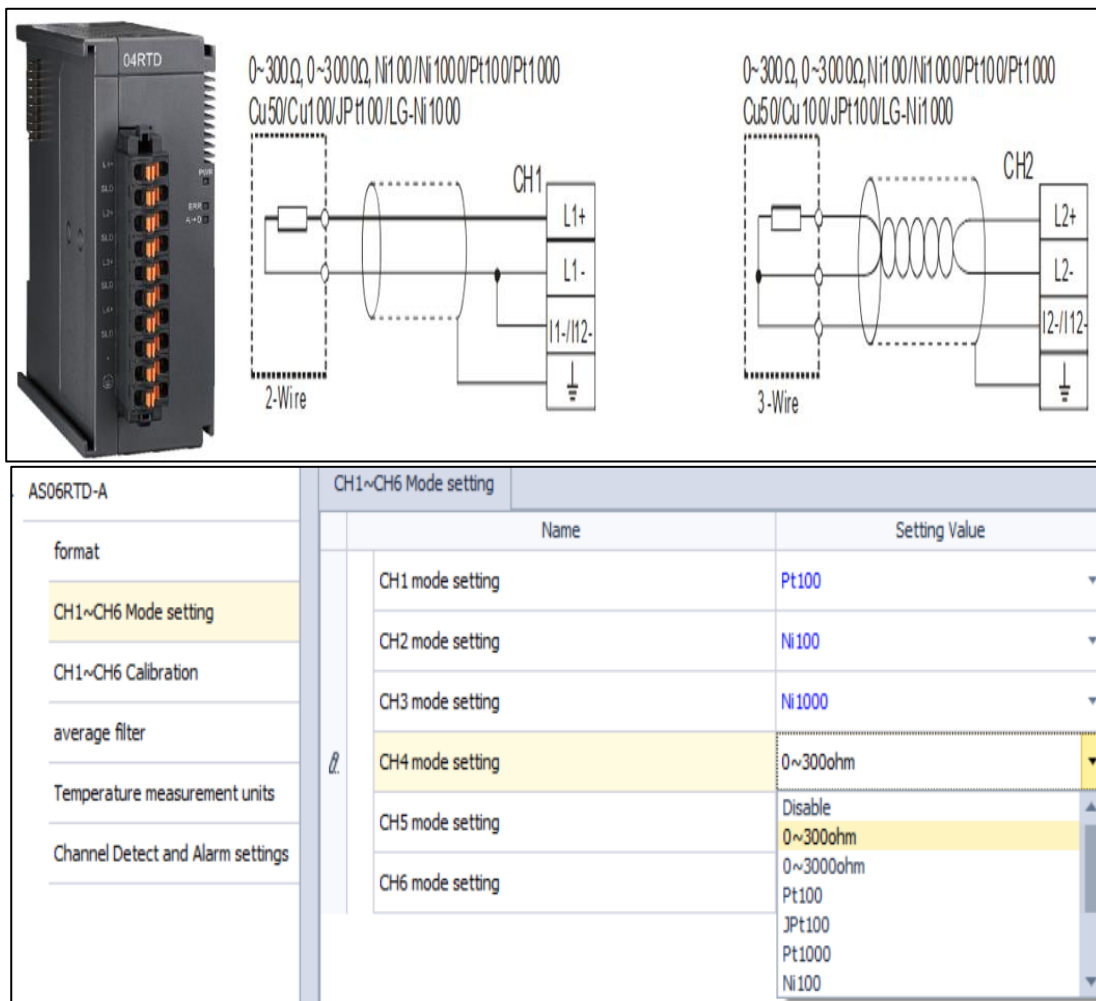


Εικόνα 4-9Κάρτα διασύνδεσης θερμοστοιχείων



Εικόνα 4-10 Περιβάλλον διαμόρφωσης κάρτες θερμοστοιχείων

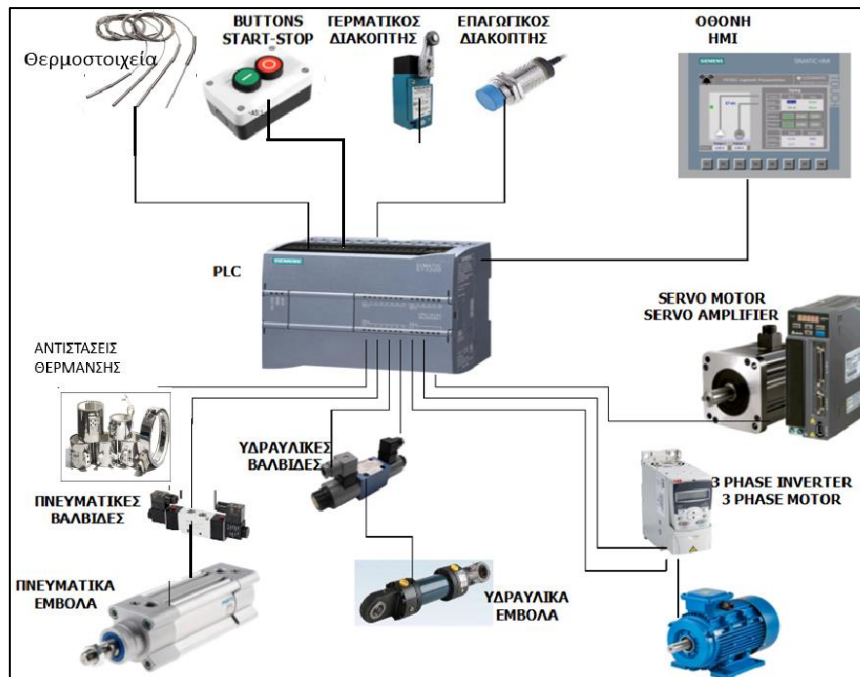
Ενώ στην AS06RTD, συνδέονται τα αισθητήρια μεταβλητής αντίστασης RTD που αναλύθηκαν παραπάνω, Pt100, Ni100 κλπ. Ομοίως και αυτή η κάρτα διαθέτει 6 κανάλια, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.



Εικόνα 4-11Κάρτα για αισθητήρες RTD και περιβάλλον διαμόρφωσης

Ανάλογα με το ποια κάρτα και τι είδους αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιηθεί, για τη σωστή συνδεσμολογία θα πρέπει να ακολουθήσουμε τις οδηγίες του κατασκευαστή και οπωσδήποτε πρέπει να γίνει και η αντίστοιχη παραμετροποίηση μέσω του λογισμικού (εικόνα 4-11).

