



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS  
UNIVERSITY  
OF THRACE

## Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

---

### Ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες: Διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον κύκλο κατεργασίας ενός προϊόντος

Διπλωματική Εργασία

**Αναστάσιος Παναγιωτίδης**  
Αρ. Μητρώου 92142



Ξάνθη, Οκτώβριος 2023



## Copyright ©

Οι διπλωματικές εργασίες προστατεύονται με το νόμο των πνευματικών δικαιωμάτων (Ν.2121./93). Η διπλωματική εργασία αποτελεί προϊόν συνεργασίας του φοιτητή και των μελών ΔΕΠ, ΕΔΠ, ΕΕΠ και ΕΤΕΠ που επιβλέπουν την εκπόνησή της στο ΤΜΠΔ. Τα φυσικά αυτά πρόσωπα έχουν και τα πνευματικά δικαιώματα στη δημοσίευση των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικά περιοδικά καθώς και στις ανακοινώσεις τους σε επιστημονικά συνέδρια. Στις Δημοσιεύσεις αυτές τηρείται η επιστημονική δεοντολογία. Η διπλωματική εργασία και ότι άλλο έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της εκπόνησης ή θα προκύψει από αυτήν όπως τα πιθανά δικαιώματα ευρεσιτεχνίας ή εμπορικής εκμετάλλευσης, προστατεύονται με τη νομοθεσία Ν.2121/93 περί πνευματικής ιδιοκτησίας και ανήκουν στο φοιτητή(-ια), τα μέλη ΔΕΠ, ΕΔΠ, ΕΕΠ και ΕΤΕΠ που έχουν επιβλέψει και αναφέρονται στη δήλωση ανάθεσης της διπλωματικής εργασίας. Στη λίστα των ατόμων που έχουν πνευματικά δικαιώματα μπορεί να προστεθούν και διδάσκοντες ΠΔ407/80 ή άλλα άτομα που έχουν συμβάλει δημιουργικά στην επιτυχή ολοκλήρωση τους, ύστερα από έγκριση της Γενικής Συνέλευσης.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS  
UNIVERSITY  
OF THRACE

## Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

### Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

---

## Στοιχεία Διπλωματικής Εργασίας

Σχολή: Πολυτεχνική

Τμήμα: Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας/Εργαστήριο: Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Όνοματεπώνυμο (ελληνικά): Αναστάσιος Παναγιωτίδης

Όνοματεπώνυμο (αγγλικά): Anastasios Panagiotidis

Όνομα Πατρός: Κωνσταντίνος

Τίτλος Εργασίας (ελληνικά): Ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες: Διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον κύκλο κατεργασίας ενός προϊόντος

Τίτλος Εργασίας (αγγλικά): Energy effective manufacturing: Managing and saving energy during a production cycle

Ημερομηνία υποστήριξης διπλωματικής εργασίας: 30/10/2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Καθηγητής Π. Ν. Μπότσαρης

Εξεταστική Επιτροπή:

1. Π. Ν. Μπότσαρης, Καθηγητής, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.
2. Σ. Κατσαβούνης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.
3. Χ. Κυρίτση, ΕΤΕΠ Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.

---

Διπλωματική εργασία η οποία υποβλήθηκε τον Οκτώβριο του 2023 για την απόκτηση του διπλώματος του Μηχανικού Παραγωγής και Διοίκησης

## Πρόλογος

Τις τελευταίες δεκαετίες ο όρος της ενέργειας συναντάται διαρκώς σε θέματα που αφορούν τον πλανήτη και την μόλυνση του περιβάλλοντος. Η επίμονη και μη συνετή χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει επιφέρει μια πληθώρα επιζήμιων φαινομένων που οδηγούν σταδιακά στην διαταραχή και την μόνιμη καταστροφή του οικοσυστήματός. Με την πάροδο των χρόνων οι συνέπειες τέτοιων φαινομένων γίνονται ολοένα και πιο εμφανείς, ενώ προβλήματα συσχετιζόμενα με την ενέργεια αυξάνονται και εντάσσονται και σε άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Μέσα από μια σειρά πολιτικών, κοινωνικών και επιδημιολογικών επεισοδίων έχει δημιουργηθεί η σύγχρονη ενεργειακή κρίση, επιπτώσεις της οποίας αποτελούν η αδυναμία κάλυψης της απαίτησης σε ενέργεια, η ραγδαία αύξηση του κόστους της και γενικότερα η κάθοδος της οικονομίας και της ποιότητας ζωής.

Η βιομηχανία βρίσκεται ανάμεσα στους πρωτοπόρους φορείς κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπής οξειδίων του άνθρακα. Συγκεκριμένα το ποσοστό των ρύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες ανέρχεται στο 30% για το έτος 2021. Επομένως για μία παραγωγική μονάδα κρίνεται αναγκαία η βέλτιστη αξιοποίηση της ενέργειας και των πόρων της, η επανεκτίμηση του συνολικού αποτυπώματος της και η τροποποίηση των διαδικασιών ώστε να αντιμετωπιστούν τα προαναφερθέντα προβλήματα.

Οι παρακινητές για την διενέργεια τέτοιων μελετών είναι πολλαπλοί και συναντώνται σε αρκετούς από τους τομείς της επιχειρησιακής δραστηριότητας. Αρχικά, με την μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός προϊόντος ελαχιστοποιείται παράλληλα και το κόστος κατασκευής του, δημιουργώντας έτσι πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών. Επιπλέον, κρατικοί και διεθνείς φορείς επιβάλλουν κυρώσεις ή ελαφρύνσεις στις παραγωγικές μονάδες με βάση τα ποσοστά ενέργειας που χρησιμοποιούν, την προέλευση της ενέργειας αυτής καθώς και την αποδοτικότητα με την οποία διαχειρίζονται. Εξίσου σημαντικό παρακινήτη αποτελεί η κοινωνία, η οποία λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης με τα περιβαλλοντικά ζητήματα απαιτεί την εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και την ελαχιστοποίηση της αξιοποίησης των ορυκτών καυσίμων. Επομένως, μία επιχείρηση που υιοθετεί μία ενεργειακά αποδοτική στρατηγική και πραγματοποιεί αλλαγές στην λειτουργία της, ώστε να μειώσει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα, κερδίζει την ευνοϊκή γνώμη της κοινωνίας. Αυτή έπειτα μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να δημιουργηθούν ισχυρές στρατηγικές μάρκετινγκ και να αυξηθεί η γενικότερη εμπορική δραστηριότητα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην βαθύτερη κατανόηση της ενέργειας και των τρόπων διαχείρισης της στο πλαίσιο μιας παραγωγικής διαδικασίας, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων διαχείρισης ενέργειας κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Αναλύονται οι βασικές έννοιες της ενέργειας, οι πηγές κατανάλωσης που

συναντώνται στα εργοστάσια, οι ευκαιρίες εξοικονόμησης καθώς και οι ανάλογες στρατηγικές που θα πρέπει να ακολουθηθούν.

Στο κεφάλαιο 2 μελετάται η διαδικασία παραγωγής ενός βιομηχανικού προϊόντος (ακρυλικής μπανιέρας υδρομασάζ) από μία πραγματική παραγωγική μονάδα. Συγκεκριμένα, για κάθε παραγωγική φάση παρουσιάζονται τα επιμέρους βήματα που ακολουθούνται μαζί με την διάρκειά τους, τα αντίστοιχα διαγράμματα, οι διατάξεις και τα σχέδια όλου του εξοπλισμού, καθώς και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Επιπλέον υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος των υλών και το κόστος των εργαζομένων, τόσο συνολικά όσο και ξεχωριστά για κάθε φάση. Αποτυπώνονται επίσης τα διάφορα προβλήματα που συναντώνται στην παραγωγή, όπως αυτά υπεδείχθησαν από τους εργαζομένους ή εντοπίστηκαν κατά τις επιτόπιες επισκέψεις.

Στο κεφάλαιο 3 δίνεται μία σειρά από προτάσεις που αποσκοπούν στην βελτίωση των παραγωγικών φάσεων. Για κάθε πρόταση αναλύονται και εκτιμώνται τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα, τα οποία δεν περιορίζονται στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά επεκτείνονται μεταξύ άλλων και στους τομείς της λειτουργικότητας, της παραγωγικότητας και της ασφάλειας. Όπου είναι απαραίτητο οι προτάσεις συνοδεύονται από τα αντίστοιχα σχέδια και διαγράμματα, ενώ όπου επαρκούν τα δεδομένα υπολογίζονται και τα σχετικά ποσοστά εξοικονόμησης.

## Ευχαριστίες

Οφείλω να δώσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Στον κ. Παντελή Ν. Μπότσαρη, καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., για την άψογη συνεργασία μας, την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τις γνώσεις που απλόχερα μου μετέδωσε τόσο κατά την σύνταξη της παρούσας εργασίας όσο και μέσα από τα μαθήματά του.

Στους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, οι οποίοι φρόντισαν ώστε να λάβω όλα τα απαραίτητα εφόδια για την σύνταξη αυτής της μελέτης αλλά και για την μετέπειτα πορεία μου στον βιομηχανικό κλάδο.

Στην συνεργαζόμενη εταιρία, την CEO και τους εργαζομένους, για την άριστη συνεργασία, την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και τον χρόνο που αφιέρωσαν ώστε να συλλεχτούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα. Χωρίς την ουσιαστική συμβολή τους δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Στην οικογένεια μου, στους συγγενείς και φίλους με τους ελπίζω να συνεχίσουμε να μοιραζόμαστε τις χαρές και τις δυσκολίες της ζωής για πολλά ακόμα χρόνια.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Γενικά περί ενέργειας.....	2
1.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή.....	3
1.3.1 Τύποι γραμμών παραγωγής .....	3
1.3.2 Αποτίμηση ενέργειας παραγωγής.....	5
1.3.3 Αποτίμηση κόστους παραγωγικής διαδικασίας .....	6
1.4 Ηλεκτρική ενέργεια κατά την παραγωγή.....	7
1.4.1 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας .....	7
1.4.2 Ισχύς κατεργασίας .....	7
1.5 Ανάλυση κύκλου ζωής .....	8
1.6 Ενεργειακή επιθεώρηση.....	10
1.7 Στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας .....	11
1.8 Μετρητές και αισθητήρες .....	13
1.9 Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας.....	14
1.9.1 Στάδια σχεδιασμού διαδικασιών .....	14
1.9.2 Μέθοδοι σχεδιασμού διαδικασιών.....	16
1.9.3 Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον σχεδιασμό διαδικασιών.....	17
1.9.4 Γενετικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.....	18
1.10 Χρονοπρογραμματισμός.....	19
1.11 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας .....	21
1.11.1 Συμπύεση διαδικασιών με κατεργασία σκληρυμένων μετάλλων .....	21
1.11.2 Υβριδικές κατεργασίες .....	22
1.11.3 Επαναξιολόγηση συστημάτων ψύξης - λίπανσης .....	23
1.11.4 Ανακατασκευή .....	23
1.11.5 Λογισμικά παραμετροποίησης .....	24
1.11.6 Ελαχιστοποίηση χρόνου επεξεργασίας.....	24
1.12 Εξοικονόμηση ενέργειας βοηθητικών συστημάτων .....	25
1.12.1 Φωτισμός.....	25
1.12.2 Ψύξη, θέρμανση και εξαερισμός (HVAC).....	28
1.12.3 Πεπιεσμένος αέρας.....	30
1.13 Ενεργειακή απόδοση και αποδοτικότητα.....	34



1.13.1 Ενεργειακή απόδοση .....	34
1.13.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα.....	36
1.13.3 Σύγκριση.....	36
1.14 Σύνοψη .....	37
1.15 Βιβλιογραφία .....	38
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας ακρυλικής μπανιέρας.....	39
2.1 Εισαγωγή.....	40
2.2 Πρώτη ύλη .....	41
2.3 Φάσεις παραγωγής .....	41
2.4 Κοπή πρώτης ύλης .....	43
2.5 Φορμάρισμα.....	45
2.5.1 Εξοπλισμός φορμαρίσματος .....	46
2.5.2 Βήματα φορμαρίσματος .....	50
2.5.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά το φορμάρισμα.....	54
2.5.4 Προβλήματα κατά το φορμάρισμα .....	57
2.6 Κοπή μοριοσανίδας.....	58
2.6.1 Εξοπλισμός κοπής μοριοσανίδας .....	59
2.6.2 Βήματα κοπής μοριοσανίδας .....	59
2.6.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μοριοσανίδας.....	61
2.6.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μοριοσανίδας.....	61
2.7 Κατασκευή βάσης .....	61
2.7.1 Εξοπλισμός κατασκευής βάσης.....	62
2.7.2 Βήματα κατασκευής βάσης .....	63
2.7.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή της βάσης .....	64
2.7.4 Προβλήματα κατά την κατασκευή της βάσης .....	64
2.8 Ψεκασμός .....	64
2.8.1 Εξοπλισμός ψεκασμού.....	67
2.8.2 Βήματα ψεκασμού .....	70
2.8.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά τον ψεκασμό .....	74
2.8.4 Προβλήματα κατά τον ψεκασμό.....	75
2.9 Κοπή μπανιέρας .....	75
2.9.1 Εξοπλισμός κοπής μπανιέρας.....	75
2.9.2 Βήματα κοπής μπανιέρας .....	78
2.9.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μπανιέρας.....	81

2.9.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μπανιέρας .....	81
2.10 Διάρθρωση μπανιέρας .....	82
2.10.1 Εξοπλισμός διάρθρωσης μπανιέρας .....	82
2.10.2 Βήματα διάρθρωσης μπανιέρας .....	82
2.10.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρθρωση της μπανιέρας .....	83
2.10.4 Προβλήματα κατά την διάρθρωση της μπανιέρας .....	83
2.11 Κόστος παραγωγής ανά προϊόν .....	83
2.12 Σύνοψη .....	85
2.13 Βιβλιογραφία .....	86
Κεφάλαιο 3: Βελτιωτικές προτάσεις .....	87
3.1 Εισαγωγή .....	87
3.2 Φούρνος ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος .....	88
3.2.1 Κατηγορίες αντιστάσεων .....	89
3.2.3 Επιλογή είδους αντιστάσεων .....	92
3.3 Νέα ιδιοκατασκευή φορμαρίσματος .....	94
3.4 Βελτιώσεις στον ψεκασμό .....	98
3.5 Εξοικονόμηση χρόνου με εναλλακτική βάση .....	99
3.6 Αξιολόγηση εναλλακτικής μεθόδου κοπής μοριοσανίδας .....	102
3.7 Φωτισμός .....	103
3.7.1 Λαμπτήρες φθορισμού .....	104
3.7.2 Λάμπες LED .....	106
3.8 Εγκατάσταση μετρητών κατανάλωσης .....	107
3.9 Σύνοψη .....	107
3.10 Βιβλιογραφία .....	108
Συμπεράσματα – Προτάσεις .....	111
Συμπεράσματα .....	111
Προτάσεις .....	114

## Πίνακας σχεδιαγραμμάτων

Σχεδιάγραμμα 1.1: Ισοζύγιο υλών και ενέργειας κατά την παραγωγική διαδικασία [1] .....	3
Σχεδιάγραμμα 1.2: Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής κατά ISO-14040 [4].....	9
Σχεδιάγραμμα 1.3: Βασικά βήματα από τον σχεδιασμό μέχρι την παραγωγή ενός προϊόντος [3] .....	15
Σχεδιάγραμμα 1.4: Ημιαυτοματοποιημένος σχεδιασμός σχεδιαγράμματος διαδικασιών μειωμένης κατανάλωσης [1].....	18
Σχεδιάγραμμα 1.5: Τοπολογίες παραγωγής [1].....	20
Σχεδιάγραμμα 1.6: Συμπύεση παραγωγικής διαδικασίας καλουπιών [1] .....	22
Σχεδιάγραμμα 1.7: Κόστος μέσω μετάδοσης ενέργειας [1].....	30
Σχεδιάγραμμα 1.8: Στάδια παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [1] .....	35
Σχεδιάγραμμα 2.1: Ραβδόγραμμα παραγωγικών φάσεων .....	42
Σχεδιάγραμμα 2.2: Διάγραμμα δικτύου παραγωγής .....	43
Σχεδιάγραμμα 2.3: Διάγραμμα Gantt .....	44
Σχεδιάγραμμα 2.4: Διάγραμμα ροής βημάτων φορμαρίσματος .....	52
Σχεδιάγραμμα 2.5: Ραβδόγραμμα βημάτων φορμαρίσματος .....	53
Σχεδιάγραμμα 2.6: Διάγραμμα ροής βημάτων κοπής μοριοσανίδας .....	60
Σχεδιάγραμμα 2.7: Ραβδόγραμμα βημάτων κοπής μοριοσανίδας .....	60
Σχεδιάγραμμα 2.8: Ραβδόγραμμα βημάτων κατασκευής βάσης .....	63
Σχεδιάγραμμα 2.9: Διάγραμμα ροής βημάτων 1ου ψεκασμού .....	72
Σχεδιάγραμμα 2.10: Διάγραμμα ροής βημάτων 2ου ψεκασμού .....	73
Σχεδιάγραμμα 2.11: Ραβδόγραμμα βημάτων ψεκασμού .....	73
Σχεδιάγραμμα 2.12: Διάγραμμα ροής βημάτων κοπής μπανιέρας .....	79
Σχεδιάγραμμα 2.13: Ραβδόγραμμα βημάτων κοπής μπανιέρας .....	80
Σχεδιάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής βημάτων φορμαρίσματος με νέα ιδιοκατασκευή.....	97
Σχεδιάγραμμα 3.2: Νέο διάγραμμα Gantt .....	101

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1: Δισκοπρίνο πάγκου κοπής ακρυλικού φύλλου.....	45
Εικόνα 2.2: Ακρυλικό κέλυφος.....	45
Εικόνα 2.3: Άνοψη φούρνου.....	47
Εικόνα 2.4: Μηχανολογικό σχέδιο ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος σε mm.....	48
Εικόνα 2.5: Μέρη ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος.....	49
Εικόνα 2.6: Αεροσυλλέκτης.....	50
Εικόνα 2.7: Βασικά βήματα φορμαρίσματος.....	51
Εικόνα 2.8: Πρόβλημα υπολογισμού παροχής αέρα.....	54
Εικόνα 2.9: Διαστάσεις μοριοσανίδας σε mm.....	59
Εικόνα 2.10: Μεταλλική βάση.....	62
Εικόνα 2.11: Δοχείο χημικών ψεκασμού.....	67
Εικόνα 2.12: Μέρη συστήματος ψεκασμού.....	67
Εικόνα 2.13: Εξαρτήματα συστήματος ψεκασμού.....	68
Εικόνα 2.14: Διάδρομος ψεκασμού.....	69
Εικόνα 2.15: Θάλαμος θέρμανσης.....	70
Εικόνα 2.16: Εξοπλισμός ψεκασμού.....	70
Εικόνα 2.17: Κοπή μπανιέρας.....	75
Εικόνα 2.18: Ιδιοκατασκευή κοπής.....	75
Εικόνα 2.19: Μηχανολογικό σχέδιο ιδιοκατασκευής κοπής (mm).....	76
Εικόνα 2.20: Μέρη ιδιοκατασκευής κοπής.....	77
Εικόνα 2.21: Βασικά βήματα κοπής.....	80
Εικόνα 2.22: Διάτρηση μπανιέρας.....	82
Εικόνα 3.1: Διάταξη αντιστάσεων αλογόνου.....	90
Εικόνα 3.2: Διάταξη αντιστάσεων χαλαζία.....	91
Εικόνα 3.3: Διάταξη κεραμικών αντιστάσεων.....	92
Εικόνα 3.4: Νέα ιδιοκατασκευή φορμαρίσματος.....	94
Εικόνα 3.5: Μέρη νέας ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος.....	95
Εικόνα 3.6: Διαφορά λειτουργίας εμβόλων στις δύο ιδιοκατασκευές.....	96
Εικόνα 3.7: Νέος θάλαμος θέρμανσης.....	99
Εικόνα 3.8: Διατομή νέου θαλάμου θέρμανσης σε mm.....	99
Εικόνα 3.9: Πάνω και κάτω μέρος μεταλλικής βάσης.....	100

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά τύπων παραγωγής [1].....	4
Πίνακας 1.2: Παράμετροι κατανάλωσης ενέργειας βασικών κατεργασιών [1] .....	8
Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά τεχνολογιών φωτισμού [1].....	27
Πίνακας 1.4: Ρυθμός διαρροής (cfm) για διάφορες τιμές παρεχόμενης πίεσης και διαμέτρου οπής [1].	32
Πίνακας 2.1: Ιδιότητες ακρυλικού φύλλου.....	41
Πίνακας 2.2: Κωδικοποίηση σταδίων παραγωγής .....	42
Πίνακας 2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά δισκοπρίονου πάγκου .....	43
Πίνακας 2.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστάσεων φούρνου .....	46
Πίνακας 2.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά γερανού ιδιοκατασκευής .....	47
Πίνακας 2.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμπιεστή εργοστασίου GA11 .....	49
Πίνακας 2.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμπιεστή κενού GVS .....	50
Πίνακας 2.8: Διάρκεια βημάτων φορμαρίσματος .....	53
Πίνακας 2.9: Ενεργειακή κατανάλωση κατά το φορμάρισμα .....	57
Πίνακας 2.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού κοπής μοριοσανίδας .....	59
Πίνακας 2.11: Διάρκεια βημάτων κοπής μοριοσανίδας .....	61
Πίνακας 2.12: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κοπή της μοριοσανίδας .....	61
Πίνακας 2.13: Κοιλοδοκοί βάσης .....	62
Πίνακας 2.14: Τεχνικά χαρακτηριστικά πριονοκορδέλας μετάλλου .....	63
Πίνακας 2.15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συγκολλητικού μηχανήματος MIG .....	63
Πίνακας 2.16: Διάρκεια βημάτων κατασκευής βάσης .....	64
Πίνακας 2.17: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κατασκευή της βάσης.....	64
Πίνακας 2.18: Ιδιότητες πολυεστέρα .....	65
Πίνακας 2.19: Ιδιότητες πούδρας .....	65
Πίνακας 2.20: Ιδιότητες πάστας .....	66
Πίνακας 2.21: Ιδιότητες καταλύτη.....	66
Πίνακας 2.22: Ιδιότητες υαλοπιλήματος.....	66
Πίνακας 2.23: Διάρκεια ψεκασμού επιφανειών μπανιέρας .....	71
Πίνακας 2.24: Διάρκεια βημάτων ψεκασμού .....	72
Πίνακας 2.25: Μέση θερμοκρασία Θεσσαλονίκης ανά μήνα (°C).....	74
Πίνακας 2.26: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα τροχού .....	78
Πίνακας 2.27: Τεχνικά χαρακτηριστικά τροχού .....	78
Πίνακας 2.28: Διάρκεια βημάτων κοπής μπανιέρας .....	81
Πίνακας 2.29: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κοπή της μπανιέρας .....	81
Πίνακας 2.30: Τεχνικά χαρακτηριστικά δραπάνου .....	82
Πίνακας 2.31: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την διάτρηση της μπανιέρας .....	83
Πίνακας 2.32: Κόστος εργαζομένων ανά παραγόμενο προϊόν.....	83
Πίνακας 2.33: Κόστος υλών ανά παραγόμενο προϊόν.....	84
Πίνακας 2.34: Ηλεκτρική κατανάλωση παραγωγικών φάσεων .....	84
Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντίστασης αλογόνου [13] .....	89
Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστάσεων χαλαζία [14].....	90
Πίνακας 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραμικών αντιστάσεων [16] .....	91
Πίνακας 3.4: Σύγκριση αντιστάσεων [7, 12] .....	92
Πίνακας 3.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά CNC.....	102

Πίνακας 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικών πυρακτώσεως και φθορισμού [28, 29].....	103
Πίνακας 3.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικού LED [30] .....	106

## Περίληψη

Τίτλος: Ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες: Διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον κύκλο κατεργασίας ενός προϊόντος

Επιβλέπων: Καθηγητής Παντελής Ν. Μπότσαρης

Υποψήφιος: Αναστάσιος Παναγιωτίδης

Με την πάροδο του χρόνου η ανθρωπότητα έρχεται αντιμέτωπη με ολοένα και περισσότερα προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια. Η ασύστολη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας και η εκπομπή ρύπων από την αξιοποίησή της έχουν οδηγήσει στην διαταραχή του οικοσυστήματος και κατά συνέπεια σε ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα σε όλο τον πλανήτη. Επιπλέον πρόβλημα αποτελεί η σύγχρονη ενεργειακή κρίση, συνέπεια της οποίας αποτελούν η αδυναμία κάλυψης της απαίτησης σε ενέργεια και η σημαντική αύξηση του κόστους της. Η βιομηχανία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους φορείς κατανάλωσης ενέργειας. Στην παρούσα εργασία μελετώνται μέθοδοι βέλτιστης διαχείρισης της ενέργειας κατά την παραγωγή ενός προϊόντος με σκοπό την μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους και την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων. Οι μέθοδοι αυτοί αφορούν τόσο άμεσες επεμβάσεις στην παραγωγική διαδικασία όσο και γενικότερες στρατηγικές που σχετίζονται με την ευρύτερη λειτουργία μίας επιχείρησης. Έπειτα αποτυπώνεται αναλυτικά η μοντελοποίηση της παραγωγής μίας ακρυλικής μπανιέρας υδρομασάζ με πραγματικά δεδομένα που συλλέχτηκαν από ένα εργοστάσιο. Τέλος, για αυτό τον κύκλο παραγωγής προτείνονται τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας και τροποποιήσεις γενικότερης βελτίωσης.

**Λέξεις κλειδιά:** ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες, εξοικονόμηση ενέργειας, παραγωγή ακρυλικής μπανιέρας, βελτιστοποίηση παραγωγής

## **Abstract**

Title: Energy effective manufacturing: Managing and saving energy during a production cycle

Supervisor: Professor Pantelis N. Mpotsaris

Student: Anastasios Panagiotidis

Over time human kind has to deal with ever increasing energy related problems. The uncontrolled usage of fossil fuels as means to generate energy and the harmful emissions from its utilization have led to the disruption of the ecosystem, thus creating extreme environmental phenomena worldwide. Additional problems include the recent energy crisis with its consequences being the inability to meet energy demands as well as the substantial price increase. The industrial sector is known to be one of the major energy consumers. In this thesis, methods of optimal energy management during manufacturing are studied, aiming to maximize the financial benefits and to address previously mentioned problems. These methods include both direct interventions in the manufacturing process as well as broader strategies related to a company's overall operation. After that, the production of an acrylic spa is meticulously modeled using real data collected from a factory. Finally, energy-saving modifications and general optimization measures are proposed for this specific production cycle.

**Keywords:** energy effective manufacturing, energy savings, acrylic bathtub manufacturing, production optimization



## Κεφάλαιο 1

# Ενεργειακά αποδοτικές κατεργασίες

### Περιεχόμενα κεφαλαίου

---

1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Γενικά περί ενέργειας.....	2
1.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή.....	3
1.3.1 Τύποι γραμμών παραγωγής.....	3
1.3.2 Αποτίμηση ενέργειας παραγωγής.....	5
1.3.3 Αποτίμηση κόστους παραγωγικής διαδικασίας.....	6
1.4 Ηλεκτρική ενέργεια κατά την παραγωγή.....	7
1.4.1 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.....	7
1.4.2 Ισχύς κατεργασίας.....	7
1.5 Ανάλυση κύκλου ζωής.....	8
1.6 Ενεργειακή επιθεώρηση.....	10
1.7 Στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας.....	11
1.8 Μετρητές και αισθητήρες.....	13
1.9 Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας.....	14
1.9.1 Στάδια σχεδιασμού διαδικασιών.....	14
1.9.2 Μέθοδοι σχεδιασμού διαδικασιών.....	16
1.9.3 Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον σχεδιασμό διαδικασιών.....	17
1.9.4 Γενετικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.....	18
1.10 Χρονοπρογραμματισμός.....	19
1.9 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας.....	21
1.9.1 Συμπύεση διαδικασιών με κατεργασία σκληρυμένων μετάλλων.....	21
1.9.2 Υβριδικές κατεργασίες.....	22
1.7.3 Επαναξιολόγηση συστημάτων ψύξης - λίπανσης.....	23
1.7.4 Ανακατασκευή.....	23
1.7.5 Λογισμικά παραμετροποίησης.....	24
1.7.6 Ελαχιστοποίηση χρόνου επεξεργασίας.....	24

1.8 Εξοικονόμηση ενέργειας βοηθητικών συστημάτων.....	25
1.8.1 Φωτισμός.....	25
1.8.2 Ψύξη, θέρμανση και εξαερισμός (HVAC).....	28
1.8.3 Πεπιεσμένος αέρας.....	30
1.12 Ενεργειακή απόδοση και αποδοτικότητα.....	34
1.12.1 Ενεργειακή απόδοση.....	34
1.12.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα.....	36
1.12.3 Σύγκριση.....	36
1.13 Σύνοψη.....	37
1.14 Βιβλιογραφία.....	38

## 1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότεροι μηχανικοί μελετούν και αξιολογούν τους σύγχρονους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Κύριος παρακίνητης για την διενέργεια τέτοιων μελετών αποτελεί η μείωση του λειτουργικού κόστους λόγω της αυξανόμενης τιμής της ενέργειας, καθώς και η δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Επιπρόσθετο κίνητρο δίνουν κρατικοί και διεθνείς φορείς μέσω περιορισμών και κυρώσεων που επιβάλλουν σε μονάδες οι οποίες κρίνονται εξαιρετικά ενεργοβόρες και ρυπογόνες [1].

Η αυξανόμενη ενασχόληση με το πεδίο αυτό οδήγησε τους Linke και Sutherland [1] στην σύνταξη του βιβλίου τους με στόχο την αποτύπωση μεθόδων και ευκαιριών διαχείρισης ενέργειας, τόσο στην παραγωγή ενός προϊόντος όσο και κατά την ευρύτερη λειτουργία ενός εργοστασίου. Το βιβλίο αυτό αποτελεί και την κύρια πηγή σύνταξης του παρόντος κεφαλαίου, όπου θα αναλυθούν τα βασικότερα σημεία του.

## 1.2 Γενικά περί ενέργειας

Ενέργεια ορίζεται ως η δυνατότητα ενός συστήματος να παράγει έργο. Η μονάδα μέτρησης της στο σύστημα S.I. είναι το joule (J) ενώ στην βιομηχανία χρησιμοποιείται ευρέως και η κιλοβατώρα (kWh)( $1\text{J}=2,78 \times 10^{-7}\text{KWh}$ ). Συναντάται σε μία πληθώρα μορφών, κάθε μία από τις οποίες έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Οι συνηθέστερες μορφές που συναντώνται τόσο στην καθημερινότητα του ανθρώπου όσο και στις βιομηχανικές δραστηριότητες είναι η κινητική, η δυναμική, η θερμική, η ηλεκτρική, η χημική και η πυρηνική [1].

Το έργο με τη σειρά του ορίζεται ως η δαπανώμενη ενέργεια ενός συστήματος κατά μία χρονική διάρκεια. Μονάδα μέτρησης αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση το joule (J) [1].

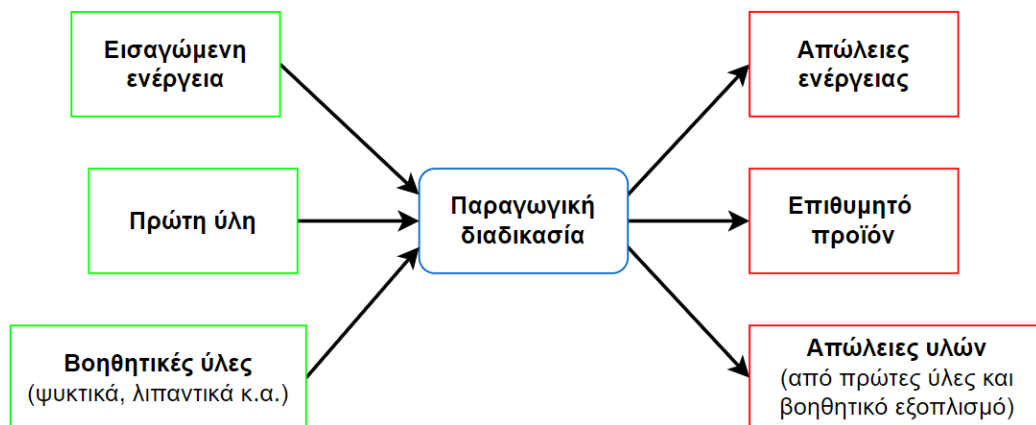
Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο η ενέργεια δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη. Μέσα από την μετατροπή αυτή ένα ποσοστό της ενέργειας αξιοποιείται ως ωφέλιμο έργο, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται στο περιβάλλον σε άλλες μορφές. Το ποσό των απωλειών καθώς και η ευκολία με την οποία πραγματοποιείται η μετατροπή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος και τις ιδιότητες της εκάστοτε μορφής ενέργειας. Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει και η εξίσωση [1]:

$$\text{Ενέργεια} = \text{Έργο} + \text{Απώλειες}$$

Ο ακριβής υπολογισμός των απωλειών για μία διαδικασία είναι εξαιρετικά δύσκολος λόγω των πολλών παραμέτρων που τις καθορίζουν και της συχνής έλλειψης επαρκών δεδομένων [1].

### 1.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή

Παραγωγή ονομάζεται μία σειρά διαδικασιών που ακολουθούνται με σκοπό την επεξεργασία της πρώτης ύλης και την διαμόρφωσή της σε ένα επιθυμητό προϊόν. Για κάθε διαδικασία, όπως και για όλο τον κύκλο παραγωγής, ισχύει το ισοζύγιο εισροών και εκροών (Σχεδιάγραμμα 1.1). Οι εισροές συνήθως αποτελούνται από την πρώτη ύλη, τα διάφορα δευτερεύοντα βοηθητικά μέσα (ψυκτικά υγρά, λιπαντικά κ.α.) και την εισαγόμενη ενέργεια. Στις εκροές εξάγεται το τελικό προϊόν ενώ επίσης συναντώνται οι ενεργειακές απώλειες (συνήθως με την μορφή θερμότητας) και οι απώλειες υλικών από τα δευτερεύοντα συστήματα και την επεξεργασία της πρώτης ύλης [1].



Σχεδιάγραμμα 1.1: Ισοζύγιο υλών και ενέργειας κατά την παραγωγική διαδικασία [1]

#### 1.3.1 Τύποι γραμμών παραγωγής

Οι διάφορες γραμμές παραγωγής διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [1]:

##### 1. Διακριτή παραγωγή

Τα διάφορα προϊόντα δεν παράγονται ταυτόχρονα. Επιλέγεται ένα την φορά το οποίο παράγεται είτε μόνο του είτε σε πολύ μικρές παρτίδες.

##### 2. Παραγωγή παρτίδων

Τα προϊόντα παράγονται σε παρτίδες μεγαλύτερου μεγέθους από την προηγούμενη περίπτωση.

### 3. Παραγωγή υψηλής ποσότητας

Χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πολλαπλές γραμμές παραγωγής για την παραγωγή παρτίδων εξαιρετικά μεγάλου μεγέθους.

Συνήθως για την παραγωγή ενός προϊόντος απαιτείται η κατασκευή των διαφόρων εξαρτημάτων που το απαρτίζουν. Ο αριθμός των συνολικών εξαρτημάτων που παράγονται ανά έτος μπορεί να υπολογιστεί από την Εξίσωση 1.1 [1]:

$$N = Q \times n \times (1 + \alpha\% + \beta\%) \quad (1.1)$$

όπου  $N$  είναι τα εξαρτήματα που παράγονται ανά έτος,  $Q$  ο συνολικός αριθμός προϊόντων που παράγονται ανά έτος,  $n$  ο αριθμός εξαρτημάτων που απαρτίζουν το προϊόν,  $\alpha\%$  το ποσοστό επιπλέον εξαρτημάτων που παράγονται και  $\beta\%$  το ποσοστό εξαρτημάτων που απορρίπτονται.

Τα χαρακτηριστικά του κάθε είδους παραγωγής παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά τύπων παραγωγής [1]

	<b>Διακριτή παραγωγή</b>	<b>Παραγωγή παρτίδων</b>	<b>Παραγωγή υψηλής ποσότητας</b>
<b>Συμβατότητα εξαρτήματος</b>	Κατασκευή για εξατομικευμένη χρήση	Συμβατά για πολλαπλές εφαρμογές	Συμβατά για όλες τις εφαρμογές
<b>Μέθοδοι παραγωγής</b>	Χρήση ελεύθερων μεθόδων χαμηλής ακρίβειας με μεγάλη ποσότητα αφαιρούμενης ύλης (προσωρινά καλούπια άμμου, σφυρηλάτηση στο χέρι)	Χρήση μεθόδων μεσαίας ακρίβειας και αφαιρούμενης ύλης (μερική χρήση μόνιμων καλουπιών χύτευσης και σφυρηλάτησης)	Μέθοδοι μεγάλης ακρίβειας και χαμηλής αφαιρούμενης ύλης (μόνιμα καλούπια)
<b>Εργαλειομηχανές</b>	Γενικής χρήσης	Μερική χρήση εξειδικευμένων εργαλειομηχανών παράλληλα με της γενικής χρήσης	Εξειδικευμένες και αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές υψηλής παραγωγικότητας
<b>Ιδιοκατασκευές</b>	Βασικά βοηθητικά εξαρτήματα και κατασκευές	Κατασκευές συγκράτησης γενικών γεωμετριών	Ιδιοκατασκευές υψηλής ακρίβειας, εξατομικευμένες για την παραγωγή του προϊόντος
<b>Εργαλεία κοπής και ελέγχου</b>	Γενικής χρήσης	Εξειδικευμένα κοπτικά εργαλεία και πολλαπλά συστήματα ελέγχου	Εξειδικευμένα κοπτικά εργαλεία υψηλής ταχύτητας και πολλαπλά συστήματα ελέγχου

### 1.3.2 Αποτίμηση ενέργειας παραγωγής

Συνήθως η παραγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία πληθώρα διαδικασιών, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου διαρκώς εξελίσσονται και αυξάνονται. Κάθε διαδικασία χαρακτηρίζεται από τον εξοπλισμό και τις μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται, το προς επεξεργασία υλικό και τα βήματα που ακολουθούνται. Ο εξαιρετικά μεγάλος αριθμός διαθέσιμων διαδικασιών καθώς και οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά της κάθε μίας καθιστούν αδύνατη την εξαγωγή ενός κοινού μοντέλου για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται. Ένας γενικότερος διαχωρισμός μίας παραγωγικής διαδικασίας γίνεται στους εξής τέσσερις τομείς [1]:

#### 1. Ζώνη επεξεργασίας

Το σημείο επαφής του εργαλείου με την επεξεργαζόμενη ύλη.

#### 2. Εργαλειομηχανή

Όλα τα μέρη και τα εξαρτήματα της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία (γρανάζια, αντλίες λαδιών, σύστημα χειρισμού).

#### 3. Περιφερικά συστήματα

Όλα τα δευτερεύοντα βοηθητικά συστήματα (σύστημα ψύξης, ταινιόδρομοι, συλλέκτες ρύπων).

#### 4. Υπόβαθρο

Τα συστήματα του χώρου όπου γίνεται η επεξεργασία (θέρμανση, κλιματισμός, εξαερισμός, φωτισμός).

Η ενέργεια που καταναλώνεται στην ζώνη επεξεργασίας μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά όταν επαρκούν τα δεδομένα ή με την χρήση αισθητήρων οι οποίοι θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα. Για κάθε έναν από τους υπόλοιπους τομείς υπολογίζεται από την εξίσωση [1] :

$$E = \int P dT \quad (1.2)$$

όπου  $E$ : η ενέργεια που καταναλώνεται (kWh),  $P$ : η ισχύς του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται (kW) και  $T$  η χρονική διάρκεια της επεξεργασίας (h).

Για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία αθροίζονται οι επιμέρους καταναλώσεις από τους τέσσερις τομείς σύμφωνα με την εξίσωση [1]:

$$E = E_{\varepsilon} + E_{\varepsilon\rho} + E_{\pi} + E_{\nu} \quad (1.3)$$

όπου  $E$ : η συνολική ενέργεια παραγωγής (kWh),  $E_{\varepsilon}$ : ενέργεια ζώνης επεξεργασίας (kWh),  $E_{\varepsilon\rho}$ : ενέργεια εργαλειομηχανής (kWh),  $E_{\pi}$ : ενέργεια περιφερειακών συστημάτων (kWh) και  $E_{\nu}$ : ενέργεια υπόβαθρου (kWh).

Ένα επιπλέον μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μοντελοποιήσεις κάποιων διαδικασιών (κυρίως κοπής) είναι η ειδική ενέργεια ( $u$ ), η οποία εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για την αφαίρεση ενός συγκεκριμένου όγκου ύλης. Υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση [1]:

$$u = \frac{E_\varepsilon}{V} \quad (1.4)$$

όπου  $u$ : η ειδική ενέργεια (kW/cm<sup>3</sup>),  $E_\varepsilon$ : η ενέργεια επεξεργασίας (kW) και  $V$ : ο όγκος της αφαιρούμενης ύλης (cm<sup>3</sup>).

### 1.3.3 Αποτίμηση κόστους παραγωγικής διαδικασίας

Τα περισσότερα παραδοσιακά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση του κόστους της παραγωγής δεν συμπεριλαμβάνουν μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση του ενεργειακού αποτυπώματος και της οικονομικής του σημασίας. Τα μοντέλα αυτά θεωρούνται πλέον παρωχημένα καθώς τα σύγχρονα δεδομένα δεν επιτρέπουν την παράλειψη τέτοιων μελετών [1].

Ένα μοντέλο που καλύπτει τις παραπάνω ανάγκες είναι αυτό των Branker et al. [2] οι οποίοι προτείνουν μία ολιστική προσέγγιση για τον υπολογισμό του κόστους παραγωγής χωρίς να παραλείπουν τόσο την ενέργεια επεξεργασίας όσο και την βοηθητική ενέργεια. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό το κόστος παραγωγής ( $C_\pi$ ) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_\pi = C_{\varepsilon\rho} + C_{\pi\rho} + C_\tau + C_{\varphi\theta} + C_{\nu\lambda} + C_{BY} + C_{\varepsilon\nu} + C_{BE} + C_{\pi\varepsilon\rho} \quad (1.5)$$

όπου:

- $C_\pi$ : το κόστος παραγωγής (€).
- $C_{\varepsilon\rho}$ : το κόστος των εργαζομένων (€).
- $C_{\pi\rho}$ : το κόστος προεργασίας ή εγκατάστασης που απαιτεί το μηχάνημα (€).
- $C_\tau$ : το κόστος τοποθέτησης ή απόσυρσης των υλικών από το μηχάνημα (€).
- $C_{\varphi\theta}$ : Το κόστος φθοράς του εργαλείου που χρησιμοποιείται (€). Υπολογίζεται διαιρώντας το κόστος απόκτησης του εργαλείου με τον αριθμό των τεμαχίων που παράχθηκαν μέχρι την καταστροφή του.
- $C_{\nu\lambda}$ : Το κόστος της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται (€). Από το κόστος αυτό αφαιρείται το κόστος της περισσευούμενης ύλης που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί.
- $C_{BY}$ : Το κόστος των βοηθητικών υλών που χρησιμοποιούνται (€), όπως είναι το ψυκτικό.
- $C_{\varepsilon\nu}$ : Το κόστος της ελάχιστης ενέργειας που απαιτείται για την επεξεργασία της πρώτης ύλης (€). Μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά ή με την χρήση μετρητή κατανάλωσης.
- $C_{BE}$ : Το κόστος της βοηθητικής ενέργειας των υποσυστημάτων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή (€), όπως είναι ο εξαερισμός και ο φωτισμός.
- $C_{\pi\varepsilon\rho}$ : Το περιβαλλοντικό κόστος που επιβάλλεται στην παραγωγική μονάδα (€). Εξαρτάται από τις εκπομπές ρύπων, την ανακύκλωση, την κατανάλωση ενέργειας και νερού κ.α.

## 1.4 Ηλεκτρική ενέργεια κατά την παραγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η επικρατέστερη μορφή ενέργειας που συναντάται στις παραγωγικές μονάδες, ενώ αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές εξόδων. Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής αναγνωρίζεται ως μία από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπής CO<sub>2</sub> καθώς προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, κάτι που τρέφει την έντονη αποδοκιμασία της κοινωνίας για τον βιομηχανικό κλάδο. Εκτός από το κόστος απόκτησής της, το οποίο διακυμαίνεται πλέον απρόβλεπτα, επιπρόσθετες κρατικές κυρώσεις επιβαρύνουν τον οικονομικό προϋπολογισμό των εργοστασίων όταν αυτή δεν χρησιμοποιείται σωστά. Επομένως κρίνεται αναγκαία η ειδική αναφορά στην ηλεκτρική ενέργεια και στους τρόπους διαχείρισης της [1].

### 1.4.1 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε μελέτη και να αξιολογηθούν ευκαιρίες εξοικονόμησης θα πρέπει πρώτα να έχει προσδιοριστεί η ενέργεια που απαιτείται για κάθε κατεργασία. Η πλειοψηφία του εξοπλισμού ενός εργοστασίου λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα. Ένα αποτελεσματικό μέσο αποτίμησης της κατανάλωσης είναι το βατόμετρο, το οποίο μετρά την τάση και την ένταση της κάθε φάσης καθώς και την διαφορά φάσης και υπολογίζει την ενεργό ισχύ P (kW), δηλαδή την απαιτούμενη ισχύ για την λειτουργία της εργαλειομηχανής [1].

Στην πραγματικότητα όμως κατά την λειτουργία της εργαλειομηχανής καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια από την ενεργό ισχύ P. Ένα μέρος της φαινόμενης ισχύος S (kW), δηλαδή της ενέργειας που παρέχεται από το δίκτυο, καταναλώνεται από διάφορα ηλεκτρολογικά στοιχεία, όπως πυκνωτές, πηνία και αντιστάσεις, ενώ επίσης υπάρχουν απώλειες υπό μορφή θερμότητας λόγω της αντίστασης των καλωδίων. Το μέρος της ενέργειας που παρέχεται από το δίκτυο αλλά δεν φτάνει στην εργαλειομηχανή ονομάζεται άεργος ισχύς Q (kW). Το μέγεθος των απωλειών εξαρτάται από τον συντελεστή ισχύος ( $\cos \varphi$ ) της παραγωγικής μονάδας [1]. Ο υπολογισμός των παραπάνω δεδομένων γίνεται με τις εξισώσεις [3]:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.6)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1.7)$$

### 1.4.2 Ισχύς κατεργασίας

Η ενεργός ισχύς P που απαιτείται για την πραγματοποίηση μίας κατεργασίας απαρτίζεται από τρεις επιμέρους συνιστώσες [1]:

#### 1. Σταθερή ισχύς

Μία ενεργοποιημένη εργαλειομηχανή καταναλώνει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας ακόμα και όταν δεν κατεργάζεται κάποιο υλικό. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για την λειτουργία

διαφόρων συστημάτων όπως κινητήρες, αντλίες, υπολογιστές κ.α. Έχει παρατηρηθεί πως την περισσότερη σταθερά ισχύ την απαιτούν τα συστήματα ψύξης.

## 2. Μεταβαλλόμενη ισχύς

Η ενέργεια που καταναλώνεται από συγκεκριμένα συστήματα μίας εργαλειομηχανή εξαρτάται από τις εκάστοτε παραμέτρους της επεξεργασίας. Συνήθως αφορά κινητήρες που μετακινούν κοπτικά εργαλεία, με την απαιτούμενη ισχύ να εξαρτάται από τις διαστάσεις της επεξεργαζόμενης ύλης, την ταχύτητα περιστροφής κ.α.

## 3. Ισχύς επεξεργασίας

Η συνολική μεταβαλλόμενη και σταθερά ισχύς δεν επαρκεί για την πραγματοποίηση μίας κατεργασίας. Το άθροισμά τους υποδεικνύει την ενέργεια που απαιτείται για την κατεργασία ενός δοκιμίου αν υποθεθεί ότι στην θέση του δεν υπάρχει η πρώτη ύλη αλλά αέρας. Η ισχύς επεξεργασίας αναφέρεται στην επιπρόσθετη απαιτούμενη ενέργεια που προκύπτει από τα διάφορα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία της ύλης.

Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας για κάποιες από τις βασικότερες κατεργασίες που συναντώνται στους περισσότερους κύκλους παραγωγής.

Πίνακας 1.2: Παράμετροι κατανάλωσης ενέργειας βασικών κατεργασιών [1]

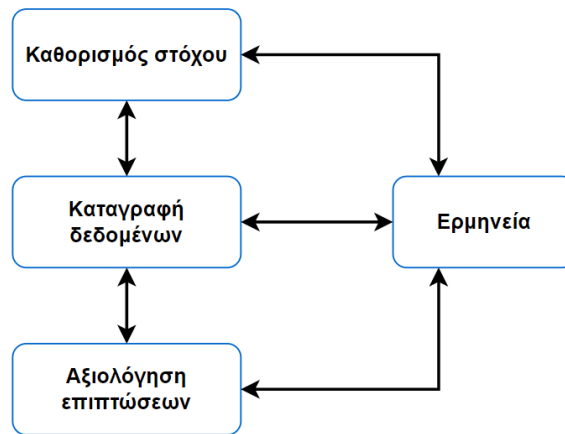
Τόρνευση	Φρεζάρισμα	Διάτρηση	Έλαση	Κοπή laser
Πρόωση	Πρόωση	Πρόωση	Διάμετρος ελάστρων	Διάμετρος ακτίνας
Βάθος κοπής	Βάθος κοπής	Βάθος διάτρησης	Ταχύτητα ύλης	Ισχύς laser
Ταχύτητα περιστροφής	Ταχύτητα περιστροφής	Ταχύτητα περιστροφής	Ταχύτητα περιστροφής	Ταχύτητα κοπής
Γεωμετρία κοπτικού	Γεωμετρία κοπτικού	Γεωμετρία κοπτικού	Απόσταση ελάστρων	Μήκος κοπής
Μήκος κοπής	Μήκος κοπής	Ψυκτικό	Μήκος έλασης	
Ψυκτικό	Αριθμός δοντιών	Λίπανση	Λίπανση	
Λίπανση	Ψυκτικό			
	Λίπανση			

## 1.5 Ανάλυση κύκλου ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο μοντελοποίησης ενός προϊόντος. Εξετάζει όλες τις φάσεις της ζωής του προϊόντος, από τον σχεδιασμό, την έρευνα, την παραγωγή, το μάρκετινγκ, την μεταφορά, την χρήση έως και την απόρριψή του. Οι εκροές μίας φάσης χρησιμοποιούνται ως εισροές για την επόμενη, δημιουργώντας έτσι ένα ολιστικό μοντέλο συσχετίσεων όπου ο αντίκτυπος κάθε απόφασης αξιολογείται συνολικά [4].



Σύμφωνα με το πρότυπο ISO-14040 η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελείται από τέσσερα στάδια, τα οποία αποτυπώνονται στο Σχεδιάγραμμα 1.2 και εφαρμόζονται κυρίως για την ανάπτυξη και βελτιστοποίηση ενός προϊόντος, τον στρατηγικό προγραμματισμό, την δημιουργία δημοσίων σχέσεων, το μάρκετινγκ κ.α. [4].



Σχεδιάγραμμα 1.2: Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής κατά ISO-14040 [4]

Ιδιαίτερα για τις ανάγκες των παραγωγικών διαδικασιών και της εξοικονόμησης ενέργειας, οι βασικότερες φάσεις που μελετώνται είναι η απόκτηση των πρώτων υλών, η παραγωγή του προϊόντος, η χρήση του και η απόσυρσή του. Οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα από αυτά τα στάδια, ακόμα και αν θεωρείται ασήμαντη και μηδαμινή, μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην λειτουργία του προϊόντος όσο και στην κατανάλωση ενέργειας [1, 4].

Παράδειγμα ενός τέτοιου προϊόντος αποτελεί μία εργαλειομηχανή. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται στην φάση της χρήσης της και όχι κατά την κατασκευή της. Επομένως οι κατασκευαστές, εφόσον επιθυμούν να παράξουν μία αποδοτική εργαλειομηχανή, θα πρέπει κατά την λήψη αποφάσεων να θέσουν ως προτεραιότητα την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την κατεργασία ακόμα και αν αυτό οδηγήσει σε μεγαλύτερη απαίτηση ενέργειας κατά την παραγωγή του. Αν και φαινομενικά το κόστος κατασκευής αυξάνεται με την λήψη τέτοιων αποφάσεων, το γενικότερο οικονομικό όφελος αυξάνεται κατά την διάρκεια ζωής της μηχανής. Οι πιθανοί πελάτες θα προτιμήσουν να επενδύσουν σε μία ακριβή αλλά αποδοτικότερη εργαλειομηχανή έναντι μίας οικονομικής με υψηλό κόστος λειτουργίας [1].

Οι αλλαγές που εξετάζονται για μία γραμμή παραγωγής θα πρέπει να εφαρμόζονται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του προϊόντος αλλά και στην λειτουργία του. Η ανάλυση κύκλου ζωής παρέχει την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του χωρίς να επηρεάζονται αρνητικά οι υπόλοιποι στόχοι της παραγωγής [1].

## 1.6 Ενεργειακή επιθεώρηση

Η ενεργειακή επιθεώρηση αποτελεί το εναρκτήριο βήμα της χρονοβόρας διαδικασίας εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας. Κύριος σκοπός της είναι η αποτίμηση της ισχύουσας κατάστασης σε μία παραγωγική μονάδα, ο εντοπισμός ευκαιριών παρέμβασης και η αξιολόγησή τους. Οι ευκαιρίες αυτές συνήθως αφορούν την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας, την αποφυγή της σπατάλης και την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος της μονάδας στο περιβάλλον [1].

Η ενεργειακή επιθεώρηση θα πρέπει να πραγματοποιείται τουλάχιστον κάθε 5 χρόνια από έναν πιστοποιημένο ενεργειακό επιθεωρητή. Για την σωστή διεξαγωγή της, είναι απαραίτητο τα προσόντα του επιθεωρητή να περιλαμβάνουν εκτενή προϋπηρεσία στο αντικείμενο των επιθεωρήσεων, καθώς και άριστη γνώση του εργοστασίου, του εξοπλισμού, των συστημάτων και των κατεργασιών που χρησιμοποιούνται [1].

Η διαδικασία ξεκινά με την συλλογή κάποιων βασικών δεδομένων από τους τεχνικούς διευθυντές και τους προϊσταμένους. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν [1]:

- Πληροφορίες από προηγούμενες επιθεωρήσεις, εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί
- Ευκαιρίες εξοικονόμησης που έχουν εντοπιστεί
- Αποτύπωση εξοπλισμού και συστημάτων της μονάδας
- Υπόδειξη των πηγών υψηλής κατανάλωσης και της διάρκειας λειτουργίας τους
- Προβλήματα συντήρησης
- Σημεία συμφόρησης της παραγωγής
- Ζητήματα ποιότητας παραγόμενου προϊόντος
- Κύριες μεταβλητές όπως θερμοκρασία, πίεση κτλ.
- Λογαριασμοί ενέργειας τουλάχιστον 2 χρόνων
- Ενδείξεις υπομετρητών ενέργειας στους χώρους του εργοστασίου
- Συνθήκες εργασίας

Αφού ο επιθεωρητής συλλέξει τις παραπάνω πληροφορίες ξεκινά την επιτόπια επιθεώρηση της παραγωγικής μονάδας, η οποία συνήθως διαρκεί από 2 έως 8 ώρες. Όσο περιφέρεται στο εργοστάσιο μελετά και παρατηρεί τις διάφορες διαδικασίες, τους χώρους, τον εξοπλισμό και τα συστήματα ενώ παράλληλα συλλέγει επιπλέον πληροφορίες από τους εργαζόμενους και τους μηχανικούς. Μέσα από αυτή την διαδικασία εντοπίζει τα προβλήματα της παραγωγής αλλά και τις πιθανές ευκαιρίες βελτιστοποίησης. Έπειτα συντάσσει την αναφορά της επιθεώρησης, η οποία περιλαμβάνει τις βασικότερες ευκαιρίες που εντοπίστηκαν, τις ανάγκες συντήρησης που πιθανόν να προκύψουν καθώς και μία πρώτη εκτίμηση του ποσοστού εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί και του κόστους εφαρμογής των προτάσεων [1].

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την περεταίρω μελέτη των ευκαιριών εξοικονόμησης, με σκοπό τον προσδιορισμό του πραγματικού οφέλους των προτάσεων που θα βοηθήσει στην λήψη των τελικών

αποφάσεων. Ο επιθεωρητής συλλέγει επιπλέον δεδομένα με την λήψη μετρήσεων και την τοποθέτηση αισθητήρων, υπολογίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την ενέργεια που καταναλώνεται και εξετάζει την βιωσιμότητα των προτάσεων σε επιχειρησιακό επίπεδο [1].

Σε περιπτώσεις πολυσύνθετων παραγωγικών διαδικασιών και προτάσεων υψηλού κόστους και παρεμβατικότητας, ακολουθεί και ένα επιπλέον βήμα εξονυχιστικής μελέτης πριν την λήψη των τελικών αποφάσεων. Κατά το βήμα αυτό αναλύονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, λαμβάνονται επιπλέον μετρήσεις και εξετάζονται όλες οι πτυχές της πρότασης [1].

### **1.7 Στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας**

Η διαχείριση ενέργειας σε μία παραγωγική μονάδα αποτελεί πλέον μία βασική επιχειρησιακή λειτουργία, η οποία δεν απασχολεί μόνο τους μηχανικούς αλλά επεκτείνεται και στα υπόλοιπα τμήματα της διοίκησης. Κάθε επιχείρηση έχει τους δικούς της στόχους σχετικά με την ποσότητα, την ποιότητα και το κόστος των προϊόντων που θέλει να προωθήσει στην αγορά. Τα δεδομένα για τις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες που συναντώνται είναι πολλαπλά και δεν μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν σε ένα κοινό πλαίσιο. Επομένως η κάθε παραγωγική μονάδα θα πρέπει να ακολουθήσει μία στρατηγική διαχείρισης ενέργειας σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες της, η οποία θα συμβάλει στην επίτευξη των στόχων της [1].

Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μίας στρατηγικής είναι οι εξής [1]:

- Το μερίδιο που έχει η ενέργεια στις συνολικές δαπάνες του εργοστασίου
- Η γνώμη των πελατών σχετικά με τα περιβαλλοντικά ζητήματα
- Η προσβασιμότητα της επιχείρησης στην ενέργεια και το κόστος της
- Η απαιτούμενη ενέργεια ανά προϊόν
- Οι δείκτες απόδοσης (KPI)

Είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός ενός πλάνου διαχείρισης να πραγματοποιείται από εργαζόμενους με υψηλή αντίληψη των παραγωγικών διαδικασιών του εργοστασίου αλλά και με γνώσεις σχετικά με τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και ευκαιρίες. Επιπλέον, θα πρέπει να έχει προχωρημένες διοικητικές γνώσεις έτσι ώστε να μπορεί να κρίνει τότε το όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας δεν επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή, το κόστος και την ποιότητα [1].

Ο σχεδιασμός μίας αποτελεσματικής στρατηγικής μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στα εξής στάδια [1]:

#### **1. Εξασφάλιση της αφοσίωσης της διοίκησης**

Κατά την έναρξη του σχεδιασμού ενός πλάνου εξοικονόμησης είναι αναγκαία η εξασφάλιση της αφοσίωσης της διοίκησης, η οποία μπορεί να συμβάλει με ουσιαστικές ενέργειες. Τέτοιες ενέργειες περιλαμβάνουν την παροχή όλων των απαραίτητων πόρων, όπως εξοπλισμό, προσωπικό και κεφάλαια, που θα βοηθήσουν στην επίτευξη των στόχων της στρατηγικής.

Επιπλέον η διοίκηση θα πρέπει να επικοινωνήσει στους εργαζομένους της την βαρύτητα της προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας, έτσι ώστε να γίνουν αντιληπτά τα πολλαπλά οφέλη και να διασφαλίσει την ουσιαστική συμβολή τους.

## **2. Αποτίμηση της ενέργειας**

Το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός προϊόντος διαφέρει σε κάθε παραγωγική διαδικασία. Εξαρτάται από την φύση του προϊόντος, την μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται, τον εξοπλισμό καθώς και από το είδος των κατεργασιών. Επομένως είναι εξαιρετικά σημαντικό για κάθε επιχείρηση να οριοθετήσει τον δικό της τρόπο αποτίμησης της ενέργειας που να συμφωνεί με τους παραπάνω παράγοντες. Για παράδειγμα, σε μία γραμμή παραγωγής αυτοκινήτων η ενέργεια μετράται σε kW / αυτοκίνητο. Δεν θα πρέπει ωστόσο να παραλείπεται και η ενέργεια που καταναλώνουν τα βοηθητικά συστήματα.

## **3. Δημιουργία τμήματος ενέργειας**

Για τις περισσότερες επιχειρήσεις μεσαίου και μεγάλου βεληνεκούς, η δημιουργία μίας ομάδας ενέργειας μπορεί να μεγιστοποιήσει τα οφέλη ενός πλάνου εξοικονόμησης και να επιταχύνει την διεξαγωγή της. Η ομάδα αυτή συνήθως αποτελείται από μέλη διαφόρων κλάδων του εργοστασίου, όπως μηχανικούς, συντηρητές και διοικητικά μέλη. Η συμμετοχή των τελευταίων είναι ύψιστης σημασίας έτσι ώστε να διασφαλίζουν την αποτελεσματική διατμηματική συνεργασία και επικοινωνία. Κατά το εναρκτήριο διάστημα προτείνεται η συνάντηση του τμήματος να πραγματοποιείται δύο φορές τον μήνα μέχρι να σχεδιαστεί το μακροπρόθεσμο πλάνο. Η παράλληλη μελέτη εφαρμογή μικρότερων μεθόδων εξοικονόμησης μπορεί να φανερώσει νέες ευκαιρίες που μπορούν να ενταχθούν στην μελλοντική στρατηγική.

## **4. Σχεδιασμός πλάνου διαχείρισης ενέργειας**

Με την σύνθεση της ομάδας που θα επιμεληθεί το πλάνο εξοικονόμησης μπορεί να ξεκινήσει το στάδιο του σχεδιασμού. Οι ευκαιρίες που εντοπίζονται εξετάζονται πάντα σε συνάρτηση με τον αντίκτυπο που θα έχουν στην γενικότερη παραγωγή, έτσι ώστε να είναι σύμφωνες με την γενικότερη λειτουργία της επιχείρησης. Η ελαχιστοποίηση της ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με την μείωση των ωρών λειτουργίας των μηχανημάτων, κάτι το οποίο δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό αν δεν καλύπτονται οι ημερήσιοι στόχοι παραγωγής.

Ο σχεδιασμός ξεκινά με την συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με την ενεργειακή κατανάλωση και τις τιμές της παραγωγής των τελευταίων τριών ετών. Με την ανάλυσή τους προκύπτει η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή των προϊόντων σύμφωνα πάντα με όσα αναφέρθηκαν στο δεύτερο στάδιο.

Έπειτα τα μέλη της ομάδας πραγματοποιούν μία ενεργειακή επιθεώρηση κατά την οποία εντοπίζουν τα σημεία όπου συναντάται υψηλή απαίτηση σε ενέργεια και τις ευκαιρίες εξοικονόμησης που υπάρχουν. Αφού συλλεχτούν όλες οι προτάσεις, ταξινομούνται βάσει προτεραιότητας σύμφωνα με τα εξής κριτήρια:

- Κεφάλαια που απαιτούνται
- Διάστημα αποπληρωμής επένδυσης
- Ζητήματα ασφαλείας
- Βαρύτητα εξοπλισμού στην παραγωγή
- Πιθανή ανάγκη μελλοντικής αντικατάστασης εξοπλισμού
- Κόστος συντήρησης
- Επιπτώσεις στην παραγωγή
- Χρόνος και προσωπικό που απαιτείται

Το τελευταίο βήμα του σχεδιασμού περιλαμβάνει την οριοθέτηση των ρεαλιστικών στόχων που μπορούν να επιτευχθούν σύμφωνα με τις ευκαιρίες που εντοπίστηκαν και τον προγραμματισμό όλων των απαιτούμενων ενεργειών. Το μακροπρόθεσμο πλάνο εφαρμογής συντάσσεται σύμφωνα με τους εκάστοτε πόρους που διαθέτει η επιχείρηση.

## 5. Εφαρμογή και βελτίωση

Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της πλάνου εξοικονόμησης, ξεκινά το στάδιο της εφαρμογής των προτάσεων βελτίωσης που επιλέχθηκαν. Κατά το μακροχρόνιο αυτό διάστημα η ομάδα ενέργειας προσδιορίζει τις υποχρεώσεις του κάθε εργαζομένου και τμήματος, επιβλέπει τις διάφορες διαδικασίες και φροντίζει έτσι ώστε να τηρείται το χρονοδιάγραμμα. Παράλληλα ελέγχουν την αποτελεσματικότητα των τροποποιήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί και συλλέγουν επιπλέον δεδομένα ώστε να αναζητήσουν τρόπους περαιτέρω βελτίωσης.

### 1.8 Μετρητές και αισθητήρες

Βασική προϋπόθεση ώστε να εξεταστεί οποιαδήποτε ευκαιρία εξοικονόμησης ενέργειας και να αναλυθούν τα οφέλη της, είναι η αποτίμηση της ισχύουσας ενεργειακής κατάστασης. Οι μετρητές και οι αισθητήρες αποτελούν μέσα εντοπισμού της κατανάλωσης με την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση μίας εργαλειομηχανής ή και ενός χώρου του εργοστασίου. Το σημείο τοποθέτησης τους εξαρτάται από τις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες καθώς και από την φύση των ευκαιριών εξοικονόμησης που εξετάζονται [1].

Τα είδη των διαθέσιμων αισθητήρων δεν περιορίζονται μόνο στην ανίχνευση ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν πολλαπλές επιλογές οι οποίες συμπεριλαμβάνουν μετρητές θερμοκρασίας, πίεσης, αερίων κ.α. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τα μέσα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την διαχείριση της ενέργειας όσο και για την γενικότερη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών και της ποιότητας [1].

Για να μπορέσουν όμως οι μηχανικοί να αντλήσουν και να αναλύσουν τις μετρήσεις θα πρέπει αυτές να είναι ευανάγνωστες και εύκολα διαχειρίσιμες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ειδικά σχεδιασμένων λογισμικών, τα οποία βοηθούν σημαντικά την εξαγωγή των πληροφοριών και

επιταχύνουν την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά των λογισμικών αυτών περιλαμβάνουν [1]:

- Εύληπτη διεπιφάνεια
- Ικανοποιητικό ρυθμό παροχής δεδομένων
- Εύκολη προσθαφαίρεση εξοπλισμού στο σύστημα
- Ανίχνευση μετρήσεων που ξεπερνούν τα επιθυμητά όρια
- Προώθηση ειδοποιήσεων για ασυνήθιστες μετρήσεις

## **1.9 Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας**

Ο σχεδιασμός μίας παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί μία από τις βασικότερες λειτουργίες ενός εργοστασίου. Οι μηχανικοί και τα διοικητικά στελέχη οριοθετούν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος που θέλουν να κατασκευάσουν, εξετάζουν τους διαθέσιμους αλλά και τους απαιτούμενους πόρους και δημιουργούν ένα σχεδιάγραμμα διαδικασιών που θα πρέπει να ακολουθηθούν για την υλοποίηση των στόχων. Για κάθε βήμα της παραγωγικής διαδικασίας προσδιορίζονται οι πρώτες ύλες, οι εργαλειομηχανές, οι κατεργασίες και οι σχετικοί παράμετροι, ενώ επίσης αποτιμάται το κόστος παραγωγής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε περίπλοκα προϊόντα, καθώς απαιτείται ο σχεδιασμός ενός πλάνου παραγωγής για όλα τα εξάρτημα που το απαρτίζουν [1].

Ο συμβατικός στόχος του σχεδιασμού μίας παραγωγικής διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός όλων των βημάτων και των παραμέτρων που θα οδηγήσουν στην παραγωγή του προϊόντος εντός των επιθυμητών προδιαγραφών με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Τα τελευταία χρόνια, η βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας εντάσσεται όλο και περισσότερο στους στόχους, με την βαρύτητά της να αυξάνεται διαρκώς. Ωστόσο κατά την λήψη αποφάσεων θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι η επιπλέον αυτή παράμετρος δεν θα επηρεάσει αρνητικά τους υπόλοιπους στόχους σχετικά με την παραγωγικότητα, τις δαπάνες και την ποιότητα [1].

Τα βήματα που ακολουθούνται από τον σχεδιασμό ενός προϊόντος μέχρι την παραγωγή του αποτυπώνονται στο Σχεδιάγραμμα 1.3.

### **1.9.1 Στάδια σχεδιασμού διαδικασιών**

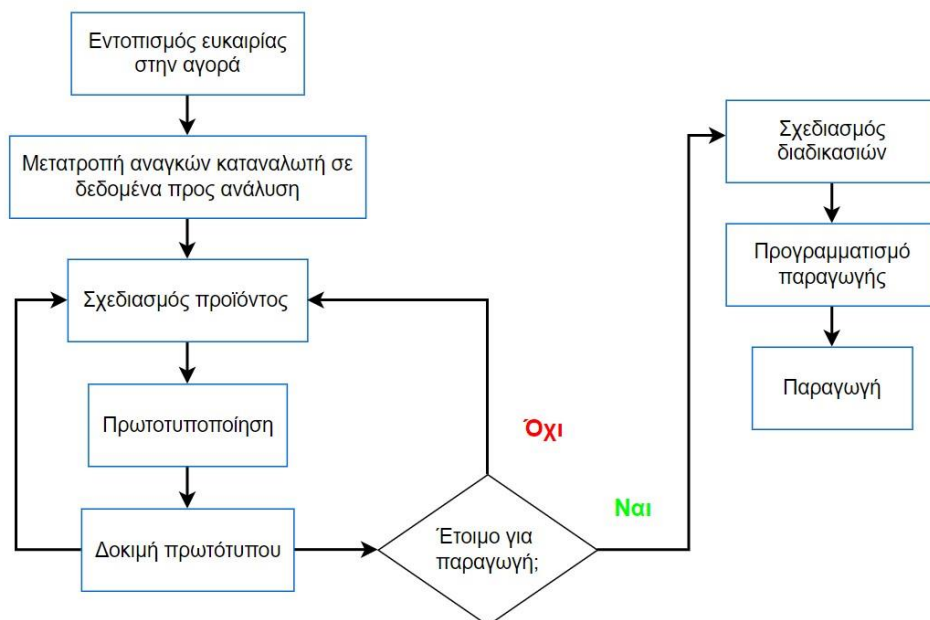
Ο σχεδιασμός των διαδικασιών για μία γραμμή παραγωγής παρτίδων πραγματοποιείται μέσα από 8 βασικά στάδια. Για διακριτές γραμμές παραγωγής τα στάδια αυτά διαφέρουν. Πριν την έναρξη του πρώτου σταδίου συνήθως δημιουργείται ένα 3D αρχείο του προς κατασκευή προϊόντος ή εξαρτήματος, το οποίο επιταχύνει την διαδικασία και διευκολύνει σημαντικά τους εργαζομένους που είναι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό. Τα 8 στάδια που ακολουθούνται είναι τα εξής [1]:

#### **1. Ερμηνεία σχεδίου**

Από την μελέτη του 3D σχεδίου εξάγονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το προϊόν, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οριοθέτηση των στόχων και των αναγκών της παραγωγικής διαδικασίας. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν την γεωμετρία του προϊόντος, τις διαστάσεις, τις ανοχές, την ποιότητα της επιφάνειας καθώς και τις ιδιότητες του υλικού, δεδομένα τα οποία υποδεικνύουν επίσης τις πιθανές κατεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

## 2. Επιλογή κατεργασιών

Μετά την λήψη όλων των απαραίτητων δεδομένων από το σχέδιο, εξετάζονται όλες οι εναλλακτικές μέθοδοι παραγωγής και επιλέγονται οι καταλληλότερες με βάση τα διάφορα οικονομικά, τεχνικά και ενίοτε περιβαλλοντικά κριτήρια. Έπειτα προσδιορίζονται οι διαστάσεις, οι ανοχές και τα γενικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει η πρώτη ύλη μετά από κάθε κατεργασία.



Σχεδιάγραμμα 1.3: Βασικά βήματα από τον σχεδιασμό μέχρι την παραγωγή ενός προϊόντος [3]

## 3. Επιλογή εργαλειομηχανών και κοπτικών εργαλείων

Για κάθε κατεργασία που επιλέχθηκε στο προηγούμενο στάδιο αναζητείται η κατάλληλη εργαλειομηχανή. Οι εναλλακτικές λύσεις αξιολογούνται με βάση την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και των καταρτισμένων χειριστών, καθώς και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την παραγωγή του προϊόντος, όπως είναι η ιπποδύναμη. Στη συνέχεια επιλέγεται το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο βάσει κριτηρίων όπως είναι η πρώτη ύλη, το είδος της κατεργασίας, το υλικό του κοπτικού, η επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας και το κόστος.

## 4. Καθορισμός παραμέτρων

Μετά την επιλογή των εργαλειομηχανών προσδιορίζονται οι βασικότερες παράμετροι για την διεξαγωγή των κατεργασιών, όπως είναι ο ρυθμός πρόωσης, η ταχύτητα και το βάθος της κοπής. Η επιλογή των κατάλληλων τιμών γίνεται με βάση τις υποδείξεις του κατασκευαστή της εργαλειομηχανής, το προς κατεργασία υλικό κ.α.

#### **5. Επιλογή εξοπλισμού συγκράτησης**

Για κάθε εργαλειομηχανή επιλέγονται οι κατάλληλοι μηχανισμοί συγκράτησης σύμφωνα με την γεωμετρία της πρώτης ύλης, το σημείο στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί και τους περιορισμούς της εργαλειομηχανής.

#### **6. Επιλογή μέσων ποιοτικού ελέγχου**

Κατά το στάδιο αυτό επιλέγονται τα μέσα και οι μέθοδοι με τις οποίες εντοπίζονται τυχόν αποκλίσεις από τις προκαθορισμένες ποιοτικές και γεωμετρικές ανοχές. Συνήθως ο απαιτούμενος εξοπλισμός επιλέγεται από έναν εξειδικευμένο μηχανικό με βάση το σφάλμα της κάθε κατεργασίας.

#### **7. Αποτίμηση κόστους**

Αξιολογούνται όλα τα δεδομένα που προκύπτουν από τις επιλογές των προηγούμενων σταδίων και εκτιμάται το κόστος παραγωγής του προϊόντος και τα περιθώρια κέρδους. Επιπλέον, εντοπίζονται πηγές υψηλών δαπανών αν υπάρχουν και εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις.

#### **8. Δημιουργία εγγράφων**

Στο τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού δημιουργούνται δύο έγγραφα, το έντυπο πορείας και το η λίστα παραμέτρων. Το έντυπο πορείας αποτυπώνει την σειρά με την οποία πραγματοποιούνται οι διαδικασίες και τις εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται. Η λίστα παραμέτρων περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την σωστή διεξαγωγή της κάθε κατεργασίας. Τα δεδομένα αυτά συνήθως αποτελούνται από οδηγίες χρήσεις, βήματα προεργασίας και ρυθμίσεις που αφορούν την πρόωση, τις ταχύτητες και τους χρόνους κατεργασίας.

### **1.9.2 Μέθοδοι σχεδιασμού διαδικασιών**

Για την διεκπεραίωση όλων των σταδίων σχεδιασμού παραγωγικών διαδικασιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, χρησιμοποιούνται συνήθως τέσσερις προσεγγίσεις [1].

Η πρώτη είναι η συμβατική προσέγγιση, κατά την οποία ο σχεδιαστής του πλάνου χρησιμοποιεί την εμπειρία και τις γνώσεις του έτσι ώστε να συλλέξει όλα τα απαραίτητα δεδομένα και να επιλέξει την σειρά των διαδικασιών που θα οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι αρκετά. Αρχικά το ποσοστό επιτυχίας του πλάνου εξαρτάται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από την κρίση και τις αποφάσεις του σχεδιαστή, ενώ επίσης συναντάται δυσκολία σε σενάρια όπου προκύπτει ανάγκη πολλαπλών τροποποιήσεων κατά τα τελικά στάδια. Επιπλέον, ο σχεδιασμός με την



συμβατική μέθοδο είναι εξαιρετικά χρονοβόρος, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν προηγούμενες καταγεγραμμένες μελέτες περιπτώσεων με παρόμοια χαρακτηριστικά [1].

Οι επόμενες τρεις προσεγγίσεις είναι η μεταβαλλόμενη, η αυτοματοποιημένη και η ημιαυτοματοποιημένη. Και οι τρεις βασίζονται στην χρήση λογισμικών τα οποία χρησιμοποιούν 3D σχέδια των προϊόντων ως βασικό στοιχείο για τον σχεδιασμό των παραγωγικών διαδικασιών [1].

Η μεταβαλλόμενη προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί με μεγάλη ευκολία και αποτελεσματικότητα σε εργοστάσια τα οποία παράγουν παρόμοια είδη προϊόντων με μικρές διαφορές. Κατά την προσέγγιση αυτή, το λογισμικό αναλύει το 3D σχέδιο και αναζητά στην βάση δεδομένων πλάνα παραγωγικών διαδικασιών προϊόντων με παρόμοια χαρακτηριστικά και γεωμετρίες. Έπειτα ο σχεδιαστής τροποποιεί το πλάνο αυτό έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί για το προϊόν το οποίο μελετά. Εκεί όμως εντοπίζονται και τα κύρια προβλήματα αυτής της προσέγγισης. Η αποτελεσματικότητα του πλάνου εξαρτάται και πάλι από τις γνώσεις και την κρίση του σχεδιαστή, ενώ επίσης υπάρχει ο κίνδυνος μεταφοράς πιθανών προβλημάτων των προηγούμενων διαδικασιών στο νέο πλάνο [1].

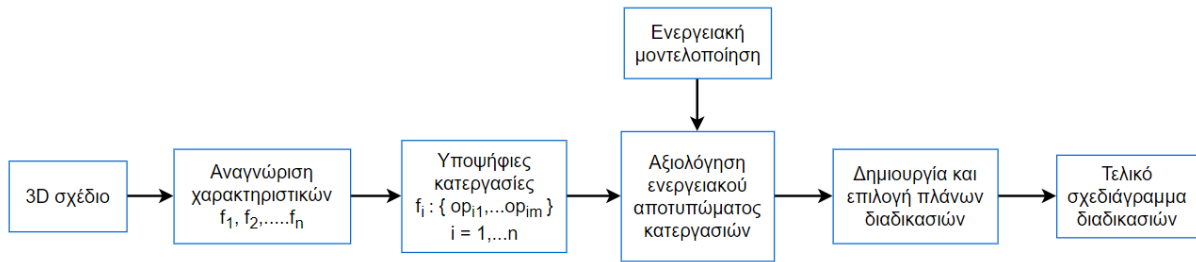
Κατά την αυτοματοποιημένη προσέγγιση το σχεδιάγραμμα των διαδικασιών δημιουργείται αυτόματα. Το λογισμικό διαθέτει εργαλεία με τα οποία αναγνωρίζει τις γεωμετρίες και τα χαρακτηριστικά του τρισδιάστατου σχεδίου, βάσεις δεδομένων κατεργασιών και εργαλειομηχανών, αλγόριθμους λήψης αποφάσεων και εργαλεία παραμετροποίησης. Με τον συνδυασμό των παραπάνω εξάγει σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα ένα αποτελεσματικό (όχι πάντα βέλτιστο) πλάνο παραγωγικών διαδικασιών για την κατασκευή του προϊόντος [1].

Η πρακτική εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου είναι εξαιρετικά δύσκολη, με τα σχετικά λογισμικά να μην έχουν φτάσει ακόμα στην τελική τους μορφή. Οι προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα δεν έχουν καταφέρει να ανταπεξέλθουν πλήρως στις πολλαπλές και περίπλοκες ανάγκες της κατασκευής των περισσότερων προϊόντων. Επομένως οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν υιοθετήσει την ημιαυτοματοποιημένη προσέγγιση, κατά την οποία χρησιμοποιείται το σχεδιάγραμμα που εξάγεται από το λογισμικό ως βάση πάνω στην οποία επεμβαίνουν οι σχεδιαστές ώστε να αναπτύξουν το βέλτιστο πλάνο παραγωγής [1].

### **1.9.3 Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον σχεδιασμό διαδικασιών**

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας, η βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας εντάσσεται όλο και περισσότερο στους βασικούς στόχους του σχεδιασμού διαδικασιών. Η ανάπτυξη του πεδίου αυτού ξεκίνησε στο πολύ πρόσφατο παρελθόν, με το σχετικό βιβλιογραφικό υλικό είναι περιορισμένο καθώς οι περισσότερες μελέτες αφορούν τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης αφού ολοκληρωθεί το πλάνο παραγωγής [1].

Μέχρι στιγμής, η κυρίαρχη προσέγγιση που τροποποιείται ώστε να ανταποκριθεί στα νέα δεδομένα είναι η ημιαυτοματοποιημένη. Τα βήματα της προσέγγισης αυτής παρουσιάζονται στο Σχεδιάγραμμα 1.4 και είναι τα εξής [1]:



Σχεδιάγραμμα 1.4: Ημιαυτοματοποιημένος σχεδιασμός σχεδιαγράμματος διαδικασιών μειωμένης κατανάλωσης [1]

### 1. Αναγνώριση χαρακτηριστικών

Με την εισαγωγή του 3D σχεδίου το λογισμικό εντοπίζει τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά  $f_i$ , τα οποία συνήθως είναι επιφάνειες, κυρτότητες, οπές, κυλινδρικά σχήματα κ.α.

### 2. Υποψήφιες κατεργασίες

Αφού αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά  $f_i$  του προϊόντος, για κάθε ένα από αυτά εντοπίζονται όλες οι πιθανές κατεργασίες  $opi_{i,m}$  με τις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν. Η αποτελεσματικότητα του βήματος αυτού εξαρτάται από την πληρότητα της βάσης δεδομένων σε κατεργασίες, εξοπλισμό και κανόνες μηχανικής.

### 3. Αξιολόγηση ενεργειακού αποτυπώματος κατεργασιών

Στο βήμα αυτό, για κάθε εναλλακτική κατεργασία που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα, προσδιορίζονται όλες οι λειτουργικοί παράμετροι έτσι ώστε να υπολογιστούν οι ενεργειακές καταναλώσεις. Έπειτα αξιολογούνται και ταξινομούνται με κριτήριο την χαμηλότερη κατανάλωση και την αποτελεσματικότητά τους.

### 4. Δημιουργία και επιλογή πλάνων κατεργασιών

Για την επιλογή των πλάνων κατεργασιών χρησιμοποιούνται αλγοριθμικές μέθοδοι βελτιστοποίησης, όπως είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι, οι αλγόριθμοι προσομοιωμένης απόκτησης, οι αλγόριθμοι τυχαίου περιπατητή κ.α. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι παίρνουν ως εισροές τα δεδομένα που προκύπτουν από τα προηγούμενα βήματα και εξάγουν τα βέλτιστα σχεδιαγράμματα διαδικασιών.

#### 1.9.4 Γενετικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης

Οι γενετικοί αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε πολυσύνθετα προβλήματα βελτιστοποίησης. Ο τρόπος λειτουργίας βασίζεται στην φυσική εξέλιξη των ειδών, με τις λειτουργίες του να παρομοιάζουν βιολογικά φαινόμενα όπως είναι η μετάλλαξη, ο ανασυνδυασμός, η κληρονομικότητα και η επιλογή [1].

Για την έναρξη του αλγορίθμου απαιτείται ένας αρχικός πληθυσμός λύσεων, ο οποίος συνήθως δημιουργείται τυχαία βάσει κάποιων κανόνων επικύρωσης (απορρίπτονται κατεργασίες οι οποίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν). Οι λύσεις αυτές στην προκειμένη περίπτωση αντιπροσωπεύουν τα πιθανά σχεδιαγράμματα διαδικασιών. Η κάθε λύση αποτελείται από μία σειρά γονιδίων, δηλαδή

κατεργασιών κατασκευής χαρακτηριστικών, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του προβλήματος [1].

Οι λύσεις που εισάγονται στον αλγόριθμο ονομάζονται γονείς και οι λύσεις που εξάγονται μετά από την επανάληψη ονομάζονται απόγονοι. Κάθε απόγονος αξιολογείται με βάση μία αντικειμενική συνάρτηση, η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Όσο περισσότερες επαναλήψεις πραγματοποιηθούν τόσο πιο αποτελεσματικές θα είναι οι νέες λύσεις [1].

## 1.10 Χρονοπρογραμματισμός

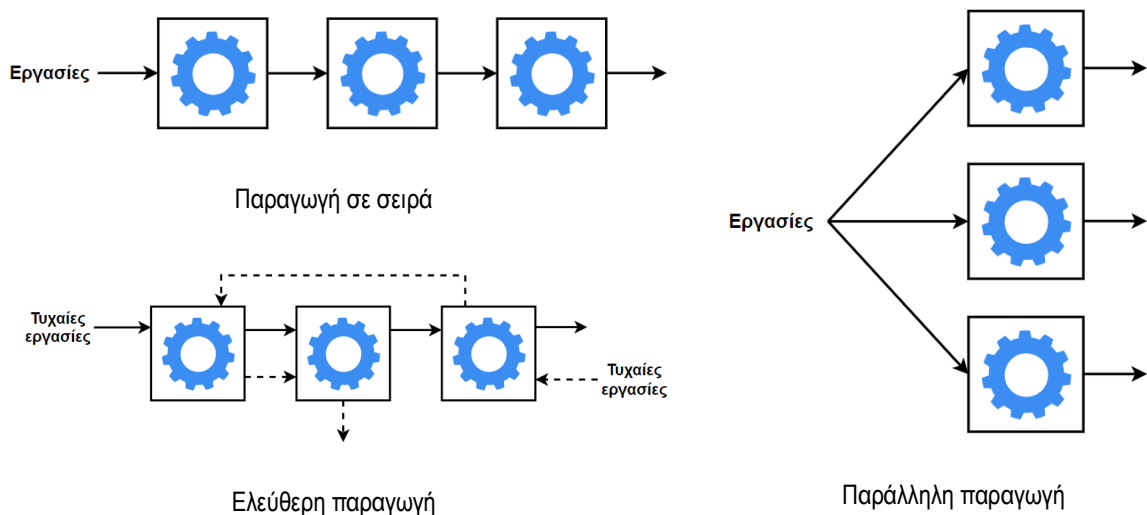
Ο χρονοπρογραμματισμός είναι η διαδικασία προσδιορισμού της βέλτιστης κατανομής πόρων και εργασιών σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η εφαρμογή του στην παραγωγή έχει ως κύριο στόχο την ταχύτερη δυνατή ολοκλήρωση όλων των διαδικασιών, ενώ τα τελευταία χρόνια μπαίνει στην εξίσωση και η εξοικονόμηση ενέργειας. Η μείωση της ταχύτητας κάποιων κατεργασιών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της απαίτησης σε ενέργεια. Επομένως σε κάθε εφαρμογή θα πρέπει να προσδιορίζεται η κατάλληλη ισορροπία εξοικονόμησης και χρόνου ανάλογα με τις εκάστοτε προτεραιότητες [1].

Κατά τον χρονοπρογραμματισμό παραγωγικών διαδικασιών, οι πόροι αναφέρονται ως εργαλειομηχανές και οι εργασίες αποτελούνται από κατεργασίες. Για την διεξαγωγή του ακολουθούνται τα εξής βήματα [1]:

### 1. Περιγραφή γραμμής παραγωγής

Κάθε γραμμή παραγωγής απαρτίζεται από μία ή περισσότερες εργαλειομηχανές στις οποίες πραγματοποιούνται οι κατεργασίες. Ανάλογα με την σειρά κατά την οποία χρησιμοποιούνται οι εργαλειομηχανές προκύπτουν οι εξής τοπολογίες (Σχεδιάγραμμα 1.5):

- **Παραγωγή σε σειρά:** Οι κατεργασίες πραγματοποιούνται στις διάφορες εργαλειομηχανές σύμφωνα με μία προκαθορισμένη, σταθερή και απaráβατη ακολουθία.
- **Παράλληλη παραγωγή:** Στις παράλληλες γραμμές παραγωγής χρησιμοποιούνται πολλαπλές ίδιες εργαλειομηχανές, σε κάθε μία από τις οποίες διεξάγονται παράλληλα οι ίδιες κατεργασίες.
- **Ελεύθερη παραγωγή:** Η παραγωγική μονάδα διαθέτει διάφορες εργαλειομηχανές τυχαία τοποθετημένες. Η ακολουθία σύμφωνα με την οποία θα γίνουν οι κατεργασίες στις εργαλειομηχανές καθορίζεται από τις εκάστοτε ανάγκες του παραγόμενου προϊόντος.



Σχεδιάγραμμα 1.5: Τοπολογίες παραγωγής [1]

## 2. Χαρακτηριστικά κατεργασιών

Κάθε κατεργασία ακολουθείται από μία σειρά εξειδικευμένων παραμέτρων οι οποίες θα πρέπει να μελετηθούν στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού. Κυριότερη εξ αυτών είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση όλων των βημάτων της κατεργασίας, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται, από την ταχύτητα επεξεργασίας και από την απαραίτητη προεργασία. Επιπλέον, κάποιες κατεργασίες απαιτούν την συνεχή λειτουργία της εργαλειομηχανής χωρίς διακοπές. Εξίσου σημαντικές παράμετροι είναι οι τελικές ημερομηνίες παράδοσης και η δυνατότητα υπέρβασης του χρονικού ορίου (αν υπάρχει) με το αντίστοιχο επιπρόσθετο κόστος ανά χρονική μονάδα καθυστέρησης.

## 3. Εφικτά χρονοδιαγράμματα

Αφού μελετηθούν τα δεδομένα που προκύπτουν από τα δύο προηγούμενα βήματα, δημιουργούνται τα υποψήφια χρονοδιαγράμματα. Ένα από τα βασικότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την γραφική αποτύπωσή τους είναι το διάγραμμα Gantt, το οποίο αναπαριστά τις κατεργασίες, την διάρκειά τους και την σειρά με την οποία πραγματοποιούνται σε έναν οριζόντιο χρονικό άξονα. Παράδειγμα αποτελεί το Σχεδιάγραμμα 2.3 που χρησιμοποιείται στο δεύτερο κεφάλαιο.

## 4. Αξιολόγηση και επιλογή

Τα εφικτά χρονοδιαγράμματα που προκύπτουν από το προηγούμενο βήμα αξιολογούνται βάσει κάποιων αντικειμενικών συναρτήσεων. Τυπικά οι συναρτήσεις αυτές αξιολογούν τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε κατεργασίας, τον συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης όλων των κατεργασιών ή τον αριθμό των κατεργασιών που πραγματοποιούνται με καθυστέρηση.

Η παράμετρος της ενέργειας μπορεί να ενταχθεί στον χρονοπρογραμματισμό με την χρήση εναλλακτικών αντικειμενικών συναρτήσεων κατά την αξιολόγηση των υποψήφιων χρονοδιαγραμμάτων.

Προκειμένου να γίνει αυτό θα πρέπει να εξασφαλιστούν επιπλέον δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση της κάθε εργαλειομηχανής για όλες τις πιθανές ρυθμίσεις και ταχύτητες επεξεργασίας. Οι συνάρτηση έπειτα θα εκτιμήσει την απόδοση τους με βάση ένα, ή κάποια από τα εξής κριτήρια [1]:

- **Συνολική κατανάλωση ενέργειας:** Η συνολική απαίτηση σε ενέργεια ανάγεται σε μία χρονική μονάδα
- **Απαιτούμενη ενέργεια:** Υπολογίζεται η συνολική απαιτούμενη ενέργεια όλων των εργαλειομηχανών για όλη την διάρκεια του χρονοδιαγράμματος
- **Περιβαλλοντικό αποτύπωμα:** Αξιολογούνται οι ρύποι CO<sub>2</sub> που προκύπτουν από τις κατεργασίες

### 1.11 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας

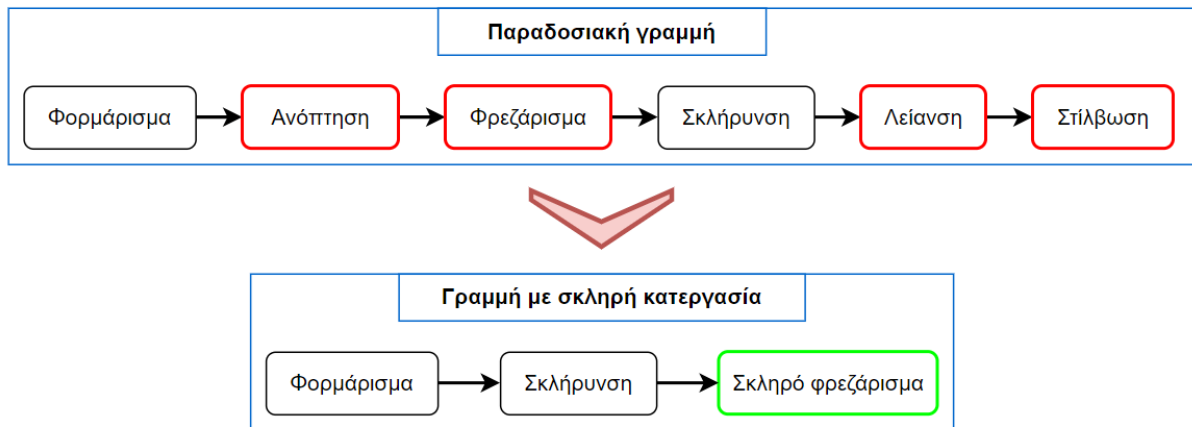
Η διαρκώς αυξανόμενη πίεση των διαφόρων κυβερνητικών φορέων, τα νέα οικονομικά δεδομένα καθώς και ο ανταγωνισμός οδηγούν τις βιομηχανίες στην αναζήτηση τρόπων εξοικονόμησης και καλύτερης διαχείρισης της ενέργειας. Η μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους, η αύξηση της αποδοτικότητας και η ελαχιστοποίηση των απωλειών μπορούν να επιτευχθούν μέσα από μία ολιστική αναδιοργάνωση των γραμμών παραγωγής [1].

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τρόποι εξοικονόμησης κυρίως σε κατεργασίες κοπής μετάλλων. Οι μέθοδοι που προτείνονται δεν περιορίζονται στην ενέργεια που απαιτείται για την επεξεργασία αλλά αφορούν και τους τέσσερεις τομείς των κατεργασιών που αναφέρθηκαν στην [ενότητα 1.3](#). Άλλωστε έχει παρατηρηθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται από την εργαλειομηχανή και από τα βοηθητικά συστήματα ψύξης [1].

#### 1.11.1 Συμπύεση διαδικασιών με κατεργασία σκληρυμένων μετάλλων

Στις περισσότερες γραμμές παραγωγής μεταλλικών δοκιμίων πρώτη ύλη αποτελεί κάποιο μαλακό μέταλλο, το οποίο μέσα από μία σειρά κατεργασιών φτάνει στην επιθυμητή μορφή. Το δοκίμιο έπειτα υπόκειται σε σκλήρυνση ώστε να αποκτήσει τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες. Τέλος, οι επιφανειακές ανομοιομορφίες αφαιρούνται με λείανση και στίλβωση [1].

Κάποιες από αυτές τις κατεργασίες μπορούν να παραληφθούν και να αντικατασταθούν με την απευθείας κατεργασία ενός σκληρυμένου μετάλλου. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται σκληρή κατεργασία (Hard machining) και χρησιμοποιείται πλέον ευρέως για την παραγωγή καλουπιών. Η μετατροπή μίας τέτοιας παραγωγικής διαδικασίας αποτυπώνεται στο Σχεδιάγραμμα 1.6. Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι σημαντικά μικρότερη καθώς η ειδική ενέργεια λείανσης είναι εξαιρετικά μεγαλύτερη από αυτή της κοπής [1].



