

**ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΑΡΤΟΥ**

**ΦΙΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης  
Πολυτεχνείο Χανίων**



**Επίκουρος Καθηγητής Ευστράτιος Ιωαννίδης**

**Χανιά, Κρήτη  
Νοέμβριος 2017**

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Φτάνοντας στην ολοκλήρωση της φοιτητικής μου πορείας και μετά από μια πολύτιμη εμπειρία στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, αισθάνομαι ότι εκπλήρωσα ένα σημαντικό στόχο, με την συγγραφή της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Πιστεύω και ελπίζω ότι αυτή η Διπλωματική εργασία, θα αποτελέσει ένα μικρό, έστω, βοήθημα και πηγή πληροφοριών για οποιονδήποτε θελήσει να ασχοληθεί με την εφαρμογή του Γραμμικού Προγραμματισμού στις μεθόδους παραγωγής των παραγωγικών μονάδων.

Σ' αυτό το σημείο θεωρώ και αισθάνομαι χρέος να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Ευστράτιο Ιωαννίδη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα αντικείμενο το οποίο με ενδιέφερε, για την αμέριστη συνεργασία μας, την βοήθεια και την καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα μέλη της εταιρείας παραγωγής χάρτου «INTERTRADE HELLAS» με τα οποία είχα την χαρά να συνεργαστώ. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον Διευθύνοντα Σύμβουλο κ.Ιωάννη Ντεληδήμο και τον υπεύθυνο παραγωγής κ.Ευθύμιο Στεφάνου, γιατί χωρίς την απλόχερη βοήθεια τους, η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων, θα ήταν πρακτικά αδύνατη. Η συμβολή και των δύο, στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική και η συνεχής συνεργασία μαζί τους υπήρξε ιδιαίτερα επιμορφωτική.

Επιπλέον οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Ιωάννη και Γιαννούλα, καθώς και τον αδερφό μου Ευάγγελο, για την αγάπη, την υποστήριξη και την υπομονή που μου παρείχαν κατά την διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής κ.Φώτη Κανέλλο και τον κ.Βασίλη Κουϊκόγλου για την παρουσία τους στην παρουσίαση και την ευόδωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Φίλης Νικόλαος

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση του προβλήματος του βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού παραγωγής σε μία μονάδα παραγωγής προϊόντων χάρτου. Στα πλαίσια της εργασίας αρχικά αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο πρόβλημα προγραμματισμού και αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση της εταιρείας. Στην συνέχεια γίνεται καταγραφή και ανάλυση της τρέχουσας λειτουργίας των γραμμών παραγωγής. Μελετώντας τις γραμμές παραγωγής αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία επίλυσης του εν λόγω προβλήματος με την χρήση εργαλείων του γραμμικού προγραμματισμού. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των συγκεκριμένων εργαλείων. Η εργασία αυτή αποτελεί μια συνοπτική λύση ενός γενικότερου προβλήματος στην παραγωγική διαδικασία και συγκεκριμένα την βελτιστοποίηση του προγραμματισμού της παραγωγής σε μία μονάδα παραγωγής προϊόντων χάρτου.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Ταυτότητα της Εταιρείας.....	7
1.2 Δομή της Εργασίας.....	8
2.Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	9
2.1 Γραμμικός Προγραμματισμός.....	9
2.1.1 Διαδικασία Μοντελοποίησης Γραμμικού Προβλήματος .....	10
2.1.2 Συνθήκες Εφαρμογής και Τυπολογία Μοντέλων ΓΠ.....	11
2.2 Ακέραιος Προγραμματισμός.....	12
2.3 Χρονική Περίοδος Προγραμματισμού .....	13
2.4 Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή .....	14
2.4.1 Ιστορικό Υπόβαθρο Προβλήματος Πλανόδιου Πωλητή.....	16
3.Περιγραφή του Συστήματος Παραγωγής.....	18
3.1 Παρουσίαση Παραγόμενων Προϊόντων.....	18
3.2 Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας.....	23
3.3 Περιγραφή Μηχανολογικού Εξοπλισμού.....	31
4. Μοντελοποίηση και Αριθμητικά Αποτελέσματα .....	35
4.1 Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος.....	36
4.2 Αποτελέσματα .....	41
5. Συμπεράσματα.....	49
Βιβλιογραφία.....	50
Παράρτημα Α – Περιγραφή του Excel Solver .....	51

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Κύκλος Hamilton σε δωδεκάεδρο.....	16
Εικόνα 2:Επεξεργασία φύλλου - Σταδιο γκοφραρίσματος.....	22
Εικόνα 3:Κύλινδροι γκοφραρίσματος.....	22
Εικόνα 4:Διάγραμμα Ροής Μαδρέν.....	24
Εικόνα 5:Διάγραμμα Ροής Χαρτοπετσέτας.....	25
Εικόνα 6:Διάγραμμα Ροής Χαρτί Υγείας.....	26
Εικόνα 7:Διάγραμμα Ροής Ρολού Κουζίνας.....	28
Εικόνα 8:Διάγραμμα Ροής Χαρτομάντηλων Τσέπης.....	29
Εικόνα 9:Διάγραμμα Ροής Χαρτομάντηλα Facial.....	30
Εικόνα 10: Διάγραμμα Διαδικασίας Εκτέλεσης Παραγωγής.....	40
Εικόνα 11: Διαδρομή Ευρετικού Αλγόριθμου .....	48
Εικόνα 12: Πίνακας Αντικειμενικής Συνάρτησης στο Excel.....	51
Εικόνα 13: Πίνακας Περιορισμού Λειτουργίας Μηχανών στο Excel.....	52
Εικόνα 14: Πίνακας Περιρισμού Ζήτησης στο Excel .....	52
Εικόνα 15: Πίνακας Μεταβλητών Απόφασης στο Excel .....	53
Εικόνα 16: Πίνακας Παραγωγικότητας ανά Ώρα στο Excel.....	54
Εικόνα 17: Στήλη Επιλογής Εργαλείων στο Excel .....	54
Εικόνα 18: Παράθυρο του Solver στο Excel.....	55

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Χαρτοπετσέτας.....	19
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Ρολού Χαρτιού Υγείας.....	19
Πίνακας 3:Χαρακτηριστικά Οικιακού Χαρτιού Κουζίνας.....	20
Πίνακας 4:Χαρακτηριστικά Επαγγελματικού Χαρτιού Κουζίνας .....	20
Πίνακας 5:Χαρακτηριστικά Χαρτομάντηλων Τσέπης.....	21
Πίνακας 6 :Χαρακτηριστικά Χαρτομάντηλων Facial .....	21
Πίνακας 7: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Ρολών Υγείας & Κουζίνας .....	32
Πίνακας 8: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμής Παραγωγής Ρολών Κουζίνας.....	33
Πίνακας 9: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Χαρτοπετσέτας.....	33
Πίνακας 10: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Χαρτομάντηλων Τσέπης .....	34
Πίνακας 11: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμής Παραγωγής Facial.....	34
Πίνακας 12: Βοηθητικός Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής.....	34
Πίνακας 13: Ζήτηση Προϊόντων .....	41
Πίνακας 14: Αποτελέσματα Πρώτου Υποπροβλήματος .....	44
Πίνακας 15: Πίνακας Κόστους Μεταφοράς Προϊόντων .....	45
Πίνακας 16: Αποτελέσματα Δεύτερου Υποπρογράμματος.....	46
Πίνακας 17: Αποτελέσματα Δεύτερου Υποπρογράμματος.....	46

## 1. Εισαγωγή

Στο σύγχρονο και συνεχώς μεταβαλλόμενο επιχειρηματικό περιβάλλον της Ελλάδας αυτήν την περίοδο, βασικό στόχο κάθε βιώσιμης επιχείρησης αποτελεί η αύξηση των παραγωγικών δυνατοτήτων και η μέγιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους και του απαιτούμενου χρόνου εκτέλεσης εργασιών. Η μελέτη προβλημάτων σε βιομηχανικά συστήματα και συστήματα παραγωγής παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς προσφέρει την δυνατότητα ακόμα και με μικρές αλλαγές να αποδώσει σημαντικά οφέλη. Με την βελτίωση του προγράμματος παραγωγής μιας βιομηχανικής μονάδας βελτιώνεται η απόδοσή της σε οικονομικό, αναπτυξιακό και λειτουργικό επίπεδο. Για την βελτιστοποίηση του προγράμματος παραγωγής γίνεται χρήση τεχνικών πρόβλεψης με στόχο την προσέγγιση μιας καλύτερης και αποδοτικότερης λύσης.

Η ανάπτυξη των επιστημών του μαθηματικού Προγραμματισμού και της επιχειρησιακής έρευνας καθώς και της Επιστήμης και τεχνολογίας των Η/Υ, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και εργαλείων λογισμικού, τα οποία μπορούν να δώσουν ικανοποιητικές και πρακτικά εφαρμόσιμες λύσεις σε προβλήματα οργάνωσης και παραγωγής. Οι μεθοδολογίες αυτές μπορούν να συμβάλλουν δραστικά στην βελτίωση ενός πλήθους παραγόντων όπως παραγωγικότητα, χρόνοι παραγωγής ή παράδοσης, κόστη ή κέρδη, κ.λ.π. Η εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών προϋποθέτει πρώτα απ' όλα, την σωστή μελέτη και μοντελοποίηση του προβλήματος το οποίο προσπαθούμε να επιλύσουμε, την ανεύρεση των εναλλακτικών τεχνικών επίλυσης του προβλήματος και την επιλογή του πλέον κατάλληλου τρόπου επίλυσης.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη της γραμμής παραγωγής και χρησιμοποίηση αυτών των μεθοδολογιών για την βελτίωση του βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού της παραγωγής μίας βιομηχανίας επεξεργασίας χάρτου. Η εταιρεία διαθέτει 11 γραμμές παραγωγής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή 6 κατηγοριών προϊόντων. Κάθε κατηγορία προϊόντος έχει πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά, προσφέροντας ευελιξία στην εταιρεία αλλά ταυτόχρονα και μεγάλο χρόνο προετοιμασίας. κατά την αλλαγή των χαρακτηριστικών, στις μηχανές. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε αφορά την ανάθεση των προϊόντων στις μηχανές και την ακολουθία εκτέλεσης των εργασιών τους, ώστε ο συνολικός χρόνος παραγωγής και προετοιμασίας να μην ξεπεράσει το διαθέσιμο χρόνο.

## 1.1 Ταυτότητα της Εταιρείας

Η INTERTRADE HELLAS A.B.E.E., η μεγαλύτερη εταιρεία επεξεργασίας χάρτου στην Ελλάδα, ειδικεύεται στην παραγωγή προϊόντων (χάρτου) υψηλών προδιαγραφών. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1992 με στόχο την πώληση μέγα ρόλων χάρτου σε Έλληνες επεξεργαστές. Έπειτα από μια δεκαετή πορεία στο χώρο των πωλήσεων, αποφάσισε να επεκτείνει τις δραστηριότητές της και στον τομέα της επεξεργασίας χάρτου. Η γκάμα των προϊόντων περιλαμβάνει χαρτί υγείας, χαρτοπετσέτες, χαρτί κουζίνας για οικιακή και επαγγελματική χρήση, χαρτομάντηλα τσέπης και χαρτομάντηλα facial.

Η εταιρεία διαθέτει την δική της οικογένεια προϊόντων. Παράλληλα προμηθεύει πολλές από τις μεγαλύτερες αλυσίδες της αγοράς στην Ελλάδα και στο εξωτερικό με ιδιωτικής ετικέτας προϊόντα, σχεδιασμένα να καλύπτουν τις ανάγκες του εκάστοτε πελάτη. Τέλος ισχυροποίησε την δυναμική της παρουσία στο χώρο της επεξεργασίας χάρτου με την εξαγορά ενός σήματος, με νέο μηχανολογικό εξοπλισμό και με εκπαιδευμένο προσωπικό.

Τα τελευταία χρόνια η εταιρεία αναβάθμισε ακόμα περισσότερο την ποιότητα των προϊόντων της. Το εργαστήριο ελέγχου ποιότητας είναι εξοπλισμένο με τελευταίας τεχνολογίας πιστοποιημένα μηχανήματα, διενεργεί καθημερινά ελέγχους στις πρώτες ύλες που παραδίδονται στις αποθήκες της εταιρείας, καθώς και στα τελικά προϊόντα. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται από τους υπεύθυνους για τον ποιοτικό έλεγχο, σε συνεργασία με το άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό, σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές της εταιρείας και των πελατών της. Η εταιρεία διαθέτει σύστημα ιχνηλασιμότητας των προϊόντων της για να ανιχνεύει για κάθε προϊόν την προέλευση των πρώτων υλών του, την φάση παραγωγής στην οποία βρίσκεται και το χρόνο παραγωγής του.

Οι βασικοί στόχοι της εταιρείας είναι η ποιότητα και ο έλεγχος σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, τα προϊόντα της να είναι απόλυτα προσαρμοσμένα στις ανάγκες των πελατών της και τέλος η ικανοποίηση των πελατών της εταιρείας με παραγωγή προϊόντων κορυφαίας ποιότητας στην καλύτερη δυνατή τιμή.



## 1.2 Δομή της Εργασίας

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζεται το αντικείμενο μελέτης της εργασίας, τα κίνητρα που οδήγησαν στην ενασχόληση με το θέμα και μια σύντομη παρουσίαση της ιστορίας και της δραστηριότητας της εταιρείας «Intertrade Hellas».

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, ερμηνεύονται θεμελιώδεις έννοιες και το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής, που απαιτείται για την μελέτη της γραμμής παραγωγής. Συνεχίζοντας στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση και οι συνθήκες παραγωγής που αφορούν την υπό μελέτη γραμμή παραγωγής της εταιρείας. Παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέξαμε, πιο συγκεκριμένα ανάλυση των παραγόμενων προϊόντων, η διαδικασία παραγωγής αυτών με χρήση διαγραμμάτων ροής, όπως επίσης και ο μηχανολογικός εξοπλισμός της εταιρείας.