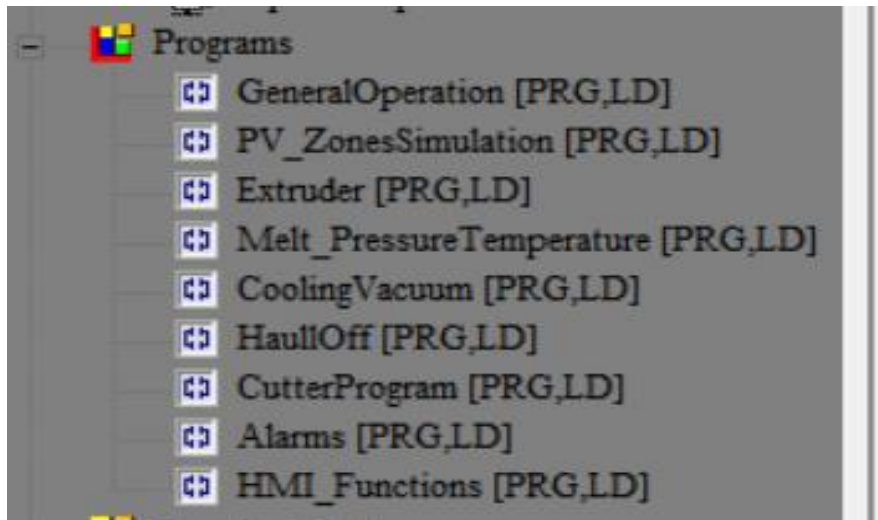
Όπως και σε κάθε εφαρμογή, εφόσον ολοκληρωθεί όλη η μελέτη των εισόδων και των εξόδων θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη διασύνδεση των φορτίων και των αισθητήρων με την καρδιά του συστήματος το PLC



Εικόνα 4-12 Διασυνδέσεις φορτίων και αισθητήρων στο PLC

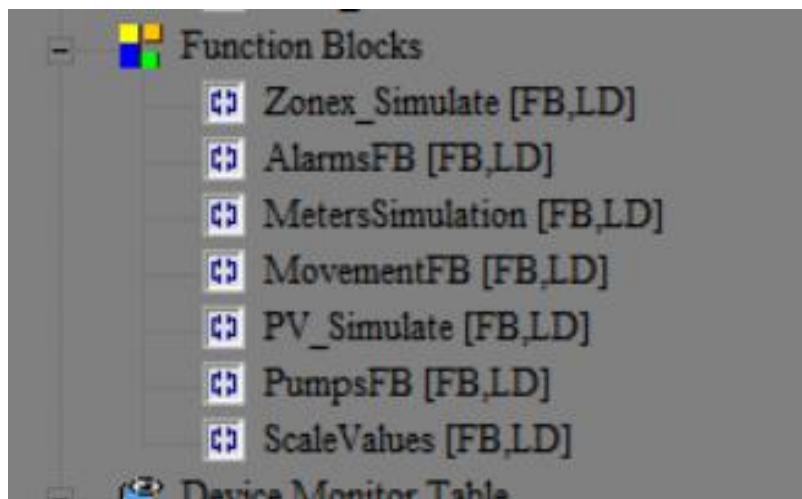
#### 4.4 Περιγραφή της εφαρμογής

Για την αυτοματοποίηση της γραμμής γράφτηκε ο κατάλληλος κώδικας στο PLC, στον οποίο στηρίζεται όλος ο έλεγχος της γραμμής. Όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα για κάθε επιμέρους μηχανή έχει γραφεί και η ανάλογη ρουτίνα κώδικα, για παράδειγμα η ρουτίνα CoolingVacuum αφορά τη λειτουργία και τον έλεγχο της δεξαμενής κενού.



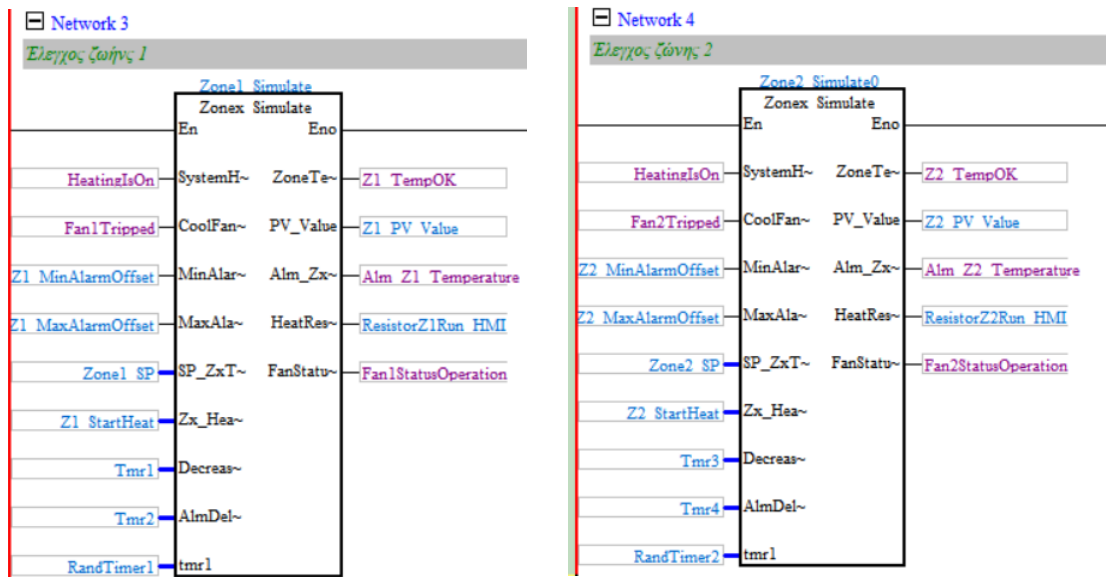
Εικόνα 4-13 Ρουτίνες κώδικα PLC

Επίσης, για να είναι πιο σωστά οργανωμένος ο κώδικας της εφαρμογής, έγινε η χρήση Function Blocks, τα οποία βοηθούν ιδιαίτερα εφόσον υπάρχουν, όμοια συστήματα προς έλεγχο.