Σχεδιάγραμμα 1.6: Συμπύεση παραγωγικής διαδικασίας καλουπιών [1]

Τα οφέλη μίας σκληρής κατεργασίας μπορούν να μεγιστοποιηθούν με την χρήση νέων εργαλειομηχανών, συστημάτων υποβοήθησης, στρατηγικών καθώς και ειδικά σχεδιασμένων κοπτικών εργαλείων, τα οποία κατασκευάζονται από καινοτόμα υλικά όπως το CBN και το PCD. Έτσι διασφαλίζεται το βέλτιστο αποτέλεσμα σε κατεργασίες που συνήθως στοχεύουν στην δημιουργία περίπλοκων γεωμετριών, ενώ μειώνεται παράλληλα ο χρόνος επεξεργασίας, η φθορά του εξοπλισμού και η ενεργειακή κατανάλωση [1].

### 1.11.2 Υβριδικές κατεργασίες

Υβριδικές κατεργασίες είναι ο ταυτόχρονος συνδυασμός πολλαπλών συστημάτων, εργαλειομηχανών, υλικών και πηγών ενέργειας κατά την παραγωγή. Παραδείγματα υβριδικών κατεργασιών είναι τα εξής [1]:

#### 1. Υβριδικές εργαλειομηχανές

Οι υβριδικές εργαλειομηχανές συνδυάζουν διάφορα υποσυστήματα έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιήσουν παραπάνω από μία λειτουργίες. Συνήθως περιλαμβάνουν άξονες και διατάξεις που μπορούν να υποστηρίξουν πάνω από μία κατεργασίες, όπως τórνευση, διάτρηση, φρεζάρισμα, ενώ επίσης διαθέτουν έναν κινητήρα για κάθε σενάριο λειτουργίας, δηλαδή έναν για μεγάλα φορτία και έναν για μικρότερα. Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελούν κάποιες εργαλειομηχανές λείανσης, οι οποίες χρησιμοποιούν την παραγόμενη θερμότητα για την σκλήρυνση του υλικού. Με αυτό τον τρόπο πολλαπλές κατεργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν από μία εργαλειομηχανή εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και χρόνο [1].

#### 2. Χρήση υπερήχων κατά την λείανση ή την κοπή

Στην μέθοδο αυτή εφαρμόζεται δόνηση υψηλής συχνότητας στο κοπτικό εργαλείο, το οποίο περιοδικά χάνει την επαφή του με την επεξεργαζόμενη ύλη. Σαν αποτέλεσμα μειώνονται σημαντικά οι μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις κατά την κατεργασία, αυξάνεται η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου, δημιουργούνται μικρότερα απόβλιπτα, υπάρχει μεγαλύτερη

ακρίβεια και το δοκίμιο αποκτά καλύτερη επιφάνεια [5]. Τα οφέλη αυτά μεγιστοποιούνται κατά τις σκληρές κατεργασίες που προαναφέρθηκαν [6].

### **3. Κοπή όλκιμων δοκιμίων**

Με την χρήση laser ή πλάσματος η επιφάνεια του δοκιμίου θερμαίνεται μέχρι να γίνει όλκιμη και έπειτα υπόκειται σε κοπή. Οι τάσεις που δημιουργούνται με την μέθοδο αυτή είναι σημαντικά μικρότερες σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους κοπής. Οι μηχανικές ιδιότητες και οι τάσεις κατανέμονται με μεγαλύτερη ομοιομορφία σε όλο το δοκίμιο. Πολλές φορές ωστόσο συναντάται χρωματισμός της επιφάνειας λόγω της θέρμανσης [7].

### **4. Εναλλακτική χρήση υγρών ψύξης/λίπανσης**

Με την εφαρμογή των υγρών υπό υψηλή πίεση, εκτός από τον κύριο στόχο της ψύξης και της λίπανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέσα απομάκρυνσης και κοπής των αποβλίπων, δίνοντας έτσι την δυνατότητα χρήσης εργαλείων διαφόρων γεωμετριών [1].

#### **1.11.3 Επαναξιολόγηση συστημάτων ψύξης - λίπανσης**

Τα συστήματα ψύξης και λίπανσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των κατεργασιών κοπής. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα ασχέτως του είδους της εργαλειομηχανής την οποία υποστηρίζει. Η σωστή χρήση τους εξαρτάται από μία πληθώρα παραμέτρων, σημαντικότερες των οποίων είναι οι θερμικές ιδιότητες του προς επεξεργασία υλικού και του κοπτικού εργαλείου που χρησιμοποιείται. Σε περίπτωση που δεν αξιολογηθούν οι παράμετροι της κάθε κατεργασίας τα συστήματα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε σπατάλη υλικών, σε αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας αλλά ακόμα και σε μείωση της παραγωγικότητας [1].

Μία εναλλακτική μέθοδος λίπανσης είναι η ελάχιστη ποσότητα λίπανσης (MQL), δηλαδή η χρήση πεπιεσμένου αέρα που προωθεί ένα μείγμα μορίων διαφόρων λιπαντικών ελαίων στην επεξεργαζόμενη ύλη. Με την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται σχεδόν το ένα τέταρτο της ποσότητας λιπαντικού των παραδοσιακών συστημάτων [8]. Πριν την εφαρμογή της θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες μελέτες καθώς υπάρχει κίνδυνος υπέρβασης των επιτρεπτών ορίων θερμοκρασίας, ενώ επίσης το νέφος που δημιουργείται από τον ψεκασμό μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων και να προκαλέσει βλάβη σε διάφορα χειριστήρια και αισθητήρες [1].

Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένα υλικά που κατά την επεξεργασία τους είναι συμφέρουσα η αποφυγή χρήσης τέτοιων συστημάτων. Τέλος, θα πρέπει να αξιολογούνται και μέσα ψύξης όπως είναι το υγρό άζωτο και ο ξηρός πάγος, καθώς σε κάποια σενάρια χρήσης υπερτερούν έναντι των παραδοσιακών συστημάτων [1].

#### **1.11.4 Ανακατασκευή**

Σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται συμφέρουσα η ανακατασκευή ενός προϊόντος το οποίο βρίσκεται στο τελικό στάδιο του κύκλου ζωής του σε νέο προϊόν. Προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για την ανακατασκευή θα πρέπει πρώτα να αξιολογηθεί η ενέργεια και το κόστος μίας τέτοιας διαδικασίας και

να συγκριθεί με το κόστος κατασκευής ενός νέου προϊόντος. Σε ορισμένες παραγωγικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν κατεργασίες με υψηλή απαίτηση σε ενέργεια, η ανακατασκευή αποτελεί ευκαιρία εξοικονόμησης τόσο της ενέργειας αυτής όσο και των υπόλοιπων δαπανών, όπως είναι η ανάκτηση της πρώτης ύλης [1].

#### **1.11.5 Λογισμικά παραμετροποίησης**

Ένα επιπλέον μέσο διαχείρισης της ενέργειας είναι τα διάφορα λογισμικά ανάλυσης παραγωγικών διαδικασιών που κυκλοφορούν στην αγορά. Τα εργαλεία αυτά προσφέρουν μία ολιστική προσέγγιση του κύκλου παραγωγής. Με την χρήση τους δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να διαχειριστούν με μικρό σφάλμα και μεγάλη ευκολία τις ύλες, τις εργαλειομηχανές, τις δαπάνες, τους εργαζομένους, την ενέργεια και γενικότερα οτιδήποτε σχετίζεται με την παραγωγική μονάδα. Επιπλέον εμπεριέχουν μέσα καθορισμού στόχων και ιεράρχησης διαδικασιών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που η εξοικονόμηση ενέργειας τεθεί ως πρωταρχικός στόχος το λογισμικό θα εξαγάγει τις απαραίτητες παραμέτρους για την επίτευξη του έτσι ώστε να μην καταπατηθούν τα προκαθορισμένα όρια κόστους και ποιότητας [1].

Τα περισσότερα από τα λογισμικά αυτά διαθέτουν επίσης μέσα πρόβλεψης του αναμενόμενου ενεργειακού αποτυπώματος που θα προκύψει από διάφορες τροποποιήσεις στις παραμέτρους των διαδικασιών. Έτσι διευκολύνεται η έρευνα, η μοντελοποίηση, η αξιολόγηση και η λήψη αποφάσεων σχετικά με τις περισσότερες μεθόδους εξοικονόμησης [1].

Τέλος, μέσα από λογισμικά παρέχονται τα απαραίτητα μέσα για τον βέλτιστο σχεδιασμό νέων γραμμών παραγωγής, που θα λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή ενέργεια, και την ανάλυση του αναμενόμενου κύκλου ζωής [1].

#### **1.11.6 Ελαχιστοποίηση χρόνου επεξεργασίας**

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την διεξαγωγή μίας κατεργασίας εξαρτάται άμεσα από την διάρκειά της, κάτι που αποδεικνύεται και από την Εξίσωση 1.2). Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες στις περισσότερες παραγωγικές διαδικασίες, εκτός από την εργαλειομηχανή χρησιμοποιούνται πολυάριθμα βοηθητικά συστήματα τα οποία καταναλώνουν ένα σταθερό αλλά και σημαντικό ποσό ενέργειας. Επομένως με την ελαχιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας μειώνεται τόσο η σταθερά ισχύς όσο και η ισχύς επεξεργασίας [1].

Στις κατεργασίες κοπής μπορεί αυτό να επιτευχθεί με την τροποποίηση τριών βασικών παραμέτρων: της ταχύτητας κοπής, του ρυθμού πρόωσης και του βάρους της κοπής. Απαιτείται εξαιρετική προσοχή κατά την διενέργεια τέτοιων τροποποιήσεων καθώς υπάρχει πιθανότητα ραγδαίας αύξησης των δυνάμεων και των θερμικών παραμορφώσεων. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένη ακρίβεια, κατώτερη ποιότητα καθώς και σε φθορά της εργαλειομηχανής και του κοπτικού εργαλείου. Ο βαθμός στον οποίο μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε κατεργασίας, κυρίως των οποίων είναι η πρώτη ύλη, το είδος της εργαλειομηχανής και η γεωμετρία του δοκιμίου [1].



Προκειμένου να διασφαλιστεί η βέλτιστη διεξαγωγή της κατεργασίας, η προστασία του εξοπλισμού και η ποιότητα του τελικού προϊόντος θα πρέπει πριν την αύξηση της ταχύτητας να γίνουν μετατροπές σε κάποια καίρια εξαρτήματα της εργαλειομηχανής. Στα περισσότερα σενάρια κατεργασιών οι μετατροπές αυτές αφορούν την χρήση κινητήρων υψηλής ταχύτητας και την ενίσχυση των αξόνων ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις αυξημένες δυνάμεις που δημιουργούνται [1].

Εφόσον αυξηθεί η ταχύτητα μίας κατεργασίας θα πρέπει να τροποποιηθεί η γενικότερη παραγωγική διαδικασία έτσι ώστε να μην δημιουργείται νεκρός χρόνος μεταξύ της κατεργασίας των διαδοχικών δοκιμών. Κατά το διάστημα αυτό τα περιφερειακά συστήματα καταναλώνουν ένα σταθερό ποσό ενέργειας χωρίς να παράγεται κάποιο προϊόν [1].

Η μείωση του χρόνου κατεργασίας μπορεί να επιτευχθεί και με τις υβριδικές εργαλειομηχανές που αναφέρθηκαν στην [ενότητα 1.6.2](#).

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στην [ενότητα 3.5](#) με σκοπό την εξάλειψη του νεκρού χρόνου κατά την παραγωγικής διαδικασίας.

## **1.12 Εξοικονόμηση ενέργειας βοηθητικών συστημάτων**

Για την διεξαγωγή κάθε παραγωγικής διαδικασίας είναι απαραίτητη η χρήση διαφόρων βοηθητικών υποσυστημάτων, τα οποία συνήθως αποτελούν αξιοσημείωτη πηγή κατανάλωσης ενέργειας. Ο αριθμός και το είδος των συστημάτων αυτών διαφέρουν ανάλογα με της ανάγκες της κάθε κατεργασίας και την φύση της παραγωγικής μονάδας. Τα συνηθέστερα από αυτά είναι ο φωτισμός, η θέρμανση και τα δίκτυα πεπιεσμένου αέρα. Η πλειοψηφία των συστημάτων αυτών είχαν εγκατασταθεί στα εργοστάσια κατά την περίοδο της ανέγερσής τους, επομένως θεωρούνται πλέον παρωχημένα και ενεργοβόρα. Η αντικατάστασή τους από νεότερα, λιγότερο ενεργοβόρα συστήματα είναι δύσκολη, καθώς απαιτούνται εξαιρετικά μεγάλα κεφάλαια επένδυσης τόσο για την απόκτηση του εξοπλισμού όσο και για την εγκατάστασή του. Επιπλέον δυσκολία συναντάται από την έλλειψη γνώσεων αλλά και δεδομένων που συχνά συναντάται σε παλαιότερες εγκαταστάσεις [1].

Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα τρία βασικά βοηθητικά συστήματα που προαναφέρθηκαν, ενώ επίσης προτείνονται τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας κατά την λειτουργία τους [1].

### **1.12.1 Φωτισμός**

Ο φωτισμός αποτελεί ένα σύστημα το οποίο συναντάται σε όλες τις παραγωγικές μονάδες, καθώς παρέχει τον αναγκαίο φωτισμό τόσο για την λειτουργία όλων των τμημάτων, από την διεκπεραίωση των παραγωγικών διαδικασιών μέχρι και τα γραφεία. Μελέτες έχουν δείξει πως το ποσοστό ενέργειας που προορίζεται για τον φωτισμό αγγίζει το 20% παγκοσμίως, ενώ επίσης το 30% με 40% της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία γραφείων αφορά επίσης τον φωτισμό [1].

Για την σωστή αξιολόγηση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει πρώτα να αναλυθούν τα συνηθέστερα συστήματα φωτισμού που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία.

### 1.12.1.1 Τεχνολογίες φωτισμού

Για τον φωτισμό μίας παραγωγικής μονάδας υπάρχουν πολλαπλές διαθέσιμες εναλλακτικές, η κάθε μία με τα δικά της χαρακτηριστικά και την ανάλογη ενεργειακή απόδοση. Οι επικρατέστερες επιλογές είναι οι εξής [1]:

#### 1. Λαμπτήρες πυρακτώσεως

Οι λαμπτήρες αυτοί παράγουν φωτισμό με την πυράκτωση ενός σύρματος βολφραμίου που εμπεριέχεται μαζί με κάποιο αδρανές αέριο στο εσωτερικό ενός γυάλινου περιβλήματος. Τυπικά συναντώνται ως λαμπτήρες πυράκτωσης και λαμπτήρες βολφραμίου – αλογόνου.

#### 2. Λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού διατίθενται σε τρεις τυποποιήσεις: T12, T8 και T5, με το T να υποδηλώνει το κυλινδρικό σχήμα (tubular) και τον αριθμό που ακολουθεί την διάμετρο του σωλήνα σε 1/8 in. Εμπεριέχουν σκόνη φθορίου και υδράργυρο υπό χαμηλή πίεση.

#### 3. Λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης (HID)

Παράγουν φωτισμό με την ηλεκτρική εκκένωση αερίων (συνήθως υδραργύρου ή νατρίου).

#### 4. Φωτισμός στερεάς κατάστασης

Ο φωτισμός παράγεται από την φόρτιση και την αποφόρτιση φωτονίων μέσω ημιαγωγών. Η τεχνολογία αυτή είναι διαρκώς αναπτυσσόμενη, με τις συνηθέστερες μορφές να είναι τα LED, τα OLED και τα LEP.

#### 5. Ηλιακός φωτισμός

Ο φωτισμός του χώρου γίνεται από το φως του ηλίου, είτε απευθείας μέσω φωταγωγών είτε με την συλλογή του και την διασπορά του μέσω οπτικών ινών.

Κάθε μία από τις παραπάνω τεχνολογίες έχει τα πλεονεκτήματά της και τα μειονεκτήματά της, τα οποία αποτυπώνονται στον Πίνακα 1.3 και αξιολογούνται από τέσσερις βασικές παραμέτρους: το κόστος εγκατάστασης, την διάρκεια ζωής, την κατανάλωση ενέργειας και την φωτεινή απόδοση (lm/W). Βάσει στατιστικών κατά το 2010 το 89.2% των αμερικάνικων βιομηχανιών χρησιμοποιούσαν λαμπτήρες φθορισμού, το 9.8% χρησιμοποιούσε λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης, ενώ μόνο το 0.3% αξιοποιούσε λαμπτήρες πυρακτώσεως [1].

### 1.12.1.2 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας φωτισμού

Τυπικά, για τον φωτισμό των βιομηχανικών χώρων απαιτούνται υψηλά ποσά ενέργειας, τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 30 και 50 kWh/m<sup>2</sup>. Η κατανάλωση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του χώρου και τον τύπο φωτισμού που έχει επιλεγεί. Με την χρήση διαφόρων μεθόδων εξοικονόμησης η ενέργεια αυτή μπορεί να μειωθεί ακόμα και στις 10 kWh/m<sup>2</sup>. Οι επικρατέστερες των μεθόδων αυτών είναι οι εξής [1]:

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά τεχνολογιών φωτισμού [1]

	<b>Κόστος εγκατάστασης</b>	<b>Διάρκεια ζωής</b>	<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>Φωτεινή απόδοση</b>
<b>Λαμπτήρες πυρακτώσεως</b>	Χαμηλό	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή
<b>Λαμπτήρες φθορισμού</b>	Μέτριο – Χαμηλό	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια
<b>Λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης (HID)</b>	Μέτριο	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια-Χαμηλή
<b>Φωτισμός στερεάς κατάστασης</b>	Υψηλό	Υψηλή	Πολύ χαμηλή	Υψηλή
<b>Ηλιακός φωτισμός</b>	Πολύ υψηλό	Πολύ υψηλή	-	-

### 1. Αντικατάσταση λαμπτήρων χαμηλής απόδοσης

Ο πρώτος τρόπος ελαχιστοποίησης του κόστους φωτισμού είναι η αντικατάσταση των λαμπτήρων χαμηλής απόδοσης με κάποιες από τις υπόλοιπες διαθέσιμες επιλογές. Η ευκολότερη εναλλακτική είναι η χρήση λαμπτήρων φθορισμού, λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασης αλλά και της χαμηλής απαίτησης σε ενέργεια. Με την επιλογή των τυποποιήσεων T8 και T5 δημιουργείται επιπλέον όφελος καθώς είναι πιο αποδοτικές από τις T12. Στην ενότητα 3.7 εξετάζεται η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού και πυρακτώσεως της παραγωγικής μονάδας με λαμπτήρες LED.

### 2. Χρήση αισθητήρων ανίχνευσης ατόμων

Οι αισθητήρες αυτοί δίνουν την δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του φωτισμού ενός χώρου ανάλογα με την παρουσία ή μη ατόμων. Με την εγκατάστασή τους σε χώρους που δεν χρησιμοποιούνται διαρκώς, όπως αποθήκες και αίθουσες συνεδρίασης, εξοικονομείται ένα σημαντικό ποσό ενέργειας το οποίο καταναλώνεται καθώς ο φωτισμός ενεργοποιείται μόνο όταν είναι αναγκαίος.

### 3. Μείωση επιπέδου φωτισμού

Στις περισσότερες περιπτώσεις παλαιότερων εργοστασίων, ο φωτισμός που εγκαταστάθηκε κατά την ανέγερσή τους παράγουν τον τριπλάσιο φωτισμό από ότι απαιτείται στην πραγματικότητα. Επιπλέον, για κάποιους χώρους όπου οι εργαζόμενοι είναι πιο διάσπαρτα τοποθετημένοι (ένας εργαζόμενος ανά 5 με 7 m<sup>2</sup>), υπάρχει δυνατότητα χρήσης μη ομοιόμορφου φωτισμού. Η μείωση της έντασης του φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί με την αφαίρεση κάποιων λαμπτήρων ή και με την μείωση της ισχύος που καταλήγει στους λαμπτήρες. Στην περίπτωση αφαίρεσης ενός λαμπτήρα φθορισμού ή HID θα πρέπει να αφαιρεθεί και το έρμα ώστε να μην καταναλώνει άσκοπα ενέργεια όταν δεν χρησιμοποιείται.

#### **4. Εγκατάσταση έρματος υψηλής απόδοσης**

Το έρμα τοποθετείται στους λαμπτήρες με σκοπό την προθέρμανση των λαμπτήρων ταχείας ενεργοποίησης, την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου στο εσωτερικό του λαμπτήρα και την ρύθμιση της τάσης και της έντασης του λαμπτήρα. Υπάρχουν δύο είδη έρματος, τα μαγνητικά και τα ηλεκτρονικά τα οποία αυξάνουν την απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού. Η απόδοση των ηλεκτρονικών είναι υψηλότερη έναντι των μαγνητικών κατά 15%.

#### **5. Εγκατάσταση ανακλαστήρων**

Με την εγκατάσταση ανακλαστήρων που διαχέουν το φως προς μία επιθυμητή κατεύθυνση μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας έως και 50%, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι δύο λαμπτήρες με ανακλαστήρες παράγουν τον ίδιο φωτισμό με περίπου τέσσερεις απλούς λαμπτήρες. Ωστόσο με την αφαίρεση αυτή προκύπτει το επιπλέον κόστος επανατοποθέτησης όλου του εξοπλισμού ώστε να διασφαλιστεί η ομοιογένεια όλου του φωτισμού. Για τους λαμπτήρες φωτισμού τυπικά χρησιμοποιούνται φύλλα από αλουμίνιο ή επάργυροι.

#### **1.12.2 Ψύξη, θέρμανση και εξαερισμός (HVAC)**

Τα βοηθητικά συστήματα ψύξης, θέρμανσης και εξαερισμού (HVAC) δημιουργούν τις ιδανικές συνθήκες στους χώρους μίας παραγωγικής μονάδας για την διεκπεραίωση των διαδικασιών, την άνετη εργασία των υπαλλήλων και κατά συνέπεια την αύξηση της παραγωγικότητας. Τα περισσότερα συστήματα HVAC θεωρούνται πλέον παρωχημένα, καθώς αξιοποιούν παλαιότερες τεχνολογίες που τα καθιστούν εξαιρετικά ενεργοβόρα. Οι περισσότερες κατεργασίες δεν επιτρέπουν μεγάλη απόκλιση από τις τυπικά απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας αέρα. Επομένως κρίνεται αναγκαία η αναβάθμιση των συστημάτων αυτών τόσο για την βελτιστοποίηση της παραγωγής όσο και για την μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν [1].

##### **1.12.2.1 Συστήματα HVAC**

Τα περισσότερα δίκτυα HVAC χρησιμοποιούν συστήματα διαχείρισης αέρα τα οποία παρέχουν ελεγχόμενα θερμό ή ψυχρό αέρα στους χώρους της εγκατάστασης, ενώ επίσης ανανεώνουν σταδιακά τον εσωτερικό αέρα με τον εξωτερικό. Λειτουργούν με την ώθηση του αέρα μέσα από ένα φίλτρο, έπειτα μέσα από ένα θερμό ή ψυχρό πηνίο και τέλος μέσα από έναν ρυθμιστή υγρασίας [1].

Η θέρμανση των πηνίων, και κατά συνέπεια του αέρα, επιτυγχάνεται με την παροχή θερμού αέρα, νερού ή υδρατμών στο εσωτερικό τους. Τα στοιχεία αυτά θερμαίνονται από λέβητες, καυστήρες ή από υπέρυθρες αντιστάσεις [1].

Για την ψύξη των πηνίων, ένα υγρό ρευστό ρέει στο εσωτερικό ενός σωλήνα που συνδέει τα πηνία με τους ψύκτες ή με τους πύργους ψύξης. Οι ψύκτες και οι πύργοι ψύξης συνήθως καταναλώνουν μεγάλα ποσά νερού και ηλεκτρικής ενέργειας [1].

### 1.12.2.2 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας συστημάτων HVAC

Για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την λειτουργία των συστημάτων HVAC προτείνονται οι εξής μέθοδοι [1]:

#### 1. Αντικατάσταση φίλτρων αέρα

Τα φίλτρα τοποθετούνται στα συστήματα διαχείρισης με σκοπό την αφαίρεση σκόνης και άλλων σωματιδίων από την ροή του αέρα. Τα φίλτρα αυτά δημιουργούν διαφορά πίεσης ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο τους, το μέτρο της οποίας εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και την αντίσταση του φίλτρου. Η αντίσταση αυτή αυξάνεται εκθετικά με την πάροδο του χρόνου λόγω της συσσώρευσης σκόνης. Η αυξανόμενη πίεση ανάμεσα στο σύστημα διαχείρισης και στην εσωτερική πλευρά του φίλτρου οδηγεί το σύστημα στο να καταναλώνει ένα σημαντικό ποσό ενέργειας ώστε να ωθήσει τον αέρα δια μέσω του φίλτρου στον υπόλοιπο χώρο. Η ενέργεια αυτή μπορεί να εξοικονομηθεί με την τακτική αντικατάσταση των φίλτρων. Το χρονικό σημείο αντικατάστασης εντοπίζεται όταν η αντίσταση του φίλτρου διπλασιάζεται σε σχέση με την αρχική.

#### 2. Ρύθμιση θερμοκρασίας

Τα παλαιότερα συστήματα θέρμανσης λειτουργούν σε μία σταθερή τιμή θερμοκρασίας την οποία ορίζει ο χρήστης, δίχως να συνυπολογίζεται η πραγματική θερμοκρασία του χώρου στον οποίο απευθύνονται. Με την εγκατάσταση ενός θερμοστάτη μειώνεται σημαντικά η ενέργεια που καταναλώνουν τα συστήματα αυτά, καθώς δεν παραμένουν διαρκώς ενεργά, αλλά ενεργοποιούνται μόνο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου το απαιτεί.

#### 3. Έλεγχος συστήματος αεραγωγών

Ο θερμός αέρας διαχέεται στους χώρους του εργοστασίου μέσω του συστήματος αεραγωγών. Για κάθε χώρο υπάρχουν εξατομικευμένες ανάγκες θέρμανσης, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου μεταβάλλονται. Οι αεραγωγοί θα πρέπει να σχεδιάζονται και να τοποθετούνται με βάση τις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας του χώρου έτσι ώστε να παρέχουν την κατάλληλη ποσότητα αέρα και να αποφευχθεί τυχόν σπατάλη ενέργειας. Επιπλέον είναι αναγκαίος ο τακτικός έλεγχος τους καθώς με την πάροδο του χρόνου υπάρχει πιθανότητα μεταβολής της παροχής του αέρα λόγω της φθοράς και της πτώσης της απόδοσης του συστήματος.

#### 4. Χρήση υπέρυθρων στοιχείων

Οι αερολέβητες δεν αποτελούν την βέλτιστη λύση για την θέρμανση χώρων μεγάλης έκτασης, όπως αποθήκες φορτοεκφόρτωσης. Τα ρεύματα που δημιουργούνται από τα πολλαπλά ανοίγματα τους, παρασύρουν τον θερμό αέρα ο οποίος δεν καταλήγει στους εργαζομένους και στον εξοπλισμό. Έτσι, ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας χάνεται στο περιβάλλον. Μία εναλλακτική λύση θέρμανσης αποτελούν τα υπέρυθρα θερμαντικά στοιχεία, τα οποία δεν θερμαίνουν τον αέρα αλλά εκπέμπουν υπέρυθρες ακτίνες που θερμαίνουν τα αντικείμενα και

τους ανθρώπους που βρίσκονται στην πορεία τους. Με αυτό τον τρόπο αξιοποιείται όλη η ενέργεια των στοιχείων, ενώ επίσης δεν απαιτείται μεγάλο διάστημα προθέρμανσης.

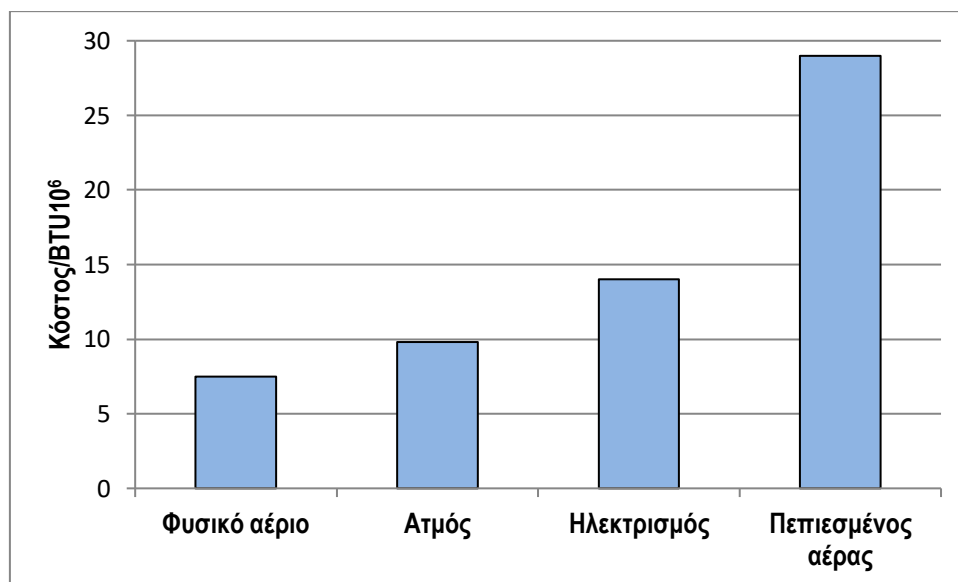
## 5. Χρήση συστημάτων αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας σχεδιάστηκαν ώστε να υποβοηθούν τα συστήματα κλιματισμού. Τις νυκτερινές ώρες, όπου το κόστος του ηλεκτρισμού και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, αποθηκεύουν ψυκτική ενέργεια συνήθως με την μορφή πάγου. Την ενέργεια αυτή αξιοποιεί το σύστημα κλιματισμού κατά την διάρκεια της ημέρας όπου υπάρχει υψηλή απαίτηση, εξοικονομώντας έτσι σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας [1].

### 1.12.3 Πεπιεσμένος αέρας

Ο πεπιεσμένος αέρας αποτελεί ένα από τα βασικότερα, ασφαλέστερα και ευκολότερα κατά την χρήση βοηθητικά μέσα που συναντώνται σε μία παραγωγική μονάδα. Χρησιμοποιείται ευρέως για καθαρισμό, ψύξη, μετάδοση κίνησης και απομάκρυνση αποβλήτων κατεργασίας, ενώ επίσης απαιτεί ελάχιστη συντήρηση [1].

Μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας του, το οποίο συγκρίνεται με δαπάνες άλλων μέσων παροχής ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 1.7. Λόγω του υψηλού αυτού κόστους και των πολλαπλών εφαρμογών του πεπιεσμένου αέρα στην βιομηχανία θα πρέπει να μελετηθούν οι διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και πιθανοί τρόποι εξοικονόμησης και βελτιστοποίησης [1].



Σχεδιάγραμμα 1.7: Κόστος μέσων μετάδοσης ενέργειας [1]

#### 1.12.3.1 Τεχνολογίες πεπιεσμένου αέρα

Για την παροχή αέρα υπό πίεση χρησιμοποιούνται τρία είδη συμπιεστών, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και τεχνολογίες [1].

### 1. Παλινδρομικοί συμπιεστές

Οι παλινδρομικοί συμπιεστές χρησιμοποιούν έμβολα διπλής ενέργειας τα οποία δημιουργούν πίεση στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι παρόμοιος με αυτό των πιστονιών σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η τιμή της πίεσης συνήθως κυμαίνεται από 25 έως 2500 psig και εξαρτάται από την ταχύτητα των εμβόλων, την ύπαρξη ή μη λίπανσης και το ψυκτικό μέσο (νερό ή αέρας).

### 2. Περιστροφικοί συμπιεστές

Οι περιστροφικοί συμπιεστές λειτουργούν με δύο ελικοειδείς κοχλίες, τοποθετημένους ο ένας δίπλα στον άλλο, οι οποίοι περιστρέφονται με αντίθετη κατεύθυνση.

### 3. Δυναμικοί συμπιεστές

Οι δυναμικοί συμπιεστές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους φυγοκεντρικούς και τους αξονικούς. Χρησιμοποιούν την περιστροφή των πτερυγίων για να συμπίεσουν τον αέρα.

Για την παροχή κινητικής ενέργειας στους συμπιεστές χρησιμοποιούνται τα εξής μέσα [1]:

#### 1. Ηλεκτρικοί κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική και αποτελούν το συνηθέστερο μέσο παροχής κίνησης που συναντάται στην βιομηχανία. Διαχωρίζονται σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, σε κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα και σε σύγχρονους κινητήρες.

#### 2. Ατμομηχανές και στρόβιλοι

Οι ατμομηχανές παρέχουν κίνηση στους παλινδρομικούς συμπιεστές και οι στρόβιλοι στους δυναμικούς. Για την παραγωγή ατμού υπό πίεση χρησιμοποιούνται κυρίως λέβητες ή και ατμογεννήτριες.

#### 3. Μηχανές και στρόβιλοι καυσίμων

Για την λειτουργία τους χρησιμοποιούνται καύσιμα όπως βενζίνη, πετρέλαιο, κηροζίνη κ.α. Παρέχουν κίνηση σε δυναμικούς συμπιεστές που συνήθως βρίσκονται σε διυλιστήρια.

#### 1.12.3.2 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας συστημάτων πεπιεσμένου αέρα

Για την βέλτιστη και οικονομικότερη λειτουργία των συστημάτων πεπιεσμένου αέρα προτείνονται οι παρακάτω μέθοδοι [1]:

#### 1. Προληπτικές ενέργειες

Μέσα από τον τακτικό έλεγχο και την κατάλληλη συντήρηση του εξοπλισμού μπορούν να εντοπιστούν πιθανές φθορές και αστοχίες που συχνά αυξάνουν την ενέργεια που καταναλώνεται. Οι ενέργειες αυτές περιλαμβάνουν τον έλεγχο των συμπιεστών, την παρακολούθηση της πτώσης πίεσης των φίλτρων καθώς και την μέτρηση της πίεσης σε διάφορα σημεία του δικτύου.

## 2. Χρήση ηλεκτρικών και υδραυλικών συστημάτων

Όπως γίνεται εμφανές από το Σχεδιάγραμμα 1.7 η χρήση πεπιεσμένου αέρα αποτελεί την πιο ενεργοβόρα λύση ανάμεσα στα συνηθέστερα μέσα μετάδοσης ενέργειας σε μία βιομηχανία. Επομένως, ένας τρόπος εξοικονόμησης είναι χρήση ενός από τα υπόλοιπα μέσα όπου αυτό είναι εφικτό. Για παράδειγμα οι ανάγκες των διαδικασιών καθαρισμού μπορούν να καλυφθούν από ηλεκτρικά συστήματα με την ίδια αποτελεσματικότητα και με μειωμένο κόστος.

## 3. Επιδιόρθωση διαρροών συστήματος

Οι διαρροές αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές απωλειών στα συστήματα πεπιεσμένου αέρα και μπορούν να αποφευχθούν με τον τακτικό έλεγχο του εξοπλισμού και την επιδιόρθωση των διαφόρων βλαβών. Τα συνηθέστερα σημεία φθοράς και δημιουργίας διαρροών είναι:

- Βαλβίδες
- Ενώσεις σωληνώσεων
- Βαλβίδες αντεπιστροφής
- Συνδετικές φλάντζες
- Βαλβίδες εκτόνωσης
- Φίλτρα
- Σύνδεσμοι
- Ελαστικοί σωλήνες
- Πνευματικοί ενεργοποιητές
- Υδατοπαγίδες

Το ποσοστό της επιπρόσθετης ενέργειας που καταναλώνουν οι συμπιεστές κυμαίνεται από 20% μέχρι και 50%. Για τον ακριβή υπολογισμό του ποσοστού θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί ο ρυθμός διαρροής, ο οποίος εξαρτάται από την παρεχόμενη πίεση και την διάμετρο της οπής απ' όπου διαφεύγει ο αέρας. Η τιμή αυτή μπορεί να εντοπιστεί από τον Πίνακα 1.4 σε cfm (κυβικά πόδια ανά λεπτό).

Πίνακας 1.4: Ρυθμός διαρροής (cfm) για διάφορες τιμές παρεχόμενης πίεσης και διαμέτρου οπής [1]

Πίεση (psig)	Διάμετρος οπής (in)					
	1/62	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8
70	0.29	1.16	4.66	18.62	74.4	167.8
80	0.32	1.26	5.24	20.76	83.1	187.2
90	0.36	1.46	5.72	23.1	92	206.6
100	0.40	1.55	6.31	25.22	100.9	227
125	0.48	1.94	7.66	30.65	122.2	275.5

## 4. Χρήση κινητήρων υψηλής απόδοσης

Τα περισσότερα συστήματα πεπιεσμένου αέρα χρησιμοποιούν παλαιότερους κινητήρες χαμηλής απόδοσης καθώς τα δίκτυα αυτά συνήθως τοποθετούνται κατά την ανέγερση των εργοστασίων. Με την αντικατάστασή τους από νέους κινητήρες υψηλής απόδοσης μπορεί να εξοικονομηθεί ένα σημαντικό ποσοστό ενέργειας, το οποίο αγγίζει το 5%.



## 5. Ανάκτηση θερμότητας

Κατά την λειτουργία ενός συμπιεστή ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία συνήθως κυμαίνεται από 170 μέχρι 260°C. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποβοήθηση διαφόρων συστημάτων θέρμανσης, τα οποία κατά συνέπεια θα χρειαστούν λιγότερη ενέργεια για την λειτουργία τους. Από την Εξίσωση 1.8 μπορεί να υπολογιστεί το ετήσιο ποσό ενέργειας που εξοικονομείται με την χρήση της θερμότητας ενός συμπιεστή για την προθέρμανση του νερού ενός βραστήρα.

$$AES = \frac{C_r \times HP \times C_c \times H \times 10^{-6} \times n_h}{n_b} \quad (1.8)$$

Όπου:

*AES*: Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (10<sup>-6</sup> BTU / έτος)

*C<sub>r</sub>*: Ποσοστό εισαγόμενης ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί με ανάκτηση θερμότητας

*HP*: Ιπποδύναμη συμπιεστή (hp)

*C<sub>c</sub>*: Συντελεστής μετατροπής (2545 BTU / (hp x hr))

*H*: Ετήσιες ώρες λειτουργίας

*n<sub>h</sub>*: Συντελεστής απόδοσης εναλλάκτη θερμότητας

*n<sub>b</sub>*: Συντελεστής απόδοσης λέβητα ή/και ατμογεννήτριας

## 6. Επανατοποθέτηση εισόδου αέρα συμπιεστή

Το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένη η υποδοχή του αέρα ενός συμπιεστή είναι ύψιστης σημασίας για την ενέργεια που καταναλώνει κατά την λειτουργία του. Σε περίπτωση όπου εισέρχεται θερμός αέρας στην υποδοχή αυξάνεται και η κατανάλωση καθώς μειώνεται η πυκνότητα του αέρα, η παροχή μάζας αλλά και η μέγιστη πίεση στην οποία μπορεί να ανταπεξέλθει ο συμπιεστής. Επομένως μία μέθοδος εξοικονόμησης είναι η τοποθέτηση της υποδοχής εξωτερικά του εργοστασίου όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου είναι χαμηλή. Αυτό είναι εύκολα εφικτό με εγκατάσταση αεραγωγών. Το ετήσιο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση :

$$AES = \frac{HP_{total} \times C_1 \times H \times F_s}{n} \quad (1.9)$$

όπου:

*AES*: Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kW)

*HP*: Ιπποδύναμη συμπιεστή (hp)

*C<sub>1</sub>*: Συντελεστής μετατροπής κινητήρα συμπιεστή (0.76 kW / hp)

*H*: Ετήσιες ώρες λειτουργίας

*n*: Συντελεστής απόδοσης κινητήρα συμπιεστή

*F<sub>s</sub>*: Κλάσμα εξοικονόμησης

Το κλάσμα εξοικονόμησης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$F_s = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} + 460} \quad (1.10)$$

Όπου:

$T_{in}$ : Εσωτερική θερμοκρασία (°F)

$T_{out}$ : Εξωτερική θερμοκρασία (°F)

## 7. Χρήση κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας

Οι εφαρμογές των συστημάτων πεπιεσμένου αέρα σε μία παραγωγική μονάδα είναι πολλαπλές, με την κάθε μία να έχει τις δικές τις εξατομικευμένες ανάγκες πεπιεσμένου αέρα. Οι περισσότεροι συμπιεστές ωστόσο λειτουργούν με μεγάλους κινητήρες σταθερής κατανάλωσης, οι οποίοι καταναλώνουν και ένα επιπρόσθετο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εκκίνησή τους. Με την χρήση κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας δίνεται η δυνατότητα στους συμπιεστές να λειτουργούν συγκεκριμένα για την κάλυψη των απαιτήσεων των εκάστοτε εφαρμογών, χωρίς να καταναλώνεται σταθερά ένα υψηλό ποσό ενέργειας. Το ποσοστό εξοικονόμησης συνήθως αγγίζει το 30%.

### 1.13 Ενεργειακή απόδοση και αποδοτικότητα

Η ενεργειακή απόδοση και η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι δύο όροι οι οποίοι συναντώνται ευρέως σε προβλήματα μηχανικής και ενέργειας και συχνά συγχέονται. Η κατανόηση των δύο αυτών εννοιών καθώς και των διαφορών τους είναι αναγκαία προκειμένου να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά της [1].

#### 1.13.1 Ενεργειακή απόδοση

Η απόδοση ( $n$ ) είναι ένας όρος ο οποίος αξιολογεί την διεξαγωγή μίας διεργασίας υποδεικνύοντας τις δαπάνες, οι οποίες συνήθως αφορούν χρόνο, ύλες, ενέργεια, κεφάλαια κ.α. Στην περίπτωση της ενέργειας υπολογίζεται με βάση την προσδιδόμενη ενέργεια και το ωφέλιμο έργο σύμφωνα με την εξίσωση [1]:

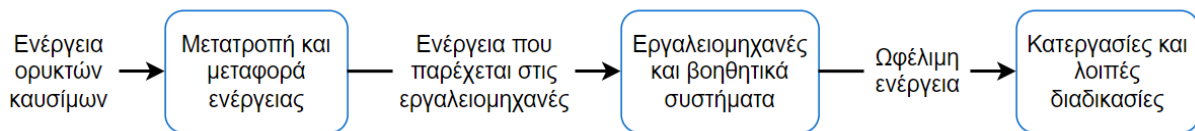
$$n = \frac{\text{ωφέλιμο έργο}}{\text{προσδιδόμενη ενέργεια}} = \frac{W_{\omega\phi}}{E_{in}} = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (1.11)$$

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί έναν γενικό τρόπο προσδιορισμού της ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, η εξίσωση αυτή μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος που εξετάζεται [1].

Για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις εργαλειομηχανές ενός εργοστασίου, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα προκειμένου να παραχθεί ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και να μεταφερθεί στον

τελικό χρήστη (Σχεδιάγραμμα 1.8). Ο εξοπλισμός που μεσολαβεί στο διάστημα αυτό καταναλώνει με την σειρά του ενέργεια, ενώ επίσης υπάρχουν και οι ανάλογες απώλειες. Στην περίπτωση όπου εξετάζεται η ενέργεια από την δημιουργία της μέχρι την τελική χρήση η Εξίσωση 1.11 παίρνει την εξής μορφή [1]:

$$n = \frac{E_{κατεργασίας}}{E_{ορυκτών}} \quad (1.12)$$



Σχεδιάγραμμα 1.8: Στάδια παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [1]

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στην [ενότητα 1.3.2](#) για την διεξαγωγή μίας παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται εκτός από τις εργαλειομηχανές διάφορα περιφερειακά συστήματα τα οποία επίσης καταναλώνουν ενέργεια. Λαμβάνοντας υπ' όψιν και αυτή την ενέργεια η Εξίσωση 1.11 μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής [1]:

$$n = \frac{E_{κατεργασίας} + E_{περιφερειακών}}{E_{ορυκτών}} \quad (1.13)$$

Ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να προστεθεί στις εξισώσεις απόδοσης είναι η ενέργεια που δημιουργείται με την προσθήκη συγκεκριμένων υλών και χημικών σε διάφορες κατεργασίες [1].

Επομένως, η εξίσωση και οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης εξαρτώνται κυρίως από την κρίση του εκάστοτε μηχανικού και τα χαρακτηριστικά του προβλήματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται ξεκάθαρος ο στόχος της μελέτης, ο οποίος μπορεί να είναι η αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος ή μίας διακριτής κατεργασίας χωρίς την προσθήκη του παρεχόμενου ηλεκτρισμού. Επιπλέον είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός της σημασίας του κάθε βοηθητικού συστήματος για τις κατεργασίες, έτσι ώστε να ληφθεί η ανάλογη απόφαση για την συμπερίληψη τους στην μελέτη [1].

Στην βιομηχανία για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης συνήθως χρησιμοποιείται μόνο η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του προϊόντος. Είναι εξαιρετικά σημαντική η χρήση ενός κοινού μοντέλου αξιολόγησης σε μία μελέτη, έτσι ώστε οι διάφορες διεργασίες καθώς και οι εναλλακτικές λύσεις να συγκρίνονται πάντα εντός των ορίων ενός συστήματος [1].

Ωστόσο, για την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας σε μία παραγωγική διαδικασία δεν επαρκεί ο υπολογισμός της απόδοσης, καθώς για παράδειγμα μία εργαλειομηχανή με χαμηλή απόδοση μπορεί να καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια από μία άλλη υψηλότερης απόδοσης. Στο πρόβλημα θα πρέπει να προστεθούν όλες οι αντικειμενικές συναρτήσεις βελτιστοποίησης, οι οποίες συνήθως αφορούν την ενέργεια, τον χρόνο, το κόστος και τους πόρους. Έτσι από το πεδίο λύσεων που θα

εξεταστεί μπορεί να βρεθεί η εφικτή λύση που μεγιστοποιεί όλες τις συναρτήσεις οφέλους χωρίς να παραβιαστεί κάποιος στόχος [1].

Ένα ακόμη πρόβλημα που συναντάται με την αξιολόγηση των βαθμών απόδοσης είναι η πιθανή δυσκολία υπολογισμού του ωφέλιμου έργου για κάποια συστήματα. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατή η χρήση του όρου ενεργειακή απόδοση ωστόσο η βασική αρχή της σύγκρισης των εισροών με τις εκροές παραμένει ίδια. Συγκεκριμένα η αποδοτικότητα προσδιορίζεται υπολογίζοντας την ενέργεια που καταναλώνουν τα διάφορα συστήματα για την παραγωγή ενός προϊόντος [1].

### **1.13.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα**

Αποδοτικότητα ορίζεται ως ο βαθμός κατά τον οποίο μία διεργασία πραγματοποιείται με επιτυχία. Στον τομέα της παραγωγής και των επιχειρήσεων αναφέρεται στην επιλογή της βέλτιστης κατανομής και χρήσης όλων των διαθέσιμων πόρων. Η επιλογή αυτή δεν αφορά μόνο το τμήμα παραγωγής καθώς επηρεάζει επίσης μεταξύ άλλων το μάρκετινγκ, την διοίκηση και την οικονομική λειτουργία της επιχείρησης [1].

Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος αλγόριθμος που μπορεί να ακολουθηθεί. Αντιθέτως αποτελεί μία περίπλοκη διαδικασία, το αποτέλεσμα της οποίας εξαρτάται κυρίως από την εμπειρία και την κρίση των μελών της επιχείρησης που κλείνονται να πάρουν τις σχετικές αποφάσεις, σύμφωνα πάντα με τους στόχους που έχουν τεθεί. Τα δεδομένα που απαρτίζουν το πρόβλημα είναι πολλαπλά και απαιτούνται ικανότητες και γνώσεις υψηλού επιπέδου για την σωστή διαχείρισή τους [1].