Ακολουθεί το κεφάλαιο με την μοντελοποίηση του προβλήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο καθορίζονται οι μεταβλητές απόφασης, στην συγκεκριμένη περίπτωση η ποσότητα παραγωγής κάθε προϊόντος για μια εβδομάδα και η σειρά των προϊόντων με τον ελάχιστο χρόνο προετοιμασίας. Διαμορφώνονται οι αντικειμενικές συναρτήσεις, όπως καταμερισμός προϊόντων στις μηχανές και ελαχιστοποίηση του νεκρού χρόνου, και δημιουργούνται οι ανάλογοι περιορισμοί. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επίλυση του προβλήματος και κλείνοντας την εργασία αναφέρονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε.

## 2.Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) αποτελεί το δημοφιλέστερο μοντέλο στον χώρο της επιχειρησιακής έρευνας αλλά και της διοικητικής επιστήμης (management science) γενικότερα. Αυτήν την περίοδο, κυριαρχεί η αντίληψη ότι τρεις στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνας σε πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στον γραμμικό προγραμματισμό (ΓΠ).

Γραμμικός Προγραμματισμός είναι η διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης λύσης μιας γραμμικής συνάρτησης, η οποία να είναι συμβατή με ένα πεπερασμένο σύνολο γραμμικών περιορισμών. Δηλαδή ο γραμμικός προγραμματισμός περιγράφει ένα μοντέλο που αφορά την μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μιας γραμμικής συνάρτησης κάτω από κάποιους γραμμικούς περιορισμούς. Χρησιμοποιείται για την προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο τρόπο.

Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι για παράδειγμα η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών κ.λ.π. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά την μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, την μεγιστοποίηση της απασχόλησης κ.λ.π. Από την σκοπιά της οικονομίας, ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μια τεχνική που ασχολείται με το πρόβλημα της κατανομής των περιορισμένων πόρων ενός συστήματος σε ανταγωνιζόμενες δραστηριότητες κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο (καθώς και με άλλα προβλήματα με ανάλογη ή παραπλήσια διαμόρφωση). Θεωρείται σαν μια από τις πιο σπουδαίες μαθηματικές ανακαλύψεις των μέσων χρόνων του εικοστού αιώνα και στις μέρες μας αποτελεί ένα μοντέλο ευρείας χρήσης για καθημερινά ζητήματα των περισσότερων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους εμπορικών - βιομηχανικών εταιρειών.

Ο όρος «προγραμματισμός» δεν έχει την έννοια του «προγραμματισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών» αλλά αυτήν του «σχεδιασμού». Ο γραμμικός προγραμματισμός ασχολείται με την σχεδίαση των δραστηριοτήτων του συστήματος για να προκύψει το άριστο αποτέλεσμα. Αποτέλεσμα το οποίο μεταξύ όλων των δυνατών εναλλακτικών λύσεων πραγματώνει τον προκαθορισμένο σκοπό κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, εξελίχθηκε ως μεθοδολογία βελτιστοποίησης ενός και μόνο κριτηρίου απόφασης με την

ονομασία αντικειμενική συνάρτηση (objective function). Όμως, η πολυπλοκότητα των συστημάτων απόφασης καθώς και οι συνθήκες ανταγωνιστικότητας των κριτηρίων κάτω από τις οποίες παίρνονται οι αποφάσεις καθιστούν την προσέγγιση αυτήν κάθε άλλο παρά ρεαλιστική.

Η αρχική μαθηματική διατύπωση του προβλήματος καθώς και μια συστηματική διαδικασία λύσης του, η μέθοδος Simplex, οφείλεται στον G. B. Dantzig στα 1947. Νωρίτερα διάφορα προβλήματα τύπου γραμμικού προγραμματισμού είχαν διαμορφωθεί και επιλυθεί. Τα σημαντικότερα από αυτά αφορούν το πρόβλημα μεταφοράς (Hitchcock 1941, Koopmans 1949) και το πρόβλημα της δίαιτας (Stigler 1945). Ο Dantzig ήταν όμως ο άνθρωπος που κατασκεύασε το γενικό πλαίσιο και ταυτόχρονα ανακάλυψε την πρώτη μέθοδο επίλυσης του.

Πολλά από τα προβλήματα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε ανάγονται σε γραμμικά προβλήματα. Κλασικά παραδείγματα αποτελούν τα προβλήματα προγραμματισμού των πληρωμάτων σε μια αεροπορική εταιρεία, ο υπολογισμός του συνδυασμού πρώτων υλών σε ένα εργοστάσιο που μεγιστοποιεί το κέρδος του τελικού προϊόντος, ή ο υπολογισμός των ροών αυτοκινήτων σε ένα οδικό δίκτυο, ή του φόρτου πληροφοριών σε ένα δίκτυο επικοινωνίας.

### **2.1.1 Διαδικασία Μοντελοποίησης Γραμμικού Προβλήματος**

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ενός γραμμικού προβλήματος μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια στάδια τα οποία παρουσιάζονται στην συνέχεια.

#### **1ο Στάδιο: Αντικείμενο της απόφασης**

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης οι οποίες οφείλουν να αντανakλούν απόλυτα (μοντελοποιούν) το ζητούμενο της απόφασης, μέσα από τις ανάγκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα παρθεί η απόφαση και σύμφωνα με τις αξίες της κοινωνίας. Το αντικείμενο της απόφασης ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό του συνόλου των λύσεων, μετά από την διαμόρφωση των περιορισμών που είναι γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί, οι φυσικοί περιορισμοί, οι διαθέσιμοι πόροι και οι προτιμήσεις είναι η πηγή των έμμεσων επιτρεπτών ορίων μέσα στα οποία «κινούνται» οι τιμές των μεταβλητών απόφασης.

## **2ο Στάδιο:** Κριτήρια απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής του προβλήματος οφείλει να διαμορφώσει γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις σύμφωνα με τους στόχους της επιχείρησης ή του οργανισμού καθώς και τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων.

## **3ο Στάδιο:** Μοντέλα απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής χρησιμοποιεί μια σειρά από αλγόριθμους και συναφείς τεχνικές για την επίτευξη «καλών» λύσεων και την τεκμηρίωση των λύσεων αυτών.

## **4ο Στάδιο:** Υποστήριξη της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής προσπαθεί να πείσει τον αποφασίζοντα για την «αξία» μιας λύσης. Σε περίπτωση που η λύση και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον που θα παρθεί η απόφαση δεν ικανοποιούν τον αποφασίζοντα, θα πρέπει να αναθεωρηθεί ένας ή περισσότεροι από τους παράγοντες: τεχνολογία, περιβάλλον, πόροι και προτιμήσεις.

### **2.1.2 Συνθήκες Εφαρμογής και Τυπολογία Μοντέλων ΓΠ**

Για να είναι θεμιτή η προσέγγιση ενός γραμμικού προβλήματος απόφασης μέσω ενός κλασικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να ισχύουν οι προϋποθέσεις που ακολουθούν.

#### **Γραμμικότητα**

Το αποτέλεσμα, είτε είναι όρος περιορισμού είτε όρος αντικειμενικής συνάρτησης, είναι γραμμική συνάρτηση του αιτίου που το προκαλεί. Στην αντίθετη περίπτωση το μοντέλο εμπίπτει στο χώρο του μη γραμμικού προγραμματισμού.

#### **Διαιρετότητα**

Οι μεταβλητές απόφασης είναι άπειρα διαιρετές, εκφράζονται, για παράδειγμα, σε μονάδες μήκους, βάρους, κ.λ.π. Σε περίπτωση που οι μεταβλητές δεσμεύονται να πάρουν όλες ακέραιες τιμές, το πρόβλημα εμπίπτει στην κατηγορία του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν δεσμεύονται όλες οι μεταβλητές να πάρουν ακέραιες τιμές, αλλά μονάχα μερικές από αυτές, τότε το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.

## Βεβαιότητα

Τα δεδομένα του προβλήματος (αριθμητικά στοιχεία) είναι γνωστά με απόλυτη βεβαιότητα. Όταν ορισμένα από αυτά δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα, αλλά ακολουθούν γνωστούς στατιστικούς νόμους, ο προγραμματισμός λέγεται στοχαστικός. Ενώ όταν η πληροφορία για κάποιους συντελεστές είναι προσεγγιστική, είναι δηλαδή διαστήματα στα οποία ανήκουν ασαφώς οι συντελεστές αυτοί, ο προγραμματισμός λέγεται ασαφής.

## Μονοδιάστατη

Στον κλασικό γραμμικό προγραμματισμό η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να είναι μια και μοναδική (μονοδιάστατος ή μονοκριτήριο). Στην αντίθετη περίπτωση, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του πολυκριτηρίου γραμμικού προγραμματισμού.

## 2.2 Ακέραιος Προγραμματισμός

Σε ένα κλασικό (συνεχές) γραμμικό πρόγραμμα οι τιμές των μεταβλητών μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως αυτήν που αναφέρεται στο γραμμικό πρόβλημα της συγκεκριμένης βιομηχανίας, μερικές από τις μεταβλητές υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Τέτοιες μεταβλητές είναι για παράδειγμα αυτές που δηλώνουν αριθμό εργατών, αποφάσεις χρηματοδότησης ή όπως στο συγκεκριμένο πρόβλημα, παρτίδες επεξεργαζόμενων τεμαχίων.

Ο ακέραιος προγραμματισμός (integer programming) περιλαμβάνει όλα τα προβλήματα στα οποία οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού μπορεί κατ' επέκταση να είναι γραμμικό ή μη γραμμικό.

Σε περίπτωση που κάποιες από τις μεταβλητές ενός προβλήματος περιορίζονται σε ακέραιες τιμές και κάποιες όχι, έχουμε ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού (mixed integer programming).

Όταν όλες οι μεταβλητές περιορίζονται σε ακέραιες τιμές, έχουμε ένα πρόβλημα αμιγώς ακέραιου προγραμματισμού (pure integer programming).

Ο δυαδικός ακέραιος προγραμματισμός (binary integer programming) είναι μία ειδική κατηγορία προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού, όπου οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να πάρουν μόνο τιμές 0 ή 1.

## 2.3 Χρονική Περίοδος Προγραμματισμού

Η χρονική περίοδος στην οποία αναφέρεται ένας προγραμματισμός συνδέεται με το επίπεδο διοίκησης που γίνεται προγραμματισμός. Υπάρχουν τρεις βασικές περίοδοι προγραμματισμού. [4]

- Μακροπρόθεσμος Προγραμματισμός
- Μεσοπρόθεσμος Προγραμματισμός
- Βραχυπρόθεσμος Προγραμματισμός

Τα γενικά παραδεδομένα χρονικά κριτήρια διαχωρισμού του προγραμματισμού είναι τα εξής :

- Από 1 έτος έως 10 χρόνια είναι Μακροπρόθεσμος
- Από 1 εβδομάδα έως 1 έτος είναι Μεσοπρόθεσμος
- Από 1 ώρα έως 1 εβδομάδα είναι Βραχυπρόθεσμος

Οι βασικές αποφάσεις που αντιπροσωπεύουν κάθε προγραμματισμό αναφέρονται ως ακολούθως:

Μακροπρόθεσμος Προγραμματισμός:

- Αποφάσεις χρηματοδότησης
- Στρατηγικές Μάρκετινγκ
- Σχεδιασμός προϊόντων
- Επιλογή τεχνολογίας παραγωγής
- Αποφάσεις για δυναμικότητα
- Συμφωνίες με προμηθευτές
- Προγράμματα εκπαίδευσης προσωπικού
- Πολιτικές διασφάλισης ποιότητας

Μεσοπρόθεσμος Προγραμματισμός:

- Προσλήψεις προσωπικού
- Προληπτική συντήρηση εξοπλισμού
- Προώθηση πωλήσεων
- Προμήθειες πρώτων υλών

Βραχυπρόθεσμος Προγραμματισμός:

- Έλεγχος ροής υλικών
- Κατανομή εργασιών σε προσωπικό
- Έλεγχος διεργασιών
- Δρομολόγηση παραγγελιών / εντολών παραγωγής
- Έκτακτες επιδιορθώσεις βλαβών εξοπλισμού

## 2.4 Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή περιλαμβάνει την εύρεση της μικρότερης διαδρομής που ενώνει ένα αριθμό περιοχών, όπως δηλαδή κάνει ένας περιπλανώμενος πωλητής που επισκέπτεται διάφορες πόλεις, με σκοπό να πουλήσει τα προϊόντα του.

Αν ένας πωλητής ξεκινάει από την πόλη του και θέλει να επισκεφτεί ακριβώς μία φορά κάθε πόλη από μια δοθείσα λίστα πόλεων και να επιστρέψει πάλι στην πόλη του, είναι εύλογο για αυτόν να επιλέξει την σειρά με την οποία θα επισκεφτεί τις πόλεις, έτσι ώστε η συνολική απόσταση την οποία θα διανύσει κατά την περιοδεία του, να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη. Έστω ότι γνωρίζει, για κάθε ζεύγος πόλεων την απόσταση από την μια πόλη στην άλλη. Τότε έχει όλα τα δεδομένα που του χρειάζονται για να βρει την ελάχιστη διαδρομή, αλλά δεν είναι καθόλου προφανές γι' αυτόν πώς να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα αυτά προκειμένου να πάρει την απάντηση που ζητά. Με αυτό το πρόβλημα θα ασχοληθούμε παρακάτω και το ονομάζουμε πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Traveling Salesman Problem – TSP)

Ένα δίκτυο ορίζεται ως ένα σύνολο σημείων (κόμβων)  $V$  και ένα σύνολο πλευρών (κλάδων)  $A$  που συνδέουν τα σημεία αυτά. Έστω ένα δίκτυο που αποτελείται από  $n$  σημεία. Η απευθείας απόσταση μεταξύ δύο σημείων  $i$  και  $j$  είναι ίση με  $c_{ij}$ , όταν δεν υπάρχει πλευρά που να συνδέει απευθείας τα σημεία  $i$  και  $j$ , τότε  $c_{ij} = \infty$ . Θέλουμε να βρούμε την ελάχιστη διαδρομή που ξεκινάει από τον κόμβο 1, επισκέπτεται όλα τα σημεία του δικτύου, το κάθε ένα ακριβώς μία φορά, και επιστρέφει πάλι στο σημείο 1. Ορίζουμε δυαδικές μεταβλητές απόφασης  $x_{ij} = 1$ , αν στην διαδρομή υπάρχει απευθείας μετάβαση από τον κόμβο  $i$  στον κόμβο  $j$ , διαφορετικά  $x_{ij} = 0$ .