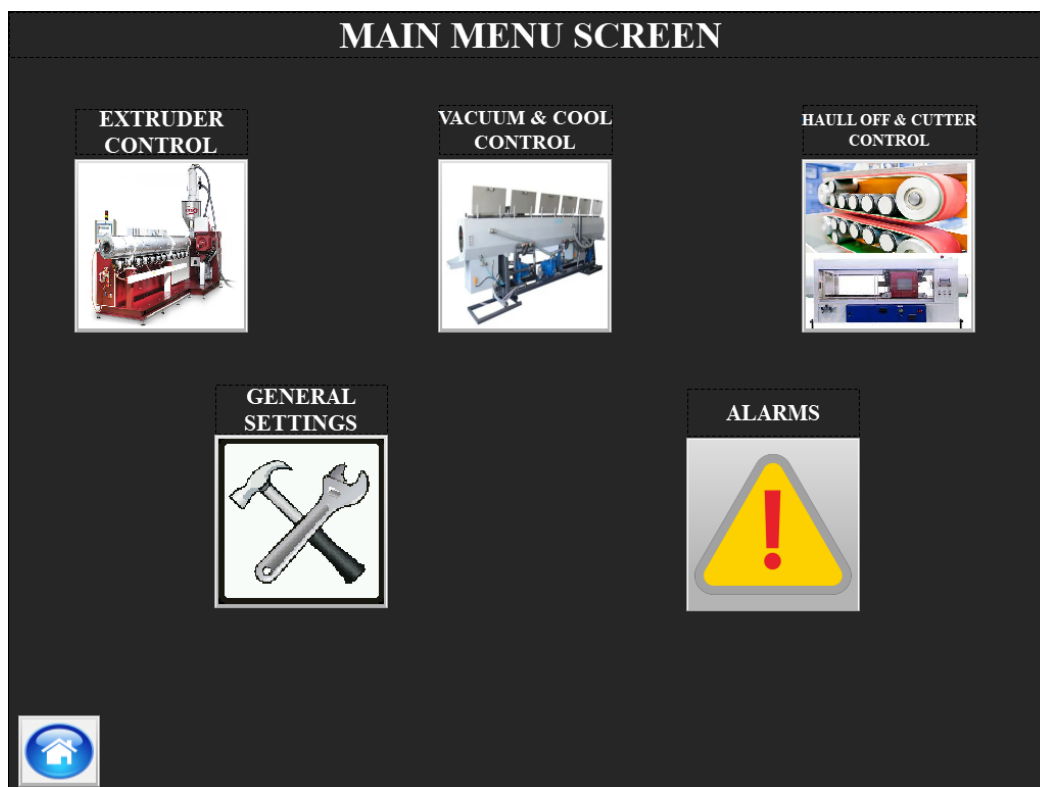
Εικόνα 4-14 Function Blocks της εφαρμογής

Για παράδειγμα το Function block με όνομα Zonex\_Simulate περιλαμβάνει τον κώδικα που προσομοιώνει τον έλεγχο για κάθε ζώνη θέρμανσης στο extruder ενώ το function block PumpsFB αφορά τη λειτουργία και τον έλεγχο των αντλιών και των κινητήρων της γραμμής. Έτσι στη ρουτίνα (εικόνα 4-13) PV\_ZonesSimulation, το function block Zonex\_Simulate καλείται 6 φορές, όσες δηλαδή και οι ζώνες του extruder.



Εικόνα 4-15 Κλήση function blocks για τη ζώνη 1 & 2

Ο χειρισμός όλης της γραμμής γίνεται μέσω μιας οθόνης όπου ο χρήστης όχι μόνο μπορεί να χειριστεί όλον τον εξοπλισμό, αλλά έχει και πλήρη εποπτεία όλων των κρίσιμων παραμέτρων της διεργασίας κατά την παραγωγή. Ανοίγοντας την αρχική σελίδα της εφαρμογής, μας εμφανίζει το κεντρικό μενού από το οποίο ο χρήστης επιλέγει ποια μηχανή θέλει να χειριστεί, καθώς επίσης και την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος όσον αφορά ρυθμίσεις και alarms



Εικόνα 4-16 Κεντρικό μενού εφαρμογής



#### 4.4.1 Οθόνη εποπτείας extruder

Στην οθόνη γενικής εποπτείας του extruder, παρέχεται μια κεντρική εικόνα για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των παραμέτρων εξώθησης, εμφανίζοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα κοχλίας και οι θερμοκρασίες ζωνών.

Για να μπορέσει να ξεκινήσει ο κοχλίας, θα πρέπει αρχικά όλες οι ζώνες να ρυθμιστούν και να φτάσουν στο επιθυμητό setpoint θερμοκρασίας που έχουμε ορίσει. Στη έξοδο του extruder γίνονται οι μετρήσεις του τήγματος, θερμοκρασία και πίεση. Ειδικότερα για τη μέτρηση της πίεσης, καθότι κρίσιμη, στις ρυθμίσεις της εφαρμογής θα πρέπει να ρυθμιστεί και η τιμή alarm, ώστε αν τυχόν ξεπεραστεί να σταματήσει όλη η γραμμή.



Εικόνα 4-17 Οθόνη γενικής εποπτείας Extruder

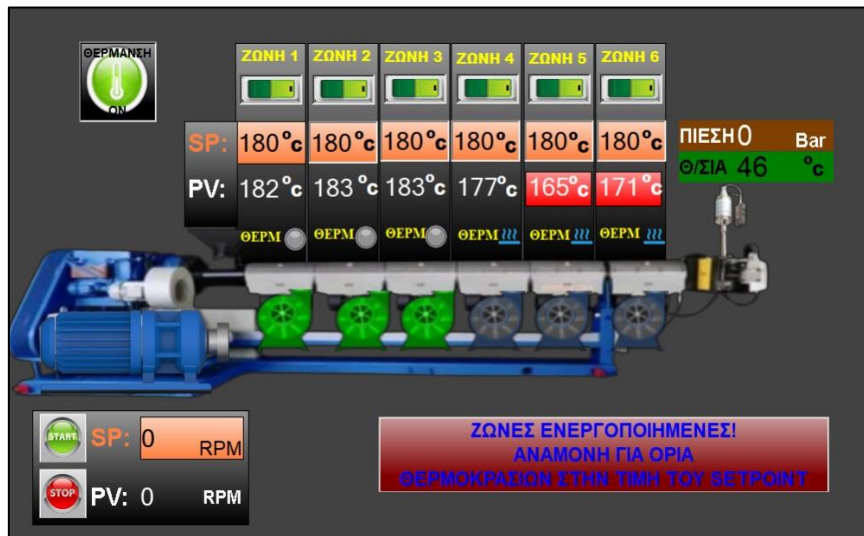
Αναλυτικότερα, εφόσον ενεργοποιηθεί η θέρμανση, στην εφαρμογή απεικονίζονται όλες οι τρέχουσες λειτουργίες και συνθήκες και συγκεκριμένα :

- Αν όλες οι ζώνες βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων
- Αν την τρέχουσα στιγμή, η ζώνη θερμαίνεται ή ψύχεται μέσω του blower
- Παράλληλα εμφανίζεται και ένα κείμενο ενημέρωσης προς το χειριστή, σε τι στάδιο βρίσκεται το extruder