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αφορά την κατανομή των διαθέσιμων πόρων με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Παράδειγμα ενός σχετικού προβλήματος αποτελεί η επιλογή της δημιουργίας μίας νέας παραγωγικής μονάδας ή της ανέγερσης μίας μονάδας ανακατασκευής. Στην περίπτωση όπου και οι δύο επιλογές έχουν την ίδια παραγωγικότητα και μπορούν να πραγματοποιηθούν με τους ίδιους πόρους, η ενεργειακά αποδοτικότερη επιλογή είναι η ανακατασκευή, καθώς σε αυτή την περίπτωση απαιτείται το ένα δέκατο της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή του προϊόντος [1].

Η κάθε εναλλακτική θα πρέπει επίσης να αξιολογείται με βάση το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί. Μία διαδικασία κρίνεται ενεργειακά αποδοτική όταν το ποσό αυτό αναλογεί στους πόρους που διέθεσε η επιχείρηση. Στην περίπτωση όπου δαπανώνται υπεράριθμοι πόροι και η ενέργεια που καταναλώνεται δεν μειώνεται σημαντικά, η διαδικασία θεωρείται μη αποδοτική καθώς οι πόροι αυτοί θα μπορούσαν να καταναλωθούν στην μελέτη διαφορετικών λύσεων [1].

### **1.13.3 Σύγκριση**

Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, η ενεργειακή απόδοση ορίζεται ως το ποσοστό της προστιδόμενης ενέργειας ενός συστήματος που αξιοποιείται ως ωφέλιμο έργο. Αποτελεί ένα μέσο σύγκρισης των εναλλακτικών μεθόδων που εξετάζονται σε μία παραγωγική διαδικασία για την

εξοικονόμηση ενέργειας. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι τύποι, σύμφωνα πάντα με τα όρια που τίθενται για το κάθε σύστημα [1].

Αντιθέτως, η ενεργειακή αποδοτικότητα δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί καθώς αναφέρεται στην επιτυχή κατανομή των πόρων μίας επιχείρησης με σκοπό την βέλτιστη διεξαγωγή των παραγωγικών διαδικασιών. Αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα πολλαπλών παραμέτρων, με την λήψη των αποφάσεων να εξαρτάται από τις γνώσεις και την εμπειρία των μελετητών [1].

Οι περισσότερες επιχειρήσεις στοχεύουν και στην ενεργειακή απόδοση και στην αποδοτικότητα, με το ποσοστό επιτυχίας να διαφέρει. Σε κάποιες περιπτώσεις επιτυγχάνονται και οι δύο στόχοι, ενώ σε άλλες μόνο ένας ή ακόμα και κανένας. Αυτό εξαρτάται κυρίως από τα μέλη και την λειτουργία της επιχείρησης [1].

### **1.14 Σύνοψη**

Η αναγκαιότητα της βέλτιστης διαχείρισης της ενέργειας σε μία παραγωγική μονάδα γίνεται ολοένα και πιο φανερή με την πάροδο του χρόνου, καθώς τα προβλήματα από την μη συνετή χρήση της αλλά και το κόστος της διαρκώς αυξάνονται. Οι διάφορες ευκαιρίες εξοικονόμησης μπορούν να εντοπιστούν μέσα από την μελέτη των κατεργασιών, των εργαλειομηχανών, των πρώτων υλών και όλων των παραμέτρων μίας παραγωγικής διαδικασίας. Η βαρύτητα των τροποποιήσεων που απαιτούνται αλλά και τα ποσοστά εξοικονόμησης που επιτυγχάνονται εξαρτώνται από την κλίμακα των συστημάτων τα οποία εξετάζονται. Εξοικονόμηση μπορεί να επιτευχθεί τόσο με την απλή αλλαγή μίας παραμέτρου μίας κατεργασίας, όπως είναι η ταχύτητα κοπής μίας εργαλειομηχανής όσο και με την ολοκληρωτική αντικατάσταση ενός συστήματος.

Προκειμένου ωστόσο να πραγματοποιηθεί οποιοδήποτε σχετική μελέτη θα πρέπει πρώτα να έχει εκτιμηθεί η ισχύουσα ενεργειακή απαίτηση μίας παραγωγικής διαδικασίας. Συνήθως αυτό γίνεται με την χρήση αισθητήρων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μέτρησης. Όταν δεν είναι εφικτή η προσέγγιση αυτή, η ενέργεια υπολογίζεται θεωρητικά με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Κατά την διαδικασία αυτή δεν θα πρέπει να παραλείπονται όλα τα περιφερειακά συστήματα τα οποία συμμετέχουν είτε άμεσα (αντλίες ψυκτικών υγρών), είτε έμμεσα στην παραγωγική διαδικασία (θέρμανση).

Η διαχείριση της ενέργειας αποτελεί ένα πρόβλημα το οποίο δεν περιορίζεται στην παραγωγική διαδικασία αλλά επεκτείνεται και στην γενικότερη λειτουργία μίας επιχείρησης. Εξαιρετικά σημαντικός είναι ο ρόλος της διοίκησης στην οριοθέτηση των πόρων που θα κατανεμηθούν στην προσπάθεια αυτή, στην επιλογή και την εφαρμογή των στρατηγικών εξοικονόμησης και στην διαμόρφωση μίας ανάλογης εταιρικής κουλτούρας.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η παραγωγική διαδικασία μίας ακρυλικής μπιανιέρας υδρομασάζ με πραγματικά δεδομένα που συλλέχτηκαν από ένα εργοστάσιο. Η μοντελοποίηση

περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες έτσι ώστε να εφαρμοστούν διάφορες από τις μεθόδους που αναλύθηκαν στο παρόν κεφάλαιο.

### **1.15 Βιβλιογραφία**

[1] Sutherland, J.W., Dornfeld, D.A., and Linke, B.S. (2018), *Energy Efficient Manufacturing: Theory and Applications*, John Wiley & Sons, New Jersey.

[2] Branker, K., Jeswiet, J., and Kim, I.M., «Greenhouse Gases Emitted in Manufacturing a Product - A New Economic Model», *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60/1 (2011) 53-56.

[3] Fowler, R.J. (1999), *Ηλεκτροτεχνία AC-DC*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

[4] Heijungs, R., Huppes, G., and Guinée, J.B., «Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis», *Polymer Degradation and Stability*, 95/3 (2010) 422-428.

[5] Brehl, D.E., and Dow, T.A., «Review of vibration-assisted machining», *Precision Engineering*, 32/3 (2008) 153-172.

[6] Yang, Z., Zhu, L., Zhang, G., Ni, C., and Lin, B., «Review of ultrasonic vibration-assisted machining in advanced materials», *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 156/6 (2020) 103594.

[7] Nee, A.Y.C. (2014), *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, Springer Publishing Company, New York.

[8] Kalita, P., Malshe, A.P., Kumar, S.A., Yoganath, V.G., and Gurumurthy, T., «Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants», *Journal of Manufacturing Processes*, 14/2 (2012) 160-166.

## Κεφάλαιο 2

# Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας ακρυλικής μπανιέρας

### Περιεχόμενα κεφαλαίου

---

Κεφάλαιο 2.....	39
2.1 Εισαγωγή.....	40
2.2 Πρώτη ύλη .....	41
2.3 Φάσεις παραγωγής .....	41
2.4 Κοπή πρώτης ύλης .....	43
2.5 Φορμάρισμα.....	45
2.5.1 Εξοπλισμός φορμαρίσματος .....	46
2.5.2 Βήματα φορμαρίσματος .....	50
2.5.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά το φορμάρισμα.....	54
2.5.4 Προβλήματα κατά το φορμάρισμα .....	57
2.6 Κοπή μοριοσανίδας.....	58
2.6.1 Εξοπλισμός κοπής μοριοσανίδας .....	59
2.6.2 Βήματα κοπής μοριοσανίδας .....	59
2.6.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μοριοσανίδας.....	61
2.6.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μοριοσανίδας.....	61
2.7 Κατασκευή βάσης .....	61
2.7.1 Εξοπλισμός κατασκευής βάσης.....	62
2.7.2 Βήματα κατασκευής βάσης.....	63
2.7.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή της βάσης .....	64
2.7.4 Προβλήματα κατά την κατασκευή της βάσης .....	64
2.8 Ψεκασμός .....	64
2.8.1 Εξοπλισμός ψεκασμού.....	67
2.8.2 Βήματα ψεκασμού.....	70
2.8.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά τον ψεκασμό .....	74
2.8.4 Προβλήματα κατά τον ψεκασμό.....	75
2.9 Κοπή μπανιέρας .....	75
2.9.1 Εξοπλισμός κοπής μπανιέρας.....	75
2.9.2 Βήματα κοπής μπανιέρας.....	78

2.9.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μπανιέρας.....	81
2.9.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μπανιέρας .....	81
2.10 Διάρθρωση μπανιέρας .....	82
2.10.1 Εξοπλισμός διάρθρωσης μπανιέρας .....	82
2.10.2 Βήματα διάρθρωσης μπανιέρας .....	82
2.10.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρθρωση της μπανιέρας.....	83
2.10.4 Προβλήματα κατά την διάρθρωση της μπανιέρας.....	83
2.11 Κόστος παραγωγής ανά προϊόν .....	83
2.12 Σύνοψη .....	85
2.13 Βιβλιογραφία .....	86

## 2.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μία σειρά από μεθόδους σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Όπως προέκυψε από την βιβλιογραφία, προκειμένου να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν ευκαιρίες βελτίωσης θα πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί μία αναλυτική μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, βάσει της οποίας θα πραγματοποιηθούν οι ανάλογες μελέτες.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία μίας ακρυλικής μπανιέρας υδρομασάζ από μία πραγματική παραγωγική μονάδα. Η συνεργαζόμενη εταιρία εδρεύει στην βόρειο Ελλάδα και δραστηριοποιείται στον τομέα παραγωγής ακρυλικών ειδών μπάνιου από το 1982.

Τα απαραίτητα δεδομένα συλλέχτηκαν κατά την διάρκεια πολυάριθμων επιτόπιων επισκέψεων, μέσα από την παρατήρηση των διαδικασιών και του εξοπλισμού, την χρονομέτρηση και την απαρίθμηση των πρώτων υλών. Εξαιρετικά σημαντική και ουσιαστική ήταν η συμβολή τόσο των εργαζομένων όσο και των διοικητικών μελών της επιχείρησης. Για τον εντοπισμό των μη διαθέσιμων δεδομένων, όπως είναι τα εγχειρίδια κάποιων εργαλειομηχανών, πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστές αναζητήσεις στο διαδίκτυο και στην βιβλιογραφία.

Συγκεκριμένα, για κάθε μία από τις παραγωγικές φάσεις παρουσιάζονται οι εργαλειομηχανές και ο εξοπλισμός, τα βήματα και τα διαγράμματα ροής μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους και τα προβλήματα που εντοπίστηκαν. Όπου κρίθηκε απαραίτητο δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα σχέδια του εξοπλισμού στο λογισμικό Solidworks. Τέλος, υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια που καταναλώνεται και το αντίστοιχο κόστος της τόσο για κάθε φάση όσο και συνολικά.



## 2.2 Πρώτη ύλη

Η μπανιέρα κατασκευάζεται από ένα ακρυλικό φύλλο διαστάσεων 3×2 m το οποίο παραδίδεται από τον προμηθευτή με ένα προστατευτικό αυτοκόλλητο πολυαιθυλενίου. Οι ιδιότητες του φύλλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1: Ιδιότητες ακρυλικού φύλλου

Ιδιότητα	Μεθοδολογία ελέγχου	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα	ISO 1183/A ISO 62/1	g cm <sup>3</sup>	1,2
Απορρόφηση νερού	Δείγμα 50 mm <sup>2</sup>	mg	29
Σκληρότητα Rockwell	ISO 2039/2	Κλίμακα M	98
Αντοχή χρωματισμού- UV	ISO 4892-2	Γκρι κλίμακα	5
Αντοχή χρωματισμού- ζεστό νερό	EN263	Γκρι κλίμακα	5
Ειδική θερμότητα		Cal/g°C	0.35
Σημείο μαλάκωσης Vicat	BS2782: 120 C	°C	>105
Θερμοκρασία παραμόρφωσης	ISO 75 Method A	°C	98
Βέλτιστη θερμοκρασία φορμαρίσματος		°C	150 - 170
Συντελεστής θερμικής διαστολής	Din 5372 (0-50°C)	Mm K <sup>-1</sup>	7,7 ×10 <sup>-5</sup>
Αντοχή σε εφελκυσμό	ISO R527 (5mm/min)	MPa	70
Μέτρο ελαστικότητας	ISO R527 (5mm/min)	MPa	3200
Αντοχή σε κάμψη	ISO 178 (2mm/min)	MPa	120

## 2.3 Φάσεις παραγωγής

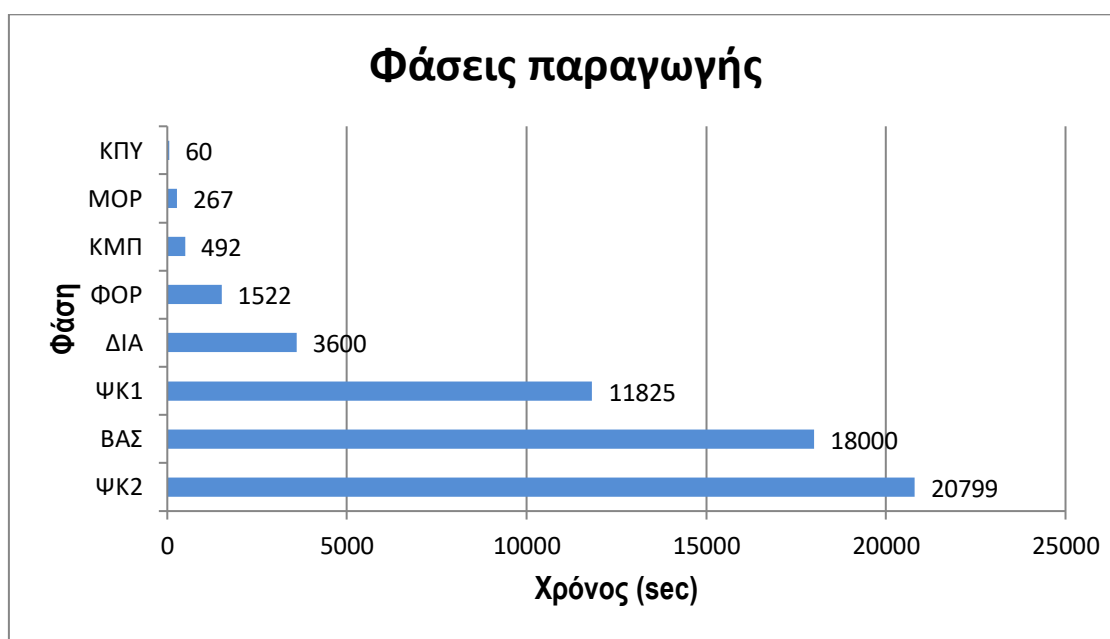
Από τις επισκέψεις στην μονάδα, την παρατήρηση της παραγωγικής διαδικασίας και τις συζητήσεις με τους εργαζομένους έχουν εντοπιστεί 8 βασικές φάσεις για την παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος. Οι φάσεις αυτές αποτυπώνονται στον Πίνακα 2.2 μαζί με την κωδικοποίηση τους, τις προαπαιτούμενες φάσεις και την διάρκεια τους σε δευτερόλεπτα (sec). Σύμφωνα με την κωδικοποίηση αυτή προκύπτει το ραβδόγραμμα των φάσεων (Σχεδιάγραμμα 2.1), το διάγραμμα δικτύου (Σχεδιάγραμμα 2.2) και το διάγραμμα Gantt (Σχεδιάγραμμα 2.3).

Για την ολοκλήρωση όλων των φάσεων και την παραγωγή μίας μπανιέρας απαιτούνται 42891 sec (δηλαδή 11,9 ώρες). Καθώς το εργοστάσιο λειτουργεί μόνο 8 ώρες την ημέρα χωρίς να υπάρχουν άλλες βάρδιες, η παραγωγική διαδικασία σταματάει στην φάση του δεύτερου ψεκασμού στο τέλος του οκταώρου.

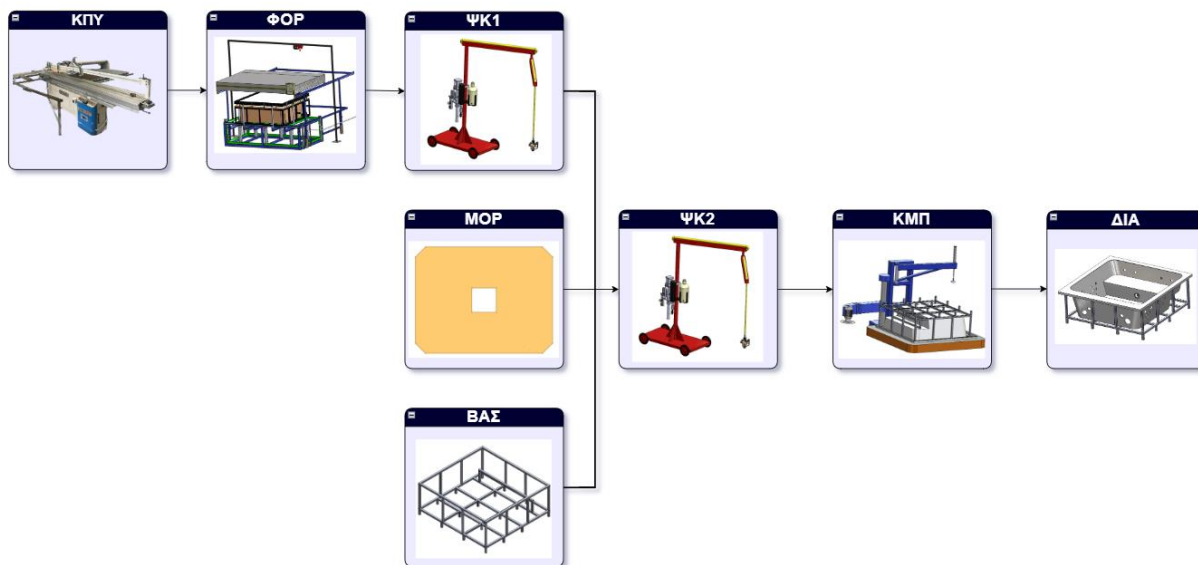
Πίνακας 2.2: Κωδικοποίηση σταδίων παραγωγής

	Κωδικός	Προαπαιτούμενη	Διάρκεια (sec)
Κοπή πρώτης ύλης	ΚΠΥ	-	60
Κατασκευή βάσης	ΒΑΣ	-	18000
Κοπή μοριοσανίδας	ΜΟΡ	-	267
Φορμάρισμα	ΦΟΡ	ΚΠΥ	1522
1ος Ψεκασμός	ΨΚ1	ΦΟΡ	11825
2ος Ψεκασμός	ΨΚ2	ΨΚ1, ΒΑΣ, ΜΟΡ	20799
Κοπή μπανιέρας	ΚΜΠ	ΨΚ2	492
Διάτρηση μπανιέρας	ΔΙΑ	ΚΜΠ	3600

Τελευταίο βήμα του δεύτερου ψεκασμού, το οποίο αναλύεται στις επόμενες ενότητες, αποτελεί η αναμονή για τουλάχιστον 5 ώρες μέχρι να μπορεί η μπανιέρα να προωθηθεί στην επόμενη φάση. Επομένως η αναμονή αυτή καλύπτεται κατά το διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την αρχή της επόμενης εργάσιμης ημέρας, όπου και ακολουθεί η κοπή και το τρύπημα της μπανιέρας. Παράλληλα ξεκινά και η παραγωγή της επόμενης μπανιέρας.



Σχεδιάγραμμα 2.1: Ραβδόγραμμα παραγωγικών φάσεων



Σχεδιάγραμμα 2.2: Διάγραμμα δικτύου παραγωγής

## 2.4 Κοπή πρώτης ύλης

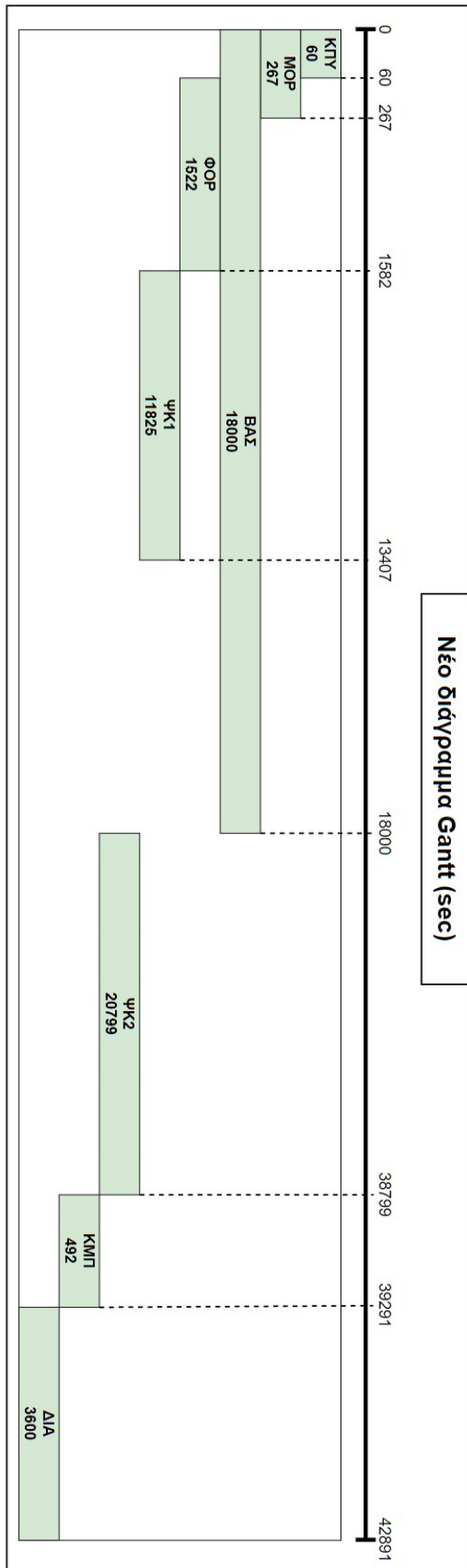
Το ακρυλικό φύλο κόβεται σε ένα δισκοπρίονο πάγκου (Εικόνα 2.1) σε διαστάσεις 2×2 m. Η διάρκεια της κοπής είναι 60 sec. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναγράφονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά δισκοπρίονου πάγκου

Δισκοπρίονο πάγκου	
Τάση	400 V
Ισχύς	6430 W
Ένταση	13 A
Συχνότητα	50 Hz

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την φάση αυτή μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ισχύ του μηχανήματος με την διάρκεια λειτουργίας του, όπως αναφέρθηκε στην [ενότητα 1.3.2](#). Συγκεκριμένα η απαιτούμενη ενέργεια είναι:

$$6430 \text{ W} \cdot \frac{60}{3600} \text{ h} = 107,77 \text{ Wh}$$



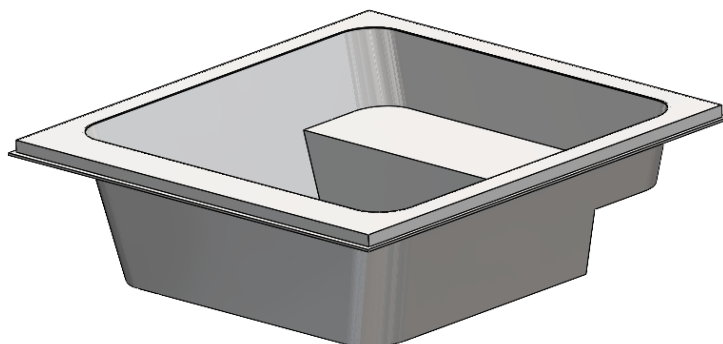
Σχεδιάγραμμα 2.3: Διάγραμμα Gantt



Εικόνα 2.1: Δισκοπρίνο πάγκου κοπής ακρυλικού φύλλου

## 2.5 Φορμάρισμα

Κατά το φορμάρισμα το ακρυλικό φύλλο διαμορφώνεται σε ένα καλούπι έτσι ώστε να δημιουργηθεί το βασικότερο μέρος της μπανιέρας, το ακρυλικό κέλυφος (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Ακρυλικό κέλυφος

## 2.5.1 Εξοπλισμός φορμαρίσματος

### Ιδιοκατασκευή

Για την φάση του φορμαρίσματος δεν χρησιμοποιείται κάποιο τυποποιημένο μηχάνημα, αλλά η ιδιοκατασκευή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4. Αποτελείται από 8 μέρη των οποίων η κωδικοποίηση ακολουθεί την μορφή x.y, όπου x υποδηλώνει το μηχάνημα και y τον αύξοντα αριθμό. Για παράδειγμα το πρώτο μέρος της ιδιοκατασκευής έχει κωδικό v.1 με το v να υποδηλώνει το κενό (vacuum). Η ίδια κωδικοποίηση χρησιμοποιείται και για τον εξοπλισμό των υπόλοιπων φάσεων. Τα μέρη αποτυπώνονται πάνω στην ιδιοκατασκευή στην Εικόνα 2.5 και είναι τα εξής:

v.1 Κάτω σκελετός

v.2 Εσωτερικός σκελετός

v.3 Καλούπι

Τοποθετείται πάνω στον εσωτερικό σκελετό v.2.

v.4 Πλαίσιο συγκράτησης

Σε αυτό τοποθετείται το ακρυλικό φύλλο.

v.5 Σκελετός φούρνου

v.6 Φούρνος

Κινείται πάνω στον σκελετό φούρνου v.5 και λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 170-180°C. Αποτελείται συνολικά από 31 ωμικές αντιστάσεις (Εικόνα 2.3) των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4. Η συνολική του ισχύς είναι 35,9 kW.

v.7 Γερανός

Χρησιμοποιείται ώστε να ανοίξει και να κλείσει το πλαίσιο συγκράτησης v.4. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 2.5.

v.8 Έμβολα σκελετού

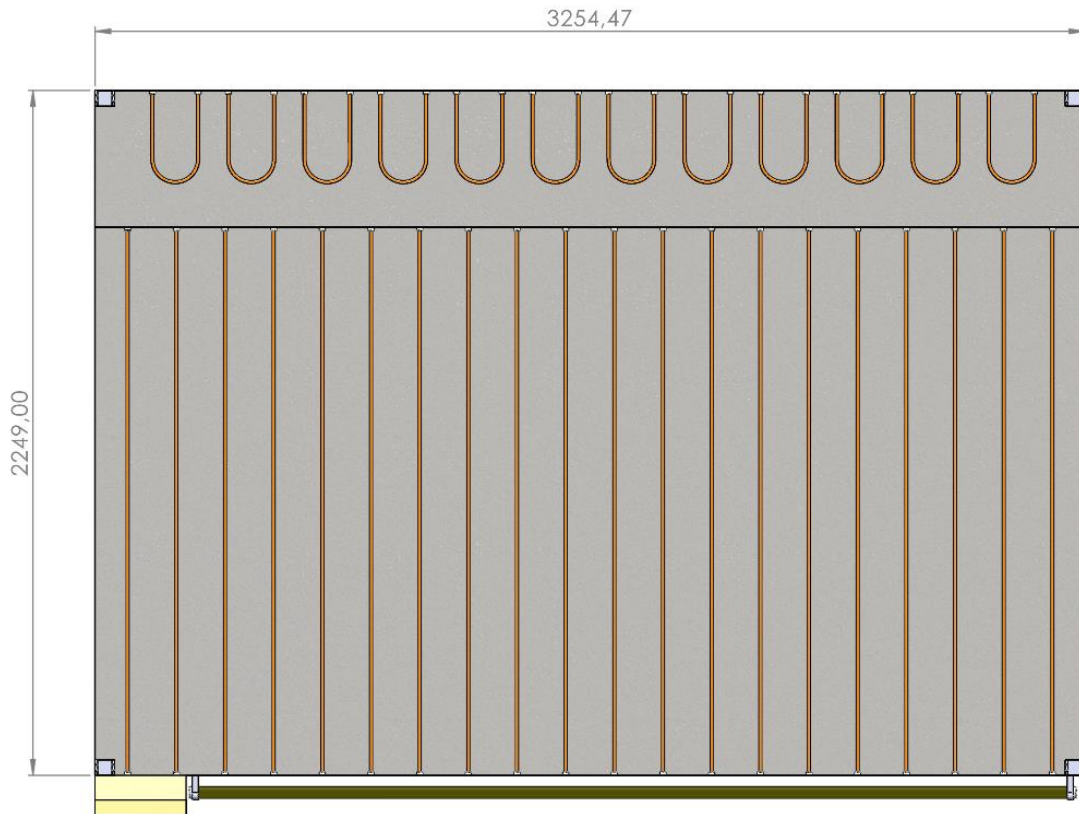
Είναι έξι στον αριθμό και ανυψώνουν τον εσωτερικό σκελετό v.2 και το καλούπι v.3.

Πίνακας 2.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστάσεων φούρνου

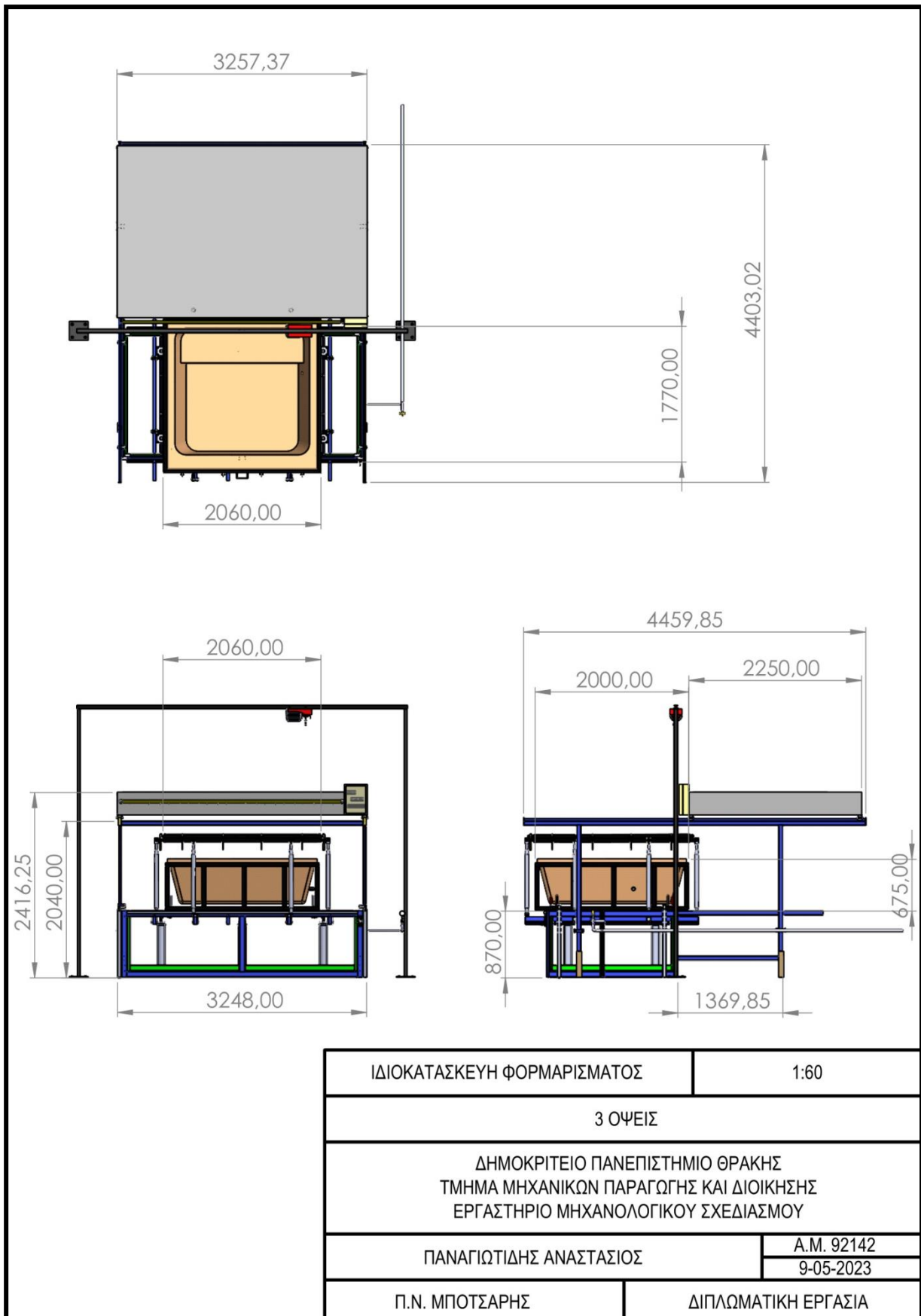
<b>Αντιστάσεις φούρνου ιδιοκατασκευής</b>		
Μήκος	1700 mm	300 mm
Αριθμός αντιστάσεων	19	12
Διάμετρος	6,5 mm	6,5 mm
Ισχύς μονάδας	1,7 kW	0,3 kW
Συνολική ισχύς	32,3 kW	3,6 kW

Πίνακας 2.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά γερανού ιδιοκατασκευής

<b>Γεράνος ιδιοκατασκευής</b>	
Ισχύς	750 W
Τάση	220 V
Ανυψωτική ικανότητα	200 kg
Διαστάσεις	513×390×178 mm

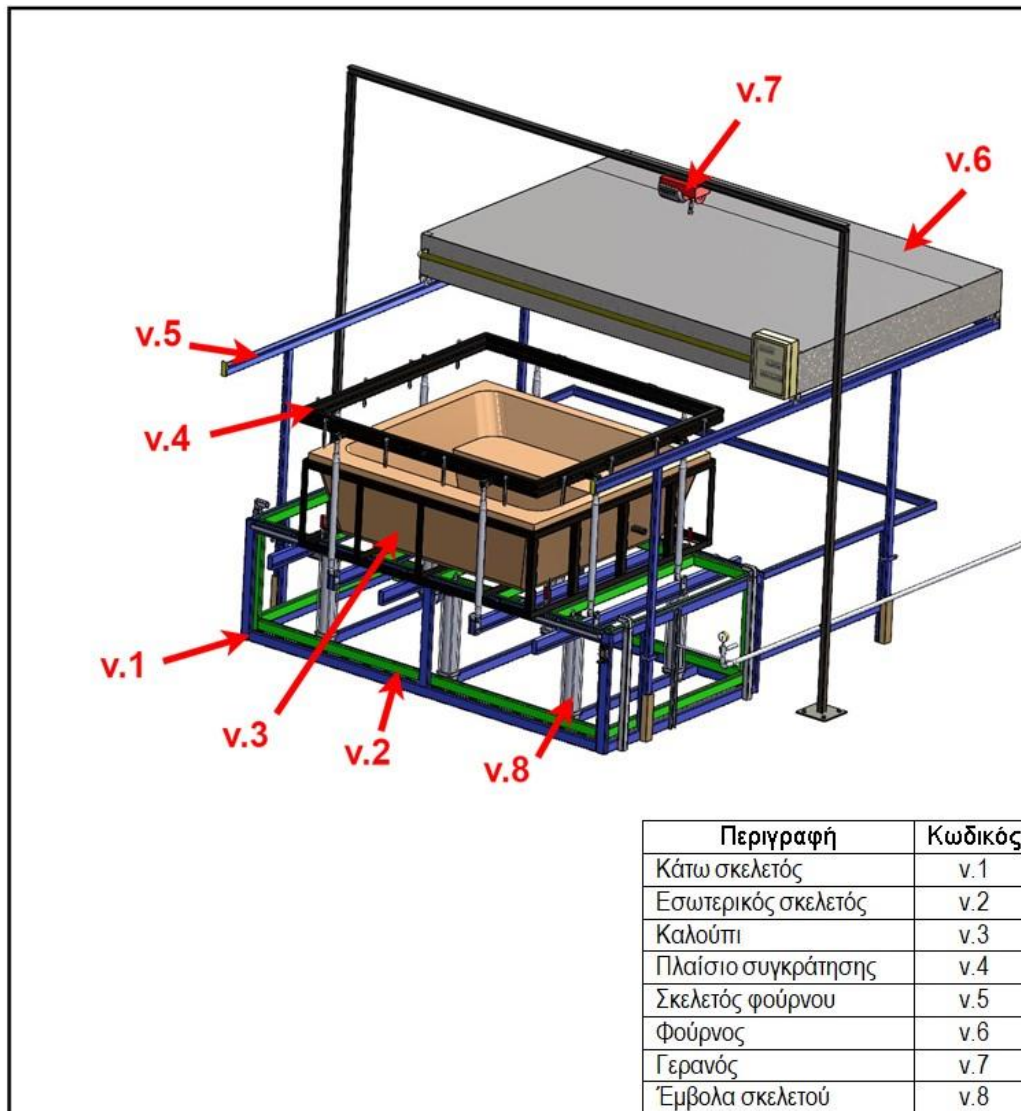


Εικόνα 2.3: Άνοψη φούρνου



Εικόνα 2.4: Μηχανολογικό σχέδιο ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος σε mm





Εικόνα 2.5: Μέρη ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος

### Συμπιεστές

Στην μονάδα είναι εγκατεστημένοι δύο συμπιεστές με κωδικές ονομασίες GA11 και GVS. Ο GA11 αποθηκεύει πεπιεσμένο αέρα σε έναν αεροσυλλέκτη (Εικόνα 2.6) ο οποίος έπειτα διοχετεύεται σε όλο το εργοστάσιο. Η χωρητικότητα του αεροσυλλέκτη είναι 900 λίτρα με πίεση λειτουργίας 12 bar. Ο GVS συνδέεται με το καλούπι v.3 και χρησιμοποιείται για την δημιουργία κενού. Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά αναγράφονται στον Πίνακα 2.6 και στον Πίνακα 2.7 αντίστοιχα.

Πίνακας 2.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμπιεστή εργοστασίου GA11

Συμπιεστής εργοστασίου GA11	
Ισχύς κινητήρα	11 kW
Στροφές κινητήρα	2940 r/min
Μέγιστη πίεση	0,83 MPa
Παροχή	1,56 m <sup>3</sup> /min

Πίνακας 2.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά συμπιεστή κενού GVS

Συμπιεστής κενού GVS	
Τάση Δ/Υ	230 / 400 V
Ένταση Δ/Υ	8,6 / 5,0 A
Ισχύς κινητήρα	2,2 kW
Στροφές κινητήρα	1440 min <sup>-1</sup>
Συνφ	0,74
Παροχή	106 m <sup>3</sup> /h



Εικόνα 2.6: Αεροσυλλέκτης

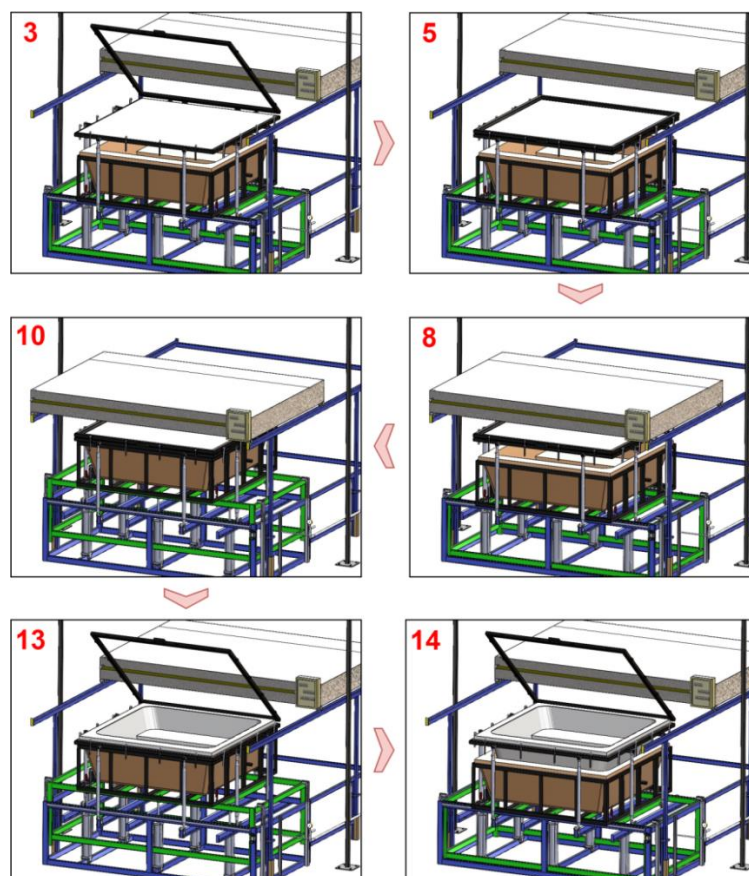
### 2.5.2 Βήματα φορμαρίσματος

Σε αυτή την ενότητα δίνονται τα βήματα που ακολουθούνται για την φάση του φορμαρίσματος, μαζί με την διάρκειά τους σε δευτερόλεπτα (sec). Για τον προσδιορισμό της διάρκειας των βημάτων όλων των φάσεων λήφθηκαν πολλές μετρήσεις κατά τις επισκέψεις στην παραγωγική μονάδα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Τα 17 βήματα του φορμαρίσματος, των οποίων το διάγραμμα ροής δίνεται στο Σχεδιάγραμμα 2.4, είναι τα εξής:

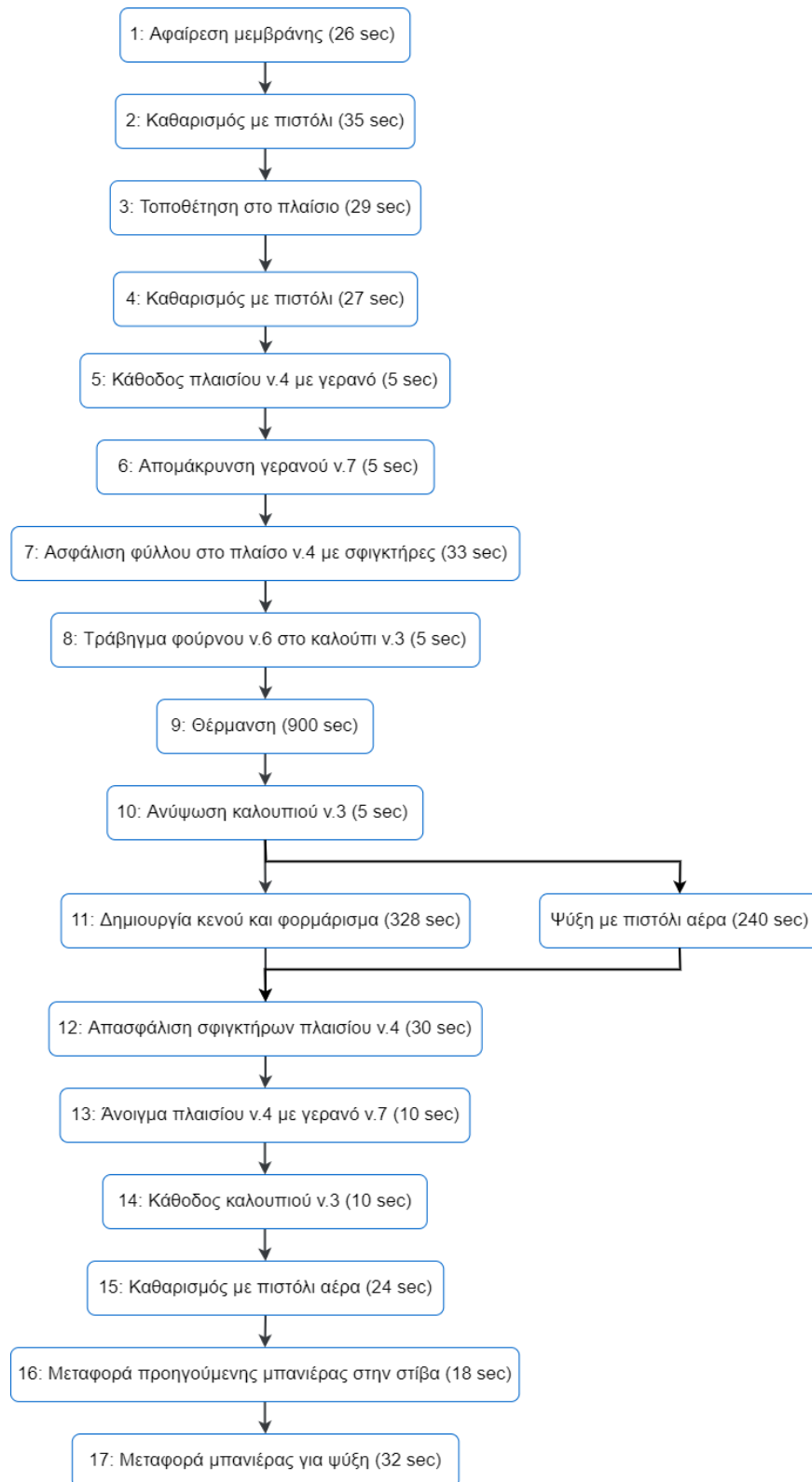
1. Αφαίρεση προστατευτικής μεμβράνη από το ακρυλικό φύλλο (26 sec).
2. Καθαρισμός φύλλου με πιστόλι αέρα που είναι συνδεδεμένο με τον συμπιεστή GA11 (35 sec).
3. Τοποθέτηση φύλλου στο πλαίσιο συγκράτησης v.4 (29 sec).
4. Καθαρισμός φύλλου με πιστόλι αέρα (27 sec).
5. Κάθοδος άνω μέρους πλαισίου συγκράτησης v.4 με γερανό v.7 (5 sec).
6. Αποσύνδεση γάντζου από το πλαίσιο συγκράτησης v.4 και απομάκρυνση γερανού v.7 δίπλα από την ιδιοκατασκευή (5 sec).
7. Ασφάλιση ακρυλικού φύλλου στο πλαίσιο συγκράτησης v.4 με το κλείσιμο 12 σφιγκτήρων (33 sec).
8. Τράβηγμα φούρνου v.6 πάνω από το καλούπι v.3 (5 sec).
9. Θέρμανση ακρυλικού φύλλου από τον φούρνο v.6 σε θερμοκρασία 170-180°C (900 sec).
10. Ανύψωση εσωτερικού σκελετού v.2 από τα έξι έμβολα v.8 μέχρι το καλούπι v.3 να έρθει σε επαφή με το ακρυλικό φύλλο (5 sec).

11. Ωθηση φούρνου v.6 πίσω από το καλούπι v.3, δημιουργία κενού στο καλούπι v.3 από τον συμπιεστή GVS και φορμάρισμα (328 sec). Ταυτόχρονα ψύχεται το φύλλο με το πιστόλι αέρα για 240 sec.
12. Λήξη φορμαρίσματος και απασφάλιση των 12 σφιγκτήρων του πλαισίου συγκράτησης v.4 (30 sec).
13. Ανύψωση άνω μέρους πλαισίου συγκράτησης v.4 με γερανό v.7 (10 sec).
14. Κάθοδος εσωτερικού σκελετού v.2 και καλουπιού v.3 από τα έξι έμβολα v.8 (10 sec).
15. Καθαρισμός μπανιέρας με πιστόλι αέρα (24 sec).
16. Αφού ολοκληρωθεί το φορμάρισμα η μπανιέρα τοποθετείται πάνω σε ένα χαρτόνι όπου ψύχεται στον αέρα, μέχρι να ολοκληρωθεί το φορμάρισμα της επόμενης μπανιέρας. Η ψύξη είναι αναγκαία καθώς όσο είναι ζεστή είναι εύθραυστη, ενώ μπορεί επίσης να παραμορφωθεί το σχήμα της άμα τοποθετηθεί κατευθείαν στην στοίβα με τις υπόλοιπες μπανιέρες. Επομένως στο βήμα 16 μετακινείται η μπανιέρα από τον προηγούμενο παραγωγικό κύκλο στην στοίβα με τις υπόλοιπες (18 sec).
17. Αφαίρεση μπανιέρας από το καλούπι v.3 και εναπόθεση για ψύξη (32 sec).