Το πρόβλημα μορφοποιείται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \\
& \text{υ.π.} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} = 1, \forall i \in V \\
& \sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} = 1, \forall j \in V \\
& u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \\
& x_{ij} \in \{0,1\}, i \in V, j \in V \\
& u_i \leq n \\
& u_i \geq 1 \\
& u_i \in \mathbb{Z}
\end{aligned}$$

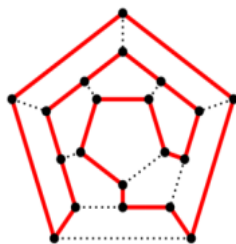
Η πρώτη και η δεύτερη ομάδα περιορισμών εξασφαλίζουν ότι θα επισκεφθούμε κάθε κόμβο ακριβώς μία φορά (πιο συγκεκριμένα ότι υπάρχει ακριβώς μία μετάβαση από και προς κάθε σημείο του δικτύου). Η τρίτη ομάδα περιορισμών εξασφαλίζει ότι στην λύση δε θα υπάρχουν διακριτοί κύκλοι (υποδιαδρομές). Οι περιορισμοί αυτοί κάνουν χρήση μιας μεταβλητής  $u_i$  (θετική ακεραία μεταβλητή) για κάθε κόμβο  $i$  η οποία δείχνει με ποια σειρά έχει γίνει επίσκεψη στον κόμβο αυτό.

Πρέπει τώρα να δείξουμε ότι για κάθε περιήγηση που καλύπτει όλες τις πόλεις, υπάρχουν τιμές για τις ψευδής μεταβλητές  $u_i$  που ικανοποιούν τους περιορισμούς. Χωρίς απώλεια της γενικότητας ορίζουμε την περιήγηση να ξεκινάει (και να τελειώνει) στην πόλη 1. Επιλέγουμε  $u_i = t$  εάν η πόλη  $i$  επισκέπτεται στο βήμα  $t$  ( $i, t = 2, \dots, n$ ). Έπειτα,  $u_i - u_j \leq n-1$  αφού το  $u_i$  δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το  $n$  και  $u_j$  άρα οι περιορισμοί ικανοποιούνται κάθε φορά που  $x_{ij} = 0$ . Για  $x_{ij} = 1$  έχουμε:  
 $u_i - u_j + nx_{ij} = (t) - (t+1) + n = (t) - (t+1) + n = n-1$ , ικανοποιώντας τον περιορισμό.



### 2.4.1 Ιστορικό Υπόβαθρο Προβλήματος Πλανόδιου Πωλητή

Οι απαρχές του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή δεν είναι σαφείς. Ένα εγχειρίδιο για πλανόδιους πωλητές το 1832 αναφέρει το πρόβλημα και περιλαμβάνει παραδείγματα περιηγήσεων μέσω της Γερμανίας και της Ελβετίας, αλλά δεν περιέχει καμία μαθηματική προσέγγιση. Τον 19ο αιώνα το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή ορίστηκε από τον Ιρλανδό μαθηματικό William Rowan Hamilton και τον Βρετανό μαθηματικό Thomas Kirkman. Ο Hamilton δημιούργησε το Icosian Puzzle (η λέξη Icosian προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό είκοσι), που περιλαμβάνει την εύρεση ενός κύκλου από τις άκρες ενός δωδεκάεδρου, έτσι ώστε κάθε κόμβος να επισκέπτεται μία μόνο φορά, κανένας κόμβος να μην επισκέπτεται δεύτερη φορά και το τελικό σημείο να είναι ίδιο με το αρχικό. Ο κύκλος αυτός ονομάστηκε κύκλος του Hamilton ο οποίος είναι ένα μονοπάτι με την ιδιότητα αυτήν. Οπότε ένα μονοπάτι του Hamilton είναι ένα μονοπάτι σε μη κατευθυνόμενο γράφημα το οποίο επισκέπτεται κάθε κόμβο ακριβώς μια φορά.



**Εικόνα 1: Κύκλος Hamilton σε δωδεκάεδρο**

Η γενική μορφή του TSP φαίνεται να έχει μελετηθεί για πρώτη φορά κατά την δεκαετία του 1930 στην Βιέννη και στο Χάρβαρντ, κυρίως από τον Karl Menger ο οποίος καθόρισε και το πρόβλημα. Ο Hassler Whitney στο Πανεπιστήμιο του Princeton εισήγαγε το όνομα «πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή» αμέσως μετά. Στην δεκαετία του 1950 και 1960, έγινε όλο και πιο δημοφιλές στους επιστημονικούς κύκλους της Ευρώπης και της Αμερικής. Αξιοσημείωτη ήταν η συμβολή των George Dantzig, Delbert Ray Fulkerson και Selmer Johnson στο συνέδριο RAND στην Santa Monica, οι οποίοι εξέφρασαν το πρόβλημα ως ένα πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή έχει ένα χαρακτήρα πρότυπο για πολλούς κλάδους των Μαθηματικών, των Υπολογιστών και της Επιχειρησιακής Έρευνας. Οι κύριες συνιστώσες για τις σημερινές πιο επιτυχείς προσεγγίσεις για δύσκολα συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης είναι οι αλγόριθμοι Ευριστικής Αναζήτησης, ο Γραμμικός Προγραμματισμός και οι αλγόριθμοι Branch-and-Bound (B&B), οι οποίες αρχικά διατυπώθηκαν για το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή και συνήθιζαν να επιλύουν περιπτώσεις πρακτικών.

Ένας από τους λόγους που έκαναν το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή ένα τόσο δημοφιλές πρόβλημα ήταν η στενή σχέση του με εξέχοντα θέματα των συνδυαστικών προβλημάτων που προέκυπταν τότε από την νέα μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού, ιδίως του προβλήματος ανάθεσης και, πιο γενικά του προβλήματος μεταφοράς.

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή ήταν σαν όλα αυτά τα προβλήματα, αλλά προφανώς πιο δύσκολο στο να λυθεί και η πρόκληση έγινε ακόμα πιο ενδιαφέρουσα. Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή έγινε τόσο δημοφιλές επειδή έχει ένα όνομα που υπενθύμιζε και υπενθυμίζει σε όλους άλλες εικόνες. Ο περιπλανώμενος πωλητής ως προσωπικότητα ήταν μια από τις κλασικές προσωπικότητες στην Αμερικάνικη Ιστορία. Αδιαμφισβήτητο πάντως είναι το γεγονός ότι η μεγάλη απήχηση που λαμβάνει το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή οφείλεται στο όνομα που του αποδόθηκε.

### **3.Περιγραφή του Συστήματος Παραγωγής**

#### **3.1 Παρουσίαση Παραγόμενων Προϊόντων**

Η εφαρμογή της διπλωματικής έγινε στην Intertrade Hellas ABEE, η οποία είναι εταιρεία επεξεργασίας χάρτου, διαθέτει 11 γραμμές παραγωγής και παράγει 6 κατηγορίες προϊόντων. Ο χαρακτηρισμός “επεξεργασίας χάρτου” εκφράζει την μεταποίηση της πρώτης ύλης με ειδικό εξοπλισμό, σε τελικό προϊόν.

Η πρώτη ύλη και οι βοηθητικές ύλες που χρησιμοποιούμε στην παραγωγή, διατίθενται από σταθερούς προμηθευτές. Τα προϊόντα είναι διαφορετικά, επομένως είναι λογικό να υπάρχουν καθυστερήσεις κατά την προετοιμασία αλλαγής της παραγωγής από ένα προϊόν σε άλλο ή και κόστος (πχ. καθυστέρηση λόγω καθαρισμού των μηχανών, αλλαγή εξαρτημάτων και κόστος προϊόντων ή πρώτων υλών αφού τα παραγόμενα προϊόντα μπορεί να έχουν προσμίξεις με υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο προϊόν και να απορρίπτονται). Η απαιτούμενη πρώτη ύλη είναι μεγάλοι ρόλοι χάρτου και οι βοηθητικές ύλες είναι χαρτόνι, πλαστικά τυπωμένα ή ατύπωτα, κόλλα, χρώμα και άρωμα. Το χαρτόνι χρησιμεύει για την παραγωγή του μαδρέν, το οποίο είναι το χαρτόνι με σχήμα κυλίνδρου στο εσωτερικό ορισμένων προϊόντων όπως το ρολό κουζίνας, και για τα χαρτόκουτα στην συσκευασία προϊόντων. Τα πλαστικά για την συσκευασία κάθε προϊόντος, η κόλλα για την εκτύλιξη του χαρτιού πάνω στο μαδρέν και το τέλος της εκτύλιξης, το χρώμα για το βάψιμο του χαρτιού, το άρωμα για τον αρωματισμό των ρόλων. Κάθε μία από αυτές τις ύλες χρησιμοποιείται σε απειροελάχιστες ποσότητες αναλογικά, γι’ αυτό και δεν θα τις υπολογίσουμε στην επίλυση του προβλήματος. Επίσης δεν υπάρχει περίπτωση έλλειψης τους, καθώς βρίσκονται σε συνεχή ανατροφοδότηση.

Όλες οι γραμμές παραγωγής έχουν, όπως θα δούμε παρακάτω, παρόμοια δομή. Υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξει κάθε στάδιο της παραγωγής, ανάλογα με το παραγόμενο προϊόν και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Η ροή και τα στάδια παραγωγής παραμένουν σταθερά για κάθε προϊόν, αλλά ανάλογα την παραγγελία αλλάζουν τα εξαρτήματα και τα είδη των υλών που χρησιμοποιούμε.

Παράγουμε έξι κατηγορίες προϊόντων:

1. Χαρτοπετσέτες
2. Χαρτί Υγείας
3. Οικιακό Χαρτί Κουζίνας
4. Επαγγελματικό Χαρτί Κουζίνας
5. Χαρτομάντηλα Τσέπης
6. Χαρτομάντηλα Facial

Κάθε προϊόν έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

### Χαρτοπετσέτες



Διαστάσεις	30x30 cm, 33x33 cm
Τεμάχια/ Συσκευασία	50 τμχ, 56 τμχ, 70 τμχ, 100 τμχ, 150 τμχ, 200 τμχ, 250 τμχ
Φύλλα/ Τεμάχιο	1 φύλλο
Είδος	Λευκές, Καρώ, Χρωματιστές

**Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Χαρτοπετσέτας**

### Χαρτί Υγείας



Βάρος	68gr, 75gr, 82gr, 90gr 103gr, 140gr, 150gr, 180gr
Τεμάχια/ Συσκευασία	8 ρολά, 10 ρολά, 12 ρολά, 16 ρολά, 24 ρολά, 32 ρολά
Φύλλα/ Τεμάχιο	2 φύλλα, 3 φύλλα, 4 φύλλα
Είδος	Λείο, Micro, Deco, Desl

**Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Ρολού Χαρτιού Υγείας**

### Οικιακό Χαρτί Κουζίνας



Βάρος	98gr, 100gr, 180gr, 200gr, 380gr, 400gr
Φύλλα/Τεμάχιο	2φύλλα, 3φύλλα
Είδος	Desl Printed

**Πίνακας 3:Χαρακτηριστικά Οικιακού Χαρτιού Κουζίνας**

### Επαγγελματικό Χαρτί Κουζίνας



Βάρος	400gr , 600gr, 700gr, 800gr 900gr, 1kg, 1221gr, 1500gr 1800gr, 2kg
Φύλλα/ Τεμάχιο	1φύλλο, 2φύλλα
Είδος	Λείο, P to P

**Πίνακας 4:Χαρακτηριστικά Επαγγελματικού Χαρτιού Κουζίνας**

### Χαρτομάντηλα Τσέπης



Διαστάσεις	21x21 cm
Τεμάχια / Συσκευασία	9τμχ, 10τμχ
Φύλλα / Τεμάχιο	3φύλλα, 4φύλλα

**Πίνακας 5:Χαρακτηριστικά Χαρτομάντηλων Τσέπης**

### Χαρτομάντηλα Facial

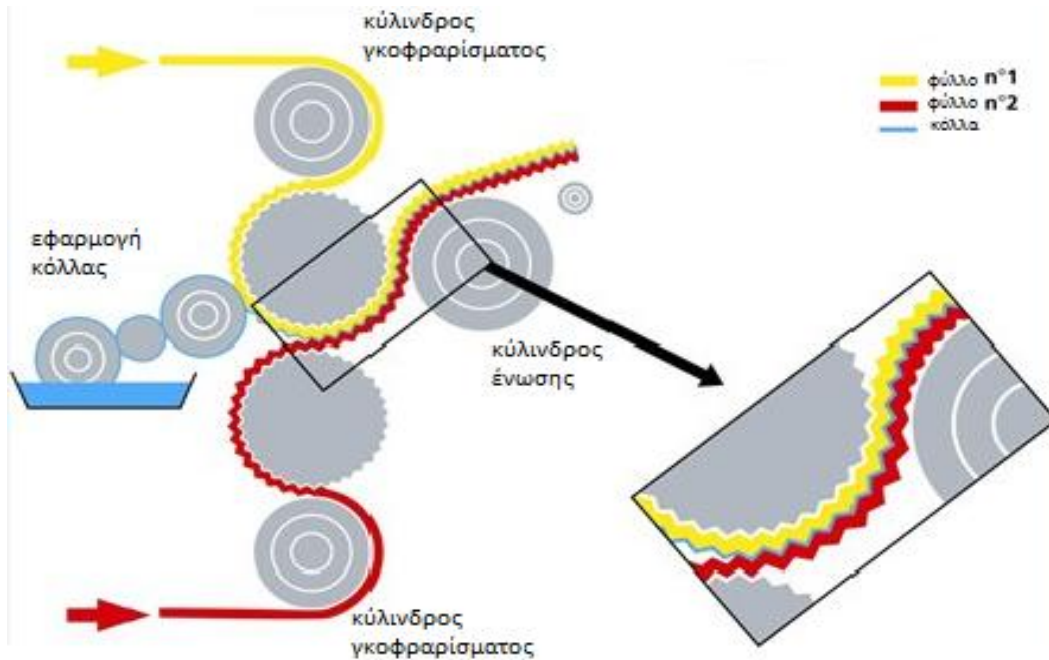


Διαστάσεις	20 x 20,8 cm
Τεμάχια / Συσκευασία	90 τμχ, 100τμχ, 150τμχ
Φύλλα / Τεμάχιο	2φύλλα, 3φύλλα, 4φύλλα

**Πίνακας 6 :Χαρακτηριστικά Χαρτομάντηλων Facial**

Η μεγάλη ποσότητα προϊόντων και η ποικιλία των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους, κάνουν το πρόβλημα ιδιαίτερα περίπλοκο. Για κάθε χαρακτηριστικό γίνεται τροποποίηση στην γραμμή παραγωγής είτε αλλάζοντας εξαρτήματα είτε αλλάζοντας πρόγραμμα στον υπολογιστή της μηχανής. Πιο συγκεκριμένα για την διάσταση, το βάρος των προϊόντων και τα τεμάχια ανά συσκευασία, γίνονται αλλαγές στις ρυθμίσεις και το πρόγραμμα του υπολογιστή στην μηχανή. Για τα φύλλα ανά τεμάχιο, το είδος

γκοφραρίσματος και την προσθήκη χρώματος, αρώματος ή σχεδίου τυπώματος γίνονται μετατροπές σε μέρη της γραμμής παραγωγής, σε εξαρτήματα της μηχανής και στον μηχανικό ρόλο χαρτιού.