Αναλυτικότερα στην εικόνα 4-18 παρατηρούμε ότι όλες οι ζώνες έχουν ρυθμιστεί με setpoint στους 180 βαθμούς και συγκεκριμένα η τρέχουσα θερμοκρασία στις ζώνες 1,2

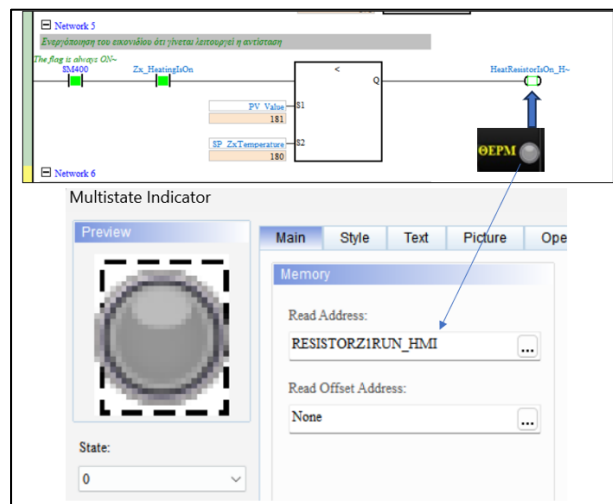
και 3 είναι μεγαλύτερη από το setpoint. Τα δεδομένα αυτά τα διαβάζει το PLC και αναλόγως χειρίζεται την εντολή θέρμανσης ή ψύξης. Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή η θέρμανση είναι απενεργοποιημένη (γκρι ένδειξη), ενώ η εντολή ψύξης είναι ενεργοποιημένη που σημαίνει, ότι ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας (πράσινο χρώμα) μέχρι η θερμοκρασία να επανέλθει στα όριά της.

Αντιθέτως, οι ζώνες 4,5 και 6 βρίσκονται σε στάδιο θέρμανσης αφού η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη, συνεπώς μεταβάλλεται και το αντίστοιχο εικονίδιο. Συγκεκριμένα, για τις ζώνες 5 και 6, επειδή η τρέχουσα τιμή βρίσκεται μακριά από το setpoint, εμφανίζεται μια κόκκινη ένδειξη που δηλώνει ότι δεν βρίσκονται στα ασφαλή όρια λειτουργίας. Αντιθέτως, επειδή η ζώνη 4 βρίσκεται κοντά στην ρύθμιση του setpoint το κόκκινο εικονίδιο δεν εμφανίζεται.



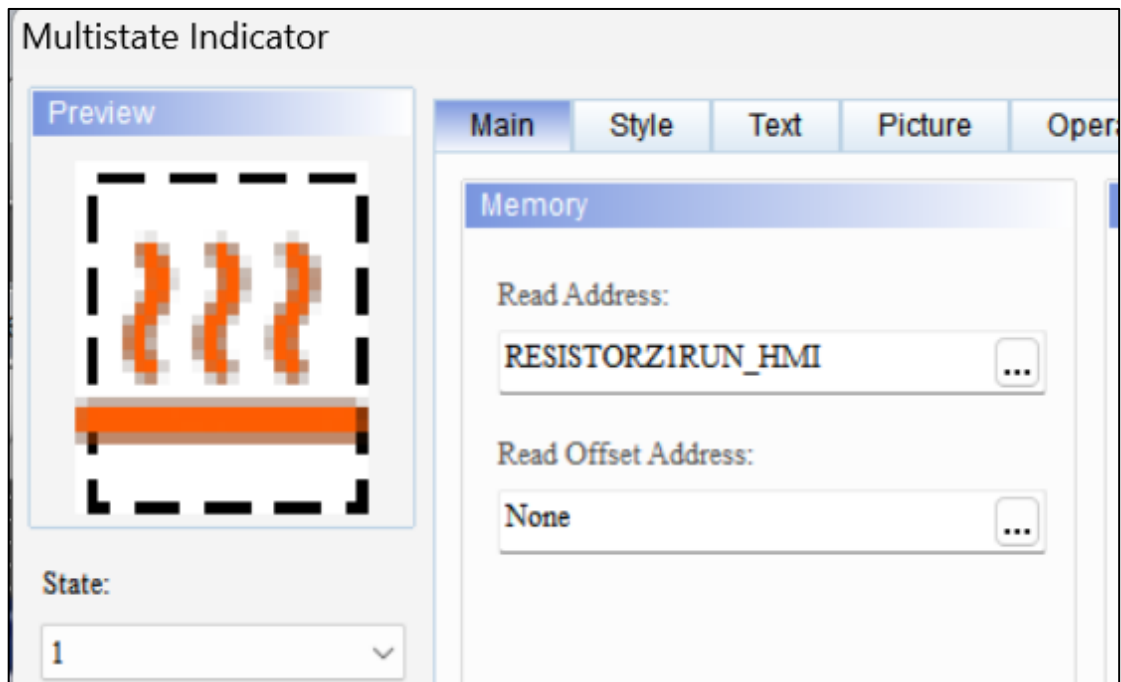
Εικόνα 4-18 Προθέρμανση extruder

Ως προς την υλοποίηση των παραπάνω λειτουργιών έχει γραφεί function block τα οποία προσομοιώνει αυτή τη λειτουργία. Συγκεκριμένα, στο παρακάτω κομμάτι του κώδικα γίνεται ο έλεγχος κατά τον οποίο η τιμή PV\_Value (τρέχουσα τιμή) είναι μεγαλύτερη από το SP\_Value (Setpoint) άρα η εντολή για θέρμανση είναι απενεργή και το αντίστοιχο εικονίδιο είναι γκρι.