Στην **Error! Reference source not found.** παρουσιάζονται επάνω στην ιδιοκατασκευή κάποια από τα βασικά βήματα του φορμαρίσματος, με τον κόκκινο αριθμό σε κάθε εικονίδιο να υποδηλώνει τον αριθμό του βήματος σύμφωνα με την αρίθμηση που ακολουθήθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 2.7: Βασικά βήματα φορμαρίσματος

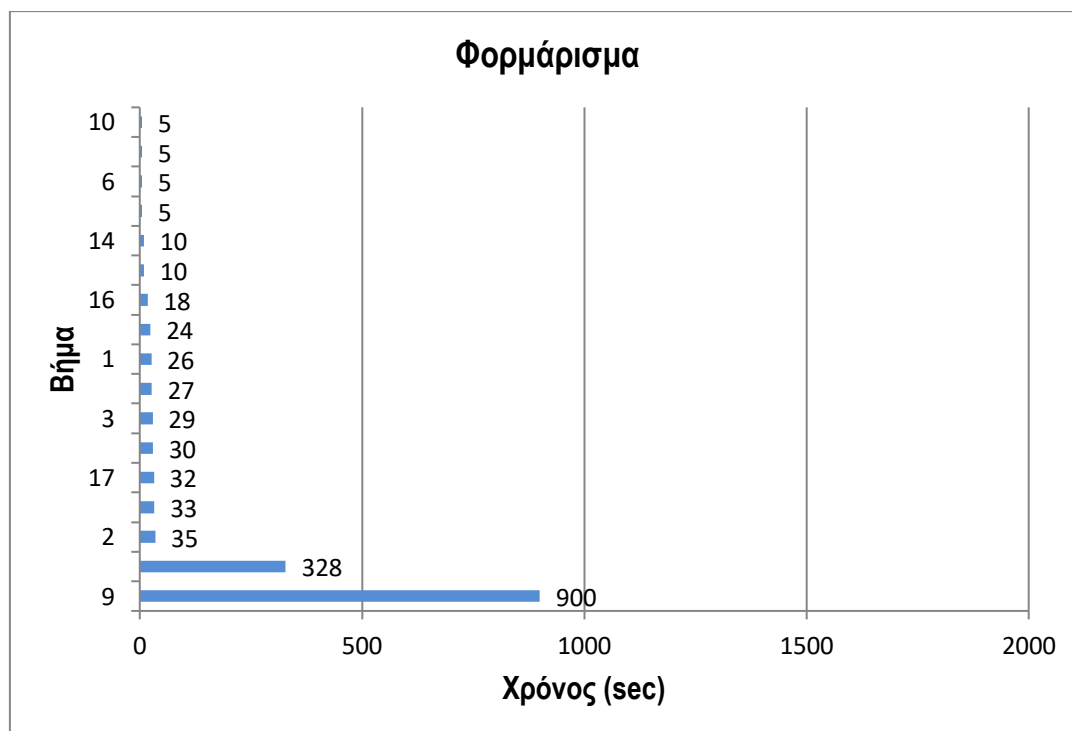


Σχεδιάγραμμα 2.4: Διάγραμμα ροής βημάτων φορμαρίσματος

Στον Πίνακα 2.8 τα βήματα ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά με βάση την διάρκειά τους, ενώ στο Σχεδιάγραμμα 2.5 δίνεται το ραβδόγραμμά τους. Σε όλα τα ραβδογράμματα των παραγωγικών φάσεων χρησιμοποιούνται στον οριζόντιο άξονα, του χρόνου, υποδιαιρέσεις του 500, με μέγιστη τιμή τα 2000 δευτερόλεπτα.

Πίνακας 2.8: Διάρκεια βημάτων φορμαρίσματος

Φορμάρισμα	
Βήμα	Χρόνος (sec)
9	900
11	328
2	35
7	33
17	32
12	30
3	29
4	27
1	26
15	24
16	18
13	10
14	10
5	5
6	5
8	5
10	5
<b>Σύνολο</b>	<b>1522</b>



Σχεδιάγραμμα 2.5: Ραβδόγραμμα βημάτων φορμαρίσματος

### 2.5.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά το φορμάρισμα

Τα απαραίτητα δεδομένα για τον θεωρητικό υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται είναι η ισχύς του κάθε μηχανήματος και η διάρκεια λειτουργίας του. Ωστόσο, για ορισμένα συστήματα απαιτείται μία εξειδικευμένη προσέγγιση. Μία από αυτές τις περιπτώσεις αποτελεί το δίκτυο πεπιεσμένου αέρα. Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της κατανάλωσης του πιστολιού αέρος σύμφωνα με την σχετική βιβλιογραφία [1-3].

Κατά την μεταφορά του αέρα σε ένα σύστημα αγωγών συναντώνται οι εξής μορφές ενέργειας ανά μονάδα μάζας:

- Δυναμική ενέργεια (J/kg):  $E_s = z \cdot g$ , όπου  $z$  η απόσταση από το επίπεδο αναφοράς (m) και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>)
- Ενέργεια πίεσης (J/kg):  $E_p = \frac{P}{\rho}$ , όπου  $P$  η πίεση του ρευστού (Pa) και  $\rho$  η πυκνότητά του (kg/m<sup>3</sup>)
- Κινητική ενέργεια (J/kg):  $E_k = \frac{1}{2} u^2$ , όπου  $u$  η ταχύτητα του ρευστού (m/sec)
- Εσωτερική ενέργεια  $U$  ανά μονάδα μάζας (J/kg)

Επομένως η συνολική ενέργεια  $E$  (J/kg) του ρευστού ανά μονάδα μάζας είναι:

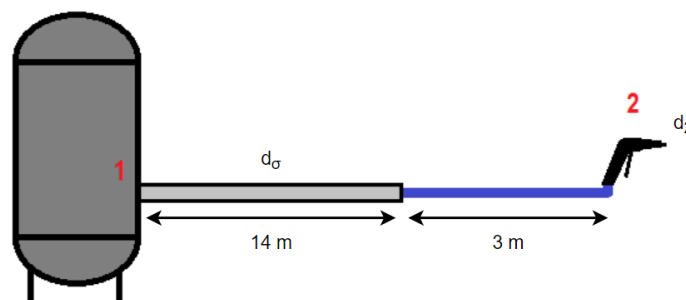
$$E = z \cdot g + \frac{1}{2} u^2 + \frac{P}{\rho} + U \quad (2.1)$$

Η εξίσωση ενέργειας για την μεταφορά του αέρα μεταξύ δύο σημείων, όταν παραμένει σταθερή η θερμοκρασία και για αμελητέα εναλλαγή θερμότητας, δίνεται από την εξίσωση:

$$E_2 - E_1 = \Delta W_f$$
$$\Rightarrow (z_2 - z_1) \cdot g + \left( \frac{1}{2} u_2^2 - \frac{1}{2} u_1^2 \right) + \left( \frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} \right) = -\Delta W_f \quad (2.2)$$

όπου  $\Delta W_f$  η θερμότητα από την τριβή του αέρα με την επιφάνεια του σωλήνα.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται η μεταφορά του αέρα από τον αεροσυλλέκτη (σημείο 1) στο πιστόλι (σημείο 2) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.8.:



Εικόνα 2.8: Πρόβλημα υπολογισμού παροχής αέρα

Τα δεδομένα του προβλήματος είναι τα εξής: Ο αεροσυλλέκτης έχει χωρητικότητα 900 L και πίεση λειτουργίας  $P_1=12 \text{ bar}$  ( $12 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ). Η διάμετρος του ακροφύσιου του πιστολιού είναι  $d_2= 5 \text{ mm}$  και συνδέεται με τον αεροσυλλέκτη μέσω ενός σωλήνα γαλβανισμένου σιδήρου μήκους 14 m και ενός ελαστικού σωλήνα μήκους 3 m. Οι διάμετροι των σωλήνων είναι 24mm και 5 mm αντίστοιχα. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος θεωρείται  $20^\circ\text{C}$  ( $293,15 \text{ K}$ ).

Τα δύο στοιχεία βρίσκονται στο ίδιο ύψος, επομένως  $z_1 = z_2$ .

Η επιφάνεια του αεροσυλλέκτη θεωρείται εξαιρετικά μεγάλη, άρα  $u_1 = 0$

Με βάση τα παραπάνω η Εξίσωση 2.2 παίρνει την εξής μορφή:

$$\frac{P_2}{\rho_2} + \frac{u_2^2}{2} + h_f = \frac{P_1}{\rho_1} \quad (2.3)$$

Ο αέρας από το πιστόλι διαχέεται στην ατμόσφαιρα, άρα  $P_2 = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$

Η πυκνότητα του αέρα στον αεροσυλλέκτη υπολογίζεται από την καταστατική εξίσωση:

$$P_1 = \rho_1 \cdot R \cdot T \quad (2.4)$$

όπου  $P_1$ : η πίεση στον αεροσυλλέκτη (Pa),  $R$ : η παγκόσμια σταθερά αερίων ( $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ),  $\rho_1$ : η πυκνότητα του αέρα στον αεροσυλλέκτη ( $\text{kg/m}^3$ ) και  $T$ : η θερμοκρασία του αέρα (K).

Με αντικατάσταση στην Εξίσωση 2.4 προκύπτει:

$$\begin{aligned} \Rightarrow 12 \cdot 10^5 \text{ Pa} &= \rho_1 \cdot 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K} \\ \Rightarrow \rho_1 &= 14,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Για τον προσδιορισμό των γραμμικών απωλειών λόγω τριβής χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2 \cdot g} \quad (2.6)$$

όπου  $f$ : συντελεστής τριβής,  $L$ : μήκος σωλήνα (m),  $d$ : διάμετρος σωλήνα (m) και  $\bar{u}$ : ταχύτητα στο εσωτερικό του σωλήνα (m/sec).

Ο συντελεστής τριβής  $f$  υπολογίζεται με βάση το διάγραμμα Moody. Στο σημείο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι η ροή είναι τυρβώδης. Επομένως ο συντελεστής τριβής ισούται με την σχετική τραχύτητα:

$$f = \frac{\varepsilon}{d} \quad (2.7)$$

όπου  $\varepsilon$ : τραχύτητα σωλήνα (mm) και  $d$ : διάμετρος σωλήνα (mm). Η τραχύτητα για τον πλαστικό σωλήνα είναι 0, επομένως δεν υπάρχουν απώλειες στο εσωτερικό του. Η τραχύτητα για τον γαλβανισμένο σίδηρο είναι 0,15 mm, επομένως:

$$f = \frac{\varepsilon}{d_\sigma} = \frac{0,15 \text{ mm}}{24 \text{ mm}} = 6,25 \cdot 10^{-3} \quad (2.8)$$

Με αντικατάσταση στην Εξίσωση 2.6 προκύπτει η εξής σχέση μεταξύ των γραμμικών απωλειών και της ταχύτητας στο εσωτερικό του σωλήνα:

$$h_f = 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{14 \text{ m}}{24 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2 \cdot 9,81} \Rightarrow h_f = 0,18 \cdot \bar{u}^2 \quad (2.9)$$

Η παροχή μάζας (kg/sec) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$m = \rho \cdot u \cdot A \quad (2.10)$$

όπου  $\rho$ : η πυκνότητά του (kg/m<sup>3</sup>),  $u$ : η ταχύτητα του ρευστού (m/sec) και  $A$ : το εμβαδό της διατομής του σωλήνα (m<sup>2</sup>)

Η παροχή μάζας στον σωλήνα ισούται με την παροχή στο ακροφύσιο. Στο σημείο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι η πυκνότητα του αέρα στον σωλήνα ισούται με την πυκνότητα στον αεροσυλλέκτη. Άρα ισχύει:

$$\begin{aligned} m_\sigma &= m_2 \Rightarrow \rho_1 \cdot \bar{u} \cdot A_\sigma = \rho_2 \cdot u_2 \cdot A_2 \\ \Rightarrow 14,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \bar{u} \cdot \frac{\pi \cdot d_\sigma^2}{4} &= 1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot u_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \\ \Rightarrow 14,26 \cdot \bar{u} \cdot 24^2 &= 1,22 \cdot u_2 \cdot 5^2 \\ \Rightarrow \bar{u} &= 3,71 \cdot 10^{-3} \cdot u_2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω στην Εξίσωση 2.3 προκύπτει:

$$\begin{aligned} \frac{101325 \text{ Pa}}{1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{u_2^2}{2} + 0,18 \cdot \bar{u}^2 &= \frac{12 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{14,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\ \Rightarrow \frac{101325 \text{ Pa}}{1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{u_2^2}{2} + 0,18 \cdot 13,76 \cdot 10^{-6} \cdot u_2^2 &= \frac{12 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{14,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\ \Rightarrow u_2 &= 46,87 \text{ m/sec} \end{aligned} \quad (2.12)$$



Η παροχή όγκου του πιστολιού είναι:

$$Q_2 = u_2 \cdot A_2 = 46,87 \cdot \frac{\pi \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 920,29 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec} \quad (2.13)$$

Το πιστόλι αέρος λειτουργεί συνολικά για 326 sec κατά την φάση του φορμαρίσματος. Επομένως ο όγκος που αφαιρείται από τον αεροσυλλέκτη είναι:

$$920,29 \cdot 10^{-6} \cdot 326 = 0,3 \text{ m}^3 = 300 \text{ L} \quad (2.14)$$

Ο συμπιεστής GA11 παρέχει 1.56 m<sup>3</sup> αέρα το λεπτό, το οποίο αντιστοιχεί σε 26 L/sec. Άρα για την αναπλήρωση του αέρα που χρησιμοποιείται κατά την φάση του φορμαρίσματος απαιτείται ο εξής χρόνος λειτουργίας:

$$\frac{300 \text{ L}}{26 \text{ L/sec}} = 11,54 \text{ sec} \quad (2.15)$$

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνει το κάθε μηχάνημα πολλαπλασιάστηκε η ονομαστική ισχύς του σε Watt με την διάρκεια λειτουργίας του σε ώρες. Ο υπολογισμός αυτός παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.9 σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που δίνονται στην ενότητα [2.5.1](#) και σύμφωνα με την διάρκεια λειτουργίας που εξάγεται από την ενότητα [2.5.2](#).

Πίνακας 2.9: Ενεργειακή κατανάλωση κατά το φορμάρισμα

Μηχάνημα	Βήμα	Διάρκεια (sec)	Διάρκεια (h)	Ισχύς (W)	Ενέργεια (kWh)
Συμπιεστής GA11	-	11,54	0,003	11000	0,035
Γερανός v.7	5	5	0,001	750	0,001
Φούρνος	-	1522	0,423	35900	15,178
Συμπιεστής GVS	11	328	0,091	2200	0,200
Γερανός v.7	13	10	0,001	750	0,002
<b>Σύνολο</b>					<b>15,417</b>

#### 2.5.4 Προβλήματα κατά το φορμάρισμα

Από την μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας και τις συναντήσεις με τους εργαζόμενους του εργοστασίου έχουν εντοπιστεί για την φάση του φορμαρίσματος τα εξής προβλήματα:

1. Βήμα 16 και 17: Ο χειριστής που εργάζεται στο φορμάρισμα πρέπει να περιμένει να έρθει κάποιος συνάδελφος που εργάζεται σε άλλο πόστο, ώστε να μετακινήσουν την μπανιέρα. Η αναμονή μπορεί να διαρκέσει από μισό έως και δέκα λεπτά, δημιουργώντας έτσι σημαντικό νεκρό χρόνο.
2. Το καλούπι και το ακρυλικό φύλλο πρέπει να είναι εξαιρετικά καθαρά πριν γίνει το φορμάρισμα. Το παραμικρό σκουπιδάκι ή χνούδι από τα ρούχα του εργαζομένου μπορεί να αφήσει σημάδι στη μπανιέρα μετά το φορμάρισμα, κάτι που το αχρηστεύει καθώς δεν υπάρχει

δυνατότητα επιδιόρθωσης. Είναι δύσκολο για τον εργαζόμενο να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό καθώς η ιδιοκατασκευή δεν διαθέτει κάποιο μέσο προστασίας και το καλούπι ν.3 είναι εκτεθειμένο.

3. Ο σκελετός φούρνου ν.5 της ιδιοκατασκευής, στον οποίο κυλάει ο φούρνος, στηρίζεται πάνω σε ξύλα και άλλα αντικείμενα καθώς δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός για την ρύθμιση του ύψους. Συχνά τα αντικείμενα αυτά πέφτουν, με αποτέλεσμα να πέφτει ο πάνω σκελετός και ο φούρνος, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα προβλήματα. Αρχικά ο φούρνος μπορεί να υποστεί βλάβες, ενώ κατά την πτώση του μπορεί να προξενήσει ζημιές τόσο στο ακρυλικό φύλλο όσο και σε άλλα μέρη της ιδιοκατασκευής. Επιπλέον υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού του εργαζόμενου σε περίπτωση που βρίσκεται κοντά στην ιδιοκατασκευή. Στην βέλτιστη περίπτωση όπου δεν υπάρχουν ζημιές, ο εργαζόμενος πρέπει να απενεργοποιήσει τον φούρνο και να επαναφέρει την ιδιοκατασκευή στην κανονική της μορφή, κάτι που καθυστερεί την παραγωγική διαδικασία.
4. Ο φούρνος ν.6 με τις αντιστάσεις παραμένει ενεργός καθ' όλη την διάρκεια του φορμαρίσματος, το οποίο διαρκεί 1522 sec, ενώ απαιτείται μόνο για 900 sec (Βήμα 9) για την θέρμανση του ακρυλικού φύλλου. Αυτό συμβαίνει καθώς στην περίπτωση που ο φούρνος μείνει απενεργοποιημένος στο διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της θέρμανσης δύο διαδοχικών φύλλων, θα μειωθεί η απόδοση των αντιστάσεων και θα καθυστερήσουν να φτάσουν ξανά στην επιθυμητή θερμοκρασία των 170 - 180 °C. Επομένως ο φούρνος ν.6 λειτουργεί χωρίς να είναι απαραίτητος για 622 sec. Η σπαταλούμενη ενέργεια είναι:

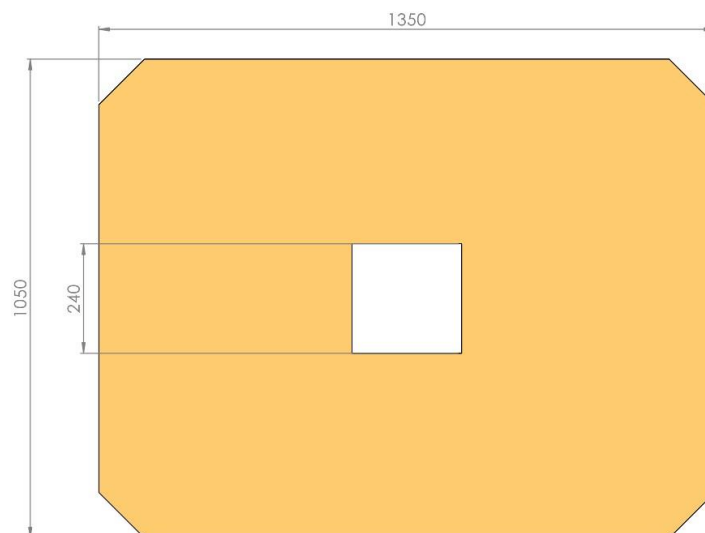
$$\frac{622s \times 35,9 \text{ kW}}{3600} = 6,2 \text{ kWh} \quad (2.16)$$

5. Η ιδιοκατασκευή είναι αρκετά ψηλή, κάτι που καθιστά δύσκολη την παραγωγική διαδικασία για τον εργαζόμενο, ενώ επίσης υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού από ενδεχόμενη πτώση.

## 2.6 Κοπή μοριοσανίδας

Για την παραγωγή της μπανιέρας απαιτείται η τοποθέτηση μίας μοριοσανίδας στην κάτω επιφάνεια της, η οποία του προσδίδει πρόσθετη μηχανική αντοχή. Επιπλέον προστατεύει την επιφάνεια της από φθορά που μπορεί να προκληθεί από την μεταλλική του βάση. Ενώνεται με την υπόλοιπη μπανιέρα στην φάση του δεύτερου ψεκασμού που θα παρουσιαστεί σε ακόλουθη ενότητα.

Το επιθυμητό τεμάχιο (Εικόνα 2.9) έχει διαστάσεις 1350 × 1050 mm και κόβεται από μία πλάκα μοριοσανίδας 3660×1830×16 mm. Το κομμάτι που περισσεύει μετά την κοπή αξιοποιείται για την παραγωγή μικρότερων μοντέλων υδρομασάζ και μπανιέρας.



Εικόνα 2.9: Διαστάσεις μοριοσανίδας σε mm

### 2.6.1 Εξοπλισμός κοπής μοριοσανίδας

Η περιμετρική κοπή της μοριοσανίδας στις επιθυμητές διαστάσεις γίνεται με την χρήση μίας πριονοκορδέλας, μίας σέγας, ενός δισκοπρίονου, ενός δραπάνου και ενός τροχού. Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά αναγράφονται στον Πίνακας 2.10.

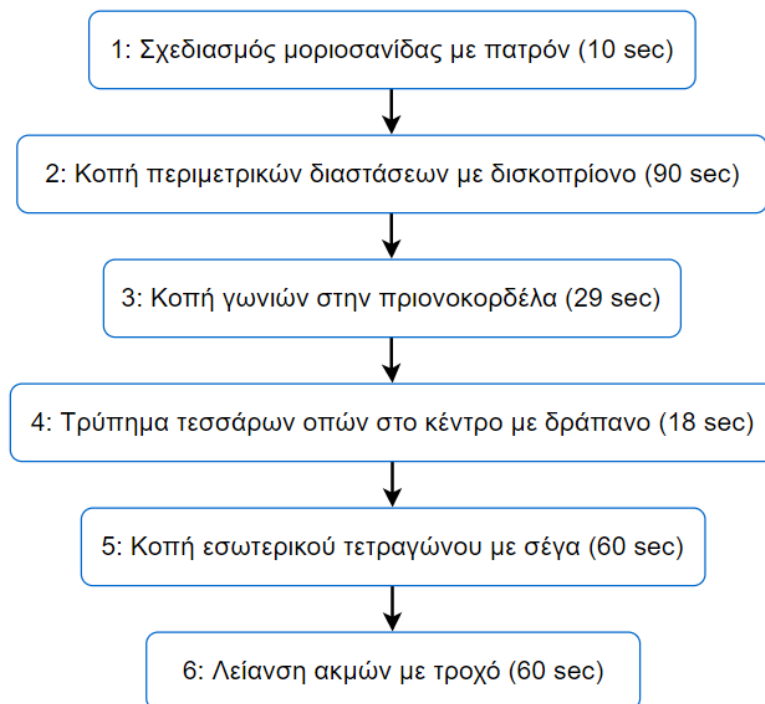
Πίνακας 2.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού κοπής μοριοσανίδας

Είδος μηχανής	Τάση	Ένταση	Ισχύς	Συχνότητα	Στροφές
Πριονοκορδέλα	400 V	25 A	3730 W	-	-
Σέγα	230 V	-	710 W	50 Hz	-
Δισκοπρίονο	240V	-	1050 W	60 Hz	5200 rpm
Δράπανο	240 V	-	630 W	60 Hz	2800 rpm
Τροχός	230V	-	1700 W	60 Hz	1100 rpm

### 2.6.2 Βήματα κοπής μοριοσανίδας

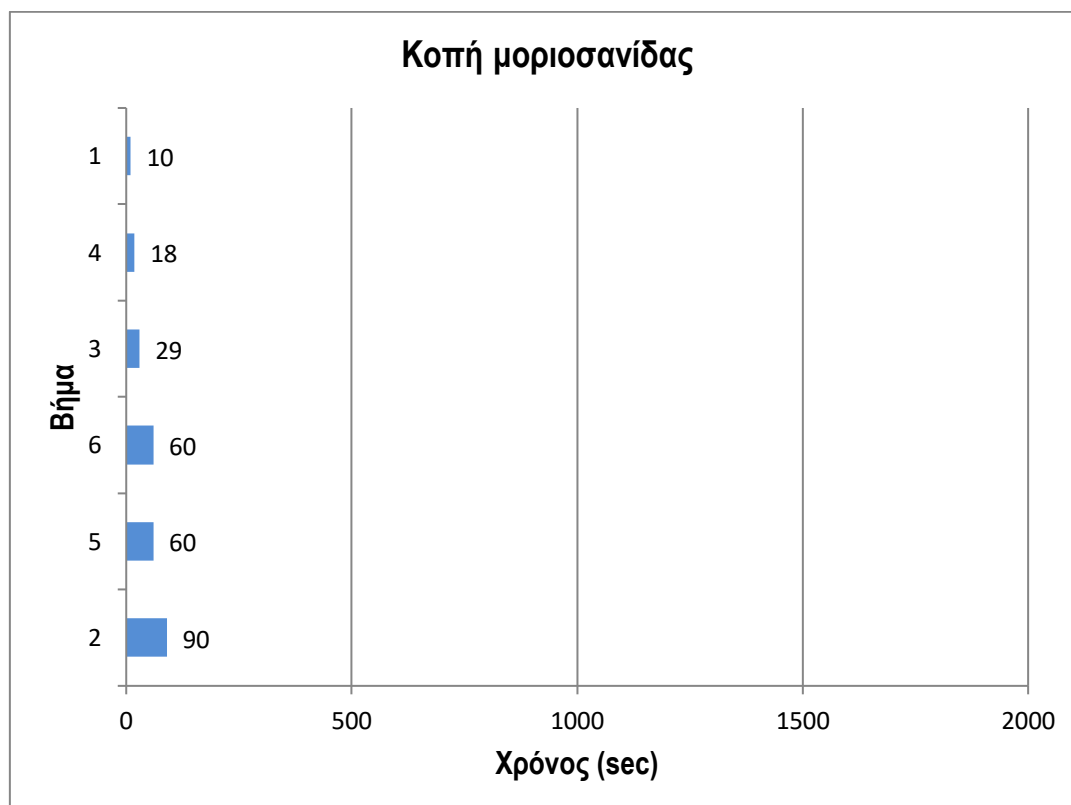
Για την κοπή της μοριοσανίδας ακολουθούνται 6 βήματα όπως αυτά απεικονίζονται στο Σχεδιάγραμμα 2.6. Τα 6 βήματα μαζί με την διάρκειά τους σε δευτερόλεπτα είναι τα εξής:

1. Σχεδίαση επιθυμητού σχήματος στην μοριοσανίδα με πατρόν (10 sec).
2. Κοπή του εξωτερικού περιγράμματος διαστάσεων 1350×1050 mm με δισκοπρίονο (90 sec).
3. Κοπή γωνιών μοριοσανίδας στην πριονοκορδέλα (29 sec).
4. Διάνοιξη τεσσάρων οπών στο κέντρο της μοριοσανίδας με δράπανο (18 sec).
5. Τοποθέτηση σέγας στις οπές και κοπή εσωτερικού τετραγώνου διαστάσεων 240×240 mm (60 sec).
6. Λείανση ακμών μοριοσανίδας με τροχό (60 sec).



Σχεδιάγραμμα 2.6: Διάγραμμα ροής βημάτων κοπής μοριοσανίδας

Στον Πίνακα 2.11 παρουσιάζονται τα βήματα της κοπής ταξινομημένα κατά φθίνουσα σειρά με βάση την διάρκειά τους, ενώ στο Σχεδιάγραμμα 2.7 δίνεται το ραβδόγραμμά τους.



Σχεδιάγραμμα 2.7: Ραβδόγραμμα βημάτων κοπής μοριοσανίδας

Πίνακας 2.11: Διάρκεια βημάτων κοπής μοριοσανίδας

Κοπή μοριοσανίδας	
Βήμα	Χρόνος (sec)
2	90
5	60
6	60
3	29
4	18
1	10
<b>Σύνολο</b>	<b>267</b>

### 2.6.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μοριοσανίδας

Οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης κατά την κοπή της μοριοσανίδας γίνονται στον Πίνακα 2.12.

Πίνακας 2.12: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κοπή της μοριοσανίδας

Μηχάνημα	Βήμα	Διάρκεια (sec)	Διάρκεια (h)	Ισχύς (W)	Ενέργεια (kWh)
Δισκοπρίονο	2	90	0,0250	1050	0,0263
Πριονοκορδέλα	3	29	0,0081	3730	0,0300
Δράπανο	4	18	0,0050	630	0,0032
Σέγα	5	60	0,0167	710	0,0118
Τροχός	6	60	0,0167	1700	0,0283
<b>Σύνολο</b>					<b>0,0996</b>

### 2.6.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μοριοσανίδας

Στην φάση της κοπής της μοριοσανίδας δεν υποδείχθηκαν ούτε εντοπίστηκαν προβλήματα.

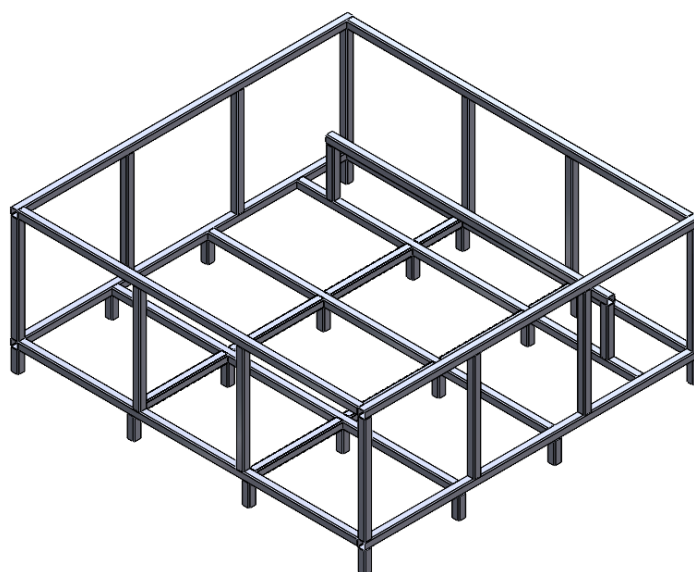
## 2.7 Κατασκευή βάσης

Η ακρυλική μπανιέρα τοποθετείται πάνω σε μία μεταλλική βάση διαστάσεων 1870×1870×730 mm, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.10. Η βάση αποτελεί μέρος του προϊόντος και ενώνεται με την υπόλοιπη μπανιέρα στην φάση του δεύτερου ψεκασμού. Κατασκευάζεται από τετράγωνους μεταλλικούς κοιλοδοκούς των οποίων η διατομή έχει διαστάσεις 40×40×2 mm. Ο αριθμός των κοιλοδοκών καθώς και τα αντίστοιχα μήκη των τεμαχίων δίνονται στον Πίνακα 2.13.

Σκοπός της μεταλλικής βάσης είναι η σταθεροποίηση της μπανιέρας υδρομασάζ στο έδαφος και η ενίσχυση της μηχανικής του αντοχής, έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στο βάρος του νερού και των χρηστών.

Πίνακας 2.13: Κοιλοδοκοί βάσης

Κοιλοδοκοί βάσης		
Αριθμός τεμαχίων	Μήκος (mm)	Σύνολο (mm)
18	90	1620
12	580	6960
5	1790	8950
2	245	490
2	470	940
2	510	1020
2	450	900
2	245	490
2	1870	3740
2	1790	3580
1	1450	1450
<b>Σύνολο</b>		<b>30140</b>



Εικόνα 2.10: Μεταλλική βάση

### 2.7.1 Εξοπλισμός κατασκευής βάσης

Για την κοπή των κοιλοδοκών στις επιθυμητές διαστάσεις χρησιμοποιείται μία πριονοκορδέλα μετάλλου, της οποίας τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναγράφονται στον Πίνακα 2.14. Έπειτα τα επιμέρους κομμάτια συγκολλούνται μεταξύ τους με ένα συγκολλητικό μηχάνημα τύπου MIG, του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 2.15.

Πίνακας 2.14: Τεχνικά χαρακτηριστικά πριονοκορδέλας μετάλλου

<b>Πριονοκορδέλα μετάλλου</b>	
Τάση	400V
Ένταση	2,3 A
Ισχύς	1,5 kW
Συχνότητα	50 Hz
Ισχύς αντλίας ψύξης	45 W

Πίνακας 2.15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συγκολλητικού μηχανήματος MIG

<b>Συγκολλητικό μηχάνημα τύπου MIG</b>	
Τάση	240 V
Ένταση	36 A
Ισχύς	8,4 kW
Συχνότητα	50/60 Hz

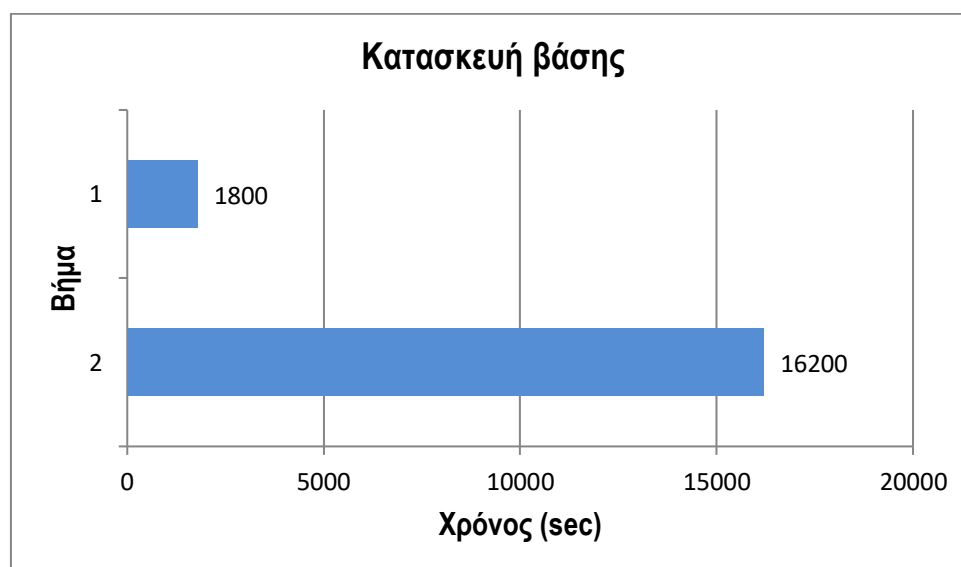
### 2.7.2 Βήματα κατασκευής βάσης

Η κατασκευή της βάσης γίνεται σε δύο βήματα συνολικής διάρκειας 18000 sec (5 h). Τα βήματα αυτά είναι τα εξής:

1. Κοπή κοιλοδοκών στις επιθυμητές διαστάσεις (1800 sec).
2. Συγκόλληση κοιλοδοκών (16200 sec).

Τα βήματα ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά στον

Πίνακας 2.16. Στο Σχεδιάγραμμα 2.8 απεικονίζεται το ραβδόγραμμα τους.



Σχεδιάγραμμα 2.8: Ραβδόγραμμα βημάτων κατασκευής βάσης

Πίνακας 2.16: Διάρκεια βημάτων κατασκευής βάσης

Κατασκευή βάσης	
Βήμα	Χρόνος (sec)
2	16200
1	1800
<b>Σύνολο</b>	<b>18000</b>

### 2.7.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή της βάσης

Κατά την κατασκευή της βάσης πραγματοποιούνται 50 κοπές στην πριονοκορδέλα μετάλλου, με την κάθε μία να διαρκεί 30 sec. Έπειτα απαιτούνται 246 συγκολλήσεις διάρκειας 10 sec έτσι ώστε να ενωθούν οι κοιλοδοκοί. Με βάση τα παραπάνω η κατανάλωση ενέργειας που υπολογίστηκε παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.17.

Πίνακας 2.17: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κατασκευή της βάσης

Μηχάνημα	Βήμα	Διάρκεια (sec)	Διάρκεια (h)	Ισχύς (W)	Ενέργεια (kWh)
Πριονοκορδέλα μετάλλου	1	1800	0,5	1500	0,750
Αντλία ψύξης	1	1800	0,5	45	0,023
Συγκολλητικό MIG	2	2460	0,7	8400	5,740
<b>Σύνολο</b>					<b>6,513</b>

### 2.7.4 Προβλήματα κατά την κατασκευή της βάσης

Δεν εντοπίστηκαν προβλήματα κατά την κατασκευή της βάσης.

## 2.8 Ψεκασμός

Μετά το φορμάρισμα οι εξωτερικές επιφάνειες της ακρυλικής μπανιέρας ψεκάζονται με ένα μείγμα χημικών, καταλύτη και υαλοπίλημα (fiberglass) που της προσδίδει την απαραίτητη μηχανική αντοχή ώστε να αντέξει το βάρος του νερού και του ανθρώπου που την χρησιμοποιεί.

Ο ψεκασμός γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται μόνο ο ψεκασμός της μπανιέρας με μία αρχική ποσότητα χημικών. Στο δεύτερο τοποθετείται η μεταλλική βάση στην μπανιέρα και ψεκάζεται η υπόλοιπη ποσότητα των χημικών, ενώνοντας έτσι τα δύο μέρη. Ο ψεκασμός χωρίζεται σε αυτές τις δύο φάσεις έτσι ώστε κατά την μεταξύ τους αναμονή να στερεοποιηθεί καλύτερα το μείγμα και να επιτευχθεί η βέλτιστη ομοιογένεια. Επιπλέον το πρώτο στρώμα χημικών προστατεύει το σχήμα της μπανιέρας από πιθανή παραμόρφωση που μπορεί να προκληθεί από το βάρος της μεταλλικής βάσης.



Συγκεκριμένα το μείγμα αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

**1. 45.45% Πολυεστέρας**

**2. 45.45% Πούδρα**

Αποτελείται από κόκκους επικαλυμμένου ανθρακικού ασβεστίου. Συμβάλει στην μηχανική αντοχή της μπανιέρας, ενώ επίσης καθιστά την επιφάνεια υδρόφοβη.

**3. 9.1% Πάστα**

Χρησιμοποιείται ώστε να δέσει την πούδρα με τον πολυεστέρα.

Οι ιδιότητες των στοιχείων αναγράφονται στους πίνακες 2.18-2.20. Όπου συναντάται ο αριθμός CAS αναφέρεται στον μοναδικό αριθμό του χημικού στοιχείου, με τον οποίο είναι δυνατός ο εντοπισμός όλων των ιδιοτήτων του.

Πίνακας 2.18: Ιδιότητες πολυεστέρα

	<b>Πολυεστέρας</b>		
	<b>Πυκνότητα</b>	<b>Κινηματικό ιξώδες</b>	<b>Δυναμικό ιξώδες</b>
	1,1 g/cm <sup>3</sup>	64-91 mm <sup>2</sup> /s	70-100 mPa
	<b>Συστατικά μέρη πολυεστέρα</b>		
	<b>Στυρένιο</b>	<b>Φθαλικός ανυδρίτης</b>	<b>Ξυλένιο</b>
<b>CAS</b>	100-42-5	85-44-9	1330-20-7
<b>Χημική φόρμουλα</b>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHCH <sub>2</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
<b>Συγκέντρωση %</b>	45	1	0.2
<b>Μοριακό Βάρος</b>	104,15 g/mol	148,12 g/mol	106,16 g/mol
<b>Πυκνότητα (20 °C)</b>	0,906 g/cm <sup>3</sup>	1,53 g/cm <sup>3</sup>	0,86 g/mL

Πίνακας 2.19: Ιδιότητες πούδρας

<b>Πούδρα</b>			
Συγκέντρωση CaCO <sub>3</sub>	≥ 98,0 %	Πυκνότητα (20 °C)	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Συγκέντρωση SiO <sub>2</sub>	≤ 0,35 %	Φαινόμενο βάρος	0,7 g/cm <sup>3</sup>
Συγκέντρωση MgO	≤ 0,75 %	Λεπτότητα κόκκων d (0,97)	16-20 μm
Συγκέντρωση Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤ 0,07 %	Μέσο μέγεθος κόκκων d (0,50)	4-6 μm
Συγκέντρωση Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤ 0,01 %	Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm	14-26 %
Περιεχόμενη υγρασία	≤ 0,2 %		

Πίνακας 2.20: Ιδιότητες πάστας

<b>Πάστα</b>	
Πυκνότητα	1,9-2,1g/cm <sup>3</sup>
Κινηματικό ιξώδες	1800-2700 mm <sup>2</sup> /s
Δυναμικό ιξώδες	2000-3000 mPas
<b>Μαλεικός ανυδρίτης (συστατικό πάστας)</b>	
CAS	108-31-6
Χημική φόρμουλα	C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Πυκνότητα	1,48g/cm <sup>3</sup>
Μοριακό Βάρος	98,06 g/mol

Ο καταλύτης ψεκάζεται απευθείας στην μπανιέρα και επιταχύνει την στερεοποίηση του μείγματος με το υαλοπίλημα. Οι ιδιότητές του καταλύτη και του υαλοπιλήματος δίνονται στον Πίνακα 2.21 και στον Πίνακα 2.22 αντίστοιχα.

Πίνακας 2.21: Ιδιότητες καταλύτη

	<b>Καταλύτης</b>		
	<b>Πυκνότητα</b>	<b>Κινηματικό ιξώδες</b>	<b>Δυναμικό ιξώδες</b>
	1,18 g/cm <sup>3</sup>	20,34 mm <sup>2</sup> /s	24 mPa
<b>Συστατικά μέρη καταλύτη</b>			
	<b>2-βουτανόνη, υπεροξειδίο</b>	<b>Μεθυλαιθυλ κετόνη</b>	
<b>CAS</b>	1338-23-4	85-44-9	
<b>Χημική φόρμουλα</b>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	
<b>Συγκέντρωση %</b>	37	1	
<b>Μοριακό Βάρος</b>	210,22g/mol	148,12 g/mol	
<b>Πυκνότητα (20 °C)</b>	-	1,53 g/cm <sup>3</sup>	

Πίνακας 2.22: Ιδιότητες υαλοπιλήματος

<b>Υαλοπίλημα</b>	
Γραμμική πυκνότητα	2400 TEX
Κωδικός	ERS240-T132BS

Κατά την διάρκεια του ψεκασμού χρησιμοποιούνται συνολικά:

1. 21.595 kg πολυεστέρα
2. 21.595 kg πούδρα
3. 4.324 kg πάστα
4. 18.51 kg υαλοπίλημα

## 2.8.1 Εξοπλισμός ψεκασμού

### Δοχείο

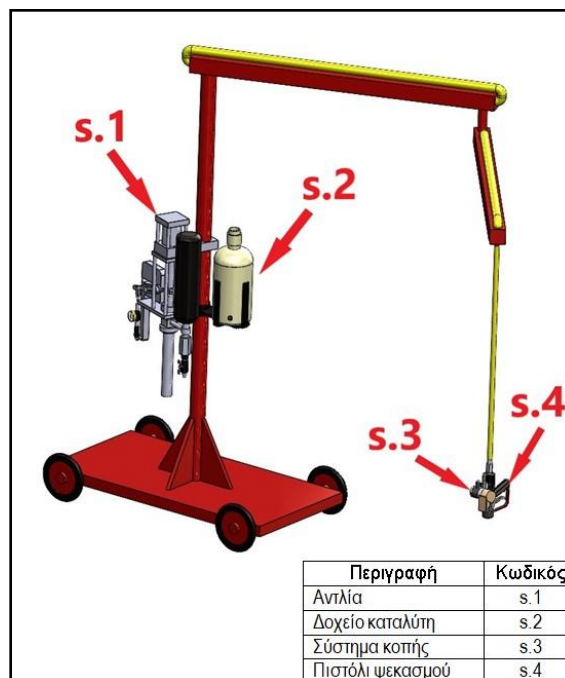
Το αρχικό χημικό μείγμα τοποθετείται σε ένα δοχείο (Εικόνα 2.11) χωρητικότητας 740 Lt. Στο εσωτερικό του υπάρχουν ωμικές αντιστάσεις οι οποίες διατηρούν το μείγμα στους 50°C. Στο πάνω μέρος υπάρχει ένας κινητήρας ο οποίος δίνει κίνηση στον αναδευτήρα του δοχείου. Δεν ήταν δυνατός ο εντοπισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών τόσο των αντιστάσεων όσο και του κινητήρα.



Εικόνα 2.11: Δοχείο χημικών ψεκασμού

### Σύστημα ψεκασμού

Το χημικό μείγμα από το δοχείο εισέρχεται στο σύστημα ψεκασμού. αποτελείται από τέσσερα μέρη τα οποία παρουσιάζονται με την κωδικοποίησή τους στην Εικόνα 2.12.



Εικόνα 2.12: Μέρη συστήματος ψεκασμού

Τα τέσσερα εξαρτήματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.13 και είναι τα εξής:

#### **s.1 Αντλία**

Η αντλία συνδέεται με το δοχείο των χημικών και προωθεί το μείγμα στο πιστόλι ψεκασμού s.4. Για την παροχή αέρα η αντλία συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο του εργοστασίου το οποίο τροφοδοτεί ο συμπιεστής GA11.

#### **s.2 Δοχείο καταλύτη**

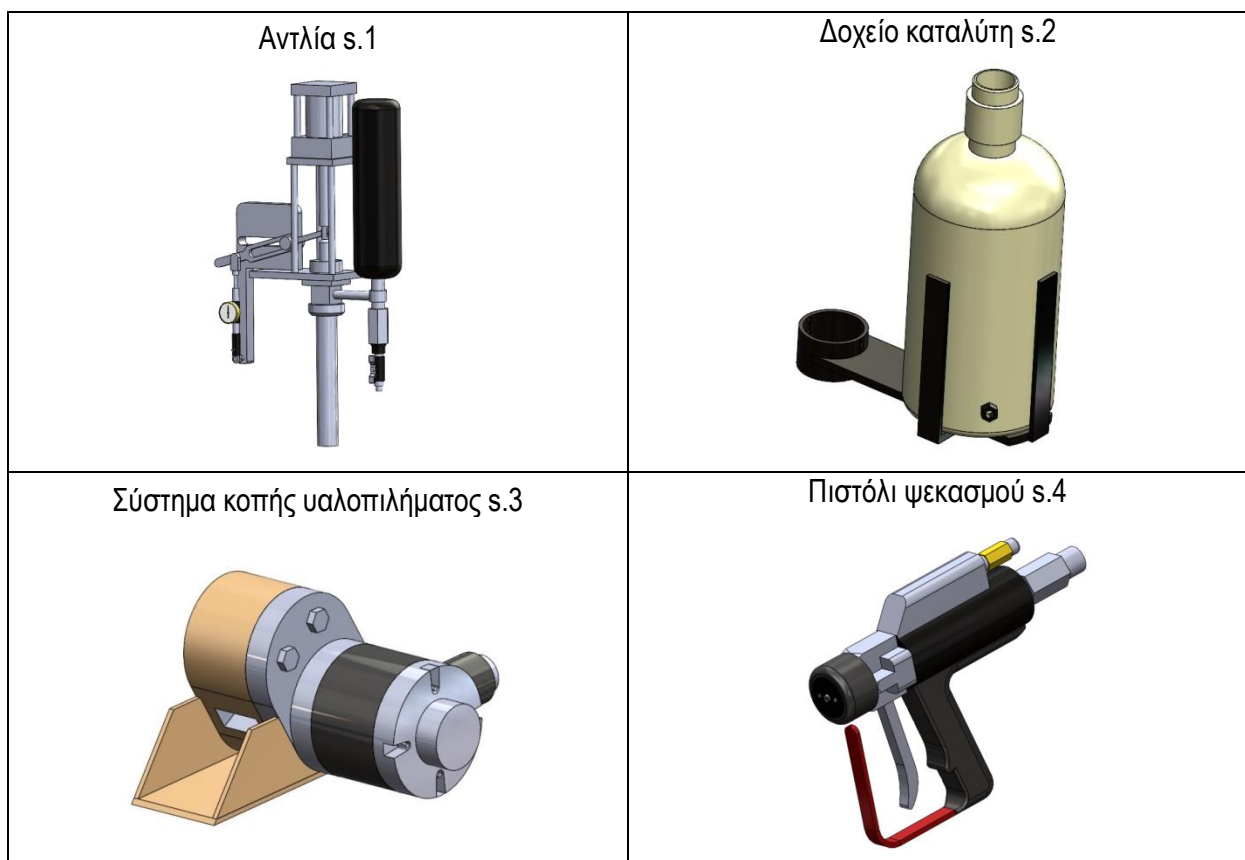
Συνδέεται με το πιστόλι ψεκασμού s.4.

#### **s.3 Σύστημα κοπής υαλοπλήματος**

Το σύστημα κοπής συνδέεται στο πάνω μέρος του πιστολιού ψεκασμού s.4, από το οποίο παρέχεται και ο απαραίτητος για την λειτουργία του αέρας.

#### **s.4 Πιστόλι ψεκασμού**

Το πιστόλι ψεκασμού συνδέεται με όλα τα προηγούμενα μέρη με έναν σωλήνα 8.3 m (εκτός από το σύστημα κοπής s.3 το οποίο τοποθετείται πάνω του) και αναρτάται από τον σκελετό του συστήματος. Με αυτό ο χειριστής ψεκάζει την μπανιέρα με το χημικό μείγμα, τον καταλύτη και το υαλοπίλημα. Δεν είναι αναγκαίο να ψεκάζει και τα τρία συστατικά μαζί καθώς το πιστόλι του παρέχει την επιπλέον δυνατότητα να ψεκάσει μόνο όποια από αυτά επιθυμεί.