**Εικόνα 2:Επεξεργασία φύλλου - Σταδιο γκοφραρίσματος**

Στο στάδιο του γκοφραρίσματος το φύλλο χαρτιού περνάει από κάποιους κυλίνδρους, οι οποίοι πιέζουν το φύλλο και του δίνουν ένα αποτύπωμα ανάλογα το είδος του προϊόντος που θέλουμε να παράξουμε. Το είδος γκοφραρίσματος μπορεί να είναι λείο (όπως είναι το φύλλο χωρίς επεξεργασία), desl, deco, micro και pointtopoint. Σε κάθε προϊόν μπορούμε να επιλέξουμε τα φύλλα που θα αποτελείται, δηλαδή μπορεί να έχει ένα, δύο, τρία ή και τέσσερα φύλλα, για να ενωθούν τα φύλλα μεταξύ τους χρησιμοποιούμε κόλλα.



**Εικόνα 3:Κύλινδροι γκοφραρίσματος**

## 3.2 Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της παραγωγικής διαδικασίας. Η κάθε γραμμή παραγωγής είναι ένα σύστημα, το οποίο αποτελείται από επιμέρους μηχανήματα για την διεκπεραίωση της κάθε φάσης παραγωγής. Σε κάθε σύστημα για την υλοποίηση του προϊόντος, τα μηχανήματα συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά δίνοντας μεγάλη παραγωγή και παραγωγική ισχύ στην εταιρεία. Το αρνητικό τέτοιου τύπου γραμμών είναι ότι κατά την αλλαγή από προϊόν σε προϊόν ή την βλάβη κάποιας μηχανής, σταματάει όλη η παραγωγή.

Οι ρόλοι χάρτου συλλέγονται στις εγκαταστάσεις της εταιρείας με φορτηγά από τους προμηθευτές και η αποθήκευση τους γίνεται με ανυψωτικά μηχανήματα στους χώρους της εταιρείας. Στην συνέχεια οδηγούνται προς επεξεργασία στην ανάλογη μηχανή. Κάθε γραμμή παραγωγής έχει στάδια, στα οποία ανάλογα με τις προτιμήσεις των πελατών, υπάρχει η δυνατότητα να μετατραπεί το προϊόν, όπως να χρωματιστεί, να αρωματιστεί ή να έχει κάποιο σχέδιο. Σε αυτά τα στάδια χρησιμοποιούνται οι βοηθητικές ύλες (χαρτόνι, πλαστικά τυπωμένα ή ατύπωτα, κόλλα, χρώμα, άρωμα). Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις ξεκινάει η παραγωγή. Σε όλη την διαδικασία υπάρχουν εργαζόμενοι οι οποίοι επιβλέπουν την παραγωγή από την αρχή μέχρι το τέλος. Στο τέλος κάθε γραμμής παράγεται το τελικό προϊόν, συσκευάζεται στην ανάλογη συσκευασία και αποθηκεύεται μέχρι να μεταφερθεί στον πελάτη.

### Μαδρέν

Σε ορισμένα προϊόντα όπως χαρτί υγείας και χαρτί κουζίνας, για την ανατύλιξη του χαρτιού και την παραγωγή του τελικού προϊόντος, χρησιμοποιείται το μαδρέν. Το μαδρέν παράγεται παράλληλα και συνδέεται με την παραγωγή για την δημιουργία του τελικού προϊόντος. Αρχικά εκτυλίσσεται το χαρτόνι από τον μητρικό ρόλο και τυλίγεται σε έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο, τον άξονα σχηματισμού, ενώ παράλληλα ψεκάζεται με κόλλα και τυλίγεται για να πάρει το τελικό του σχήμα. Στην συνέχεια κόβεται στο απαραίτητο μέγεθος και εφοδιάζεται στην μηχανή αυτόματα ή με την βοήθεια ενός εργαζόμενου.



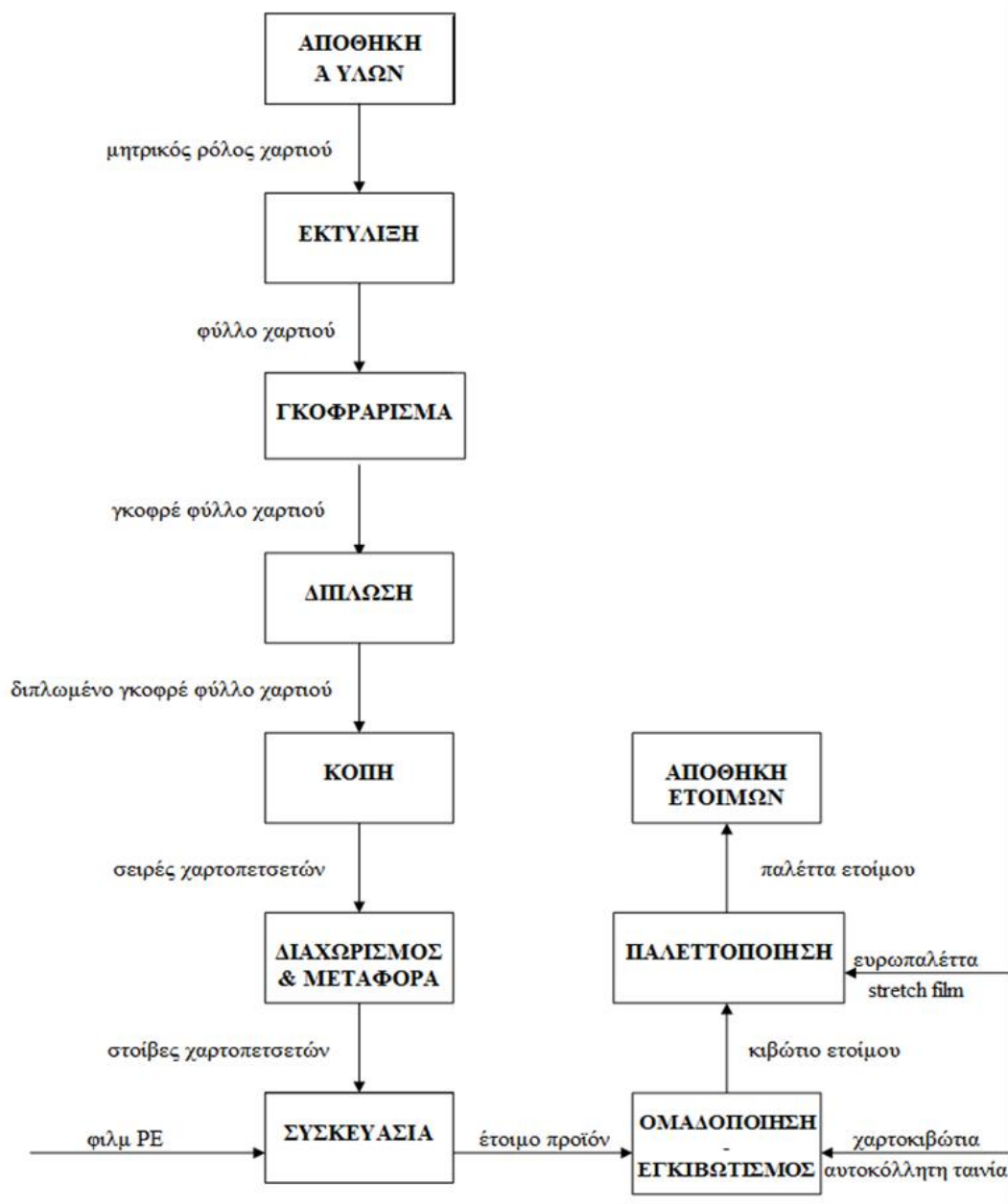


**Εικόνα 4:Διάγραμμα Ροής Μαδρέν**

### **Χαρτοπετσέτες**

Για την παραγωγή της χαρτοπετσέτας αρχικά οι μητρικοί ρόλοι χαρτιού οδηγούνται στην μηχανή από την αποθήκη Α' υλών, φορτώνονται στην μηχανή και ξεκινάει η διαδικασία. Οι ρόλοι εκτυλίσσονται, περνούν από το κατάλληλο τμήμα της μηχανής για να γίνει το γκοφράρισμα και στην συνέχεια οδηγείται στο κομμάτι της δίπλωσης. Σε αυτό το στάδιο το χαρτί διπλώνεται στο τελικό σχήμα και οδηγείται στο στάδιο της κοπής, το διπλωμένο γκοφρέ φύλλο χαρτιού κόβεται στις κατάλληλες διαστάσεις και τοποθετείται σε στοίβες για να γίνει ο διαχωρισμός και η μεταφορά τους στο κομμάτι της συσκευασίας. Αφού συσκευαστούν στις κατάλληλες συσκευασίες, ανάλογα την

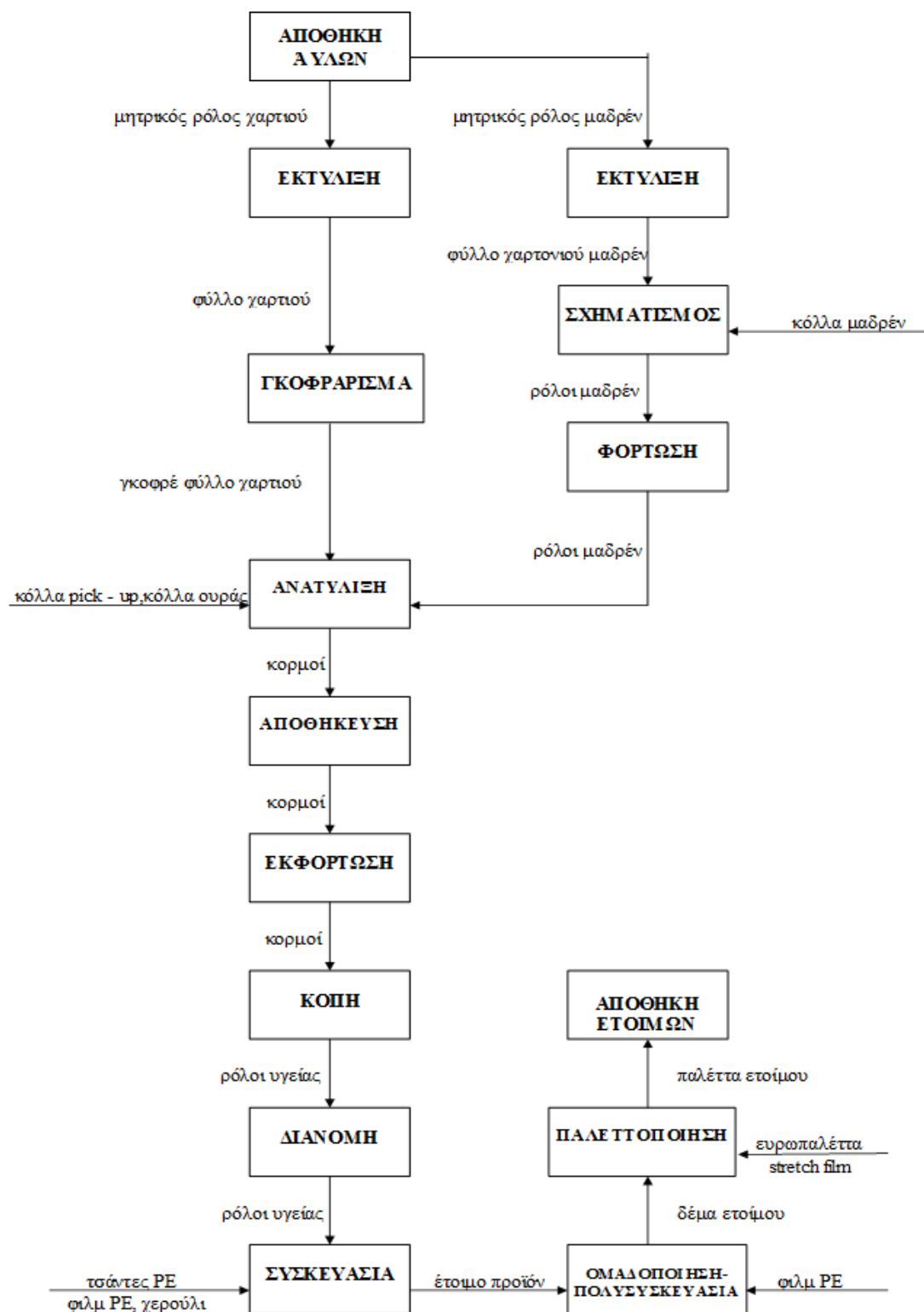
παραγγελία, βγαίνουν τα πακέτα και οδηγούνται στον εγκιβωτισμό όπου τα τελικά προϊόντα εισέρχονται σε κούτες και με την βοήθεια ενός εργαζομένου, τοποθετούνται στις παλέτες για να αποθηκευτούν.



Εικόνα 5:Διάγραμμα Ροής Χαρτοπετσετάς

## Χαρτί Υγείας

Η παραγωγή του χαρτιού υγείας ξεκινάει με τον μητρικό ρόλο χαρτιού να φορτώνεται στην μηχανή με την βοήθεια του ανυψωτικού μηχανήματος, από την αποθήκη Α' υλών.