Εικόνα 4-19 Κομμάτι κώδικα και παραμετροποίηση του εικονιδίου θέρμανσης

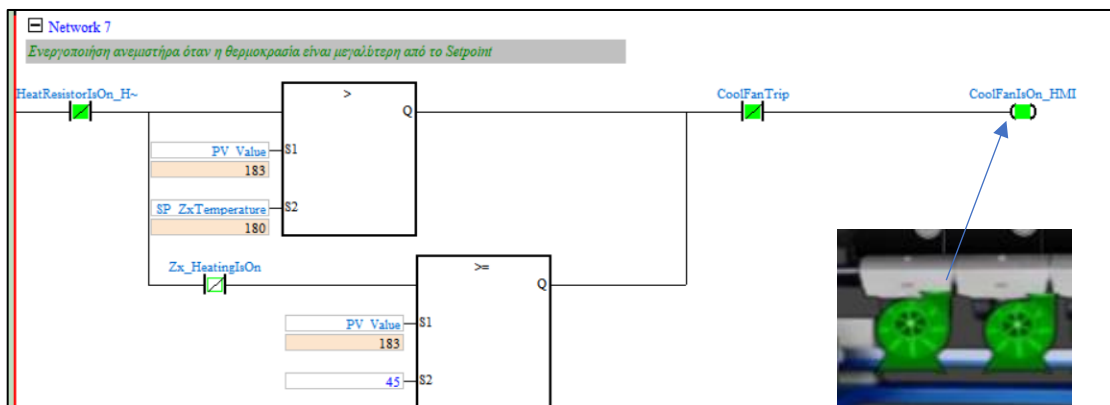
Ενώ ως προς την οπτική υλοποίηση μέσω του λογισμικού DorSoft χρησιμοποιούμε ένα multistate indicator στο οποίο και αποδίδουμε το tag με τη διεύθυνση που αντιστοιχεί στην εντολή ενεργοποίησης. Όταν, λοιπόν το bit είναι off (state 0) τότε



Εικόνα 4-20 Παραμετροποίηση εικονιδίου για state 1

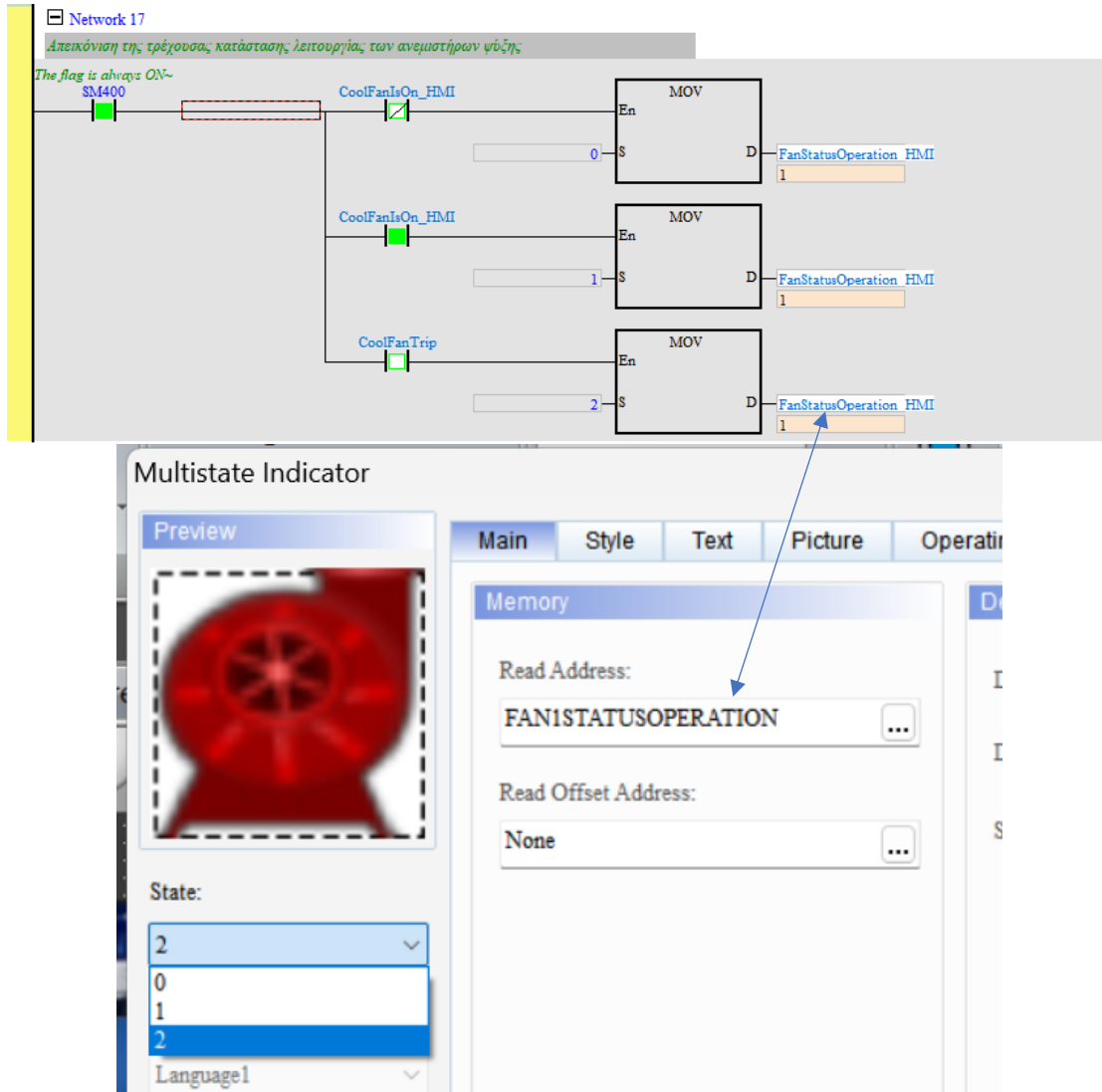
επιλέχθηκε να εμφανίζεται η γκρι ένδειξη. Στην περίπτωση όμως που είναι ενεργό (state 1) τότε το εικονίδιο αλλάζει και εμφανίζεται το παραπάνω.

Αντίστοιχα γίνεται και η παραμετροποίηση της λειτουργίας των ανεμιστήρων ψύξης. Αρχικά γίνεται ο έλεγχος της τρέχουσας τιμής και εφόσον είναι μεγαλύτερη από το setpoint τότε ενεργοποιείται η εντολή ενεργοποίησης του ανεμιστήρα (CoolFanIsOn\_HMI)



Εικόνα 4-21 Κώδικας ενεργοποίησης ανεμιστήρα

Σε αυτήν την περίπτωση εκτός από τις καταστάσεις λειτουργίας, υπάρχει και η περίπτωση ότι ο ανεμιστήρας είναι σε σφάλμα από πτώση θερμοκικού. Ανάλογα σε τι κατάσταση βρίσκεται ο ανεμιστήρας, φορτώνουμε και μια τιμή σε μια μεταβλητή (word) με το όνομα FanStatusOperation\_HMI. Έτσι η μεταβλητή θα έχει την τιμή 0 όταν ο ανεμιστήρας δεν λειτουργεί, 1 όταν λειτουργεί και 2 όταν θα είναι σε σφάλμα.



Εικόνα 4-22 Παραμετροποίηση ανεμιστήρα ψύξης

Το τελευταίο στάδιο είναι να ρυθμίσουμε τις επιθυμητές στροφές του κινητήρα και να τον εκκινήσουμε.