Εικόνα 2.13: Εξαρτήματα συστήματος ψεκασμού

## Διάδρομος

Στον χώρο όπου γίνεται ο ψεκασμός, υπάρχει ένας διάδρομος (Εικόνα 2.14) συνολικού μήκους 100 m στον οποίο τοποθετούνται οι μπανιέρες που ψεκάζονται. Ο διάδρομος λειτουργεί με μία αλυσίδα η οποία κινείται από έναν κινητήρα, του οποίου οι προδιαγραφές δεν ήταν διαθέσιμες.



Εικόνα 2.14: Διάδρομος ψεκασμού

## Αερολέβητας πετρελαίου

Ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται ο ψεκασμός πρέπει να βρίσκεται σε θερμοκρασία 20-22°C έτσι ώστε να ενωθεί το χημικό μίγμα και το fiberglass με την ακρυλική μπανιέρα. Χαμηλότερη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε προβληματική ένωση και συνεπώς σε αποκόλληση.

Η θέρμανση του χώρου πραγματοποιείται από έναν αερολέβητα πετρελαίου και ένα σύστημα αεραγωγών που διαχέει τον θερμό αέρα στον χώρο. Το εργοστάσιο καταναλώνει κατά μέσο όρο 8500 L πετρελαίου τον χρόνο.

Η θερμοκρασία του χώρου παρατηρείται από ένα θερμόμετρο τοποθετημένο στο κέντρο του χώρου.

## Θάλαμος θέρμανσης

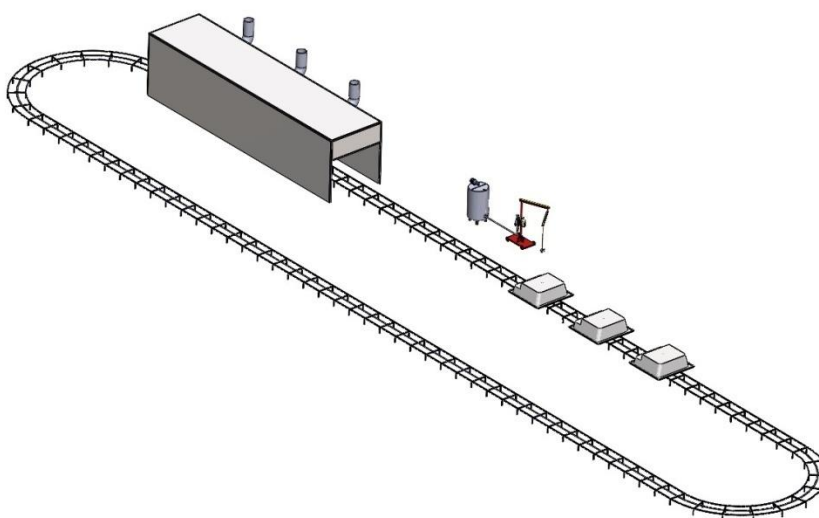
Το μεγάλο μέγεθος του χώρου καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό της πραγματικής θερμοκρασίας του σε όλα τα σημεία με την χρήση ενός μόνο θερμόμετρου. Γι αυτό τον λόγο η μπανιέρα μετά τον ψεκασμό εισέρχεται στον θάλαμο θέρμανσης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.15.

Ο θάλαμος αυτός αποτελεί έναν προκατασκευασμένο χώρο διαστάσεων 12×3 m ο οποίος επίσης θερμαίνεται από τον αερολέβητα και το σύστημα αεραγωγών. Το μικρό του μέγεθος καθιστά εύκολη την διαχείριση της θερμοκρασίας του, διασφαλίζοντας έτσι τις ιδανικές συνθήκες για την σκλήρυνση των υλικών στα πρώτα κρίσιμα λεπτά μετά τον ψεκασμό. Η διάρκεια κατά την οποία η μπανιέρα παραμένει μέσα στον θάλαμο είναι 300 sec.



Εικόνα 2.15: Θάλαμος θέρμανσης

Όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον ψεκασμό παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.16.



Εικόνα 2.16: Εξοπλισμός ψεκασμού

### 2.8.2 Βήματα ψεκασμού

Τα βήματα που ακολουθούνται στα δύο στάδια του ψεκασμού είναι τα εξής:

#### 1ος ψεκασμός:

1. Ψεκασμός μπανιέρας με χημικό μείγμα, υαλοπίλημα και καταλύτη (185 sec).
2. Ψεκασμός μπανιέρας μόνο με καταλύτη (40 sec).
3. Συμπύεση και επίστρωση μείγματος και υαλοπιλήματος πάνω στην μπανιέρα με ρολά (500 sec).
4. Είσοδος και παραμονή μπανιέρας στον θάλαμο θέρμανσης (300 sec).

5. Παραμονή μπανιέρας στον διάδρομο για σκλήρυνση των υλικών μέχρι τον δεύτερο ψεκασμό (10800 sec).

### 2ος ψεκασμός:

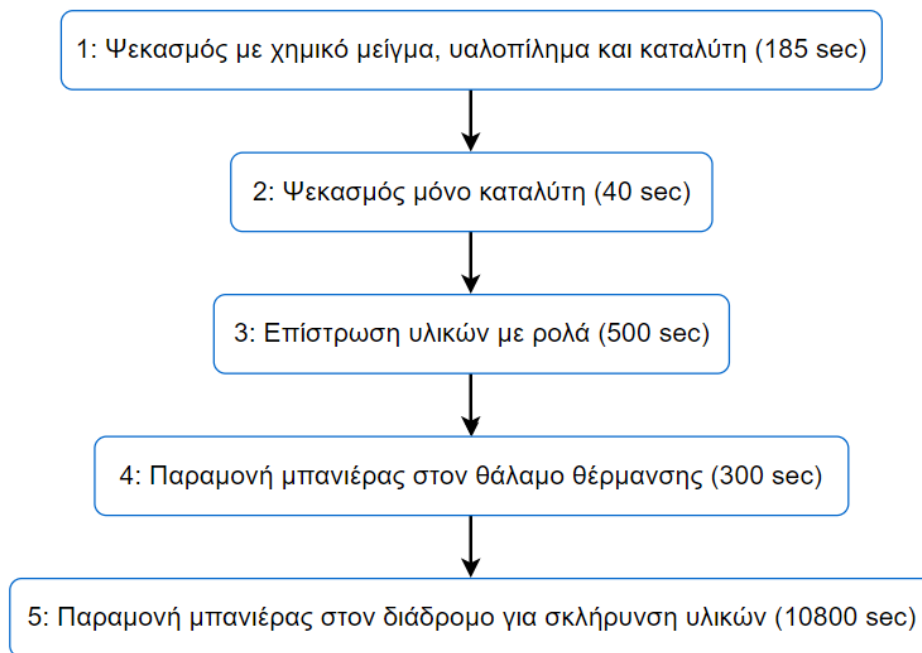
6. Τοποθέτηση μοριοσανίδας στην μπανιέρα (33 sec).
7. Στον δεύτερο ψεκασμό η κάθε επιφάνεια της μπανιέρας ψεκάζεται και επιστρώνεται ξεχωριστά έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή υλικού. Οι αντίστοιχοι χρόνοι δίνονται στον Πίνακα 2.23.

Πίνακας 2.23: Διάρκεια ψεκασμού επιφανειών μπανιέρας

<b>2ος ψεκασμός</b>			
<b>Επιφάνεια</b>	<b>Ψεκασμός</b>	<b>Μόνο καταλύτης</b>	<b>Επίστρωση</b>
Αριστερά	77 sec	18 sec	93 sec
Δεξιά	77 sec	18 sec	93 sec
Μπροστά	109 sec	60 sec	103 sec
Πίσω	75 sec	15 sec	60 sec
Πάνω	53 sec	20 sec	60 sec
Σύνολο:	391 sec	131 sec	409 sec
<b>Σύνολο</b>	<b>931 sec</b>		

8. Ψεκασμός όλης της μπανιέρας με καταλύτη (27 sec).
9. Συμπύεση και επίστρωση μείγματος και υαλοπιλήματος πάνω στην μπανιέρα με ρολά (510 sec).
10. Τοποθέτηση μεταλλικής βάσης στην μπανιέρα. Για την ένωση της βάσης με την μπανιέρα τοποθετείται υαλοϋφασμα στα σημεία επαφής. Έπειτα εφαρμόζεται το χημικό μείγμα με πινέλο. Το μείγμα δεν ψεκάζεται όπως στα προηγούμενα βήματα ώστε να μην λερωθεί η υπόλοιπη βάση. Έπειτα ψεκάζεται ο καταλύτης (458 sec).
11. Επίστρωση σημείων που τοποθετήθηκε υαλοϋφασμα (840 sec).
12. Αναμονή για στερεοποίηση των χημικών (18000 sec).

Τα διαγράμματα ροής των δύο σταδίων του ψεκασμού δίνονται στο Σχεδιάγραμμα 2.9 και στο Σχεδιάγραμμα 2.10. Τα βήματα ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά στον Πίνακα 2.24 ενώ το ραβδόγραμμά τους παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.11.

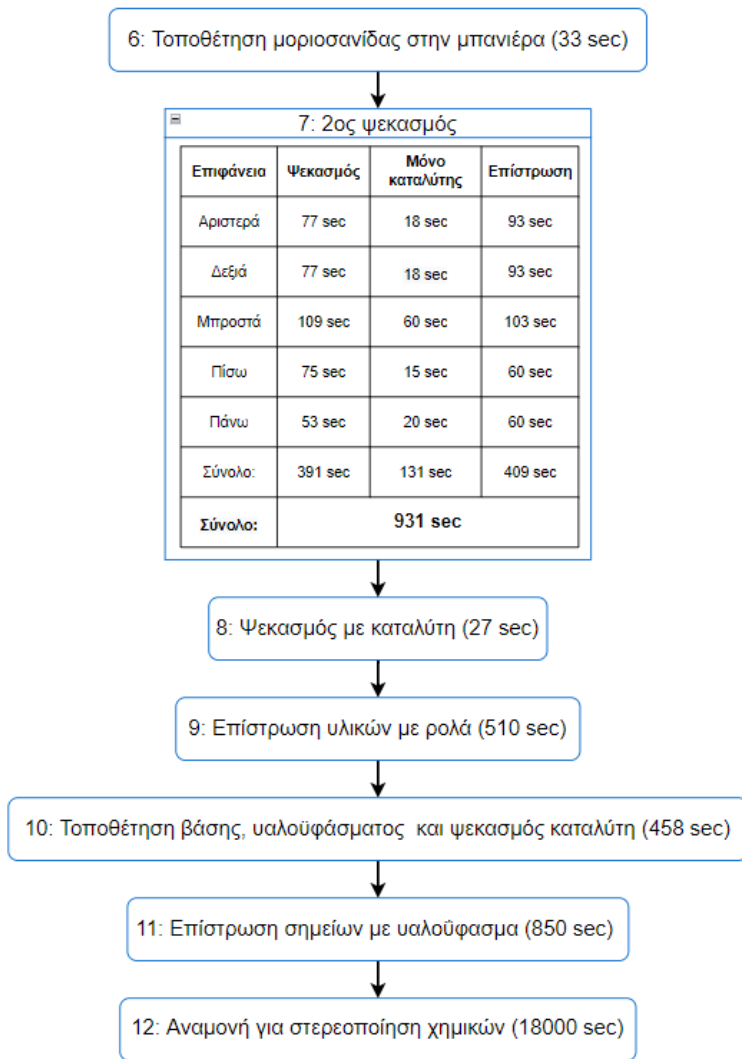


Σχεδιάγραμμα 2.9: Διάγραμμα ροής βημάτων 1ου ψεκασμού

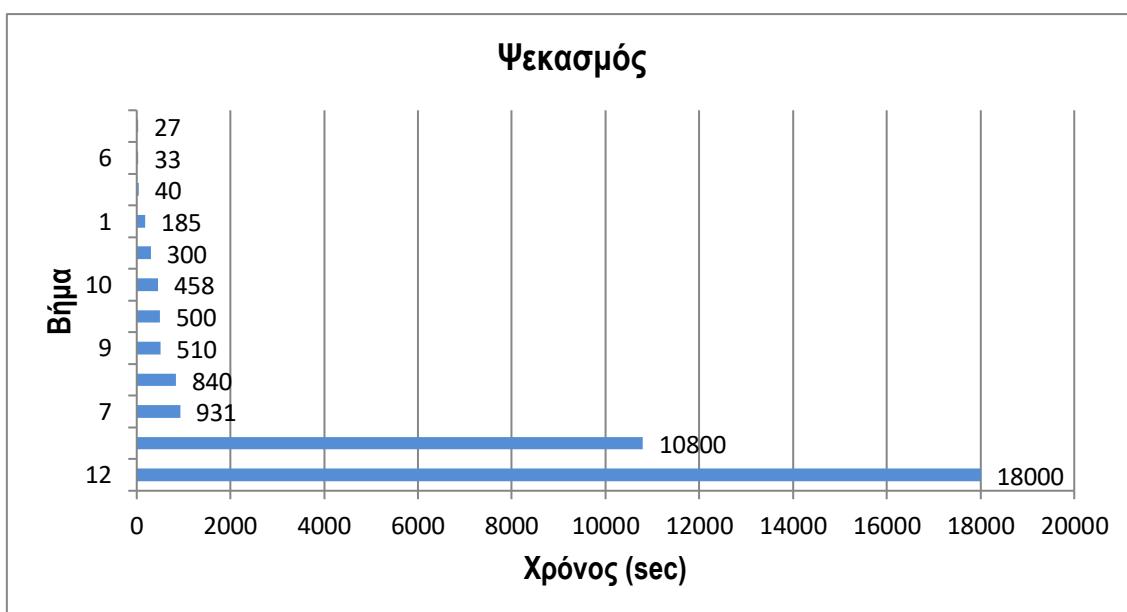
Πίνακας 2.24: Διάρκεια βημάτων ψεκασμού

Ψεκασμός					
Συνολικά		1ος		2ος	
Βήμα	Χρόνος (sec)	Βήμα	Χρόνος (sec)	Βήμα	Χρόνος (sec)
12	18000	5	10800	12	18000
5	10800	3	500	7	931
7	931	4	300	11	840
11	840	1	185	9	510
9	510	2	40	10	458
3	500	<b>Σύνολο</b>	<b>11825</b>	6	33
10	458			8	27
4	300			<b>Σύνολο</b>	<b>20799</b>
1	185				
2	40				
6	33				
8	27				
<b>Σύνολο</b>	<b>32624</b>				





Σχεδιάγραμμα 2.10: Διάγραμμα ροής βημάτων 2ου ψεκασμού



Σχεδιάγραμμα 2.11: Ραβδόγραμμα βημάτων ψεκασμού

### 2.8.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά τον ψεκασμό

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης της αντλίας του συστήματος ψεκασμού δεν ήταν εφικτή καθώς δεν επαρκούν τα δεδομένα.

Για τον προσδιορισμό των μηνών κατά τους οποίους απαιτείται η χρήση του καυστήρα συλλέχθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία [4] οι μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες που επικράτησαν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης από το έτος 2018 έως το 2022. Έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος της θερμοκρασίας για κάθε μήνα (Πίνακας 2.25).

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι ο χώρος θα πρέπει να θερμανθεί από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο, δηλαδή για 7 μήνες. Η μέση κατανάλωση πετρελαίου στο οκτάωρο για 25 εργάσιμες ημέρες τον μήνα είναι:

$$\frac{8500 \frac{L}{\text{έτος}}}{7 \frac{\text{μήνες}}{\text{έτος}} \times 25 \frac{\text{μέρες}}{\text{μήνα}}} = 48,57 \frac{L}{\text{μέρα}} \quad (2.17)$$

Στον διάδρομο μπορούν να ψεκαστούν 25 μπανιέρες την ημέρα. Επομένως η κατανάλωση ανά προϊόν είναι:

$$\frac{48,57 \frac{L}{\text{μέρα}}}{25 \frac{\text{προϊόντα}}{\text{μέρα}}} = 1,94 \text{ L/προϊόν} \quad (2.18)$$

Πίνακας 2.25: Μέση θερμοκρασία Θεσσαλονίκης ανά μήνα (°C)

	2022	2021	2020	2019	2018	M.O.
Ιανουάριος	6	8,2	6,2	4,7	6,8	<b>6,38</b>
Φεβρουάριος	8,5	8,9	8,9	8,2	8,9	<b>8,68</b>
Μάρτιος	8,1	10,1	11,3	12,5	12,2	<b>10,84</b>
Απρίλιος	15,2	14	14	15	18,4	<b>15,32</b>
Μάιος	21,6	21,6	20,4	20,6	22,5	<b>21,34</b>
Ιούνιος	26,7	25,5	25	27,1	25,3	<b>25,92</b>
Ιούλιος	28,6	29,6	27,9	28,2	27,9	<b>28,44</b>
Αύγουστος	27,8	29,3	27,2	29,1	28	<b>28,28</b>
Σεπτέμβριος	22,7	22,8	24,7	24	23,6	<b>23,56</b>
Οκτώβριος	17,5	15,1	18,8	18,7	18	<b>17,62</b>
Νοέμβριος	14,6	13,1	11,8	15,6	12,8	<b>13,58</b>
Δεκέμβριος	10,6	8,1	10,7	9,6	6,5	<b>9,1</b>

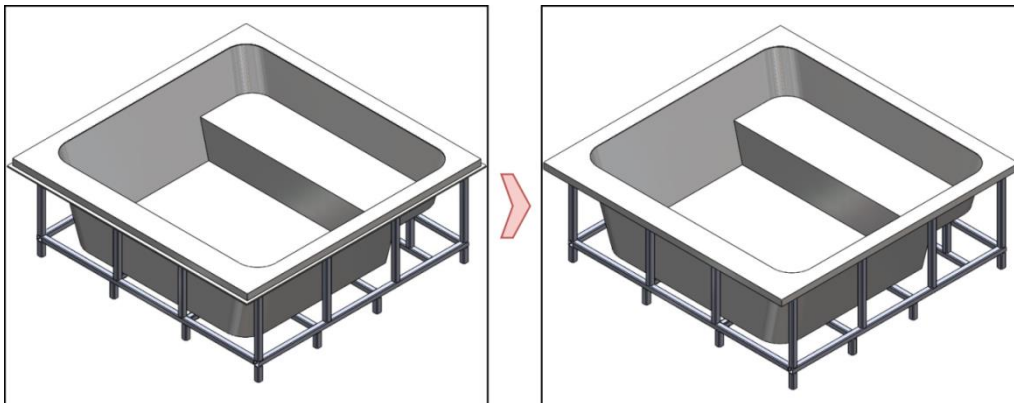
## 2.8.4 Προβλήματα κατά τον ψεκασμό

Στην φάση του ψεκασμού έχουν παρατηρηθεί το εξής πρόβλημα:

1. Το μήκος του σωλήνα που συνδέει το πιστόλι ψεκασμού s.4 με την αντλία s.1 είναι 8.3 μέτρα. Το μεγάλο μέγεθος του σωλήνα οδηγεί σε σημαντικές απώλειες θερμότητας στο χημικό μείγμα. Συγκεκριμένα το μείγμα έχει στην αντλία s.1 θερμοκρασία 50°C, ενώ στο πιστόλι s.4 έχει περίπου 35°C. Σαν αποτέλεσμα μέρος του μείγματος στερεοποιείται και δημιουργούνται επικαθίσεις που μπλοκάρουν το πιστόλι.

## 2.9 Κοπή μπανιέρας

Μετά τον ψεκασμό ακολουθεί η κοπή. Σε αυτή την φάση αφαιρείται το περίσσιο ακρυλικό από τις ακμές περιμετρικά της μπανιέρας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.17.

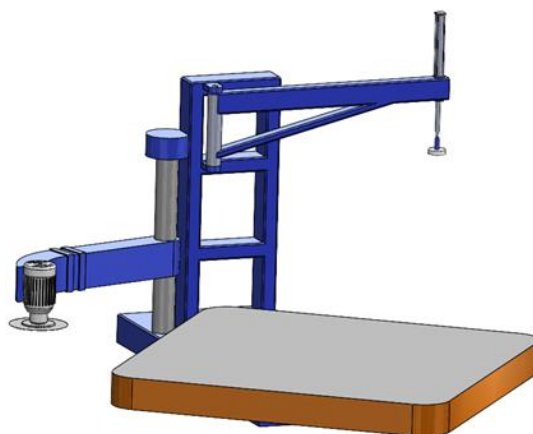


Εικόνα 2.17: Κοπή μπανιέρας

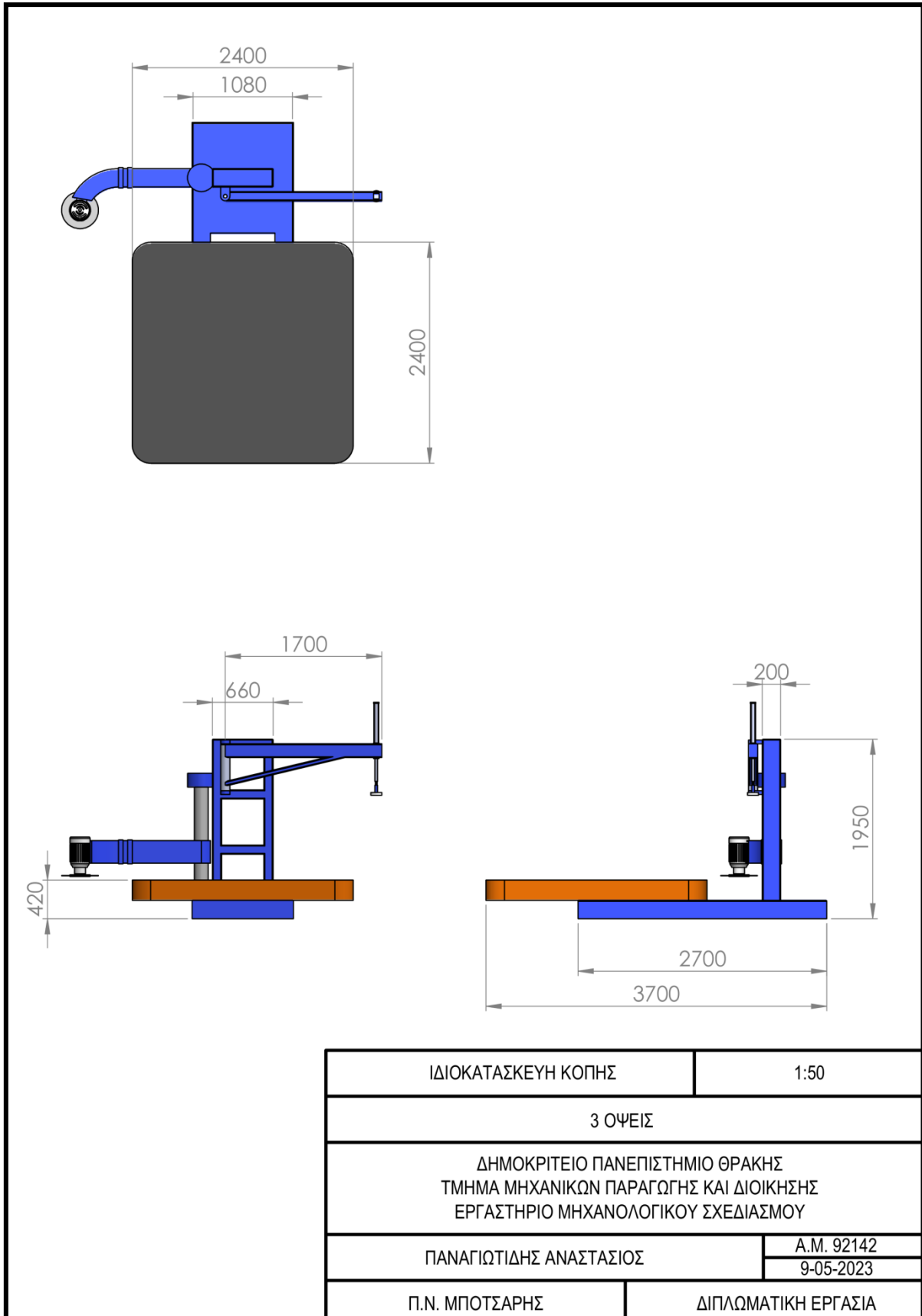
### 2.9.1 Εξοπλισμός κοπής μπανιέρας

#### Ιδιοκατασκευή

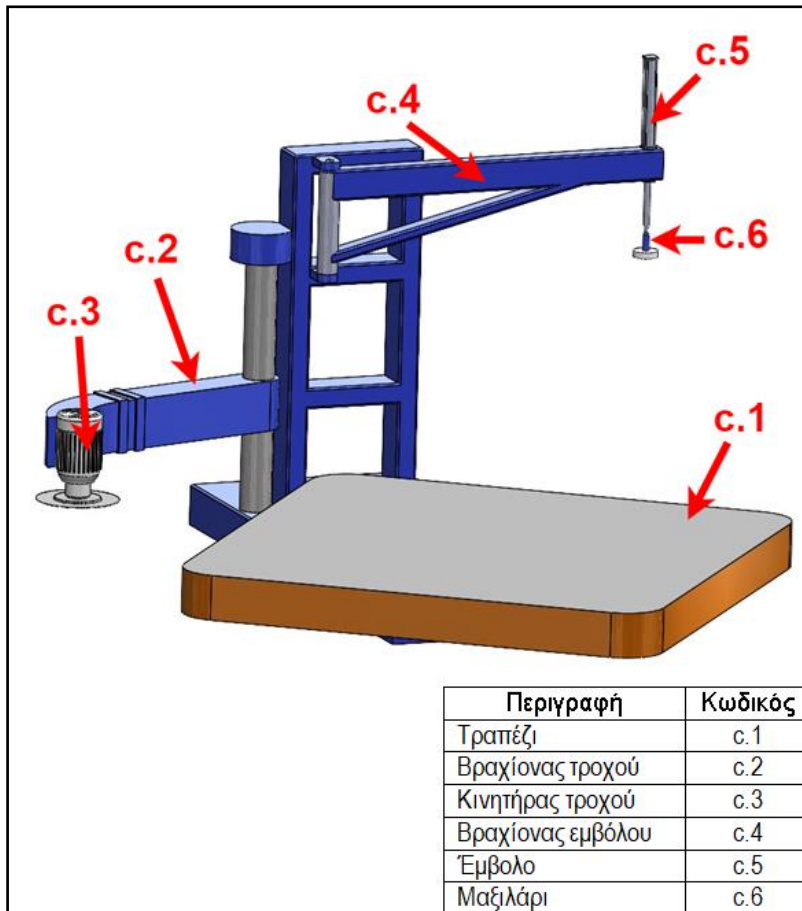
Για την κοπή της μπανιέρας χρησιμοποιείται μία ιδιοκατασκευή (Εικόνα 2.18). Το μηχανολογικό της σχέδιο παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.19, ενώ η κωδικοποίηση των μερών της γίνεται στην Εικόνα 2.20.



Εικόνα 2.18: Ιδιοκατασκευή κοπής



Εικόνα 2.19: Μηχανολογικό σχέδιο ιδιοκατασκευής κοπής (mm)



Εικόνα 2.20: Μέρη ιδιοκατασκευής κοπής

Συγκεκριμένα τα μέρη της ιδιοσυσκευής είναι τα εξής:

#### **c.1 Τραπέζι**

Πάνω σε αυτό τοποθετείται η μπανιέρα και περιστρέφεται.

#### **c.2 Βραχίονας τροχού**

Περιστρέφεται γύρω από τον κάθετο άξονα. Δεν διαθέτει κάποιο κινητήρα, τον περιστρέφει ο εργαζόμενος.

#### **c.3 Κινητήρας τροχού**

Δίνει κίνηση σε έναν διαμαντοτροχό διαμέτρου 40cm. Είναι τοποθετημένος στην άκρη του βραχίονα τροχού c.2. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 2.26.

#### **c.4 Βραχίονας εμβόλου**

Περιστρέφεται γύρω από τον κάθετο άξονα. Δεν διαθέτει κάποιο κινητήρα.

#### **c.5 Έμβολο**

#### **c.6 Μαξιλάρι**

Είναι κατασκευασμένο από μαλακό υλικό έτσι ώστε να μην φθείρει την μπανιέρα. Συνδέεται στην άκρη του άξονα του εμβόλου c.5 ένας κοχλίας (ντίζα) που χρησιμεύει για την ρύθμιση του ύψους.

Πίνακας 2.26: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα τροχού

Κινητήρας τροχού			
Τάση	380 V	Ένταση	6,4 A
Ισχύς	3,6 kW	Συχνότητα	50 Hz
Στροφές	2870 rpm	συνφ	0,87

## Τροχός

Για την κοπή του ρεταλιού που προκύπτει από την κοπή χρησιμοποιείται ένας τροχός του οποίου τα χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 2.27.

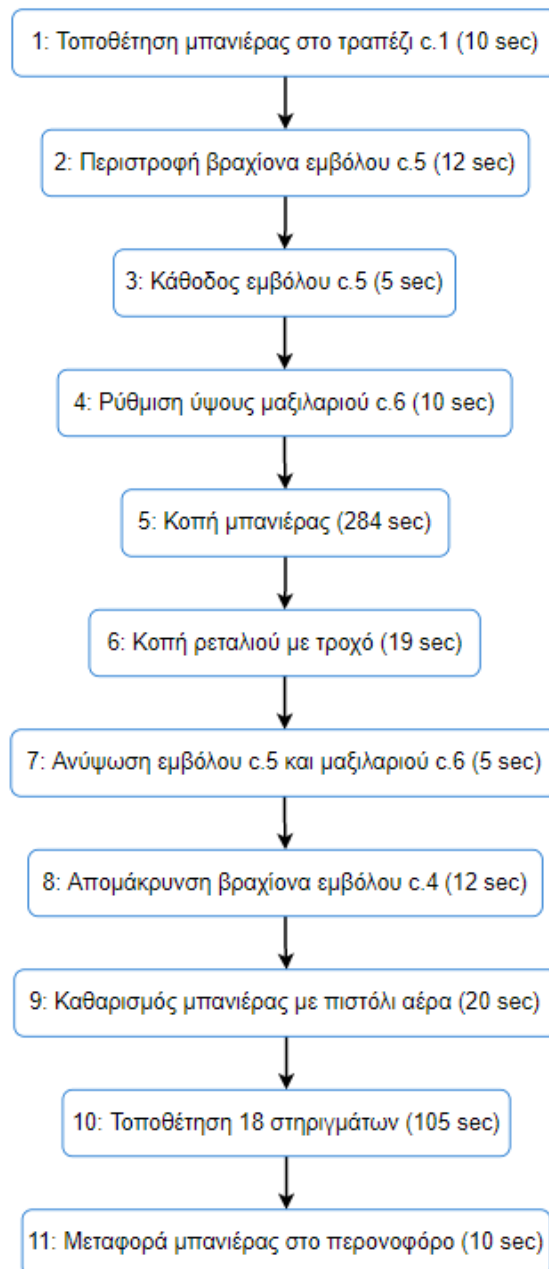
Πίνακας 2.27: Τεχνικά χαρακτηριστικά τροχού

Τροχός			
Ισχύς	1700 W	Συχνότητα	60 Hz
Τάση	230 V	Στροφές	11000 rpm

### 2.9.2 Βήματα κοπής μπανιέρας

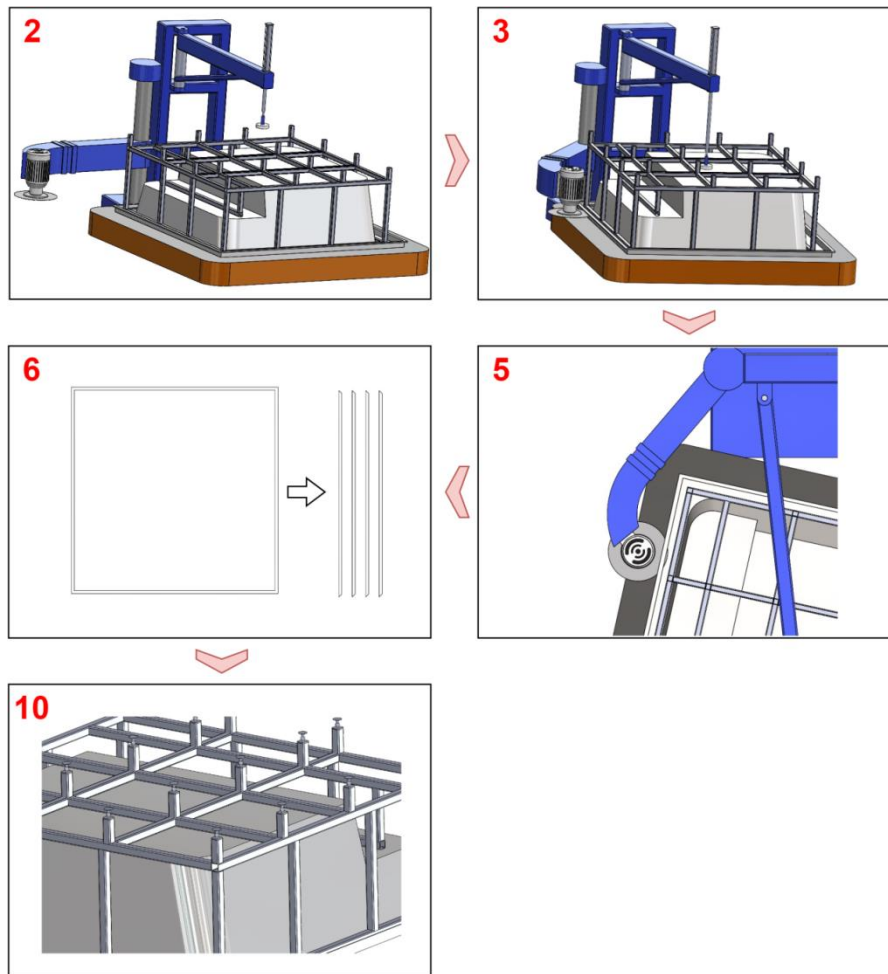
Για την κοπή της μπανιέρας ακολουθούνται 11 βήματα, των οποίων το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.12. Τα βασικότερα από αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.21. Συγκεκριμένα, τα 11 βήματα είναι τα εξής:

1. Τοποθέτηση μπανιέρας ανάποδα επάνω στο τραπέζι c.1 (10 sec).
2. Περιστροφή βραχίονα εμβόλου c.4 μέχρι το έμβολο c.5 να φτάσει στο κέντρο του τραπεζιού c.1 (12 sec).
3. Κάθοδος εμβόλου c.5 μέχρι το μαξιλάρι c.6 να έρθει σε επαφή με την μπανιέρα (5 sec).
4. Ρύθμιση ύψους μαξιλαριού c.6 με τον κοχλία ώστε να υπάρχει καλύτερη συγκράτηση της μπανιέρας κατά την κοπή. Ο λόγος που δεν ασκείται μεγαλύτερη πίεση απευθείας από το έμβολο c.5 στο προηγούμενο βήμα είναι για να αποφευχθεί υπερβολική δύναμη που μπορεί να παραμορφώσει την μπανιέρα (10 sec).
5. Ενεργοποίηση κινητήρα τροχού c.3 και περιστροφή τραπεζιού c.1. Μετακίνηση βραχίονα τροχού c.2 έτσι ώστε ο διαμαντοτροχός να αφαιρεί τα μη επιθυμητά κομμάτια χωρίς να επηρεάσει την υπόλοιπη μπανιέρα ή την μεταλλική βάση (284 sec).
6. Μετά την κοπή δημιουργείται ένα τετράγωνο ρετάλι διαστάσεων 2x2m το οποίο κόβεται με τον τροχό στις τέσσερις γωνίες του. Τα τελικά ρετάλια και έχουν διαστάσεις 1971 x 290 x 4 mm (19 sec).
7. Ανύψωση εμβόλου c.5 και μαξιλαριού c.6 (5 sec).
8. Περιστροφή βραχίονα εμβόλου c.4 μέχρι να φτάσει στην αρχική του θέση (12 sec).
9. Καθαρισμός μπανιέρας με πιστόλι αέρα που τροφοδοτείται από τον συμπιεστή GA11 (20 sec).
10. Τοποθέτηση με σφυριά 18 στηριγμάτων στις κάτω άκρες της βάσης της μπανιέρας (105 sec).
11. Μεταφορά μπανιέρας από το τραπέζι c.1 σε ένα περονοφόρο (10 sec).



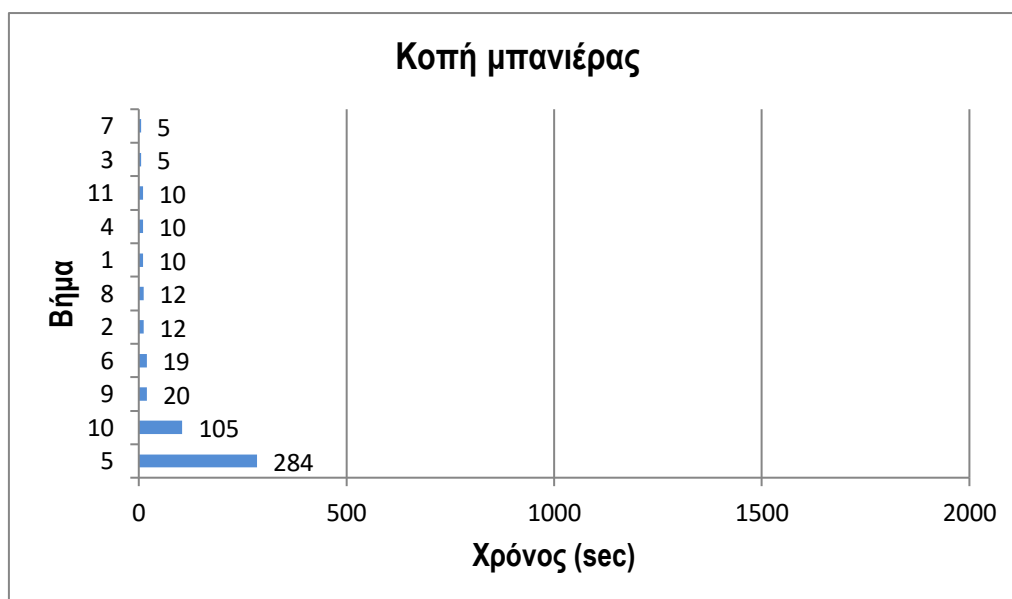
aaaa

Σχεδιάγραμμα 2.12: Διάγραμμα ροής βημάτων κοπής μπανιέρας



Εικόνα 2.21: Βασικά βήματα κοπής

Στον Πίνακα 2.28 αναγράφονται τα βήματα της κοπής ταξινομημένα κατά φθίνουσα σειρά με βάση την διάρκειά τους, ενώ στο Σχεδιάγραμμα 2.13 δίνεται το ραβδόγραμμά τους.



Σχεδιάγραμμα 2.13: Ραβδόγραμμα βημάτων κοπής μπανιέρας



Πίνακας 2.28: Διάρκεια βημάτων κοπής μπανιέρας

Κοπή μπανιέρας	
Βήμα	Χρόνος (sec)
5	284
10	105
9	20
6	19
2	12
8	12
1	10
4	10
11	10
3	5
7	5
<b>Σύνολο</b>	<b>492</b>

### 2.9.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την κοπή της μπανιέρας

Στην φάση της κοπής χρησιμοποιείται το πιστόλι αέρος για 30 sec. Όπως αναλύθηκε στην [ενότητα 2.5.3](#), όγκος αέρα που χρησιμοποιείται υπολογίζεται με βάση την παροχή του πιστολιού ως εξής:

$$920,29 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{sec} \cdot 30 sec = 0,0276 m^3 = 27,6 L \quad (2.19)$$

Ο συμπιεστής GA11 προκειμένου να παρέχει τον αέρα αυτό θα πρέπει να λειτουργήσει για:

$$\frac{27,6 L}{26 L/sec} = 1,06 sec \quad (2.20)$$

Η ενέργεια όλων των μηχανημάτων κατά την φάση αυτή υπολογίζεται στον Πίνακας 2.29.

Πίνακας 2.29: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την κοπή της μπανιέρας

Μηχάνημα	Βήμα	Διάρκεια (sec)	Διάρκεια (h)	Ισχύς (W)	Ενέργεια (kWh)
Κινητήρας τροχού	5	284	0,0789	3600	0,284
Τροχός	6	19	0,0053	1700	0,009
Συμπιεστής GA11	-	1,06	0,0003	11000	0,003
				<b>Σύνολο</b>	<b>0,296</b>

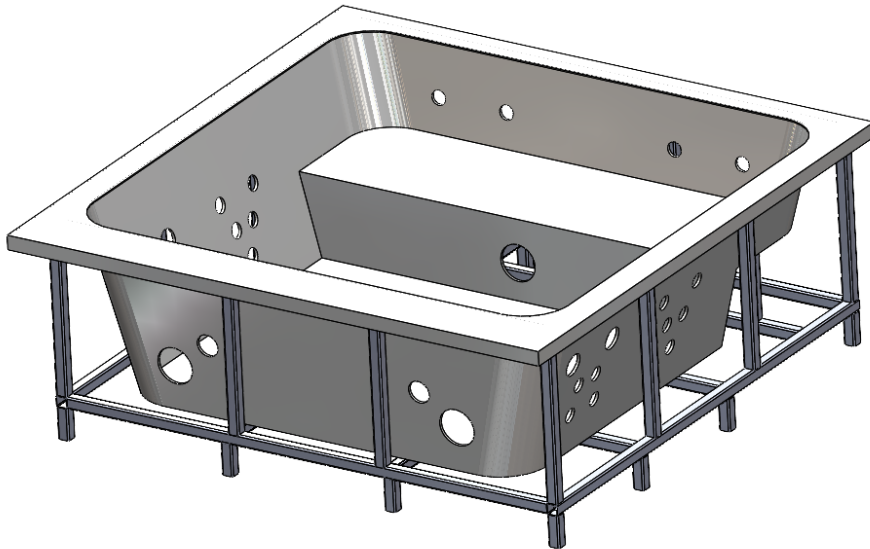
### 2.9.4 Προβλήματα κατά την κοπή της μπανιέρας

1. Βήμα 11: Η μεταφορά της μπανιέρας από το τραπέζι c.1 στο περονοφόρο γίνεται από τους εργαζόμενους. Λόγω του μεγάλου βάρους της μπανιέρας και της βάσης συνήθως απαιτούνται

επτά εργαζόμενοι οι οποίοι απασχολούνται σε άλλα πόστα. Έτσι δημιουργείται νεκρός χρόνος μέχρι να καταφθάσουν οι εργαζόμενοι ενώ επίσης καθυστερούν και οι δικιές τους εργασίες.

## 2.10 Διάτρηση μπανιέρας

Αφού έχουν ολοκληρωθεί όλες οι προηγούμενες παραγωγικές φάσεις δημιουργούνται στην μπανιέρα οι απαραίτητες οπές όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.22 ώστε να συναρμολογηθούν τα εξαρτήματά του υδρομασάζ.



Εικόνα 2.22: Διάτρηση μπανιέρας

### 2.10.1 Εξοπλισμός διάτρησης μπανιέρας

Οι οπές στην μπανιέρα δημιουργούνται με την χρήση ενός δραπεάνου χειρός. Τα χαρακτηριστικά του αναγράφονται στον Πίνακα 2.30.

Πίνακας 2.30: Τεχνικά χαρακτηριστικά δραπεάνου

<b>Δράπανο</b>			
Ισχύς	630 W	Συχνότητα	60 Hz
Τάση	240 V	Στροφές	2800 rpm

### 2.10.2 Βήματα διάτρησης μπανιέρας

Με το δράπανο διανοίγονται οι εξής οπές (αριθμός× διάμετρος):

1. 22 × 50 mm
2. 6 × 76 mm
3. 3 × 127 mm

Η διαδικασία διαρκεί 3600 sec.

### 2.10.3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την διάτρηση της μπιανιέρας

Οι υπολογισμοί για την εύρεση της δαπανώμενης ενέργειας κατά την διάτρηση παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.31.

Πίνακας 2.31: Ενεργειακή κατανάλωση κατά την διάτρηση της μπιανιέρας

Μηχάνημα	Διάρκεια (sec)	Διάρκεια (h)	Ισχύς (W)	Ενέργεια (kWh)
Δράπανο	3600	1	630	0,630

### 2.10.4 Προβλήματα κατά την διάτρηση της μπιανιέρας

Δεν έχουν παρατηρηθεί προβλήματα κατά την διάτρηση της μπιανιέρας.

## 2.11 Κόστος παραγωγής ανά προϊόν

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη, το κόστος παραγωγής μίας μπιανιέρας υδρομασάζ μπορεί να υπολογιστεί από την Εξίσωση 2.21:

$$C_{\pi} = C_{\varepsilon\rho} + C_{\nu\lambda} + C_{\varepsilon\nu} + C_{\theta} \quad (2.21)$$

όπου:

- $C_{\varepsilon\rho}$ : το κόστος των εργαζομένων (€)
- $C_{\nu\lambda}$ : Το κόστος των υλών που χρησιμοποιούνται (€)
- $C_{\varepsilon\nu}$ : Το κόστος της ενέργειας που απαιτείται (€)
- $C_{\theta}$ : Το κόστος του πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του χώρου του ψεκασμού (€)

Στον Πίνακα 2.32 υπολογίζεται το κόστος των εργαζομένων  $C_{\varepsilon\rho}$  για κάθε παραγωγική φάση, το οποίο ανέρχεται στα 186 €. Τα σχετικά δεδομένα, όπως είναι το ωρομίσθιο, δόθηκαν από την επιχείρηση.

Πίνακας 2.32: Κόστος εργαζομένων ανά παραγόμενο προϊόν

Φάση	Κωδικός	Διάρκεια (h)	Αριθμός εργαζομένων	Ωρομίσθιο ανά εργαζόμενο(€)	Σύνολο (€)
Κοπή πρώτης ύλης	ΚΠΥ	0,017	1	5,5	0,09
Φορμάρισμα	ΦΟΡ	0,423	1	5,5	2,33
Ψέκασμα 1ο χέρι	ΨΚ1	3,285	3	5,5	54,20
Ψέκασμα 2ο χέρι	ΨΚ2	5,777	3	5,5	95,33
Κοπή μοριοσανίδας	ΜΟΡ	0,074	1	5,5	0,41
Κοπή μπιανιέρας	ΚΜΠ	0,137	1	5,5	0,75
Κατασκευή Βάσης	ΒΑΣ	5,000	1	5,5	27,50
Διάτρηση μπιανιέρας	ΔΙΑ	1,000	1	5,5	5,50
				<b>Σύνολο</b>	<b>186,10</b>

Το κόστος όλων των υλών  $C_{υλ}$  που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μίας μπανιέρας είναι 419 €. Οι ποσότητες των υλών Οι υπολογισμοί οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.33.