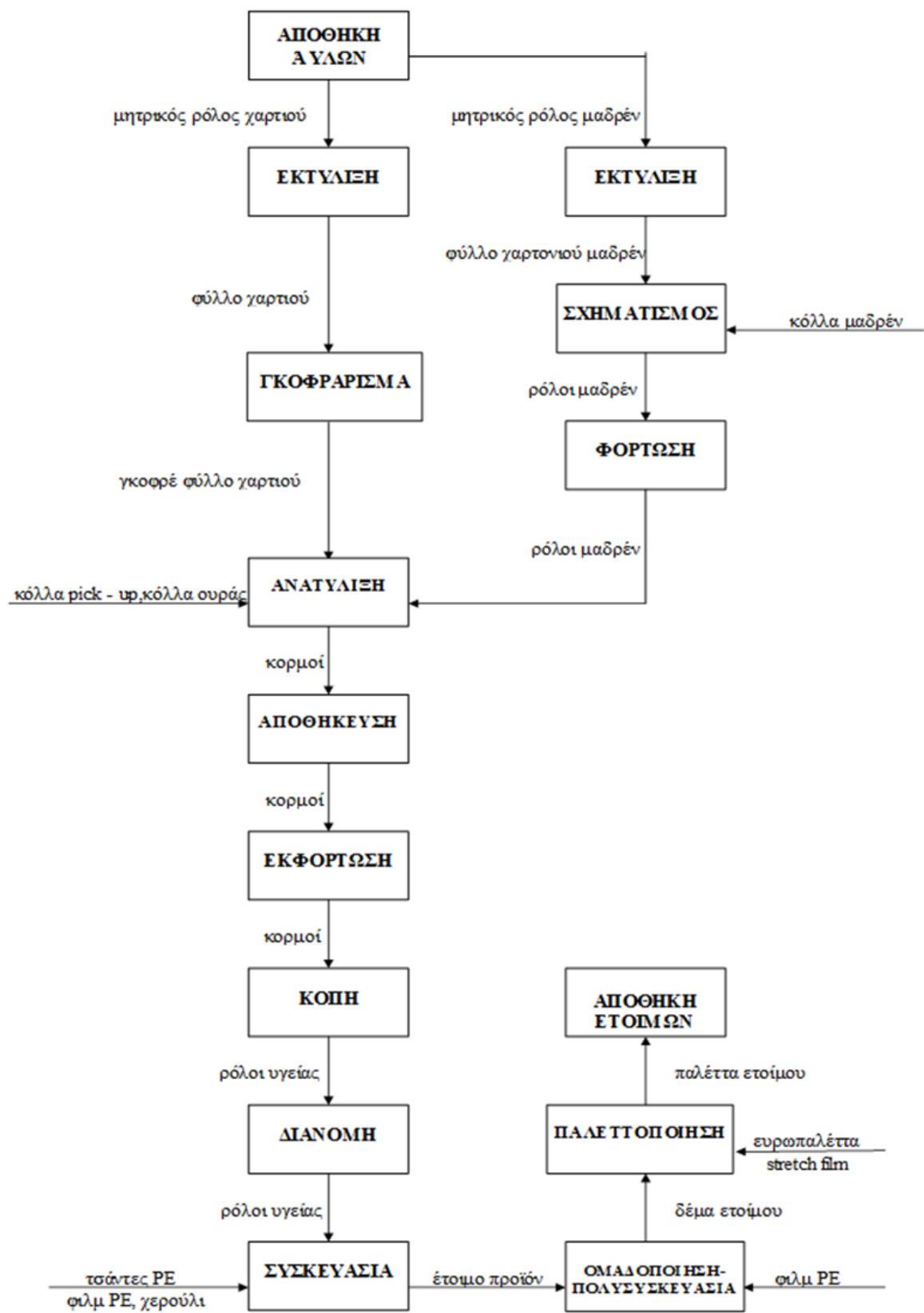


Εικόνα 6: Διάγραμμα Ροής Χαρτί Υγείας

Αυτόματα ξεκινάει η εκτύλιξη, το φύλλο του χαρτιού περνάει από το ανάλογο κομμάτι της μηχανής για να γίνει το γκοφράρισμα. Αφού γίνει το γκοφράρισμα, περνάει στην ανατύλιξη, όπου εισέρχεται το μαδρέν και δημιουργούνται μικροί κορμοί. Οι κορμοί οδηγούνται στο αναβατόριο, στο αναβατόριο συλλέγονται και αποθηκεύονται οι κορμοί μέχρι να γίνει η εκφόρτωση τους στο στάδιο της κοπής. Στην κοπή ο κάθε κορμός κόβεται σε μικρά ρολά, τα οποία εξέρχονται και με ειδικές μεταφορικές ταινίες οδηγούνται στην συσκευασία. Τα ρολά, ανάλογα το είδος της παραγγελίας συσκευάζονται στην κατάλληλη συσκευασία. Το τελικό προϊόν ομαδοποιείται και τοποθετείται είτε από ρομπότ είτε από κάποιον εργαζόμενο σε παλέτες για να αποθηκευτεί στην αποθήκη τελικών προϊόντων.

### **Ρολό Κουζίνας Οικιακό-Επαγγελματικό**

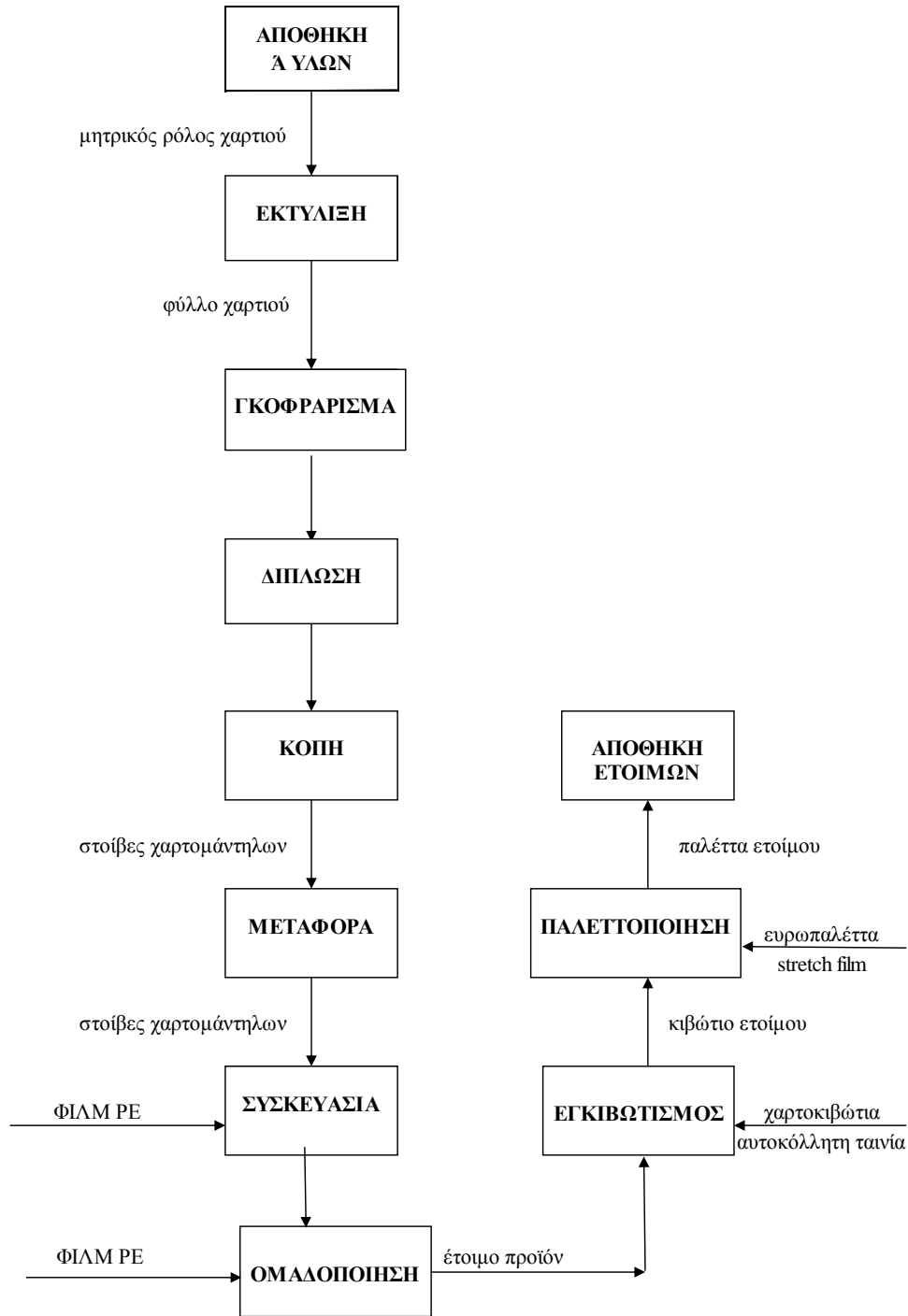
Το ρολό κουζίνας παράγεται είτε για οικιακή, είτε για επαγγελματική χρήση. Ο τρόπος παραγωγής τους είναι ίδιος, με την διαφορά τους στο βάρος, την συσκευασία και το γκοφράρισμα. Με την βοήθεια ανυψωτικού οχήματος από την αποθήκη πρώτωνύλων μεταφέρεται ο ρόλος χαρτιού στην μηχανή. Τοποθετείται πάνω στην μηχανή ο μητρικός ρόλος χάρτιου και γίνεται η εκτύλιξη του φύλλου χαρτιού για να περάσει από το γκοφράρισμα. Στην συνέχεια το φύλλο χαρτιού συναντά το μαδρέν και με την βοήθεια της κόλλας, που ψεκάζεται πάνω στο μαδρέν, γίνεται η ανατύλιξη και δημιουργούνται μικροί κορμοί οι οποίοι οδηγούνται στο αναβατόριο για αποθήκευση. Οι κορμοί αφού αποθηκευτούν συνεχίζουν με ειδικές μεταφορικές ταινίες στην κόπη, όπου περνουν και την τελική τους μορφή οι ρόλοι. Οι ρόλοι κουζίνας διανέμονται στο στάδιο της συσκευασίας για να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν. Συλλέγονται τα τελικά προϊόντα και ομαδοποιούνται για να τοποθετηθούν με την βοήθεια ρομπότ ή εργαζομένου πάνω σε παλέτες. Τέλος η κάθε παλέτα οδηγείται στην αποθήκη τελικών προϊόντων, έτοιμη για αποστολή στο πελάτη.



Εικόνα 7:Διάγραμμα Ροής Ρολού Κουζίνας

## Χαρτομάντηλα Τσέπης

Οι ρόλοι χάρτου από την αποθήκη Α' υλών εισέρχονται στην μηχανή και ξεκινάει η παραγωγή των χαρτομάντηλων είδους «τσέπης». Ο μητρικός ρόλος χαρτιού εκτυλίσσεται και το φύλλο χαρτιού περνάει στο γκοφράρισμα, στην συνέχεια γίνεται η δίπλωση για να πάρει την τελική μορφή.

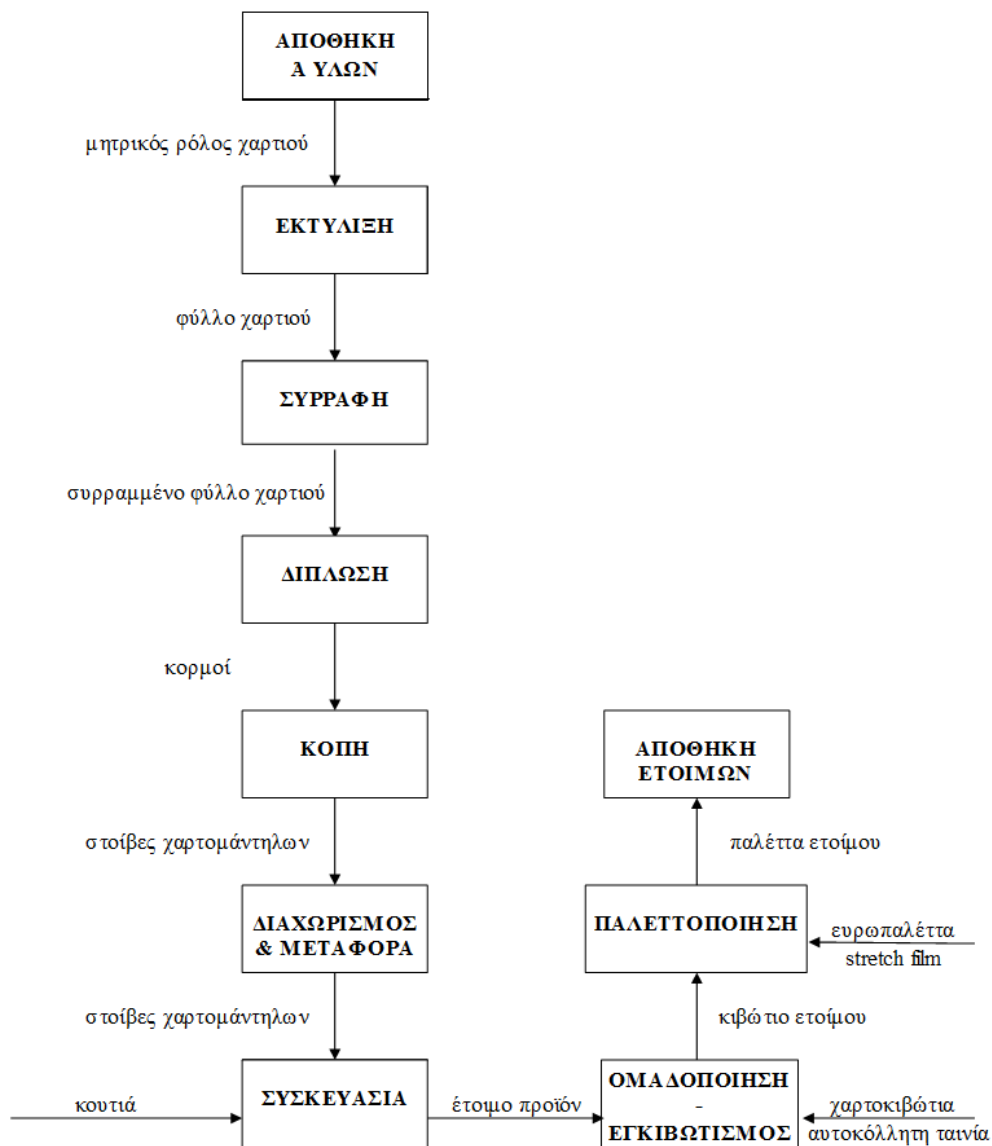


Εικόνα 8:Διάγραμμα Ροής Χαρτομάντηλων Τσέπης

Το προϊόν μπαίνει σε στοίβες και μεταφέρεται με ειδικές ταινίες στο στάδιο της συσκευασίας, όπου συσκευάζεται και δημιουργείται το τελικό προϊόν. Η κάθε συσκευασία οδηγείται στο στάδιο της πολυσυσκευασίας-ομαδοποίησης και τέλος με την βοήθεια ενός εργαζόμενου εγκιβωτίζονται και τοποθετούνται στην παλέτα για αποθήκευση.