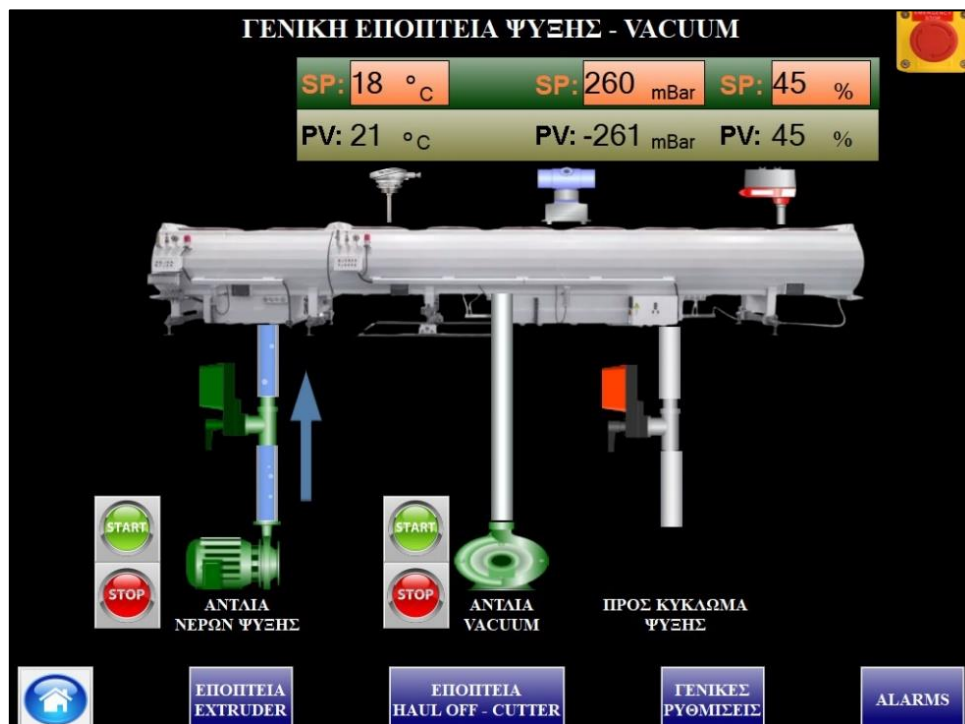


Εικόνα 4-23 Απεικόνιση εκκίνησης extruder

#### 4.4.2 Οθόνη εποπτείας vacuum – ψύξης

Σε αυτή την οθόνη, γίνονται οι ρυθμίσεις που αφορούν τις συνθήκες που επικρατούν στη δεξαμενή του vacuum και συγκεκριμένα :

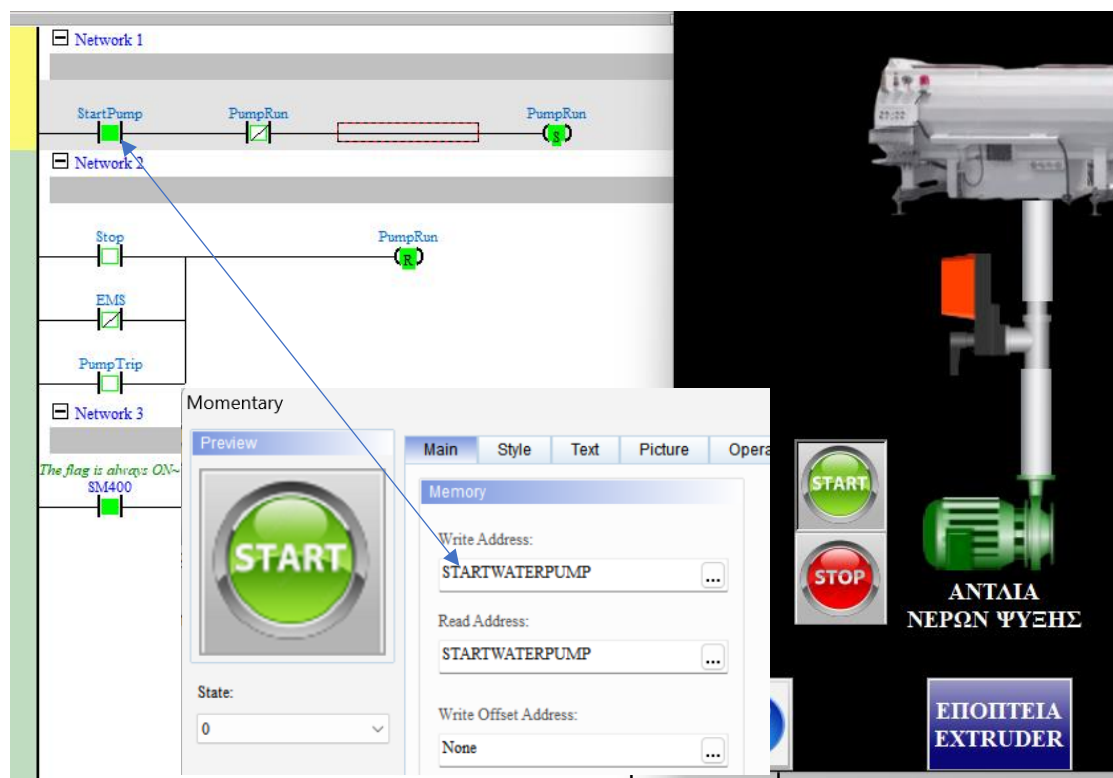
- Τη θερμοκρασία των νερών εισόδου
- Την υποπίεση του θαλάμου και
- Τη στάθμη του νερού



Εικόνα 4-24 Οθόνη εποπτείας Vacuum

Επίσης, από αυτήν την οθόνη γίνεται και η ενεργοποίηση των αντλιών vacuum και πλήρωσης νερών. Το πρόγραμμα που εκτελείται από το PLC, διασφαλίζει ότι οι συνθήκες θα παραμείνουν στις ρυθμίσεις που έχουν προγραμματιστεί.