Πίνακας 2.33: Κόστος υλών ανά παραγόμενο προϊόν

	Ποσότητα	Μονάδες	Τιμή μονάδας	Σύνολο
Ακρυλικό φύλλο	1	τμχ	183,14 €	183,14 €
Πολυεστέρας	21,595	kg	3,20 €	69,10 €
Πούδρα	21,595	kg	0,12 €	2,59 €
Πάστα	4,324	kg	8,80 €	38,05 €
Υαλοπίλημα	18,51	kg	2,46 €	45,53 €
Κοιλοδοκοί βάσης	31	τμχ	2,36 €	73,16 €
Μοριοσανίδα	1,4175	m <sup>2</sup>	5,25 €	7,44 €
<b>Κόστος ανά μπανιέρα</b>				<b>419,02 €</b>

Αθροίζοντας τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις όλων των παραγωγικών φάσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως προκύπτει ότι για την παραγωγή μίας μπανιέρας απαιτούνται 23,06 kWh (Πίνακας 2.34), με την πλέον ενεργοβόρα φάση να είναι το φορμάρισμα. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί στην ενεργό ισχύ  $P$ . Ωστόσο όπως αναφέρθηκε στην [ενότητα 1.4.1](#) η πραγματική ενέργεια που καταναλώνεται, δηλαδή η φαινόμενη ισχύς  $S$ , εξαρτάται από τον συντελεστή ισχύος του εργοστασίου, ο οποίος είναι 0,933. Με βάση τα δεδομένα αυτά για την παραγωγή μίας μπανιέρας απαιτείται η εξής ηλεκτρική ενέργεια:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{23,063 \text{ kWh}}{0,933} = 24,719 \text{ kWh} \quad (2.22)$$

Κατά την χρονική περίοδο της σύνταξης της παρούσας εργασίας (Ιανουάριος-Οκτώβριος 2023) το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι 0,80469 €/kWh [5]. Επομένως το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

$$C_{εν} = 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 24,719 \text{ kWh} = 19,89 \text{ €} \quad (2.23)$$

Πίνακας 2.34: Ηλεκτρική κατανάλωση παραγωγικών φάσεων

Φάση	Ενέργεια (kWh)
ΚΠΥ	0,108
ΦΟΡ	15,417
ΜΟΡ	0,100
ΒΑΣ	6,513
ΚΜΠ	0,296
ΤΡΥ	0,630
<b>Σύνολο:</b>	<b>23,063</b>

Το κόστος του πετρελαίου  $C_\theta$  εκτιμήθηκε πολλαπλασιάζοντας τα λίτρα που καταναλώνονται με την τιμή ανά λίτρο την περίοδο συγγραφής της εργασίας, η οποία είναι 0,889 €/L [6]:

$$C_\theta = 1,94 L \cdot 0,889 \frac{\text{€}}{L} = 1,725 \text{ €} \quad (2.24)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στην Εξίσωση 2.21 προκύπτει ότι το κόστος παραγωγής μίας μπανιέρας ανέρχεται σε:

$$C_\pi = 186,103 + 419,02 + 19,89 + 1,725 = 626,74 \text{ €} \approx 627 \text{ €} \quad (2.25)$$

## 2.12 Σύνοψη

Η μοντελοποίηση της παραγωγής ενός προϊόντος αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία στην οποία εμπλέκονται πολλαπλά δεδομένα και μεταβλητές. Προκειμένου να μελετηθούν και να εντοπιστούν ευκαιρίες βελτίωσης, θα πρέπει για κάθε παραγωγική φάση να αποτυπώνονται με περιεκτικό αλλά και εύληπτο τρόπο όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με τις εισροές, τις εκροές, τους χρόνους, τα βήματα, τον εξοπλισμό αλλά και την ενέργεια που χρησιμοποιείται. Αναγκαία είναι και η οπτική αναπαράστασή με την συνοδεία εικόνων, σχεδίων και διαγραμμάτων έτσι ώστε να διευκολύνεται ο αναγνώστης και να επιταχύνεται η διαδικασία λήψης και διαχείρισης των δεδομένων.

Με βάση τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε η μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας μίας ακρυλικής μπανιέρας υδρομασάζ, σύμφωνα με την οποία μπορούν πλέον να αναζητηθούν και να αξιολογηθούν πιθανοί τρόποι βελτίωσής της. Σύμφωνα με την τρέχουσα κατάσταση ο χρόνος παραγωγής ενός προϊόντος είναι 42891 sec, με το κόστος να ανέρχεται στα 627 €. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 24,719 kWh ενώ επίσης καταναλώνονται 1,94 λίτρα πετρελαίου.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται προτάσεις που αποσκοπούν τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο και στην γενικότερη βελτίωση της διαδικασίας, με βάση τις μεθόδους που αναλύθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο.

## 2.13 Βιβλιογραφία

- [1] Çengel, Y., and Ghajar, A.J. (2018), ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 5<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- [2] Elger, D.F., Williams, B.C., Crowe, C.T., and Robertson, J.A. (2018), Μηχανική ρευστών για μηχανικούς, 12<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- [3] Καστρινάκης, Ε.Γ. (1999), ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- [4] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, (2023), «Κλιματικό δελτίο Ιανουαρίου 2018 – Δεκεμβρίου 2022», Ανακτήθηκε στις 17-06-2023 από <http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology>
- [5] Τιμολόγιο κοστολόγησης εταιρίας,
- [6] Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας (2023), «Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων», Δελτία Επισκόπησης Τιμών Καυσίμων, Ανακτήθηκε στις 22-06-2023 από [http://www.fuelprices.gr/deltia\\_dn.view](http://www.fuelprices.gr/deltia_dn.view)

# Κεφάλαιο 3

## Βελτιωτικές προτάσεις

### Περιεχόμενα κεφαλαίου

---

3.1 Εισαγωγή.....	87
3.2 Φούρνος ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος.....	88
3.2.1 Κατηγορίες αντιστάσεων .....	89
3.2.3 Επιλογή είδους αντιστάσεων .....	92
3.3 Νέα ιδιοκατασκευή φορμαρίσματος .....	94
3.4 Βελτιώσεις στον ψεκασμό .....	98
3.5 Εξοικονόμηση χρόνου με εναλλακτική βάση.....	99
3.6 Αξιολόγηση εναλλακτικής μεθόδου κοπής μοριοσανίδας.....	102
3.7 Φωτισμός.....	103
3.7.1 Λάμπες φθορισμού.....	104
3.7.2 Λάμπες LED.....	106
3.8 Εγκατάσταση μετρητών κατανάλωσης.....	107
3.9 Σύνοψη.....	107
3.10 Βιβλιογραφία .....	108

### 3.1 Εισαγωγή

Μέσα από την μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας της ακρυλικής μπανιέρας που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο μπορούν να εντοπιστούν οι βασικότερες πηγές κατανάλωσης ενέργειας και κάποια καίρια προβλήματα που δυσχεραίνουν την ομαλή λειτουργία του εργοστασίου και των εργαζομένων.

Στο κεφάλαιο αυτό αποτυπώνεται μία σειρά από προτάσεις, με σκοπό τόσο την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ενέργειας κατά την παραγωγική διαδικασία όσο και την γενικότερη βελτίωση των διαδικασιών αυτών. Οι προτάσεις συνοδεύονται από τα αντίστοιχα σχέδια, όπου αυτά είναι απαραίτητα, ενώ επίσης εκτιμάται το όφελος που προκύπτει με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα.

### 3.2 Φούρνος ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος

Ένα από τα πιο κρίσιμα και ενεργοβόρα στάδια της διαμόρφωσης σε κενό είναι η θέρμανση του ακρυλικού φύλλου, όπως παρουσιάστηκε και στον Πίνακα 2.34 της [ενότητας 2.11](#). Η βελτίωση της διαδικασίας στην φάση αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς από αυτή εξαρτάται ο χρόνος παραγωγής της μπανιέρας, αλλά και το κόστος παραγωγής ανάλογα με την απαιτούμενη ενέργεια. Επιπλέον, αστοχίες κατά την θέρμανση μπορεί να οδηγήσουν σε αλλοίωση της επιφάνειας του φύλλου ή και στην ολοκληρωτική του καταστροφή, προβλήματα τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και την σημαντική οικονομική επιβάρυνση λόγω του υψηλού κόστους της πρώτης ύλης (183,14 €/φύλλο) [1].

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις αποτελούν τα συνηθέστερα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία κατά την θέρμανση των ακρυλικών φύλλων [2]. Αυτή επιτυγχάνεται με την εκπομπή υπέρυθρων ακτινών οι οποίες απορροφώνται από την επιφάνεια του φύλλου [3, 4]. Οι βασικότερες παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η θέρμανση με την μέθοδο αυτή είναι το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το φύλλο, οι διαστάσεις του, το χρώμα του, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και το μέγεθος του φούρνου με τις αντιστάσεις [1].

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα βάσει των οποίων οι αντιστάσεις υπερισχύουν έναντι των παραδοσιακών μεθόδων θέρμανσης είναι τα εξής:

1. Χαμηλό κόστος λειτουργίας και αγοράς [2].
2. Σύντομο χρονικό διάστημα προθέρμανσης των αντιστάσεων [5].
3. Οι υπέρυθρες ακτίνες θερμαίνουν απευθείας τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται στο πεδίο των αντιστάσεων. Δεν απαιτείται θέρμανση και μεταφορά κάποιου άλλου μέσου, που στις περισσότερες παραδοσιακές μεθόδους είναι ο αέρας. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και η διαδικασία είναι ενεργειακά αποδοτικότερη [3].
4. Ο χώρος εντός του οποίου πραγματοποιείται η θέρμανση διατηρείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος καθώς ο φούρνος με τις αντιστάσεις θερμαίνει μόνο το ακρυλικό φύλλο. Διασφαλίζεται έτσι η καλύτερη λειτουργία και η μειωμένη φθορά του εξοπλισμού, καθώς και η λιγότερη δυνατή δυσφορία των εργαζομένων [5].
5. Οι αντιστάσεις προσφέρουν ευελιξία στην διαδικασία της θέρμανσης. Με την χρήση μέσων αντανάκλασης (συνήθως φύλλα αλουμινίου) γίνεται δυνατή η συγκέντρωση ή η διάχυση των υπέρυθρων ακτινών σε όποια σημεία της επιφάνειας του φύλλου κρίνεται απαραίτητο [3].

Βασικότερο μειονέκτημα της χρήσης αντιστάσεων αποτελεί η έλλειψη βιβλιογραφίας σχετικά με την μοντελοποίηση της διαδικασίας και τον αυτοματισμό της [1]. Ο μόνος τρόπος επίτευξης αυτών των στόχων αναδείχθηκε σε πειράματα [1,6,7,8,9] στα οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και μία σειρά από αισθητήρες και όργανα μέτρησης (κυρίως θερμογράφοι). Επομένως, σε μονάδες οι οποίες δεν διαθέτουν αυτά τα μέσα, η διεξαγωγή της θερμικής διαμόρφωσης και ο καθορισμός όλων των σχετικών παραμέτρων εξαρτάται αποκλειστικά από την εμπειρία και την



κρίση του εκάστοτε εργαζομένου [10]. Έτσι αυξάνεται η πιθανότητα της μη βέλτιστης διαχείρισης της ενέργειας, του χρόνου και του εξοπλισμού [11].

### 3.2.1 Κατηγορίες αντιστάσεων

Μία αντίσταση αποτελείται από ένα σύρμα το οποίο τοποθετείται στο εσωτερικό ενός σωλήνα. Το υλικό του σύρματος, το υλικό του σωλήνα καθώς και η ύπαρξη ή μη αερίου στον σωλήνα καθορίζουν το μήκος κύματος που εκπέμπουν οι αντιστάσεις [12], ανάλογα με το οποίο διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες [5]:

1. Αντιστάσεις μικρού κύματος (έως 1,2 μm).
2. Αντιστάσεις μεσαίου κύματος (έως 2,2 μm).
3. Αντιστάσεις υψηλού κύματος (έως 4 μm).

#### Αντιστάσεις μικρού κύματος

Οι αντιστάσεις μικρού κύματος αποτελούνται από ένα σύρμα βολφραμίου, εγκλεισμένο σε έναν σωλήνα χαλαζία. Στο εσωτερικό του σωλήνα εμπεριέχεται αλογόνο [4].

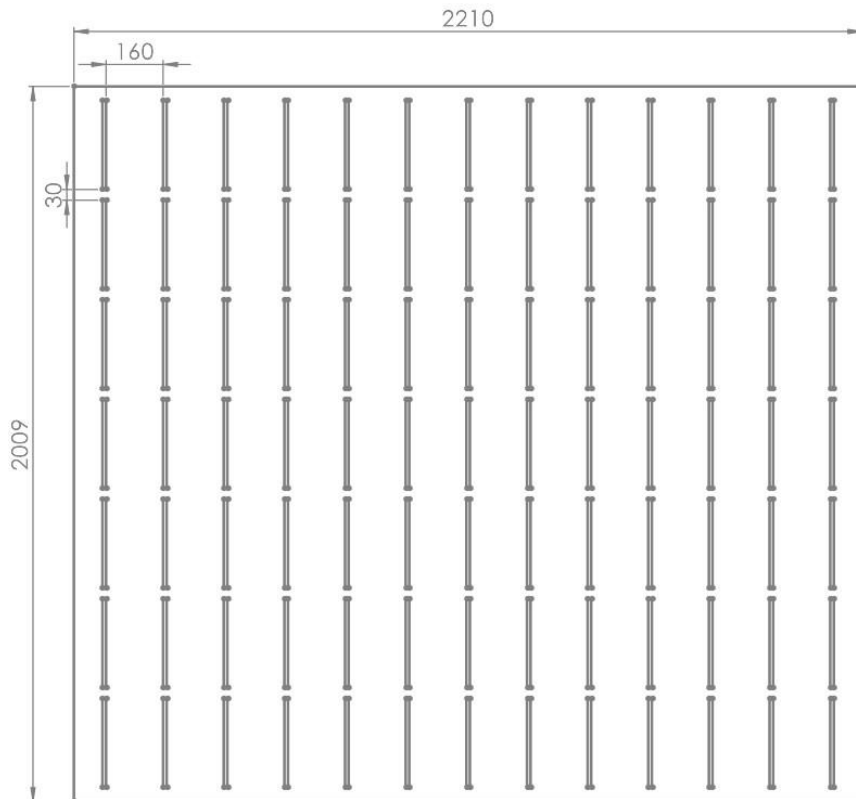
Έχουν πολύ υψηλή απόδοση (μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε ακτινοβολία) η οποία κυμαίνεται στο 90% [7], ενώ απαιτείται ελάχιστος χρόνος για την εκπομπή της μέγιστης δυνατής ακτινοβολίας [2]. Ενδείκνυνται επομένως για διαδικασίες που απαιτούν συχνές παύσεις [4].

Οι αντιστάσεις αυτού του τύπου είναι εξαιρετικά δυνατές, με τις θερμοκρασίες λειτουργίας τους να κυμαίνονται μεταξύ 1000°C και 2300°C [12]. Η ακτινοβολία, και κατά συνέπεια η θερμότητα, δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του φύλλου [7], ωστόσο έχει την δυνατότητα να την διαπερνά και να διεισδύει σε βάθος [4]. Θα πρέπει ωστόσο να δοθεί μεγάλη προσοχή καθώς οι ισχυρές αυτές αντιστάσεις μπορούν να υπερθερμάνουν επιφανειακά το φύλλο και να το καταστρέψουν [4].

Τα χαρακτηριστικά μιας τυπικής αντίστασης αλογόνου του εμπορίου δίνονται στον Πίνακα 3.1 [13]. Για την θέρμανση του φύλλου διαστάσεων 2x2 m απαιτείται μία διάταξη 91 αντιστάσεων (Εικόνα 3.1) με συνολική ισχύ  $91 \times 1000 \text{ W} = 91 \text{ kW}$ .

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντίστασης αλογόνου [13]

Αντίσταση αλογόνου	
Μήκος	277 mm
Διάμετρος	10 mm
Θερμοκρασία	1000°C
Ισχύς	1000 W



Εικόνα 3.1: Διάταξη αντιστάσεων αλογόνου

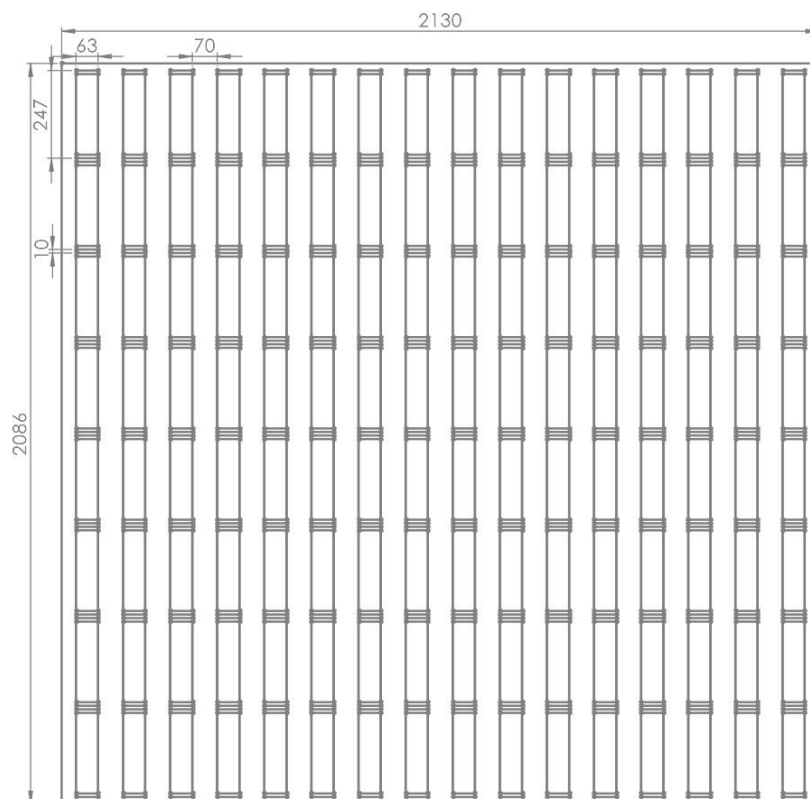
### Αντιστάσεις μεσαίου κύματος

Οι αντιστάσεις μεσαίου κύματος κατασκευάζονται και αυτές από έναν σωλήνα χαλαζία στον οποίο εμπεριέχεται ένα σύρμα από κράμα (συνήθως σιδήρου, χρωμίου και αλουμινίου) [12]. Η απόδοσή τους βρίσκεται κοντά στο 60%, με τον χρόνο απόκρισής τους να είναι σύντομος, συνήθως μεταξύ 30 sec και 60 sec. Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 500°C και 900°C [12]. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τον προηγούμενο τύπο αντιστάσεων επιτρέπουν την πιο ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας σε όλο τον όγκο του ακρυλικού [4].

Ένα τυπικό ένθετο αντιστάσεων χαλαζία έχει τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον Πίνακα 3.2 [14]. Η σχετική διάταξη (Εικόνα 3.2) αποτελείται από 128 ένθετα με συνολική ισχύ  $128 \times 150 \text{ W} = 19,2 \text{ kW}$ .

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστάσεων χαλαζία [14]

Ένθετο αντιστάσεων χαλαζία	
Μήκος	247 mm
Πλάτος	62.5 mm
Παραγόμενη θερμότητα	343°C
Ισχύς	150 W



Εικόνα 3.2: Διάταξη αντιστάσεων χαλαζία

### Αντιστάσεις υψηλού κύματος

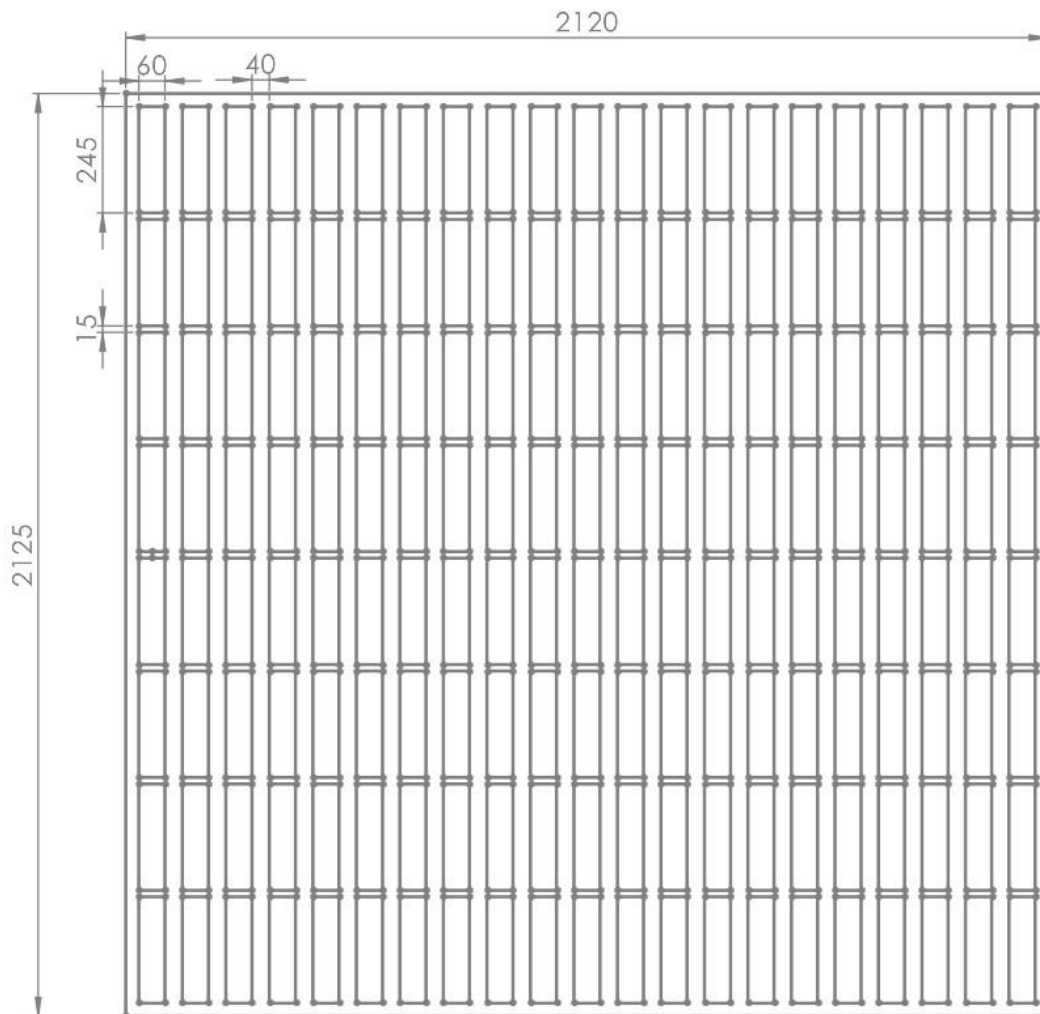
Οι αντιστάσεις υψηλού κύματος συναντώνται συχνότερα στην βιομηχανία σε σχέση με τους προηγούμενους τύπους [15]. Αποτελούνται από ένα σύρμα το οποίο λειτουργεί ως ωμική αντίσταση και ένα περίβλημα από μεταλλικό ή κεραμικό υλικό στο οποίο εμπεριέχεται πηλός [4]. Η απόδοση τους είναι χαμηλή (περίπου 40%) ενώ απαιτείται ένα μεγάλο διάστημα προθέρμανσης το οποίο ξεπερνά τα 300 sec. Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται από 200°C έως 500°C [12]. Οι αντιστάσεις αυτού του τύπου προσφέρουν την καλύτερη δυνατή κατανομή της θερμότητας στο ακρυλικό φύλλο [4].

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 στην παραγωγική μονάδα χρησιμοποιούνται 31 αντιστάσεις με μεταλλικό περίβλημα συνολικής ισχύος 35,9 kW με θερμοκρασία λειτουργίας 180°C.

Τα χαρακτηριστικά μίας τυπικής κεραμικής αντίστασης του εμπορίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3 [16]. Η απαιτούμενη διάταξη (Εικόνα 3.3) απαρτίζεται από 168 κεραμικά πλακίδια με συνολική ισχύ  $168 \times 150 \text{ W} = 25,2 \text{ kW}$ .

Πίνακας 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραμικών αντιστάσεων [16]

Κεραμική αντίσταση	
Μήκος	245 mm
Πλάτος	60 mm
Θερμοκρασία	272 °C
Ισχύς	150 W



Εικόνα 3.3: Διάταξη κεραμικών αντιστάσεων

### 3.2.3 Επιλογή είδους αντιστάσεων

Τα χαρακτηριστικά των αντιστάσεων που εντοπίστηκαν κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση συνοψίζονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4: Σύγκριση αντιστάσεων [7, 12]

	<b>Αντιστάσεις μικρού κύματος</b>	<b>Αντιστάσεις μεσαίου κύματος</b>	<b>Αντιστάσεις υψηλού κύματος</b>
Απόδοση	90%	60%	40%
Θερμοκρασιακό εύρος	1000 - 2300°C	500 - 900°C	200 - 500°C
Χρόνος προθέρμανσης	1 sec	30 - 60 sec	300 sec
Συνολική Ισχύς	1000 W	19,2 kW	25,2 kW

Η εναλλακτική των αντιστάσεων μικρού κύματος απορρίπτονται λόγω της εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας που εκπέμπουν. Η χρήση τους θα οδηγούσε στον αποχρωματισμό του φύλλου, στο κάψιμο του αλλά και στην δημιουργία σημαντικής διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στην πάνω και στην κάτω επιφάνειά του.

Ανάμεσα στις υπόλοιπες δύο επιλογές σαφές προβάδισμα αποκτούν οι αντιστάσεις μεσαίου κύματος καθώς υπερτερούν σε όλα τα χαρακτηριστικά έναντι των αντιστάσεων υψηλού κύματος. Ωστόσο λόγω της υψηλής τους έντασης θα πρέπει να τοποθετηθούν σε μεγαλύτερη απόσταση από το φύλλο έτσι ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η κατανάλωση των αντιστάσεων που είναι εγκατεστημένες στον φούρνο του φορμαρίσματος είναι 35,9 kW, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.4 της ενότητας 2.5.3. Η συνολική ισχύς της διάταξης αντιστάσεων μεσαίου κύματος είναι 19,2 kW, όπως αναγράφεται στον Πίνακα 3.4. Επομένως το ελάχιστο ποσοστό εξοικονόμησης για το φορμάρισμα από την αντικατάστασή των αντιστάσεων του φούρνου με αντιστάσεις μεσαίου κύματος είναι:

$$\frac{35,9 \text{ kW} - 19,2 \text{ kW}}{35,9 \text{ kW}} \cdot 100 = 46,52\% \quad (3.1)$$

Η διάρκεια της θέρμανσης κατά το φορμάρισμα είναι 1522 sec όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 2.5.3. Επομένως η ενέργεια που απαιτείται με την χρήση αντιστάσεων μεσαίου κύματος είναι:

$$\frac{1522}{3600} \text{ h} \cdot 19,2 \text{ kW} = 8,12 \text{ kWh} \quad (3.2)$$

Στον Πίνακα 2.34 της ενότητας 2.11 υπολογίστηκε η συνολική ενεργειακή κατανάλωση τόσο του φορμαρίσματος όσο και όλων των παραγωγικών φάσεων, οι οποίες είναι 23,63 kWh και 15,417 kWh αντίστοιχα . Με τις αντιστάσεις μεσαίου κύματος το ποσό αυτό γίνεται:

$$23,63 \text{ kWh} - 15,417 \text{ kWh} + 8,12 \text{ kWh} = 16,33 \text{ kWh} \quad (3.3)$$

Με βάση τα παραπάνω, το ποσοστό εξοικονόμησης της συνολικής ενέργειας είναι:

$$\frac{23,63 \text{ kWh} - 16,33 \text{ kWh}}{23,63 \text{ kWh}} \cdot 100 = 30 \% \quad (3.4)$$

Το ποσοστό αυτό εκτιμάται ότι στην πραγματικότητα μπορεί να αυξηθεί καθώς λόγω της υψηλότερης ακτινοβολίας που εκπέμπουν θα μειωθεί η διάρκεια θέρμανσης του φύλλου.

### 3.3 Νέα ιδιοκατασκευή φορμαρίσματος

Όπως αναφέρθηκε στην [ενότητα 2.11](#), η φάση του φορμαρίσματος αποτελεί την πιο ενεργοβόρα φάση της παραγωγικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, με βάση τον Πίνακα 2.34, στο φορμάρισμα καταναλώνονται οι 15,42 kW από τις 23,06 kW όλης της διαδικασίας. Επομένως δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην βελτίωση της φάσης αυτής, για την οποία σχεδιάστηκε μια νέα ιδιοκατασκευή (Εικόνα 3.4).

Τα μέρη της παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5 και είναι τα εξής:

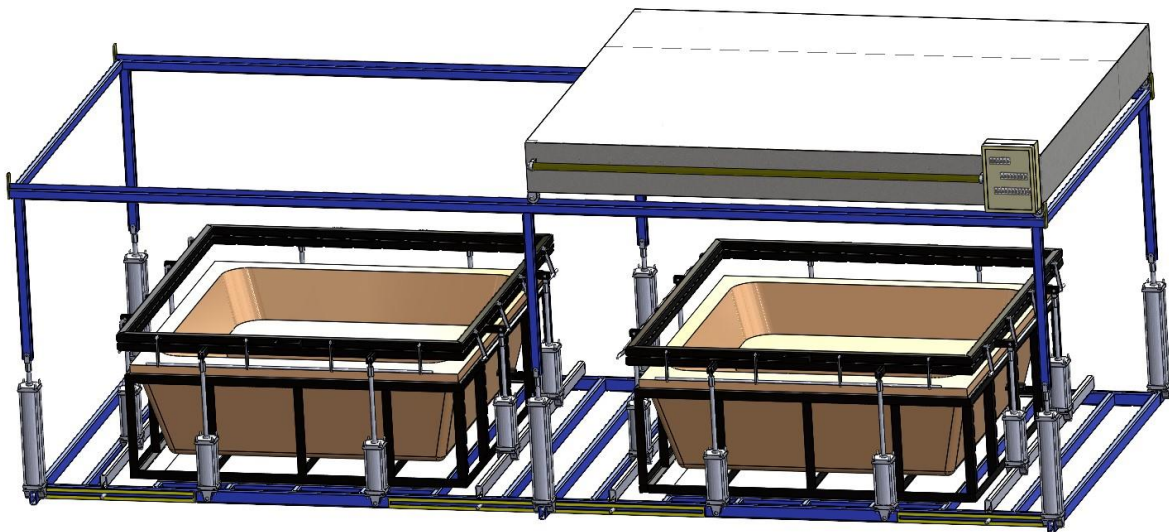
v.1 Φούρνος

v.2 Σκελετός φούρνου

Ο σκελετός αυτός δίνει την δυνατότητα στον φούρνο v.1 να κυλήσει από το ένα καλούπι στο άλλο.

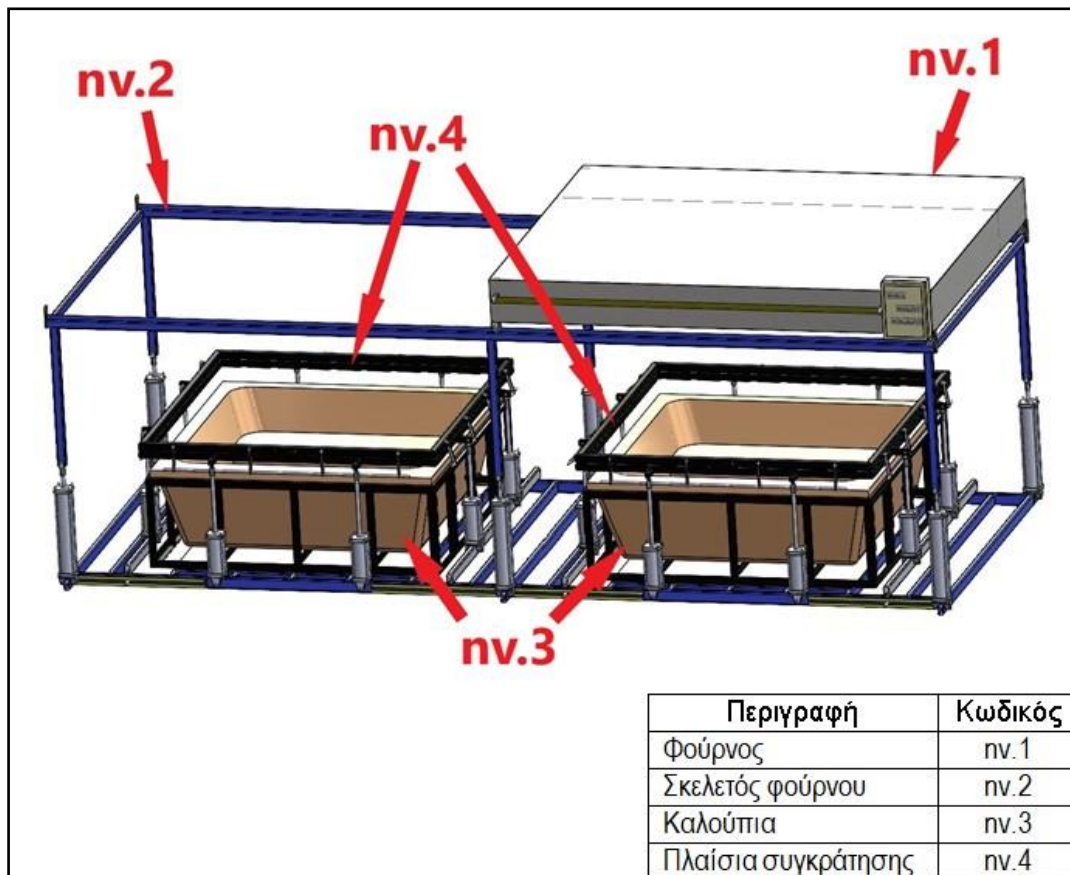
v.3 Καλούπια

v.4 Πλαίσια συγκράτησης



Εικόνα 3.4: Νέα ιδιοκατασκευή φορμαρίσματος

Η νέα ιδιοκατασκευή δίνει λύσεις σε πολλά από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.5.4, ενώ εξασφαλίζει παράλληλα την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 3.5: Μέρη νέας ιδιοκατασκευής φορμαρίσματος

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αναφέρθηκαν είναι η συνεχής λειτουργία του φούρνου καθ' όλη την διάρκεια του φορμαρίσματος με σκοπό την διατήρηση της απόδοσης των αντιστάσεων, ενώ είναι απαραίτητος μόνο για την θέρμανση του ακρυλικού φύλλου. Ο επιπλέον χρόνος που παραμένει ενεργός είναι 622 sec με την σπαταλούμενη ενέργεια να είναι 6,2 kWh ανά φύλλο, όπως υπολογίστηκε από την Εξίσωση 2.16 στην ενότητα 2.5.4.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού η νέα ιδιοκατασκευή σχεδιάστηκε ώστε να διαθέτει δύο καλούπια nv.3. Μετά την θέρμανση του φύλλου στο πρώτο καλούπι, ο φούρνος nv.1 μπορεί να κυλίσει πάνω από το δεύτερο καλούπι και να θερμάνει ένα δεύτερο φύλλο ταυτόχρονα με το φορμάρισμα του πρώτου. Έτσι ο φούρνος δεν απενεργοποιείται, οι αντιστάσεις διατηρούν την απόδοσή τους, αξιοποιείται όλη η καταναλισκόμενη ενέργεια και αυξάνεται η παραγωγικότητα.

Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται κατά το φορμάρισμα υπολογίστηκε στον Πίνακα 2.9 και είναι 15,178 kWh. Επομένως με την χρήση της νέας ιδιοκατασκευής όπου εξοικονομούνται 6,2 kWh, η ενέργεια που καταναλώνεται είναι:

$$15,178 \text{ kWh} - 6,2 \text{ kWh} = 8,978 \text{ kWh} \quad (3.5)$$

Το αντίστοιχο ποσοστό της εξοικονομούμενης ενέργειας για το φορμάρισμα είναι:

$$\frac{6,2 \text{ kWh}}{15,178 \text{ kWh}} \cdot 100 = 40,87\% \quad (3.6)$$

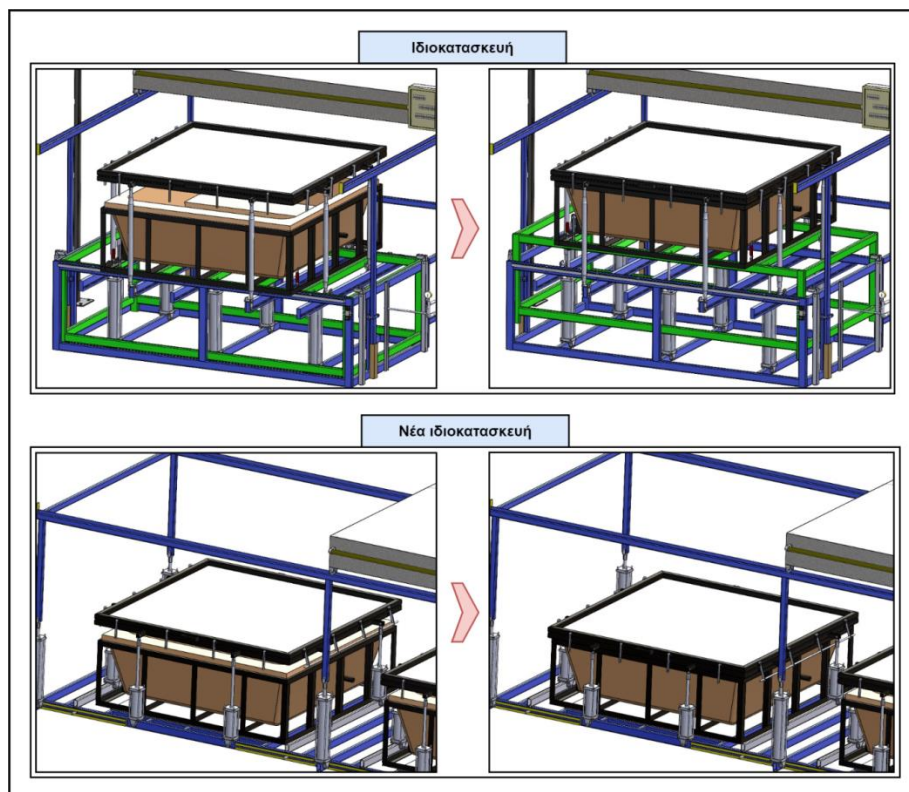
Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση όλων των παραγωγικών φάσεων είναι 23,63 kWh (Πίνακας 2.34). Επομένως το ποσοστό εξοικονόμησης της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας είναι:

$$\frac{6,2 \text{ kWh}}{23,63 \text{ kWh}} \cdot 100 = 26,24\% \quad (3.7)$$

Το νέο διάγραμμα ροής του φορμαρίσματος δύο διαδοχικών φύλλων απεικονίζεται στο

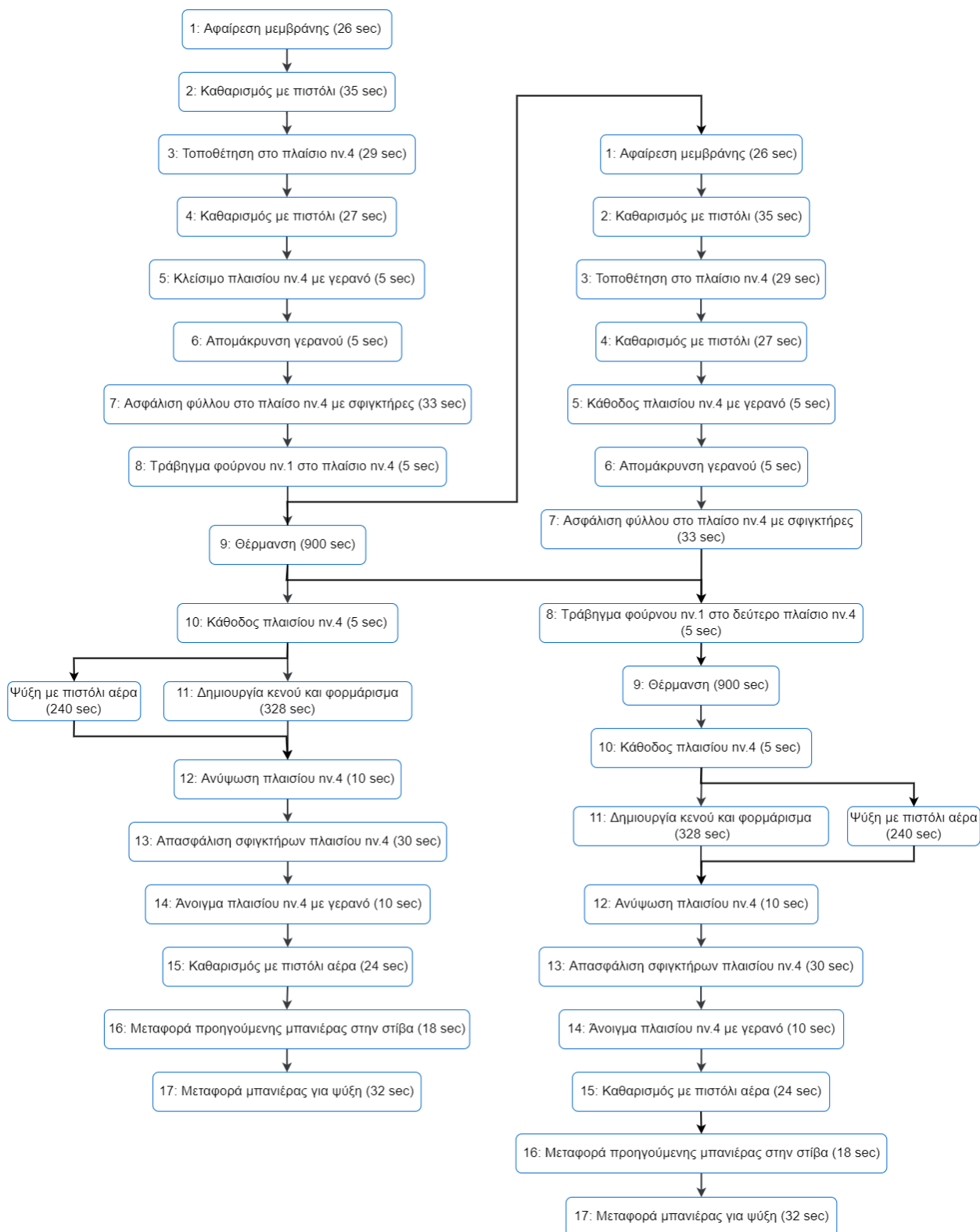
Σχεδιάγραμμα 3.1.

Επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με την απευθείας σύνδεση εμβόλων με τα πλαίσια συγκράτησης ν.4. Το βήμα 10 στην τρέχουσα ιδιοκατασκευή απαιτεί την ανύψωση του εσωτερικού σκελετού ν.2 και του καλουπιού ν.3 μέχρι να έρθει σε επαφή με το φύλλο στο σταθερό πλαίσιο συγκράτησης ν.4. Στην νέα ιδιοσυσκευή το καλούπι ν.3 παραμένει σταθερό, με τα έμβολα να χρησιμοποιούνται ώστε να κατεβάσουν το πλαίσιο συγκράτησης ν.4. Το βάρος του πλαισίου συγκράτησης ν.4 και του φύλλου είναι αμελητέο σε σύγκριση με το βάρος του εσωτερικού σκελετού ν.2 και του καλουπιού ν.3. Επομένως, στην νέα ιδιοκατασκευή ο συμπιεστής καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια ώστε να φέρει τα δύο μέρη σε επαφή. Η διαφορά στην λειτουργία των εμβόλων στις ιδιοκατασκευές αποτυπώνεται στην Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6: Διαφορά λειτουργίας εμβόλων στις δύο ιδιοκατασκευές





Σχεδιάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής βημάτων φορμαρίσματος με νέα ιδιοκατασκευή

Η νέα ιδιοκατασκευή συμβάλει επίσης στην ομαλότερη και ασφαλέστερη διεξαγωγή της φάσης του φορμαρίσματος.

Αρχικά, το ύψος του καλουπιών nv.3 και των πλαισίων συγκράτησης nv.4 είναι πολύ χαμηλότερο σε σύγκριση με την τρέχουσα ιδιοκατασκευή, καθώς δεν υπάρχουν έμβολα και εσωτερικοί σκελετοί κάτω από κάθε καλούπι. Έτσι δεν απαιτείται από τον εργαζόμενο να χρησιμοποιήσει σκάλες ή άλλα μέσα ώστε να φτάσει στο απαραίτητο ύψος, καθώς μπορεί να φτάσει όλα τα λειτουργικά μέρη από το έδαφος.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.5.4, βασική πηγή κινδύνου στην τρέχουσα ιδιοκατασκευή αποτελεί η πιθανή πτώση του φούρνου καθώς ο σκελετός του στηρίζεται σε ξύλα και άλλα αντικείμενα. Στην νέα ιδιοκατασκευή δεν υπάρχει αυτός ο κίνδυνος καθώς ο σκελετός φούρνου nv.2 είναι συνδεδεμένος με έξι έμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση του ύψους.

### **3.4 Βελτιώσεις στον ψεκασμό**

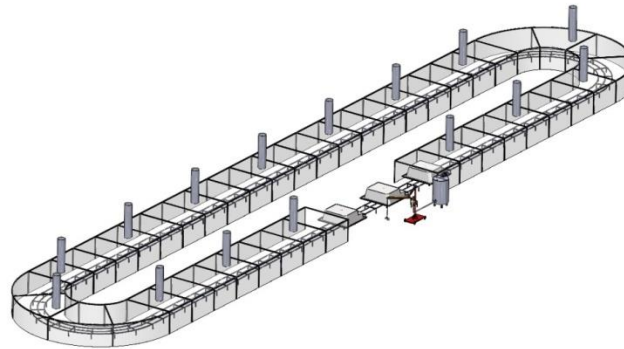
Ο χώρος εντός του οποίου πραγματοποιείται ο ψεκασμός έχει διαστάσεις (Μ×Π×Υ) 44.7×10×7 m, με τον αντίστοιχο όγκο να είναι 3129 m<sup>3</sup>. Για την θέρμανση του χώρου αυτού χρησιμοποιείται ένας αερολέβητας πετρελαίου και αεραγωγοί ώστε να διατηρούν την θερμοκρασία του χώρου στους 20-22°C. Υπολογίστηκε πως ο καυστήρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 48,57 L πετρελαίου στο οκτάωρο. Ο εξαιρετικά μεγάλος όγκος του χώρου καθώς και η ύπαρξη απωλειών από πολυάριθμες εισόδους και παράθυρα καθιστούν δύσκολη και ενεργοβόρα την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας. Επιπλέον, ο θερμός αέρας δεν κατανέμεται ομοιόμορφα και συνεπώς παρατηρείται υψηλή αβεβαιότητα στον εντοπισμό της πραγματικής θερμοκρασίας του χώρου.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν σχεδιάστηκε ένας νέος θάλαμος (Εικόνα 3.7), ο οποίος περιβάλλει όλο τον διάδρομο στον οποίο κινούνται οι μπανιέρες. Αποτελείται από έναν μεταλλικό σκελετό στον οποίο συγκρατείται ένα πανί πολυαιθυλενίου και από αεραγωγούς που διαχέουν τον θερμό αέρα στο εσωτερικό του. Το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται ευρέως σε διατάξεις θερμοκηπίων καθώς αποτελεί ένα εξαιρετικό μονωτικό υλικό [17]. Με το νέο θάλαμο επομένως δημιουργείται ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, με ομαλότερη κατανομή θερμότητας σε όλο το μήκος του, μειωμένες απώλειες και κατά συνέπεια μικρότερη απαίτηση σε ενέργεια.

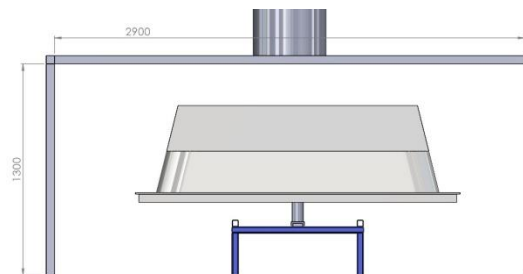
Η δαπανώμενη ενέργεια μειώνεται περαιτέρω λόγω του σημαντικά μικρότερου χώρου που καταλαμβάνει ο νέος θάλαμος. Η διαστασιολογημένη διατομή ενός μέρους του παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.8. Ο όγκος εσωτερικά του θαλάμου είναι 400.331 m<sup>3</sup>. Συγκρίνοντας τον με τον όγκο όλου του χώρου στον οποίο γίνεται ο ψεκασμός προκύπτει ότι ο αερολέβητας θα κληθεί να θερμάνει έναν όγκο μικρότερο κατά 87,21%.

Επιπλέον, εκτός της μειωμένης απαίτησης σε ενέργεια εκτιμάται ότι ο νέος θάλαμος, λόγω της ομοιόμορφης και ελεγχόμενης θερμοκρασίας, θα επιταχύνει την σκλήρυνση των χημικών και του

υαλοπιλήματος κατά τα τελευταία βήματα του πρώτου και του δεύτερου ψεκασμού. Τα βήματα αυτά διαρκούν 10800 sec και 18000 sec αντίστοιχα.