### ΧαρτομάντηλαFacial

Οι ρόλοι χάρτου από την αποθήκη Α' υλών συλλέγονται με ανυψωτικό μηχάνημα στην μηχανή. Τοποθετείται ο μητρικός ρόλος πάνω στην μηχανή και ξεκινάει η παραγωγή των χαρτομάντηλων είδους «Facial».



Εικόνα 9:Διάγραμμα Ροής Χαρτομάντηλα Facial

Ο μητρικός ρόλος εκτυλίσσεται και το φύλλο χαρτιού οδηγείται στην συρραφή, σε αυτό το στάδιο το φύλλο χαρτιού περνάει από ειδικά «ροδάκια» για να πιεστεί και να κολλήσει μεταξύ τους. Στην συνέχεια οδηγείται στην κοπή όπου κόβεται και τοποθετείται σε στοίβες για να δημιουργηθεί το προϊόν. Οι στοίβες χαρτομάντηλων τοποθετούνται σε κουτιά και δημιουργείται το τελικό προϊόν. Τέλος τα τελικά προϊόντα συλλέγονται στην συσκευασία, με την βοήθεια εργαζομένου τοποθετούνται σε κούτες, ομαδοποιούνται και στην συνέχεια τα κιβώτια αποθηκεύονται με παλέτες στην αποθήκη έτοιμων προϊόντων.

### 3.3 Περιγραφή Μηχανολογικού Εξοπλισμού

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μαζικής παραγωγής είναι η τμηματοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών και η εξέλιξη των εργασιών σε γραμμές παραγωγής. Η κάθε γραμμή παραγωγής αποτελείται από επιμέρους μηχανήματα για την διεκπεραίωση της κάθε φάσης παραγωγής. Το κάθε σύστημα αποτελείται από τον παρακάτω μηχανολογικό εξοπλισμό.

#### ΓΡΑΜΜΗ PCMC ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΛΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΚΟΥΖΙΝΑΣ

ΜΟΝΑΔΑ ΕΚΤΥΛΙΞΗΣ
ΜΟΝΑΔΑ ΓΚΟΦΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΟΛΛΑ
ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΤΥΛΙΞΗΣ
ΑΠΟΘΗΚΗ ΚΟΡΜΩΝ
ΦΟΡΤΩΤΗΣ ΚΟΡΜΩΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ
ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΜΑΔΡΕΝ
ΜΑΔΡΕΝΟΜΗΧΑΝΗ
ΕΚΤΥΛΙΞΗ ΜΑΔΡΕΝ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΣΑΝΤΑΣ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΥΒΟΥ
ΠΟΛΥΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ
ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΥΛΙΓΜΑ ΠΑΛΕΤΤΑΣ



**ΓΡΑΜΜΗ PERINISINCRO 4.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΛΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΚΟΥΖΙΝΑΣ**

ΜΟΝΑΔΑ ΚΟΛΛΗΣΗΣ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΔΡΕΝ
ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΡΟΛΩΝ ΜΑΔΡΕΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ ΚΟΠΗΣ
ΔΙΑΝΟΜΕΑΣ 4/8
ΜΗΧΑΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΡΟΥΛΙΟΥ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ CASMATIC T100
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ OPTIMA LBV 3R
ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΕΑΣ
BUNDLER DROGGITIS
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**ΓΡΑΜΜΗ PERINISINCRO 4.0 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΛΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΚΟΥΖΙΝΑΣ**

ΜΟΝΑΔΑ ΕΚΤΥΛΙΞΗΣ
ΜΟΝΑΔΑ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΑ ΓΚΟΦΡΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΟΛΛΑ
ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΤΥΛΙΞΗΣ
ΑΠΟΘΗΚΗ ΚΟΡΜΩΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ
ΜΑΔΡΕΝΟΜΗΧΑΝΗ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΥΒΟΥ
ΠΟΛΥΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ
ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΥΛΙΓΜΑ ΠΑΛΕΤΤΑΣ

**ΓΡΑΜΜΗ PERINISINCRO 6.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΛΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΚΟΥΖΙΝΑΣ**

ΜΟΝΑΔΑ ΚΟΛΛΗΣΗΣ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΔΡΕΝ
ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΡΟΛΩΝ ΜΑΔΡΕΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ ΚΟΠΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΑΜΟΤΕΚ
ΕΚΤΡΟΠΕΑΣ
ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΤΗΣ BFA25
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ
ΡΟΜΠΟΤ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΠΑΛΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

**Πίνακας 7: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Ρολών Υγείας & Κουζίνας**

**ΓΡΑΜΜΗ LYISH ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΡΟΛΩΝΚΟΥΖΙΝΑΣ**

ΚΟΛΛΗΤΙΚΟ ΟΥΡΑΣ
ΑΝΑΒΑΤΟΡΙΟ ΚΟΡΜΩΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ ΚΟΠΗΣ
ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΑΔΡΕΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΤΣΑΝΤΑΣ ZAMEX I
ΦΟΥΡΝΟΣ ΣΥΡΙΚΝΩΣΗΣ ΚΡΑΤΗΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**ΓΡΑΜΜΗ PERINI SINCRO 750A ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΛΩΝΚΟΥΖΙΝΑΣ**

ΚΟΛΛΗΤΙΚΟ ΟΥΡΑΣ
ΑΝΑΒΑΤΟΡΙΟ ΚΟΡΜΩΝ
ΜΑΧΑΙΡΙ ΚΟΠΗΣ
ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΑΔΡΕΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΤΣΑΝΤΑΣ ZAMEX II
ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟ - ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ LP SFE 1500 AY
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ-ΣΥΡΡΙΚΝΩΤΙΚΟ IFRHSS 55 BOXMOTION
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**Πίνακας 8: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμής Παραγωγής Ρολών Κουζίνας****ΓΡΑΜΜΗ OMET TV 503 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΠΕΤΣΕΤΑΣ**

OMET TV 501
OMET TV 503
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ MULTIPACK NK50
ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΤΙΚΟ
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**ΓΡΑΜΜΗ OMET TV 840 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΠΕΤΣΕΤΑΣ**

OMET TV 840
ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΤΙΚΟ FAMS
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ MULTIPACK NK50
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**ΓΡΑΜΜΗ PERINI BOLD 8.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΠΕΤΣΕΤΑΣ**

PERINI BOLD 8.5
PERINI BOLD 8.5
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ MULTIPACK NK70
ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΤΙΚΟ
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**Πίνακας 9: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Χαρτοπετσέτας**

**ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΑΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΜΑΝΤΗΛΩΝ «ΤΣΕΠΗΣ»**

ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΜΑΝΤΗΛΩΝ
ΠΑΚΕΤΑΡΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ
ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ
ΤΥΛΙΓΜΑ ΠΑΛΕΤΤΑΣ

**Πίνακας 10: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής Χαρτομάντηλων Τσέπης****ΓΡΑΜΜΗ ΜΤC ΙΤF 700 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΜΑΝΤΗΜΑ FACIAL**

INTERFOLDER
ΜΑΧΑΙΡΙ ΚΟΠΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ V2
ΚΛΕΙΣΤΙΚΟ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ROBOPACK
ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

**Πίνακας 11: Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμής Παραγωγής Facial****ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ**

ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ATLAS COPCO GA 37
ΠΡΕΣΣΑ ΣΚΑΡΤΩΝ
ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ 2,5 ΤΝ
ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ 1 ΤΝ
ΗΜΙΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΠΑΛΕΤΑΣ
ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ATLAS COPCO GA 50 VSD
ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ KAESER

**Πίνακας 12: Βοηθητικός Μηχανολογικός Εξοπλισμός Γραμμών Παραγωγής**

## 4. Μοντελοποίηση και Αριθμητικά Αποτελέσματα

Τα προϊόντα της εταιρείας παράγονται σε περισσότερες από μια γραμμές παραγωγής, προσφέροντας υψηλή παραγωγικότητα, ασφάλεια και ευελιξία στην εταιρεία. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να καλυφθούν μεγάλες παραγγελίες λειτουργώντας χωρίς καθυστέρηση, ικανοποιώντας τις ανάγκες των πελατών. Κάθε προϊόν όπως είδαμε παραπάνω έχει πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για την δημιουργία κάθε χαρακτηριστικού πρέπει να γίνουν διαφορετικές ρυθμίσεις στον υπολογιστή ή στα μέρη της μηχανής. Για κάθε αλλαγή χαρακτηριστικού ή προϊόντος πρέπει να σταματήσει όλη η παραγωγή, ο χρόνος που δεν λειτουργεί η γραμμή λέγεται νεκρός χρόνος ή χρόνος προετοιμασίας (setup time).

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι ανάθεσης ενός συνόλου εργασιών σε πολλές παράλληλες, αλλά ανόμοιες μηχανές και του καθορισμού της ακολουθίας εκτέλεσης των εργασιών αυτών, από τις μηχανές στις οποίες έχουν ανατεθεί. Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος, το αποσυνθέσαμε σε δύο υποπροβλήματα, το υποπρόβλημα της ανάθεσης και το υποπρόβλημα της ακολουθίας. Το πρόβλημα βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού παραγωγής θα το επιλύσουμε με χρήση γραμμικού προγραμματισμού.

Πιο συγκεκριμένα το σύστημα παραγωγής που εξετάζουμε αφορά την λειτουργία τεσσάρων μηχανών και τον καταμερισμό των προϊόντων στις μηχανές. Αρχικά γίνεται ανάθεση της ζήτησης στις μηχανές, στην συνέχεια γνωρίζοντας ποια προϊόντα θα παραχθούν σε κάθε μηχανή, βρίσκουμε την ακολουθία εκτέλεσης τους. Στόχος μας είναι να καλύψουμε την ζήτηση, με τον ελάχιστο χρόνο.

## 4.1 Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος

Στο πρώτο υποπρόβλημα αποφασίζουμε την ανάθεση των εργασιών στις γραμμές παραγωγής χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τους χρόνους προετοιμασίας. Στο δεύτερο υποπρόβλημα αποφασίζουμε την ακολουθία εκτέλεσης των εργασιών στις γραμμές που έχουν ανατεθεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό χρόνο προετοιμασίας.

### Υποπρόβλημα ανάθεσης:

Για την επίλυση του υποπροβλήματος ανάθεσης συλλέχθηκαν δεδομένα για την παραγωγικότητα κάθε προϊόντος σε κάθε μηχανή και τις ώρες λειτουργίας των μηχανών. Μοντελοποιώντας τα δεδομένα, δημιουργήσαμε ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης, το οποίο ελαχιστοποιεί το συνολικό χρόνο λειτουργίας των μηχανών, αναθέτοντας τα προϊόντα στις μηχανές με τον βέλτιστο τρόπο.

### Συμβολισμοί:

Δείκτης  $i = 1, \dots, 4$  μηχανές

Δείκτης  $j = 1, \dots, 26$  προϊόντα

Πίνακας  $x_{ij}$ , θα περιέχει την ποσότητα των προϊόντων που ανατίθενται στις μηχανές.

Πίνακας  $a_{ij}$ , θα περιέχει την παραγωγικότητα του προϊόντος σε κάθε μηχανή ανά οκτώωρο.

Πίνακας  $q_j$ , θα περιέχει την ζήτηση των προϊόντων.

Πίνακας  $c_i$ , θα περιέχει τον μέγιστο χρόνο λειτουργίας της κάθε μηχανής.

### Μεταβλητές Απόφασης:

$x_{ij}$  η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος  $j$  στην μηχανή  $i$ .

### Αντικειμενική Συνάρτηση:

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί τις ώρες λειτουργίας των μηχανών. Αθροίζοντας το άθροισμα κάθε προϊόντος σε κάθε μηχανή, της διαίρεσης της

παραγόμενης ποσότητας με την παραγωγικότητα ανά ώρα του αντίστοιχου προϊόντος, προκύπτει το σύνολο των ωρών λειτουργίας των μηχανών.

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (x_{ij} / (a_{ij} / 8))$$

Περιορισμοί:

Ο πρώτος περιορισμός αναφέρεται στην ζήτηση των προϊόντων. Δηλώνει ότι η ζήτηση και η παραγόμενη ποσότητα του κάθε προϊόντος, σε όλες τις μηχανές πρέπει να είναι ίσες .

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} = q_j, \quad \forall j = 1, \dots, l$$

Ο επόμενος περιορισμός αφορά τον χρόνο λειτουργίας των μηχανών. Το άθροισμα των ωρών λειτουργίας της κάθε μηχανής πρέπει να μην ξεπερνάει τον μέγιστο χρόνο λειτουργίας τους.

$$\sum_{j=1}^l (x_{ij} / (a_{ij} / 8)) \leq c_i \quad \forall i = 1, \dots, k$$

Ο τελευταίος περιορισμός είναι ο περιορισμός μη αρνητικότητας

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, k, \quad j = 1, \dots, l$$

### **Υποπρόβλημα καθορισμού ακολουθίας εκτέλεσης εργασιών σε κάθε μηχανή:**

Εξετάζουμε την λειτουργία των μηχανών και βελτιστοποιήσαμε την ακολουθία εκτέλεσης των εργασιών της κάθε μηχανής, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο προετοιμασίας τους. Το δεύτερο υποπρόβλημα αντιστοιχεί στο “Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή”, όπου οι εργασίες αντιστοιχούν στις πόλεις που πρέπει να επισκεφθούμε και οι χρόνοι προετοιμασίας στα μήκη των διαδρομών. Με την βοήθεια του προσωπικού, συλλέχθηκε ο νεκρός χρόνος της παραγωγικής διαδικασίας, στην αλλαγή των προϊόντων στις μηχανές της παραγωγής.

### Συμβολισμοί:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  είναι το σύνολο των προϊόντων

Δείκτες  $i, j=1, 2, \dots, n$  δηλώνουν τα προϊόντα

Πίνακας  $c_{ij}$  θα περιέχει το κόστος(χρόνο) μετακίνησης από το προϊόν  $i$  στο προϊόν  $j$ .