Αντίστοιχα με τον προγραμματισμό του extruder, για το χειρισμό των αντλιών έχει γραφεί το function block PumpsFB στο οποίο γίνεται ο χειρισμός τους. Μόνο που σε αυτήν την περίπτωση η ενεργοποίησή τους γίνεται από τον χειριστή μέσω των buttons Start-Stop και όχι αυτόματα. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το button Start φέρει το tag name StartWaterPump. Επίσης μέσω του λογισμικού έχει την ιδιότητα να λειτουργεί ως Momentary(στιγμιαίο) button, οπότε αν πατηθεί μια φορά, γίνεται η ενεργοποίηση της αντίστοιχης εισόδου στο πρόγραμμα και με βάση τον κώδικα γίνεται set η έξοδος που ενεργοποιεί την αντλία (PumpRun)



Εικόνα 4-25Κώδικας και παραμετροποίηση start stop αντλιών

#### 4.4.3 Οθόνη Haul Off και κοπτικού

Στη συγκεκριμένη οθόνη δηλώνουμε την ταχύτητα με τη οποία θα κινούνται οι μάντες το haul off που ουσιαστικά είναι η ταχύτητα της γραμμής. Μέσω της οθόνης αυτής, οι χειριστές μπορούν να ορίσουν τις επιθυμητές παραμέτρους παραγωγής, να ξεκινήσουν αλλαγές και να λάβουν άμεση ανατροφοδότηση για την απόδοση του μηχανήματος, συμβάλλοντας στον αποτελεσματικό και ακριβή έλεγχο της γραμμής παραγωγής πλαστικών σωλήνων.



Εικόνα 4-26 Οθόνη εποπτείας haul off και κοπτικού

Σε αυτό το στάδιο το PLC διασφαλίζει και διατηρεί σταθερή ταχύτητα στις ταινίες του τραβηχτικού. Ο έλεγχος γίνεται ανταλλάσσοντας σήματα το PLC με τα drives των ταινιών, ενώ για το κοπτικό απαιτείται ακριβής έλεγχος κατά την κοπή. Η ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί το φορείο πρέπει να είναι ταχύτητα με την οποία κινείται ο σωλήνας.

Από την πλευρά της μηχανής κοπής, γίνεται ο έλεγχος και η παρακολούθηση της διαδικασίας κοπής παρέχοντας στους χειριστές πρόσβαση ώστε να προσαρμόζουν παραμέτρους όπως το μήκος κοπής, την ταχύτητα και τις ρυθμίσεις δίσκου, επιτρέποντας την ακριβή προσαρμογή σύμφωνα με συγκεκριμένες απαιτήσεις παραγωγής.

Ως προς τη λειτουργία του κοπτικού, τα μέτρα που έχουν παραχθεί, μετρούνται και μόλις ολοκληρωθεί το επιθυμητό μήκος τότε ξεκινάει η κοπή του σωλήνα. Κατά τη διάρκεια της κοπής, μέσω της οπτικής αναπαράστασης φαίνεται ότι το φορείο κινείται

με την ταχύτητα της γραμμής, ενώ παράλληλα στη οθόνη εμφανίζεται μήνυμα σε ποιο στάδιο βρίσκεται η κοπή.



Εικόνα 4-27 Απεικόνιση λειτουργία κοπής



#### 4.4.4 Οθόνη Alarms

Όπως σε κάθε διεργασία και μηχάνημα που λειτουργεί αυτόματα, έτσι και σε αυτήν την περίπτωση έχουμε μια οθόνη με όλα τα alarm της γραμμής παραγωγής και μια πλήρη εποπτεία της γραμμής. Ο σκοπός είναι να ενημερωθεί ο χειριστής και να προβεί στις απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες και να συνεχιστεί η παραγωγή ομαλά.

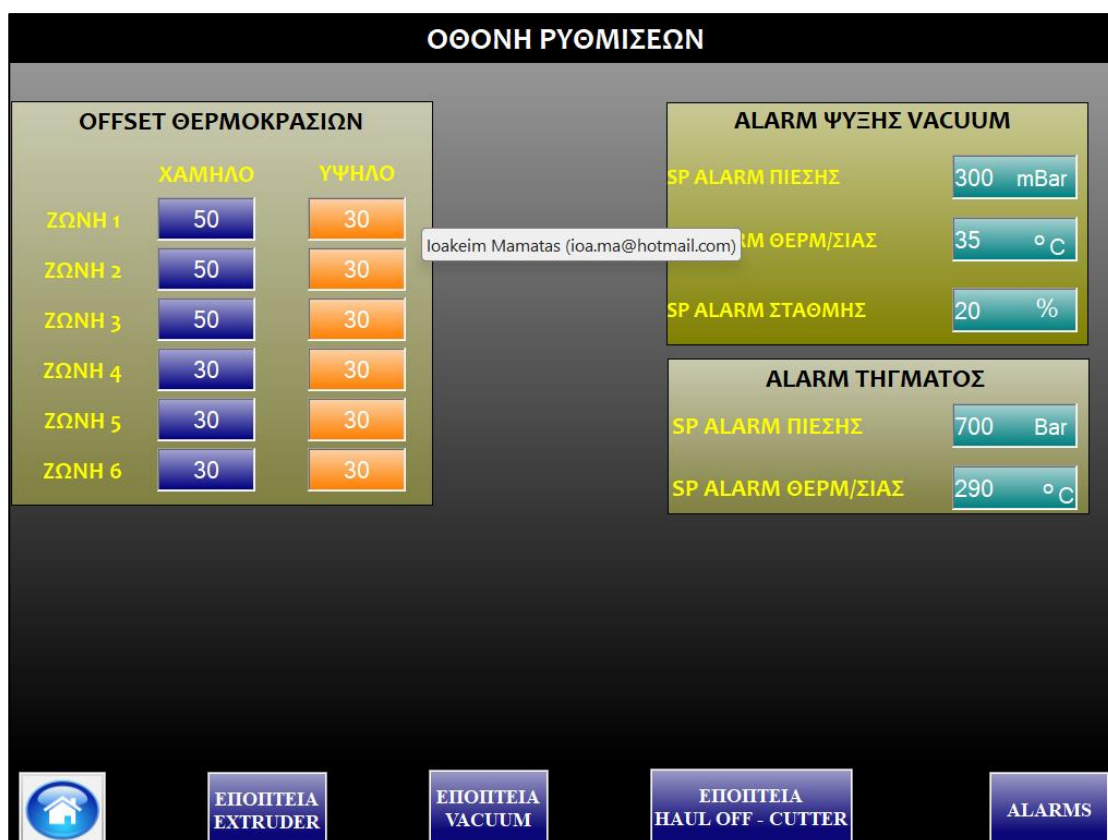


Εικόνα 4-28 Οθόνη alarms

Υπάρχουν φυσικά και κάποιες κρίσιμες περιπτώσεις, όπως η υψηλή πίεση του τήγματος και το σφάλμα από τα ασφαλιστικά του κοχλία καθώς και το αν έχει ενεργοποιηθεί ο διακόπτης ασφαλείας Emergency, τα οποία σταματούν ακαριαία όλη τη γραμμή. Ανάλογα λοιπόν με το τι θα προκύψει, ο χειριστής θα το εντοπίσει σε αυτήν την οθόνη.