Εικόνα 3.7: Νέος θάλαμος θέρμανσης



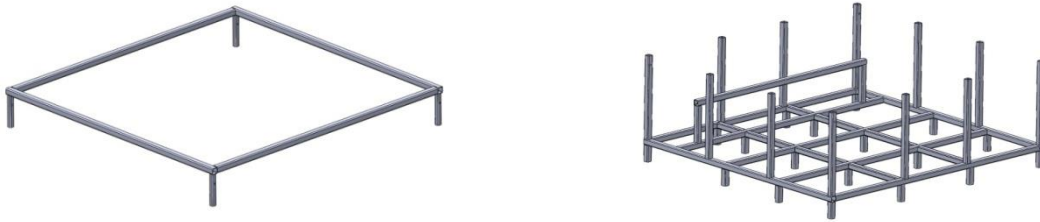
Εικόνα 3.8: Διατομή νέου θαλάμου θέρμανσης σε mm

### 3.5 Εξοικονόμηση χρόνου με εναλλακτική βάση

Όπως γίνεται εμφανές από το διάγραμμα Gantt της παραγωγικής διαδικασίας που παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.3 της [ενότητας 2.3](#), το μεγαλύτερο διάστημα νεκρού χρόνου συναντάται ανάμεσα στον πρώτο και στον δεύτερο ψεκασμό και διαρκεί  $18000 - 13407 = 4593$  sec, δηλαδή περίπου 77 min. Κατά τον δεύτερο ψεκασμό η μεταλλική βάση τοποθετείται και ενώνεται με το ακρυλικό κέλυφος με την χρήση υαλοπιλήματος και χημικών. Επομένως, προκειμένου να ξεκινήσει η φάση αυτή θα πρέπει πρώτα να έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της μεταλλικής βάσης, δημιουργώντας έτσι τον ανάλογο νεκρό χρόνο.

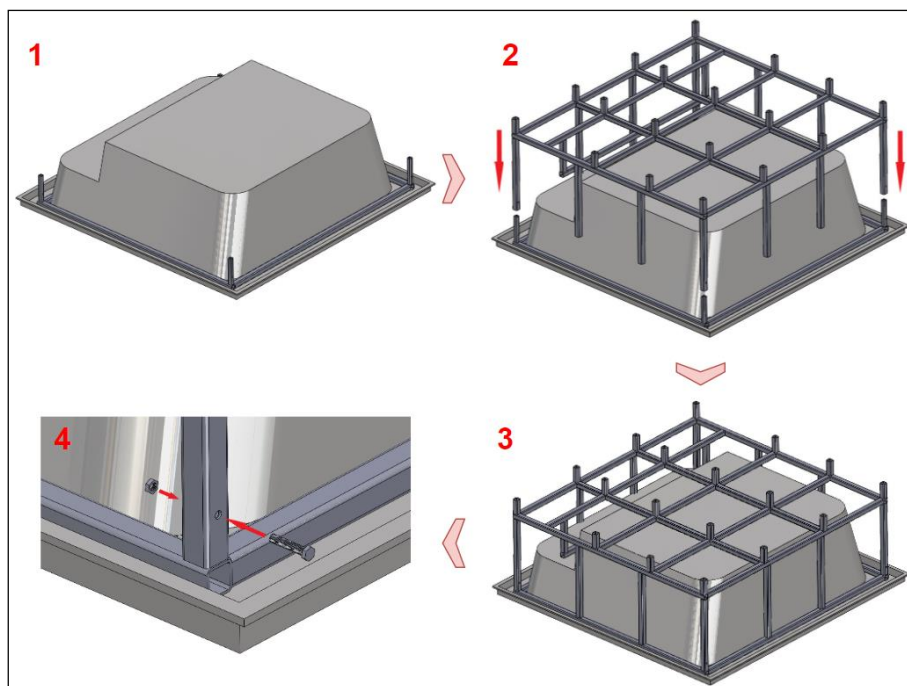
Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με κάποιες εύκολες τροποποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία. Συγκεκριμένα, προτείνεται ο διαχωρισμός της μεταλλικής βάσης σε δύο επιμέρους κομμάτια (Εικόνα 3.9). Το πάνω κομμάτι είναι αυτό το οποίο έρχεται σε επαφή και ενώνεται με το ακρυλικό κέλυφος κατά τον ψεκασμό. Διαθέτει τέσσερις κάθετους κοιλοδοκούς, οι οποίοι συγκολλούνται στις τέσσερις γωνίες του πλαισίου και φέρουν οπές. Οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από την τυποποίηση  $40 \times 40 \times 2$  mm που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στο εσωτερικό των τεσσάρων κοιλοδοκών του κάτω μέρους της βάσης, οι οποίοι φέρουν επίσης οπές.

Θεωρείται δεδομένο ότι η κατασκευή του πάνω μέρους της βάσης μπορεί να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του πρώτου ψεκασμού, λόγω της απλής γεωμετρίας και του εξαιρετικά μεγάλου χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί (13407 sec). Επομένως, το πάνω μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον δεύτερο ψεκασμό απευθείας μετά την ολοκλήρωση του πρώτου, παράλληλα με την κατασκευή του κάτω μέρους. Έπειτα τα δύο μέρη μπορούν να ενωθούν με την εισαγωγή των δοκών του πάνω μέρους σε αυτούς του κάτω και να ασφαλιστούν με κοχλίες και περικόχλια, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 3.10. Δεν είναι δυνατή η συγκόλληση των δύο μερών καθώς τα υλικά από τον ψεκασμό της μπανιέρας είναι εύφλεκτα.

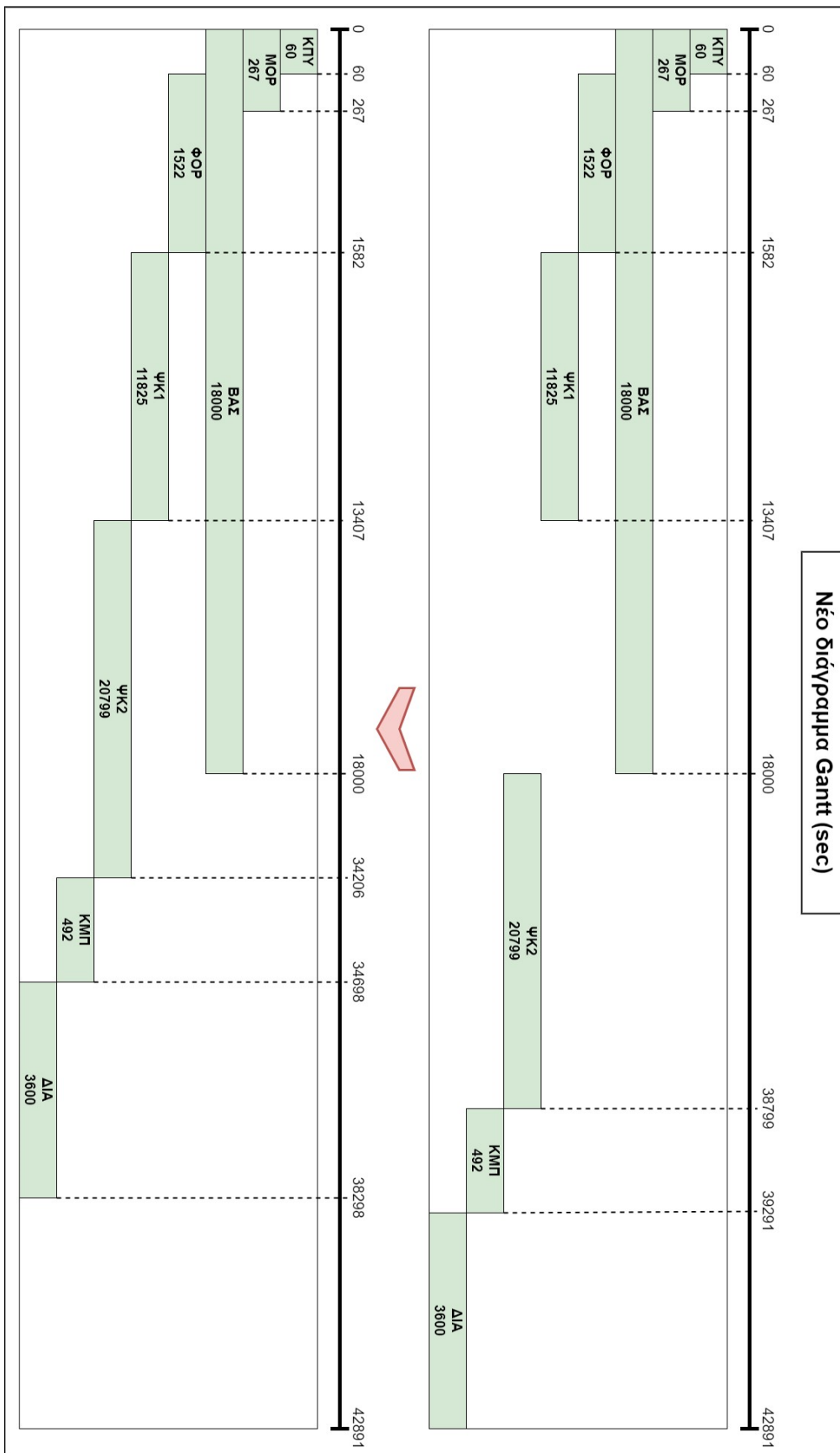


Εικόνα 3.9: Πάνω και κάτω μέρος μεταλλικής βάσης

Με τον τρόπο αυτό δεν απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα ανάμεσα στον πρώτο και τον δεύτερο ψεκασμό, ενώ επίσης εξοικονομούνται 4593 sec από την παραγωγή της μπανιέρας, η οποία πλέον διαρκεί 38298 sec. Το νέο διάγραμμα Gantt απεικονίζεται στο Σχεδιάγραμμα 3.2. Επιπλέον όφελος αποτελεί η ευκολότερη διαχείριση και μεταφορά του πλαισίου της βάσης από τους εργαζομένους λόγω του σημαντικά χαμηλότερου βάρους σε σύγκριση με αυτό ολόκληρης της βάσης. Επίσης, μειώνεται η ενέργεια που καταναλώνεται ανά μπανιέρα από τον αερολέβητα πετρελαίου καθώς παραμένουν για μικρότερη διάρκεια στον χώρο.



Εικόνα 3.10: Ένωση πάνω και κάτω μέρους βάσης



Σχεδιάγραμμα 3.2: Νέο διάγραμμα Gantt

### 3.6 Αξιολόγηση εναλλακτικής μεθόδου κοπής μοριοσανίδας

Ανάμεσα στον διαθέσιμο εξοπλισμό του εργοστασίου που δεν χρησιμοποιείται μέχρι και την σύνταξη της παρούσας μελέτης, είναι ένα μηχάνημα κοπής CNC router. Το μηχάνημα αυτό λειτουργεί με την χρήση κώδικα G, με τον οποίο σχεδιάζεται η πορεία που ακολουθεί το κοπτικό εργαλείο πάνω στην ύλη και ορίζονται όλες οι σχετικοί παράμετροι της κοπής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δίνονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά CNC

CNC			
Τάση	380 V	Συνολική ισχύς	36 kW
Ένταση	95 A	Στροφές κινητήρα	1500 rpm

Το μηχάνημα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για την κοπή της μοριοσανίδας. Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι για την κοπή του υλικού αυτού χρησιμοποιείται κατά μέσο όρο ταχύτητα πρόωσης 5 m/min, δηλαδή 0,0833 m/sec [18-20]. Το συνολικό μήκος κοπής για την δημιουργία του επιθυμητού τεμαχίου είναι 5524 mm, δηλαδή 5,524 m. Επομένως η διάρκεια της κοπής είναι:

$$\frac{5,524 \text{ m}}{0,0833 \text{ m/sec}} = 66,31 \text{ sec} \quad (3.8)$$

Η ενέργεια που καταναλώνεται με την χρήση του CNC υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την συνολική του ισχύ με την διάρκεια λειτουργίας του σε ώρες:

$$\frac{66,31}{3600} \text{ h} \cdot 36 \text{ kW} = 0,663 \text{ kWh} \quad (3.9)$$

Η ενέργεια που καταναλώνεται με την χρήση του συμβατικού εξοπλισμού είναι 0,0996 kWh, όπως αυτή υπολογίστηκε στην [ενότητα 2.6.3](#). Επομένως η χρήση του CNC για την διεργασία αυτή δεν κρίνεται ενεργειακά συμφέρουσα καθώς απαιτεί 565,81% επιπλέον ενέργεια.

Ωστόσο, πλεονέκτημα του μηχανήματος αυτού αποτελεί η υψηλή του αυτοματοποίηση που επιτρέπει την λειτουργία του χωρίς την επέμβαση κάποιου εργαζομένου. Κατά την συμβατική κοπή το κόστος του εργαζομένου ανέρχεται στα 0.408 €, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.32. Το ποσό αυτό θεωρείται αμελητέο σε σύγκριση με το πολύ υψηλότερο κόστος της ενέργειας του CNC, επομένως το όφελος της χρήσης του δεν αναφέρεται στην εξοικονόμηση του κόστους του εργαζομένου. Με την απαλοιφή του ανθρώπινου παράγοντα από την διαδικασία δίνεται η δυνατότητα στην επιχείρηση να κατανέμει τους εργαζομένους και τους πόρους της με μεγαλύτερη ευελιξία. Επομένως η απόφαση για την χρήση του μηχανήματος θα πρέπει να ληφθεί με βάση την στρατηγική που επιλέγει να ακολουθήσει η επιχείρηση, τα εκάστοτε δεδομένα και την γενικότερη εικόνα της παραγωγικής διαδικασίας.

Εναλλακτικά μηχανήματα κοπής αποτελούν τα Laser CNC και τα υδροκοπτικά μηχανήματα. Στην πρώτη περίπτωση η ταχύτητα κοπής για την κοπή μοριοσανίδας ρυθμίζεται στα 0,61 m/min δηλαδή

0,01 m/sec, ενώ η συνολική ισχύς του μηχανήματος συνήθως αγγίζει τα 30 kW [21-25]. Η ταχύτητα αυτή είναι ακόμα μικρότερη από την ταχύτητα του CNC router που αναφέρθηκε προηγουμένως, ενώ επίσης η συνολική ισχύς δεν αποκλίνει σημαντικά. Τα υδροκοπτικά μηχανήματα έχουν ακόμα χαμηλότερη ταχύτητα, με τα περισσότερα χαρακτηριστικά τους να είναι επίσης παρόμοια [26]. Επομένως τα μηχανήματα αυτά δεν έχουν την δυνατότητα να καλύψουν την εξαιρετικά μεγάλη διαφορά κατανάλωσης που υπολογίστηκε στο 565,81%.

### 3.7 Φωτισμός

Όπως αναφέρθηκε στην [ενότητα 1.8.1](#) ένας από τους βασικότερους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας σε μία παραγωγική μονάδα είναι η χρήση φωτιστικών σωμάτων υψηλής απόδοσης, όπως είναι οι λαμπτήρες φθορισμού και οι λαμπτήρες LED [27].

Στην παραγωγική μονάδα εντοπίστηκαν 106 λάμπες φθορισμού T5 και 20 λαμπτήρες πυρακτώσεως που χρησιμοποιούνται μόνο στον χώρο όπου πραγματοποιείται το φορμάρισμα. Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 3.6 [28, 29].

Πίνακας 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικών πυρακτώσεως και φθορισμού [28, 29]

	Λαμπτήρες πυρακτώσεως	Λαμπτήρες φθορισμού
Ισχύς (W)	70	55
Μήκος (mm)	-	1200
Φωτεινή ροή (lum)	1230	4450
Διάρκεια ζωής (h)	2000	30000
Κόστος απόκτησης (€)/ τμχ	1,39	3,44

Η συνολική ισχύς ( $P_{\pi}$ ) των λαμπτήρων πυρακτώσεως στον χώρο του φορμαρίσματος και φωτεινή ροή ( $\Phi_{\pi}$ ) που παράγουν είναι:

$$P_{\pi} = 20 \cdot 70 \text{ W} = 1400 \text{ W} \quad (3.10)$$

$$\Phi_{\pi} = 20 \cdot 1230 \text{ lum} = 24600 \text{ lum} \quad (3.11)$$

Η συνολική ισχύς ( $P_{\varphi}$ ) των φωτιστικών φθορισμού και η αντίστοιχη φωτεινή τους ροή ( $\Phi_{\varphi}$ ) είναι:

$$P_{\varphi} = 106 \cdot 55 \text{ W} = 5830 \text{ W} \quad (3.12)$$

$$\Phi_{\varphi} = 106 \cdot 4450 \text{ lum} = 471700 \text{ lum} \quad (3.13)$$

Επομένως η συνολική ισχύς ( $P$ ) των φωτιστικών σωμάτων όλου του εργοστασίου και η αντίστοιχη φωτεινή τους ροή ( $\Phi$ ) είναι:

$$P = P_{\pi} + P_{\varphi} = 20 \cdot 70 \text{ W} + 106 \cdot 55 \text{ W} = 7230 \text{ W} \quad (3.14)$$

$$\Phi = \Phi_{\pi} + \Phi_{\varphi} = 20 \cdot 1230 \text{ lum} + 106 \cdot 4450 \text{ lum} = 496300 \text{ lum} \quad (3.15)$$

Με την θεώρηση ότι οι λάμπες είναι ενεργές για 8 ώρες την ημέρα, για 25 εργάσιμες μέρες τον μήνα και για 12 μήνες τον χρόνο οι συνολικές ώρες λειτουργίας ανά έτος προκύπτουν ως εξής:

$$8 \cdot 25 \cdot 12 = 2400 \text{ h/έτος} \quad (3.16)$$

Με βάση τις ετήσιες ώρες λειτουργίας και την διάρκεια ζωής τους, οι συντελεστές αντικατάστασης ανά έτος για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως ( $r_{\pi}$ ) και τις λάμπες φθορισμού ( $r_{\varphi}$ ) είναι αντίστοιχα:

$$r_{\pi} = \frac{2400}{2000} = 1,2 \quad (3.17)$$

$$r_{\varphi} = \frac{2400}{30000} = 0,08 \quad (3.18)$$

Το ετήσιο κόστος αντικατάστασης με βάση τον αριθμό των φωτιστικών σωμάτων, τον συντελεστή αντικατάστασης και το κόστος από τους προμηθευτές είναι:

$$c_{\pi} = 20 \cdot 1,2 \cdot 1,39 \text{ €} = 33,36 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.19)$$

$$c_{\varphi} = 106 \cdot 0,08 \cdot 3,44 \text{ €} = 29,17 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.20)$$

Επομένως, το αντίστοιχο κόστος φωτισμού ανά έτος σύμφωνα με την τιμή του ηλεκτρισμού κατά την χρονική περίοδο της σύνταξης της παρούσας εργασίας προκύπτει ως εξής:

$$C = P \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + c_{\pi} + c_{\varphi}$$

$$\Rightarrow C = 7,230 \text{ kW} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + 33,36 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} + 29,17 \frac{\text{€}}{\text{έτος}}$$

$$\Rightarrow C = 14025,51 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.21)$$

### 3.7.1 Λαμπτήρες φθορισμού

Μία διαθέσιμη επιλογή εξοικονόμησης είναι η αντικατάσταση των φωτιστικών πυρακτώσεως από τα ίδια φωτιστικά σώματα φθορισμού που λειτουργούν στο υπόλοιπο εργοστάσιο.

Το ετήσιο κόστος φωτισμού για τον χώρο αυτό είναι:



$$C_{\pi} = P_{\pi} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + c_{\pi}$$

$$\Rightarrow C_{\pi} = 1,4 \text{ kW} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + 33,36 \frac{\text{€}}{\text{έτος}}$$

$$\Rightarrow C_{\pi} = 2737,12 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.22)$$

Προκειμένου να παραμείνει σταθερό το επίπεδο φωτισμού θα πρέπει οι νέοι λαμπτήρες να παράγουν την ίδια φωτεινή ροή με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Επομένως ο αριθμός των απαραίτητων σωμάτων φθορισμού προκύπτει ως εξής:

$$\frac{24600 \text{ lum}}{4450 \text{ lum}} = 5,53 = 6 \quad (3.23)$$

Η συνολική ισχύ των 6 λαμπτήρων φθορισμού που απαιτούνται είναι:

$$P_{\varphi} = 6 \cdot 55 \text{ W} = 330 \text{ W} \quad (3.24)$$

Συγκρίνοντας το ποσό αυτό με την συνολική ισχύ των λαμπτήρων πυρακτώσεως προκύπτει ότι με την χρήση φωτιστικών σωμάτων φθορισμού μπορεί να επιτευχθεί το εξής ποσοστό εξοικονόμηση ενέργειας :

$$\frac{1400 \text{ W} - 330 \text{ W}}{1400 \text{ W}} = 76,43\% \quad (3.25)$$

Το κόστος ετήσιο κόστος αντικατάστασης των φωτιστικών αυτών είναι:

$$c_{\varphi} = 6 \cdot 0,08 \cdot 3,44 \text{ €} = 1,65 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.26)$$

Το συνολικό κόστος λειτουργίας τους που απαιτείται για τον φωτισμό του χώρου του φορμαρίσματος είναι:

$$C_{\varphi} = P_{\varphi} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + c_{\varphi}$$

$$\Rightarrow C_{\varphi} = 0,33 \text{ kW} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + 1,65 \frac{\text{€}}{\text{έτος}}$$

$$\Rightarrow C_{\varphi} = 638,96 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.27)$$

Επομένως, οι λαμπτήρες φθορισμού αποτελούν και την οικονομικότερη λύση, ανεξαρτήτως του υψηλότερου κόστους απόκτησης. Με την χρήση τους μπορεί να εξοικονομηθεί το 76,66% των κεφαλαίων που προορίζονται για τον φωτισμό του χώρου του φορμαρίσματος.

### 3.7.2 Λάμπες LED

Οι λαμπτήρες LED αποτελούν την ενεργειακά αποδοτικότερη επιλογή φωτισμού, με το μόνο μειονέκτημα να είναι το υψηλό κόστος αντικατάστασης [27]. Τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού λαμπτήρα LED δίνονται στον Πίνακα 3.7 [30].

Πίνακας 3.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικού LED [30]

LED	
Ισχύς (W)	16
Μήκος (mm)	1200
Φωτεινή ροή (lum)	1800
Διάρκεια ζωής (h)	30000
Κόστος απόκτησης (€)	4,97

Για την κάλυψη της απαιτούμενης φωτεινής ροής απαιτείται ο εξής αριθμός φωτιστικών LED:

$$\frac{496300 \text{ lum}}{1800 \text{ lum}} = 275,7 = 276 \quad (3.28)$$

Η συνολική ισχύς τους είναι:

$$P_L = 276 \cdot 16 \text{ W} = 4416 \text{ W} \quad (3.29)$$

Επομένως με την αντικατάσταση των φωτιστικών φθορισμού και πυρακτώσεως από λαμπτήρες LED μπορεί να εξοικονομηθεί το εξής ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας φωτισμού:

$$\frac{7230 \text{ W} - 4416 \text{ W}}{7230 \text{ W}} = 38,92\% \quad (3.30)$$

Οι συντελεστές αντικατάστασης ανά έτος για τα φωτιστικά LED ( $r_L$ ) με βάση την διάρκεια ζωής τους είναι:

$$r_L = \frac{2400}{30000} = 0,08 \quad (3.31)$$

Το αντίστοιχο ετήσιο κόστος αντικατάστασης προκύπτει ως εξής:

$$c_L = 276 \cdot 0,08 \cdot 4,97 \text{ €} = 109,74 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad (3.32)$$

Το ετήσιο κόστος φωτισμού για την παραγωγική μονάδα με την χρήση φωτιστικών LED είναι το εξής:

$$\begin{aligned}
C_L &= P_L \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + c_L \\
\Rightarrow C_L &= 4,416 \text{ kW} \cdot 0,80469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2400 \frac{\text{h}}{\text{έτος}} + 109,74 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \\
\Rightarrow C_L &= 8638,17 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \tag{3.33}
\end{aligned}$$

Επομένως με την χρήση φωτιστικών LED εκτός από την χαμηλότερη απαίτηση σε ενέργεια μπορεί τα εξοικονομηθεί και το 38,41% του κόστους για τον φωτισμό της παραγωγικής μονάδας.

### 3.8 Εγκατάσταση μετρητών κατανάλωσης

Η αποτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων όλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγική διαδικασία έγινε θεωρητικά με βάση τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει ένα ποσοστό σφάλματος καθώς η πραγματική ενέργεια που απαιτείται συνήθως είναι υψηλότερη από αυτήν που υπολογίζεται θεωρητικά.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εγκατάσταση μετρητών κατανάλωσης στα διάφορα μηχανήματα του εργοστασίου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί εύκολα να αποτιμηθεί το πραγματικό κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή του προϊόντος, ενώ επίσης δεν απαιτείται η ενασχόληση του μηχανικού για την χρονομέτρηση και την πραγματοποίηση των ανάλογων υπολογισμών. Επιπλέον, μπορούν να εντοπιστούν βλάβες στον εξοπλισμό από την παρατήρηση μη φυσιολογικών μετρήσεων.

### 3.9 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν βελτιωτικές προτάσεις για τις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας μίας ακριλικής μπανιέρας υδρομασάζ. Οι προτάσεις αυτές περιλαμβάνουν τόσο την τροποποίηση του υπάρχοντα εξοπλισμού όσο και την ολική του αντικατάσταση με τα αναμενόμενα οφέλη να μην περιορίζονται στην εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, με την νέα ιδιοκατασκευή που προτάθηκε, εκτός από το ποσοστό εξοικονόμησης που επιτεύχθηκε δίνεται παράλληλα η δυνατότητα παραγωγής δύο τεμαχίων στον ίδιο χρόνο. Επιπλέον, διάφορες από τις προτάσεις αυτές μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν τα αναμενόμενα οφέλη.

### 3.10 Βιβλιογραφία

- [1] Khan, S.A., Girard, P., Bhuiyan, N., Thomson, V., «Improved Mathematical Modeling for the Sheet Reheat Phase During Thermoforming», *Polymer Engineering & Science*, 52/3 (2012) 625-636.
- [2] Bédard, N., «LABORATORY TESTING OF RADIANT GAS BURNERS AND ELECTRIC INFRARED EMITTERS», *EXPERIMENTAL HEAT TRANSFER An International Journal*, 11/3 (1998) 255-279.
- [3] Brown, K.J., Farrelly, R., O'Shaughnessy, S.M., and Robinson, A.J., «Energy efficiency of electrical infrared heating elements», *Applied Energy*, 162 (2016) 581-588.
- [4] Wilson, C., and McGranaghan, G., «Infrared heating comes of age», *Reinforced Plastics*, 58/2 (2014) 43-47.
- [5] Rastogi, N.K., «Recent Trends and Developments in Infrared Heating in Food Processing», *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52/9 (2012) 737-760.
- [6] Schmidt, F.M., Le Maout, Y., and Monteix, S., «Modeling of infrared heating of thermoplastic sheet used in thermoforming process», *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144 (2003) 225-231.
- [7] Jenkins, R., Aldwell, B., Yin, S., Meyer, M., Robinson, A.J., and Lupoi, R., «Energy efficiency of a quartz tungsten halogen lamp: Experimental and numerical approach», *Thermal Science and Engineering Progress*, 13 (2019) 100385.
- [8] Buffel, B., Van Mieghem, B., Van Bael, A., and Desplentere, F., «A Combined Experimental and Modelling Approach towards an Optimized Heating Strategy in Thermoforming of Thermoplastics Sheets», *International Polymer Processing*, 32/3 (2017) 378-386.
- [9] Labeas, G.N., Watiti, V.B., and Katsiropoulos, Ch.V., «Thermomechanical Simulation of Infrared Heating Diaphragm Forming Process for Thermoplastic Parts», *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21/4 (2008) 353-370.
- [10] Favennec, Y., Labbe, V., and Bay, F., «Induction heating processes optimization a general optimal control approach», *Journal of Computational Physics*, 187 (2003) 68-94.
- [11] Buffel, B., Van Mieghem, B., Van Bael, A., and Desplentere, F., «Optimization of the IR-Heating Phase in Thermoforming of Thermoplastic Sheets: Characterization and Modeling» in: Maazouz, A., (eds.), *PROCEEDINGS OF PPS-32: The 32nd International Conference of the Polymer Processing Society - Conference Papers*, AIP Publishing, New York, 2017, 020001.
- [12] Zhongli, P., and Griffiths, G.A., *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, CRC Press, Florida, 2019.
- [13] Ceramicx, (2023), «QHM - Quartz Halogen Medium», Φύλλο δεδομένων, Ανακτήθηκε στις 12-07-2023 από <https://www.ceramicx.com/el/products/quartz-tungsten-elements/quartz-halogen-tubes/quartz-halogen-medium/>

- [14] Ceramicx, (2023), «Full Quartz Infrared Heating Element (FQE)», Φύλλο δεδομένων, Ανακτήθηκε στις 12-07-2023 από <https://www.ceramicx.com/el/products/quartz-elements/standard-quartz-elements/full-quartz-element/>
- [15] Buffel, B., and Desplentere, F., «A Combined Experimental and Numerical Study on Pulsed Heating of Thermoplastic Sheets in Thermoforming» in: Calderas, F., and Manero, O. (eds.), *PROCEEDINGS OF PPS-33: The 33rd International Conference of the Polymer Processing Society – Conference Papers*, AIP Publishing, New York, 2019, 050001.
- [16] Ceramicx, (2023), «Ceramic Full Trough Infrared Heating Element (FTE)», Φύλλο δεδομένων, Ανακτήθηκε στις 12-07-2023 από <https://www.ceramicx.com/el/products/ceramic-elements/trough-elements/full-trough-element/>
- [17] Chen, Y., Yang, S., Qiu, Z., Li, Y., Qiu, F., and Zhang, T., «Fabrication of flexible AgNW/cellulose hybrid film with heat preservation and antibacterial properties for agriculture application», *Cellulose*, 28 (2021) 8693-8704.
- [18] Li, R., Yao, Q., Xu, W., Li, J., and Wang, X., «Study of Cutting Power and Power Efficiency during Straight-Tooth Cylindrical Milling Process of Particle Boards», *Materials*, 15/3 (2022) 879.
- [19] Effects of CNC Processing Parameters on Surface Quality of Wood-Based Panels Used in Furniture Industry.
- [20] Palubicki, B., and Rogozinski, T., «EFFICIENCY OF CHIPS REMOVAL DURING CNC MACHINING OF PARTICLEBOARD», *WOOD RESEARCH*, 61/5 (2016) 811-818.
- [21] Martinez-Conde, A., Krenke, T., Frybort, S., and Muller, U., «Review: Comparative analysis of CO2 laser and conventional sawing for cutting of lumber and wood-based materials», *Wood Sci Technol*, 51 (2017) 943-966.
- [22] Quintero, F., Riveiro, A., Lusquiños, F., Comesaña, R., and Pou, J., «Feasibility Study on Laser Cutting of Phenolic Resin Boards», *Physics Procedia*, 12/A (2011) 578-583.
- [23] Zhou, B.H., and Mahdavian, S.M., «Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO2-laser», *Journal of Materials Processing Technology*, 146/2 (2004) 188-192.
- [24] Barnekov, V., Huber, H.A., and McMillin, C.W., «Laser machining wood composites», *Products Journal*, 39/10 (1989) 76-78.
- [25] Hyzont, (2023), « 1Kw CNC Fiber Laser Cutter », Ανακτήθηκε στις 12-08-2023 από <https://www.cuttingweldingmachine.com/sale-11344946-1kw-cnc-fiber-laser-cutter-ipg-power-source-coil-laser-cutting-machine-high-speed-70m-min.html>
- [26] Tolga, M., «WATER JET CUTTING TECHNOLOGY AND ITS COMPARISON WITH OTHER CUTTING METHODS IN SOME ASPECTS», *Academic Journal of Science*, 1/3 (2012) 275-282.
- [27] Sutherland, J.W., Dornfeld, D.A., and Linke, B.S. (2018), *Energy Efficient Manufacturing: Theory and Applications*, John Wiley & Sons, New Jersey.

[28] eshopelectric.gr (2023), « HALOGEN ENERGY SAVER GLOBE», Ανακτήθηκε στις 10-08-2023 από <https://www.eshopelectric.gr/products/lampes/lampthres-palaioy-typoy/diaforoi-lampthres-alogonoy/lampthras-alogonoy-iwdinhs-globe-e27/9362-halogen-energy-saver-globe-f80-70w-e27>

[29] Κάουκας (2023), «Λάμπα φθορισμού Σωληνωτή», Ανακτήθηκε στις 10-08-2023 από [https://www.kafkas.gr/lambes/loipes-eidikes-lambes/fthorismou/-lambes-fthoriou-t5-g5/philips-lamba-fthorismou-solinoti-t5-54w-840-g5-1163mm\\_176670/](https://www.kafkas.gr/lambes/loipes-eidikes-lambes/fthorismou/-lambes-fthoriou-t5-g5/philips-lamba-fthorismou-solinoti-t5-54w-840-g5-1163mm_176670/)

[30] Κάουκας (2023), «Λάμπα LED Tube T8», Ανακτήθηκε στις 10-08-2023 από [https://www.kafkas.gr/lambes/led/tube/ledvance-lamba-led-tube-t8-16w-1800lm-g13-230v-6500k-psychro-lefko\\_151726/](https://www.kafkas.gr/lambes/led/tube/ledvance-lamba-led-tube-t8-16w-1800lm-g13-230v-6500k-psychro-lefko_151726/)

## Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στην αρχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε μία ολοκληρωμένη θεωρητική προσέγγιση της ενέργειας στην βιομηχανία και των τρόπων εξοικονόμησής της. Έπειτα μοντελοποιήθηκε η παραγωγική διαδικασία μίας ακρυλικής μπανιέρας υδρομασάζ με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από μία πραγματική παραγωγική μονάδα στην περιοχή της βορείου Ελλάδος. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μία σειρά προτάσεων με σκοπό την μείωση της απαιτούμενης ενέργειας και την γενικότερη βελτίωση των παραγωγικών φάσεων.

Μέσα από την σύνταξη αυτής της μελέτης προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, ενώ επίσης εντοπίστηκαν ευκαιρίες για περεταίρω μελέτη πιθανών τρόπων βελτίωσης.

### Συμπεράσματα

Η εξοικονόμηση ενέργειας μίας παραγωγικής μονάδας αποτελεί μία διαδικασία η οποία δεν θα πρέπει να αφορά μόνο τους μηχανικούς και τα τεχνικά μέλη μίας επιχείρησης. Για την δημιουργία ουσιαστικού οφέλους απαιτείται η συλλογική προσπάθεια όλων των εργαζομένων και κυρίως της διοίκησης. Η συμβολή τους κρίνεται αναγκαία για πολλούς λόγους.

Αρχικά, βασικός στόχος της διοίκησης θα πρέπει να είναι η ουσιαστική επικοινωνία με τα εμπλεκόμενα μέλη έτσι ώστε να ξεκαθαριστούν οι στόχοι της προσπάθειας αλλά και οι λόγοι για τους οποίους αυτή κρίνεται αναγκαία. Η επιμόρφωση των εργαζομένων σχετικά με τα οφέλη τέτοιων ενεργειών, τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ίδια την επιχείρηση, μπορεί να τους δώσει το απαραίτητο κίνητρο έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ουσιαστική και αποτελεσματική συμβολή τους. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία νέα πράσινη εταιρική κουλτούρα η οποία μπορεί να οδηγήσει και στην εύνοια της κοινωνίας.

Αφού τεθούν οι ανάλογοι στόχοι, η διοίκηση θα πρέπει να εντοπίσει τους πόρους τους οποίους μπορεί να διαθέσει στους μηχανικούς έτσι ώστε να εκτιμηθεί η κλίμακα της εφικτής μελέτης και να σχεδιαστεί η ανάλογη στρατηγική. Σημαντική είναι η συμπερίληψη όλων των περιφερειακών συστημάτων ενός εργοστασίου καθώς μπορούν να αποτελέσουν κύριες πηγές κατανάλωσης.

Αναγκαία προϋπόθεση για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση τρόπων εξοικονόμησης είναι η αναλυτική μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας του προϊόντος. Τα δεδομένα τα οποία χρειάστηκαν κατά την πρακτική εφαρμογή του δεύτερου κεφαλαίου περιλαμβάνουν:

- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εργαλειομηχανών και των ιδιοκατασκευών που χρησιμοποιούνται μαζί με τα εγχειρίδια και τις ενεργειακές τους καταναλώσεις
- Τα χαρακτηριστικά, οι ποσότητες και οι απώλειες υλών για κάθε παραγωγική φάση
- Οι εργαζόμενοι οι οποίοι συμμετέχουν σε κάθε φάση
- Τα βήματα της κάθε φάσης συνοδευόμενα από τους αντίστοιχους χρόνους

- Τα χαρακτηριστικά και οι καταναλώσεις των περιφερειακών συστημάτων, όπως είναι ο φωτισμός, η θέρμανση και το δίκτυο πεπιεσμένου αέρα

Εξαιρετικά σημαντική ήταν η συμβολή όλων των εργαζομένων στην διαδικασία λήψης των παραπάνω δεδομένων, στην επεξήγηση της παραγωγικής διαδικασίας και στην επίδειξη των σημαντικότερων προβλημάτων. Η συνεργασία και η επικοινωνία των μελών μίας επιχείρησης μπορεί να διευκολύνει σημαντικά την οποιαδήποτε προσπάθεια βελτίωσης.

Κατά την αναζήτηση των δεδομένων που προαναφέρθηκαν παρατηρήθηκαν σημαντικές ελλείψεις από την συνεργαζόμενη επιχείρηση, τα οποία έπειτα έπρεπε να αναζητηθούν από άλλα μέσα καθυστερώντας σημαντικά την διενέργεια της μελέτης. Ο εντοπισμός όλων των ελλিপών πληροφοριών δεν ήταν δυνατός λόγω της παλαιότητας του εξοπλισμού. Σαν αποτέλεσμα έγινε μία σειρά παραδοχών βάσει των λειτουργικών παραμέτρων παρόμοιων συστημάτων, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παραλήφθηκαν ολοκληρωτικά κάποια κομμάτια της μελέτης. Επομένως η διατήρηση πληροφοριών, δεδομένων και γνώσεων κρίνεται ύψιστης σημασίας για μία επιχείρηση, καθώς έτσι διευκολύνεται σημαντικά η αναζήτηση μεθόδων εξοικονόμησης ενώ παράλληλα ελαχιστοποιείται το ανάλογο σφάλμα κατά την αξιολόγησή τους.

Ο εντοπισμός ευκαιριών εξοικονόμησης αποτελεί μία διαδικασία για την οποία μπορούν να ακολουθηθούν κάποιοι γενικοί κανόνες και στρατηγικές, ωστόσο εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες της εκάστοτε παραγωγής που εξετάζεται. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία επικεντρώνεται σε μεθόδους οι οποίες εφαρμόζονται στους συνηθέστερους τύπους κατεργασιών, όπως είναι οι κατεργασίες κοπής. Για εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής, σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχή τροποποίησή τους αποτελούν οι γνώσεις, η εμπειρία, η δημιουργικότητα και η ευελιξία του μηχανικού.

Σημαντικά οφέλη μπορούν να προκύψουν και από την μελέτη των περιφερικών συστημάτων μίας παραγωγικής μονάδας, όπως είναι ο φωτισμός, η θέρμανση και τα δίκτυα πεπιεσμένου αέρα. Τα περισσότερα από τα συστήματα αυτά είναι παρωχημένα και ενεργοβόρα, καθώς εγκαταστάθηκαν κατά την ανέγερση των εργοστασίων και δεν αντικαταστάθηκαν εκ' τότε λόγω υψηλού κόστους. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες, με την εφαρμογή των οποίων μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικά ποσά ενέργειας.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα ποσοστά εξοικονόμησης των προτάσεων του τρίτου κεφαλαίου για τις αντίστοιχες παραγωγικές φάσεις. Για τις προτάσεις της νέας ιδιοκατασκευής και των αντιστάσεων υπολογίστηκαν και τα ποσοστά εξοικονόμησης της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του προϊόντος, τα οποία είναι 26,24% και 30 αντίστοιχα.

Η κοστολόγηση των προτάσεων δεν ήταν εφικτή καθώς ο νέος εξοπλισμός σε κάθε μία από αυτές δεν είναι τυποποιημένος. Επομένως θα πρέπει να ζητηθούν προσφορές για την κατασκευή του εξατομικευμένου εξοπλισμού, όπως είναι για παράδειγμα η νέα ιδιοκατασκευή. Στην περίπτωση του φωτισμού το κόστος δεν μπορεί να εκτιμηθεί καθώς προκειμένου να αντικατασταθούν οι λαμπτήρες



απαιτείται εγκατάσταση νέων υποσυστημάτων και αγωγών σύμφωνα με τις υποδείξεις εξειδικευμένων ηλεκτρολόγων.

Πίνακας 4.1: Ποσοστά εξοικονόμησης προτάσεων

Πρόταση	Εξοικονομούμενο μέγεθος	Ποσοστό εξοικονόμησης
Ιδιοκατασκευή	Ενέργεια	40,87 %
Αντιστάσεις	Ενέργεια	46,52 %
Βάση	Χρόνος	10,71 %
Φωτισμός	Ενέργεια	76,43 %
Ψεκασμός	Όγκος θέρμανσης	87,21 %

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την σύνταξη της παρούσας εργασίας αποτελεί η αναγκαιότητα χρήσης εξειδικευμένων λογισμικών για την μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Τα λογισμικά αυτά επιταχύνουν και διευκολύνουν σημαντικά τον χρήστη καθώς παρέχουν μία ολοκληρωμένη εικόνα της παραγωγής συμπεριλαμβάνοντας όλες τις ύλες, τον εξοπλισμό, τις δαπάνες, τους εργαζομένους, και την ενέργεια που καταναλώνεται. Οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις μπορούν να αξιολογηθούν με μεγάλη ευκολία τροποποιώντας απλά τις ανάλογες παραμέτρους στο λογισμικό. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα εξάγεται εξαιρετικά γρήγορα και με μικρό σφάλμα, καθώς δεν απαιτείται από τον χρήστη να πραγματοποιήσει κανέναν σχετικό υπολογισμό. Ανάλογα λογισμικά αναζητήθηκαν στο διαδίκτυο, με την ανταπόκριση των παρόχων να είναι απογοητευτική καθώς δεν δόθηκε κάποια ακαδημαϊκή άδεια χρήσης.

Τέλος, ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην σημασία της συνεργασίας του βιομηχανικού κλάδου με την ακαδημαϊκή κοινότητα, καθώς τα οφέλη είναι πολλαπλά και για τα δύο μέλη. Στους φοιτητές δίνεται η δυνατότητα να βιώσουν τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν σε μία παραγωγική μονάδα, να εφαρμόσουν τις γνώσεις που έχουν λάβει από τα χρόνια των σπουδών τους και να ξεκινήσουν το χτίσιμο ενός κύκλου συνεργατών. Με τον τρόπο αυτό προετοιμάζονται για την είσοδό τους στην αγορά εργασίας, ενώ παράλληλα έρχονται σε επαφή με πιθανούς εργοδότες.

Από την πλευρά της η επιχείρηση λαμβάνει μία μελέτη βελτιστοποίησης με μηδενικό κόστος, η οποία δεν βασίζεται μόνο στις ικανότητες του φοιτητή αλλά και στις γνώσεις και την εμπειρία των επιβλεπόντων καθηγητών. Επιπλέον όφελος αποτελεί η εύρεση πιθανών υποψηφίων για τις θέσεις των μηχανικών καθώς η ουσιαστική αξιολόγησή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία κατά το διάστημα της συνεργασίας. Εφόσον επιλεγούν δεν θα απαιτείται κάποιο διάστημα προσαρμογής καθώς μέσα από την μελέτη τους θα έχουν ήδη εξοικειωθεί με τις παραγωγικές διαδικασίες αλλά και με τα υπόλοιπα μέλη της επιχείρησης.

Επομένως, η συνεργασία των δύο αυτών μελών μπορεί να βοηθήσει στον εκσυγχρονισμό και την ανάπτυξη του βιομηχανικού κλάδου της χώρας, ενισχύοντας παράλληλα τις ικανότητες των νέων μηχανικών.

### **Προτάσεις**

Με το πέρας της παρούσας εργασίας εντοπίστηκαν διάφορες ευκαιρίες για περεταίρω μελέτη. Μία από αυτές είναι ο πειραματικός έλεγχος της διαδικασίας θέρμανσης του ακρυλικού φύλλου κατά το φορμάρισμα. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων υπέρυθρων αντιστάσεων, βάσει των οποίων επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες για την κάθε εφαρμογή. Ωστόσο η πραγματική τους απόδοση με βάση ορισμένα κριτήρια δεν μπορεί να αξιολογηθεί θεωρητικά.

Ένα από τα κριτήρια αυτά είναι η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του φύλλου, η οποία σε περίπτωση που είναι σημαντική μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα κατά το φορμάρισμα. Επομένως για τα διάφορα είδη αντιστάσεων θα πρέπει να προσδιοριστεί η διαφορά αυτή με την χρήση κατάλληλων μετρητικών οργάνων έτσι ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη διεξαγωγή της διαδικασίας. Αναγκαία είναι και η οπτική παρατήρηση της επιφάνειας των φύλλων έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανές παραμορφώσεις στον χρωματισμό τους λόγω υψηλής θερμοκρασίας.

Μία ακόμα εναλλακτική που μπορεί να εξεταστεί είναι η χρήση ενός φούρνου με δύο διατάξεις αντιστάσεων για την ταυτόχρονη θέρμανση και των δύο πλευρών του φύλλου. Προκειμένου να γίνει μία τέτοια αλλαγή η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει τον σχεδιασμό μίας νέας ιδιοκατασκευής και τον προσδιορισμό της πραγματικής απαίτησης σε ενέργεια. Με την χρήση δύο διατάξεων θέρμανσης αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς του φούρνου. Ωστόσο η διαδικασία μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερη καθώς το φύλλο θα θερμανθεί ταχύτερα, ενώ επίσης λόγω της ομοιόμορφης θέρμανσης του μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις χαμηλότερης ισχύος και υψηλότερης θερμοκρασίας.

Επιπλέον ευκαιρία εντοπίζεται κατά την διαδικασία του φορμαρίσματος καθώς το χρονικό σημείο όπου το ακρυλικό φύλλο βρίσκεται στην επιθυμητή θερμοκρασία εντοπίζεται από τον εργαζόμενο με βάση την εμπειρία του. Επομένως η διάρκεια λειτουργίας του φούρνου βασίζεται αποκλειστικά στον ανθρώπινο παράγοντα, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον κατανάλωση ενέργειας. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό προτείνεται η κατασκευή ενός μηχανισμού καταμέτρησης και παρακολούθησης της θερμοκρασίας του φύλλου, ο οποίος θα ειδοποιεί τον χρήστη όταν είναι έτοιμο ώστε να ξεκινήσει το φορμάρισμα.

Μία ακόμη σημαντική μελέτη που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι η αποτίμηση των δεικτών απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας (KPIs). Οι δείκτες αυτοί αποτελούν μέσα αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης ως ένα κοινό μέσο σύγκρισης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μελέτη αυτή θα πρέπει να συλλεχθούν δεδομένα, τα οποία

περιλαμβάνουν τον προγραμματισμένο και τον πραγματικό αριθμό παραγόμενων προϊόντων ανά μονάδα χρόνου, την συχνότητα εμφάνισης βλαβών κ.α.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα των συμπερασμάτων, μία επιπλέον ευκαιρία μελέτης είναι η αποτύπωση της παραγωγικής διαδικασίας της ακρυλικής μπανιέρας και η αξιολόγηση των προτάσεων βελτίωσης με την χρήση ενός εξειδικευμένου λογισμικού.

Τέλος προτείνεται η μελέτη αυτοματοποίησης της φάσης του ψεκασμού. Για την διαδικασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις. Μία από αυτές είναι η περιστροφή της μπανιέρας ανάμεσα από μία σταθερή διάταξη ψεκασμού, με εγχυτήρες ρυθμιζόμενης παροχής ώστε να ψεκάζεται στο κάθε σημείο η απαραίτητη για την στατική αντοχή ποσότητα υλικών. Μία άλλη πιθανή επιλογή είναι η χρήση ενός ρομποτικού βραχίονα. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει να αξιολογηθούν με βάση το υψηλό λειτουργικό τους κόστος και το αναμενόμενα υψηλό κόστος απόκτησης.