Πίνακας  $z_{ij}$  θα περιέχει τις τιμές 0,1 και θα δηλώνει αν θα παραχθεί το προϊόν  $j$  μετά το  $i$ .

Πίνακας  $u_i$  θα δηλώνει την σειρά με την οποία θα παράγονται τα προϊόντα.

### Μεταβλητές Απόφασης:

$z_{ij}$  δηλώνει αν το προϊόν  $j$  θα ακολουθήσει του προϊόντος  $i$ .

$u_i$  δηλώνει την σειρά με την οποία θα παραχθούν τα προϊόντα και χρησιμοποιείται στην βοηθητική μεταβλητή.

### Αντικειμενική Συνάρτηση:

Με την παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση βρίσκουμε την βέλτιστη διαδρομή για την παραγωγή των προϊόντων με το ελάχιστο κόστος. Ελαχιστοποιούμε το διπλό άθροισμα των γινομένων, του κόστους μεταβίβασης από το ένα προϊόν στο άλλο με την μεταβλητή απόφασης  $z_{ij}$

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} z_{ij}$$

### Περιορισμοί:

Οι πρώτοι δυο περιορισμοί εξασφαλίζουν ότι θα επισκεφθούμε κάθε κόμβο ακριβώς μία φορά.

$$\sum_{j \neq i} z_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, l$$

$$\sum_{j \neq i} z_{ij} = 1, \quad \forall j = 1, \dots, l$$

Οι υπόλοιποι τρεις περιορισμοί εξασφαλίζουν ότι στην λύση δε θα υπάρχουν υποδιαδρομές, δηλαδή αποκλείει το ενδεχόμενο να επιστρέψω στο ίδιο προϊόν αν δεν έχω περάσει από όλα τα άλλα. Οι περιορισμοί αυτοί κάνουν χρήση μιας μεταβλητής  $u_i$  για κάθε κόμβο  $i$  η οποία δείχνει με ποια σειρά έχει γίνει επίσκεψη στον κόμβο αυτό, δηλώνοντας την διαδρομή.

$$u_i - u_j + nz_{ij} \leq n-1, 2 \leq i \neq j \leq l$$

$$u_i \leq n, \quad \forall i = 1, \dots, l$$

$$u_i \geq 1, \quad \forall i = 1, \dots, l$$

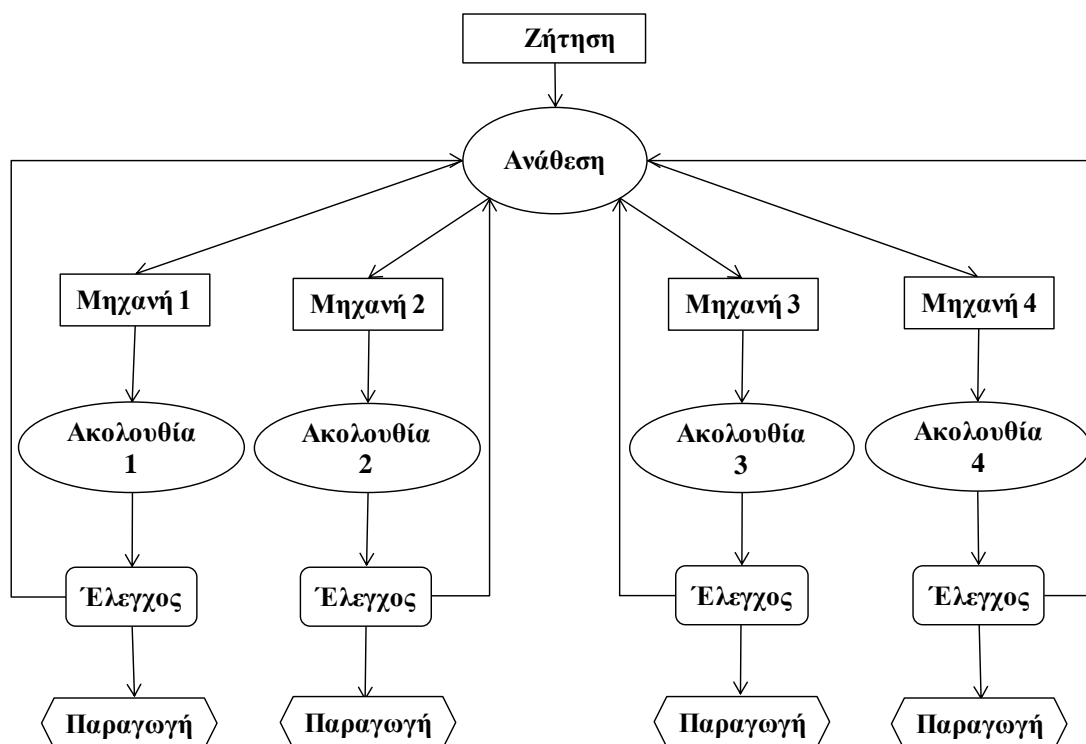
Οι τελευταίοι περιορισμοί δηλώνουν τις τιμές των μεταβλητών  $z_{ij}$  και  $u_i$ .

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, l$$

$$u_i \in \mathbb{Z} \quad i = 1, \dots, l$$

Ο χρόνος που χρειάζεται για να παραχθούν τα προϊόντα αντλείται από τα αποτελέσματα επίλυσης του πρώτου υποπροβλήματος. Με την επίλυση του δεύτερου υποπροβλήματος βρίσκουμε τον χρόνο προετοιμασίας της κάθε μηχανής για την παραγωγή όλων των προϊόντων. Ξέροντας την ακολουθία και την ανάθεση των προϊόντων στις μηχανές μπορούμε να υπολογίσουμε τον συνολικό χρόνο που θα χρειαστεί για την παραγωγή των προϊόντων, σε κάθε μηχανή. Εξετάζουμε το πρόβλημα του προγραμματισμού παραγωγής για χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας, άρα αθροίζοντας για κάθε μηχανή τους χρόνους προετοιμασίας και τους χρόνους παραγωγής των προϊόντων, ξέρουμε αν ικανοποιούνται οι περιορισμοί παραγωγικότητας όλων των μηχανών. Κάνοντας τον έλεγχο στο τέλος της διαδικασίας, αποφασίζουμε αν θα ξεκινήσει η παραγωγή ή αν θα πρέπει να αλλάξουμε την ανάθεση των προϊόντων. Στην περίπτωση που κάποιοι περιορισμοί δεν ικανοποιούνται στους συγκεκριμένους περιορισμούς αφαιρούμε τον απαιτούμενο συνολικό χρόνο προετοιμασίας από τα αντίστοιχα  $c_i$  και επαναλαμβάνουμε όλη την διαδικασία ξεκινώντας από το πρόβλημα της ανάθεσης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να οδηγηθούμε σε εφικτή λύση του προβλήματος. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας.





**Εικόνα 10: Διάγραμμα Διαδικασίας Εκτέλεσης Παραγωγής**

## 4.2 Αποτελέσματα

Για την επίλυση των γραμμικών προβλημάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα υπολογιστή Excel και συγκεκριμένα το πρόσθετο εργαλείο Solver, του Excel. Το Solver είναι ένα εργαλείο βελτιστοποίησης το οποίο χρησιμοποιεί αλγορίθμους μαθηματικού προγραμματισμού, για να βρει τις βέλτιστες λύσεις για όλα τα είδη των προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Ορίζοντας αντικειμενική συνάρτηση, μεταβλητή απόφασης και περιορισμούς για το κάθε πρόβλημα προκύπτουν τα αποτελέσματα των βελτιστοποιήσεων.

Στο πρώτο πρόγραμμα όπως είδαμε παραπάνω, ορίσαμε να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός χρόνος λειτουργίας των μηχανών. Θέσαμε τις μεταβλητές απόφασης  $x_{ij}$  και ορίσαμε τους περιορισμούς ζήτησης και χρόνων λειτουργίας των μηχανών, για την επίλυση του προβλήματος.

Ως δεδομένα έχουμε χρησιμοποιήσει την ζήτηση που έχει λάβει η εταιρεία από τους πελάτες της για μια εβδομάδα, την παραγωγικότητα της κάθε μηχανής για το κάθε προϊόν ανά ώρα και τον μέγιστο χρόνο λειτουργίας της κάθε μηχανής. Τα προϊόντα είναι 26 και οι μηχανές που τα παράγουν είναι 4, από τις οποίες η πρώτη παράγει 24 προϊόντα, η δεύτερη παράγει 8 προϊόντα, η τρίτη 21 προϊόντα και η τέταρτη 6 προϊόντα. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αριθμητικές ποσότητες είναι σε τόνους (t) και ο χρόνος σε ώρες (h).

### Ζήτηση(t)

Προϊόν 1	40
Προϊόν 2	25
Προϊόν 3	35
Προϊόν 4	65
Προϊόν 5	80
Προϊόν 6	30
Προϊόν 7	40
Προϊόν 8	20
Προϊόν 9	23
Προϊόν 10	35
Προϊόν 11	30
Προϊόν 12	15
Προϊόν 13	38

Προϊόν 14	15
Προϊόν 15	10
Προϊόν 16	20
Προϊόν 17	8
Προϊόν 18	10
Προϊόν 19	15
Προϊόν 20	30
Προϊόν 21	35
Προϊόν 22	15
Προϊόν 23	10
Προϊόν 24	8
Προϊόν 25	35
Προϊόν 26	15

Πίνακας 13: Ζήτηση Προϊόντων

Τρέχοντας το μοντέλο προκύπτει το αποτέλεσμα της αντικειμενικής συνάρτησης, οι διαθέσιμες βάρδιες των εργαζομένων, οι ποσότητες παραγωγής κάθε προϊόντος για κάθε μηχανή, ο χρόνος λειτουργίας κάθε μηχανής και η παραγωγικότητα ανά ώρα του κάθε προϊόντος.

	<b>Αντικειμενική Συνάρτηση</b>	<b>Διαθέσιμες Βάρδιες</b>
<b>Ελάχιστος Χρόνος Λειτουργίας(h)</b>	450.5099799	15.6862525

	<b>Χρόνος Λειτουργίας (h)</b>	<b>Μέγιστος Χρόνος Λειτουργίας (h/εβδομάδα)</b>
Μηχανή 1	144	144
Μηχανή 2	112.4427965	144
Μηχανή 3	144	144
Μηχανή 4	50.06718332	144

		<b>Χρόνος Παραγωγής</b>
		<b><math>x_{ij}</math> (t)      <math>a_{ij}</math> (t/h)      <math>x_{ij}/a_{ij}</math> (h)</b>
Μηχανή 1	Προϊόν 1	0      1.42813125      0
	Προϊόν 2	0      1.4508      0
	Προϊόν 3	19      1.3873275      13.6851725
	Προϊόν 4	0      1.727812125      0
	Προϊόν 5	0      1.828461375      0
	Προϊόν 6	0      2.04321      0
	Προϊόν 7	0      2.125      0
	Προϊόν 8	20      0.88105875      22.69996184
	Προϊόν 9	23      1.521073125      15.12090354
	Προϊόν 10	0      0.92216475      0
	Προϊόν 11	0      1.555983      0
	Προϊόν 12	0      1.51276125      0
	Προϊόν 13	38      1.0064925      37.75487646
	Προϊόν 14	15      1.78932      8.383072899
	Προϊόν 15	10      1.719424688      5.815898814
	Προϊόν 16	20      1.181875      16.92226335

Προϊόν 17	8	1.432125	5.586104565
Προϊόν 18	0	1.31975	0
Προϊόν 19	0	1.22625	0
Προϊόν 20	0	1.625	0
Προϊόν 21	0	1.625	0
Προϊόν 22	0	1.25	0
Προϊόν 23	10	1.125	8.888888889
Προϊόν 24	8	0.875	9.142857143

### Χρόνος Παραγωγής

		<b>x<sub>ij</sub> (t)</b>	<b>a<sub>ij</sub> (t/h)</b>	<b>x<sub>ij</sub>/a<sub>ij</sub> (h)</b>
Μηχανή 2	Προϊόν 4	65	1.96130025	33.14127962
	Προϊόν 5	80	2.07555075	3.854430001
	Προϊόν 6	30	2.125	14.11764706
	Προϊόν 7	40	2.25	17.77777778
	Προϊόν 12	15	1.6926	8.862105636
	Προϊόν 13	0	0.125	0
	Προϊόν 18	0	0.125	0
	Προϊόν 19	0	0.125	0

### Χρόνος Παραγωγής

		<b>x<sub>ij</sub> (t)</b>	<b>a<sub>ij</sub> (t/h)</b>	<b>x<sub>ij</sub>/a<sub>ij</sub> (h)</b>
Μηχανή 3	Προϊόν 1	40	1.7681625	22.62235513
	Προϊόν 2	25	1.722825	14.51105016
	Προϊόν 3	16	1.56414375	10.23830697
	Προϊόν 4	0	1.96130025	0
	Προϊόν 5	0	2.07555075	0
	Προϊόν 6	0	2.625	0
	Προϊόν 7	0	2.75	0
	Προϊόν 8	0	0.625	0
	Προϊόν 9	0	0.875	0
	Προϊόν 10	0	0.875	0
	Προϊόν 11	30	1.819545	16.48763839

Προϊόν 12	0	1.85128125	0
Προϊόν 13	0	0.125	0
Προϊόν 18	10	1.8153135	5.508690372
Προϊόν 19	15	1.951779375	7.685294861
Προϊόν 20	30	1.875	16
Προϊόν 21	19	1.875	10.17743335
Προϊόν 22	15	1.625	9.230769231
Προϊόν 23	0	1.25	0
Προϊόν 25	35	1.5	21.53846154
Προϊόν 26	15	1.625	10

		Χρόνος Παραγωγής		
		$x_{ij}$ (t)	$a_{ij}$ (t/h)	$x_{ij}/a_{ij}$ (h)
Μηχανή 4	Προϊόν 8	0	0.625	0
	Προϊόν 9	0	0.875	0
	Προϊόν 10	35	0.9375	37.33333333
	Προϊόν 11	0	1.125	0
	Προϊόν 20	0	1.125	0
	Προϊόν 21	16	1.25	12.73384998

**Πίνακας 14: Αποτελέσματα Πρώτου Υποπροβλήματος**

Στο δεύτερο υποπρόβλημα ορίσαμε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος προετοιμασίας βρίσκοντας την βέλτιστη διαδρομή. Θέσαμε τις μεταβλητές απόφασης  $z_{ij}$  και  $u_i$  και ορίσαμε τους περιορισμούς για να εξασφαλίσουμε ότι θα μεταβούμε μόνο μια φορά σε κάθε προϊόν και ότι δεν θα υπάρξουν υποδιαδρομές.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα που αντλήσαμε από την εταιρεία. σχετικά με τους χρόνους προετοιμασίας. Εξ' αιτίας της συνεχούς παραγωγής και της συνεχούς απασχόλησης του προσωπικού, καταφέραμε να πάρουμε μετρήσεις για τους χρόνους προετοιμασίας σε μια από τις τέσσερις μηχανές, συγκεκριμένα για την Μηχανή 2 που παράγει 8 προϊόντα. Το δεύτερο υποπρόβλημα εκτελέστηκε για την Μηχανή 2, δημιουργήσαμε έναν πίνακα με τα κόστη μετάβασης για όλα τα προϊόντα. Η διαγώνιος του πίνακα είναι συμπληρωμένη με έναν μεγάλο αριθμό (π.χ.100.000) γιατί η μετάβαση στο ίδιο προϊόν δεν είναι εφικτή. Βάζοντας τόσο μεγάλη τιμή, αποκλείουμε την περίπτωση επιλογής της. Οι μονάδες του χρόνου μετριοούνται σε ώρες(h).