#### 4.4.5 Οθόνη ρυθμίσεων

Στην τελευταία οθόνη δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δηλώσει στο σύστημα τις επιθυμητές τιμές των ορίων στα κρίσιμα μεγέθη όπως η πίεση τήγματος, οι θερμοκρασίες κλπ. Οι συνθήκες λειτουργίας και οι εκάστοτε τιμές των παραμέτρων λειτουργίας μεταβάλλονται ανάλογα με την προϊόν που παράγεται. Σε αυτή την οθόνη παρέχεται η δυνατότητα να προσαρμοστούν τα όρια ενημέρωσης και alarm, στις τιμές που διασφαλίζουν την ασφαλή και ομαλή παραγωγή



Εικόνα 4-29 Οθόνη ρυθμίσεων

Συμπερασματικά από όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, η χρήση οθονών HMI κατέχουν το πολύ σημαντικό ρόλο να διευκολύνουν την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των χειριστών και των επιμέρους μηχανημάτων μιας ολοκληρωμένης γραμμής παραγωγής πλαστικών σωλήνων.

Μέσω έξυπνων γραφικών και δυνατοτήτων της οθόνης αφής, οι χειριστές μπορούν να παρακολουθούν, να ελέγχουν και να προσαρμόζουν αποτελεσματικά τις παραμέτρους σε διαφορετικά στάδια, διασφαλίζοντας ακρίβεια και τήρηση των προτύπων ποιότητας. Μέσω της οθόνης παρέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προηγμένα χαρακτηριστικά και διαγνωστικά εργαλεία, δίνοντας τη δυνατότητα στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να ανταποκρίνονται άμεσα σε τυχόν αποκλίσεις ή προκλήσεις στη διαδικασία παραγωγής.

## 5. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, η παρούσα διπλωματική εργασία εμβαθύνει στην μελέτη και υλοποίηση μιας γραμμής παραγωγής πλαστικών σωλήνων με την εφαρμογή συστημάτων PLC και οθονών HMI, εστιάζοντας στον εκσυγχρονισμό και την αυτοματοποίηση της γραμμής παραγωγής. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών έχει αποδειχθεί καθοριστική για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και του ελέγχου ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας.

Μέσα από την ανάλυση του μηχανολογικού εξοπλισμού όπως ο εξωθητήρας, που λειτουργεί ως η καρδιά της διαδικασίας, αναδεικνύεται ο κρίσιμος ρόλος του ελέγχου θερμοκρασίας και πίεσης για τον σωστό σχηματισμό σωλήνων. Η δεξαμενή ψύξης και αναρρόφησης, εξασφαλίζει την ελεγχόμενη στερεοποίηση των σωλήνων, επηρεάζοντας τη δομική τους ακεραιότητα. Ο μηχανισμός εξαγωγής σωλήνων και το κοπτικό, που αναλύθηκαν σχολαστικά, υπογραμμίζουν τη σημασία των συγχρονισμένων και ακριβών κινήσεων για την επίτευξη ομοιομορφίας και ακρίβειας στο τελικό προϊόν.

Στον ηλεκτρικό τομέα, η ενσωμάτωση αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ενισχύει περαιτέρω την πολυπλοκότητα της γραμμής παραγωγής. Αυτοί οι αισθητήρες, τοποθετημένοι στρατηγικά, συμβάλλουν στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο διαφόρων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η πίεση και οι διαστάσεις του προϊόντος. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των αισθητήρων και του PLC είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, επιτρέποντας στο σύστημα να ανταποκρίνεται δυναμικά στις αποκλίσεις και διασφαλίζοντας την παραγωγή σωλήνων υψηλής ποιότητας.

Η συνολική προσέγγιση για την κατανόηση τόσο των μηχανικών όσο και των ηλεκτρικών τμημάτων, καθώς και η ομαλή λειτουργία μεταξύ τους που διευκολύνεται από την τεχνολογία PLC και HMI, δημιουργούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής. Όλη η μελέτη που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία, υπογραμμίζει την αναγκαιότητα και κρίσιμότητα του αυτοματισμού, όπου η επιτυχία μιας παραγωγικής διαδικασίας έγκειται στην απρόσκοπτη ενοποίηση τόσο των μηχανικών όσο και των ηλεκτρικών πτυχών. Καθώς οι βιομηχανίες συνεχίζουν να εξελίσσονται, αυτή η εργασία χρησιμεύει ως απόδειξη της προσαρμοστικότητας και της αποτελεσματικότητας των συστημάτων PLC και HMI στη σύγχρονη κατασκευή.

## 6. Βιβλιογραφία

- [1]. Battenfeld-Cincinnati. (2020). *Μετάφραση των πρωτότυπων οδηγιών λειτουργίας, PullStream B 63-120.*
- [2]. Christopher Fritzon, N. P. (2021). *Modelling and Control of an Extruder Cooling System* . Sweden.
- [3]. Gustavo Caiza, A. N. (2019). *Human Machine Interfaces Based on Open-Source Web-Platform and OPC.*
- [4]. Hanza Abu Obcid, M. H. (2015). *Development of panel Plastic Pipe line operation.* Palestine.
- [5]. Harold F. Giles, J. R. (2005). *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook.* United States of America: William Andrew, Inc.
- [6]. Igor Kocić, S. S. (2022). *Single Screw Extruder Temperature Control Using PLC and HMI in Cable Production Process.* Serbia.
- [7]. John Goff, T. W. (χ.χ.). *The Dynisco Extrusion Processors Handbook (2nd Edition).*
- [8]. Quelal, R. S. (2019). *Processing, characterization and simulation of extrusion process.* Leiria.
- [9]. S Syufrijal, M. R. (2021). *Design and implementation of pipe cutting machine with AC servo motor and PLC based on HMI.*
- [10]. Thandolwenkosi E Ncube, T. M. (2018). *Design of an automated Poly-Vinyl Chloride (PVC) Pipe cutting Machine* . Washington.
- [11]. Harshitha R, D. M. (2017). *Development of PLC based Automatic Prototype Cutting Machine.*
- [12]. Housseem Eddine Amara, S. L. (2018). *Graphical Modeling and Automation of a Single Screw Extruder.*
- [13]. Harshitha R, D. M. (2017). *Development of PLC based Automatic Prototype Cutting Machine.*
- [14]. Housseem Eddine Amara, S. L. (2018). *Graphical Modeling and Automation of a Single Screw Extruder.*