## Χρόνος Προετοιμασίας

	4	5	6	7	12	13	18	19
4	100000	0.3333	0.3833	1.2167	1	0.8333	1.3333	1.3333
5	0.3333	100000	0.3333	1.2167	1	0.75	1.1	1.0833
6	0.3833	0.3333	100000	1.3333	0.75	0.75	0.9167	0.9167
7	1.2167	1.2167	1.3333	100000	1.4167	1.1667	1.0833	1.0833
12	1	1	0.75	1.4167	100000	0.5833	0.75	0.75
13	0.8333	0.75	0.75	1.1667	0.5833	100000	0.5	0.5
18	1.3333	1.1	0.9167	1.0833	0.75	0.5	100000	0.4167
19	1.3333	1.0833	0.9167	1.0833	0.75	0.5	0.4167	100000

**Πίνακας 15: Πίνακας Κόστους Μεταφοράς Προϊόντων**

Τρέχοντας το μοντέλο για την παραγωγή όλων των προϊόντων της δεύτερης μηχανής προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα, ελάχιστο χρόνος προετοιμασίας και η βέλτιστη διαδρομή.

	Αντικειμενική Συνάρτηση
Ελάχιστο Κόστος Μετάβασης (h)	5,2666

	Προς							
Από	4	5	6	7	12	13	18	19
4	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	1	0	0

i	4	5	6	7	12	13	18	19
u <sub>i</sub>	3	1	2	4	7	8	6	5

**Πίνακας 16: Αποτελέσματα Δεύτερου Υποπρογράμματος**

Τρέχοντας το μοντέλο για τα προϊόντα που θα παραχθούν στην δεύτερη μηχανή, από την ανάθεση του πρώτου υποπροβλήματος, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

	Αντικειμενική Συνάρτηση
Ελάχιστο Κόστος Μετάβασης (h)	4.05

	Προς							
Από	4	5	6	7	12	13	18	19
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0

i	4	5	6	7	12	13	18	19
u <sub>i</sub>	3	2	1	4	5	0	0	0

**Πίνακας 17: Αποτελέσματα Δεύτερου Υποπρογράμματος**

Όπως παρατηρούμε παραπάνω όλοι οι περιορισμοί ικανοποιήθηκαν και βρέθηκε ο βέλτιστος τρόπος για την επίλυση των υποπροβλημάτων. Στο πρώτο γραμμικό πρόγραμμα ελαχιστοποιώντας τις ώρες λειτουργίας των μηχανών, βρήκαμε ότι συνολικά θα λειτουργήσουν 450.5099799 ώρες καλύπτοντας την ζήτηση των πελατών για μια εβδομάδα. Τα προϊόντα μοιράστηκαν στις μηχανές παραγωγής και παρατηρώντας τα αποτελέσματα υπάρχει η δυνατότητα να παραχθούν μεγαλύτερες ποσότητες προϊόντων σε δύο μηχανές. Ο χρόνος λειτουργίας των μηχανών δεν ξεπέρασε το μέγιστο όριο και υπάρχουν 15 διαθέσιμες βάρδιες για τους εργαζομένους της εταιρείας, σύμφωνα με τον πίνακα 14 των αποτελεσμάτων. Στο δεύτερο υποπρόγραμμα βρήκαμε την βέλτιστη διαδρομή με τον ελάχιστο νεκρό χρόνο της μηχανής 2. Ο συνολικός χρόνος προετοιμασίας για την παραγωγή όλων των προϊόντων είναι 5,2666 και για την παραγωγή των πέντε προϊόντων είναι 4,05 ώρες και η διαδρομή είναι:  $6 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 12 \rightarrow 6$

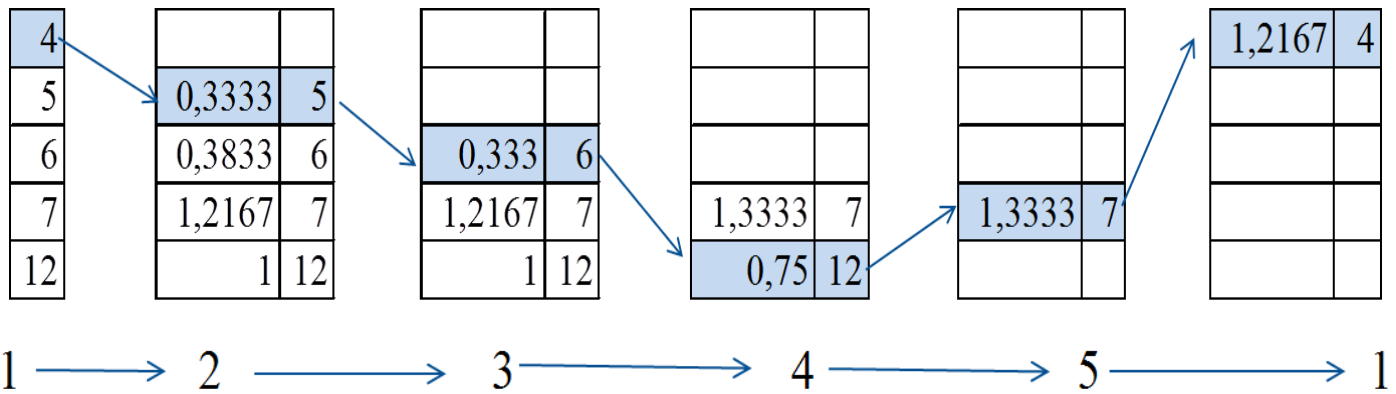
Άρα η γραμμή παραγωγής της δεύτερης μηχανής θα λειτουργήσει λιγότερες ώρες από τον μέγιστο χρόνο λειτουργίας της και ο χρόνος προετοιμασίας για τα πέντε προϊόντα που θα παράξει δεν υπερβαίνει το όριο. Συνεπώς κάνοντας τον έλεγχο, καταλήγουμε ότι δεν θα γίνει καμία αλλαγή στην ανάθεση της και θα συνεχιστεί η παραγωγή όπως έχει προγραμματιστεί.

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή είναι ένα πρόβλημα με μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα, δηλαδή δεν είναι εφικτή η βέλτιστη επίλυση του σε πραγματικό χρόνο, για μεγάλο πλήθος πόλεων ή στην περίπτωση μας εργασιών. Για τις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου γραμμικού προγραμματισμού χρησιμοποιήσαμε τον ευρετικό αλγόριθμο πλησιέστερης γειτονικής πόλης (Nearest Neighbor NN).

Η λογική του ευρετικού αλγορίθμου είναι ότι ξεκινάμε από ένα τυχαίο προϊόν και συνεχίζουμε με αυτό που έχει τον μικρότερο χρόνο προετοιμασίας. Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο και κάθε φορά επιλέγουμε την εργασία με τον μικρότερο χρόνο προετοιμασίας αν εξαιρέσουμε τις εργασίες που έχουμε ήδη εκτελέσει.

Εφαρμόσαμε τον ευρετικό αλγόριθμο στην μηχανή 2 και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή και για την παραγωγή όλων των προϊόντων και την παραγωγή των πέντε προϊόντων. Στην περίπτωση που παραχθούν όλα τα προϊόντα η διαδρομή είναι  $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 18 \rightarrow 13 \rightarrow 7 \rightarrow 4$  και ο συνολικός χρόνος προετοιμασίας είναι 5,4667 ώρες, ενώ στην περίπτωση που παραχθούν μόνο τα πέντε προϊόντα η διαδρομή είναι  $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 12 \rightarrow 7 \rightarrow 4$  και ο συνολικός χρόνος προετοιμασίας είναι 4,05 ώρες.





**Εικόνα 11: Διαδρομή Ευρετικού Αλγόριθμου**

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι ο ευρετικός αλγόριθμος για λίγα προϊόντα μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά, όπως παρατηρούμε στα πέντε προϊόντα ο χρόνος είναι ίσος και στους δύο αλγόριθμους. Για πολλά προϊόντα όμως τα αποτελέσματα διαφέρουν. Η βέλτιστη λύση είναι η λύση από το γραμμικό πρόγραμμα που αναπτύξαμε και παρατηρούμε ότι αν υπάρχουν πολλά προϊόντα τότε ο ευρετικός αλγόριθμος δεν υπολογίζει την βέλτιστη λύση αν και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## 5. Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας είναι ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός παραγωγής βιομηχανίας επεξεργασίας χάρτου. Αναπτύξαμε μια ευρετική ιεραρχική μεθοδολογία επίλυσης του παραπάνω προβλήματος, που χρησιμοποιεί εργαλεία από την θεωρία γραμμικού προγραμματισμού. Πραγματοποιήσαμε μερικά αριθμητικά πειράματα χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα από το υπό μελέτη σύστημα παραγωγής. Η προτεινόμενη μεθοδολογία φαίνεται ότι λειτουργεί αποτελεσματικά στην περίπτωση του συστήματος παραγωγής που εξετάζουμε. Από τα αποτελέσματα της εργασίας φαίνεται ότι είναι αναγκαία η ανάπτυξη και χρήση εργαλείων βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού παραγωγής. Η ποικιλομορφία και οι ιδιαιτερότητες των υπαρχόντων συστημάτων παραγωγής καθιστούν απαραίτητη την ανάπτυξη εξειδικευμένων και εξατομικευμένων εργαλείων βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού παραγωγής, που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες κάθε διαφορετικής περίπτωσης.

## Βιβλιογραφία

1. Δ. Ασκούνης, Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών, Διδακτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2017.
2. Μ. Δούμπος, Μεθοδολογία Επιχειρησιακής Έρευνας, Διδακτικές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2007.
3. Μ. Δούμπος, Γραμμικός Προγραμματισμός, Διδακτικές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2008.
4. Ι. Κολέτσος, Δ. Στόγιαννης , Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα, Διδακτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2006.
5. Γ. Μανουσόπουλος, Προγραμματισμός Επιχειρήσεων: Η Λογική προσέγγιση του μέλλοντος της Επιχείρησης, Σύμβουλος Επιχειρήσεων Specisoft, Αθήνα 2014.
6. Ε. Μισίργη, Επίλυση Προβλήματος Πλανόδιου Πωλητή (TSP) με χρήση Γενετικών Αλγόριθμων, πτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2012.
7. Ι. Ντεληδήμος, Ε. Στεφάνου, Τεχνική Περιγραφή Βιομηχανίας Επεξεργασίας Χάρτου «INTERTRADE HELLAS», Αθήνα, 2007.
8. Γ. Σίσκος, Γραμμικός Προγραμματισμός, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα, 2000.
9. Ν. Σ. Στυλιανού, Προσεγγίζοντας το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2013.
10. Μ. Diaby, “The Traveling Salesman Problem: A Linear Programming Formulation”, *WSEAS Transactions on Mathematics*, 6, 745 – 754, 2007.
11. G. Pataki, “Teaching Integer Programming Formulations Using the Traveling Salesman Problem”, *SIAM Review*, 45, 116 – 123, 2003.

## Παράρτημα Α – Περιγραφή του Excel Solver

Το Solver είναι ένα πρόσθετο πρόγραμμα του Microsoft Excel το οποίο χρησιμοποιείται για να βρεθεί μια βέλτιστη (μέγιστη ή ελάχιστη) τιμή σε μια φόρμουλα, που ονομάζεται αντικειμενική συνάρτηση και υπόκειται σε περιορισμούς ή όρια. Ο Solver λειτουργεί με μια ομάδα κελιών τα οποία ονομάζονται μεταβλητές απόφασης. Οι μεταβλητές απόφασης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αντικειμενικών συναρτήσεων και των περιορισμών. Ο Solver ρυθμίζει τις τιμές στις μεταβλητές απόφασης για να ικανοποιήσει τα όρια των περιορισμών και να παράγει το βέλτιστο αποτέλεσμα για την αντικειμενική συνάρτηση. Με απλά λόγια, χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η μέγιστη ή ελάχιστη τιμή ενός κελιού. Οι Solver ή οι βελτιστοποιητές είναι εργαλεία λογισμικού που βοηθούν τους χρήστες να καθορίσουν τον καλύτερο τρόπο να κάνουν κάτι. Το "κάτι" μπορεί να περιλαμβάνει την κατανομή χρημάτων ή τον εντοπισμό νέων εγκαταστάσεων ή τον προγραμματισμό των εργασιών. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να γίνουν πολλαπλές αποφάσεις με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ενώ συγχρόνως να ικανοποιούνται πολλές λογικές συνθήκες (ή περιορισμοί). Παρακάτω παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα προβλήματος βελτιστοποίησης, το υποπρόβλημα ανάθεσης της παρούσας διπλωματικής, αναλύοντας τα βήματα και τις επιλογές που προσφέρονται από την έκδοση του Excel που είχα στην διάθεση μου.

Για να χρησιμοποιηθεί ένα Solver, πρέπει να δημιουργηθεί ένα πρότυπο του προβλήματος απόφασης που καθορίζει:

- Τις αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνονται, οι οποίες ονομάζονται μεταβλητές απόφασης.
- Το μέτρο βελτιστοποίησης, το οποίο ονομάζεται αντικειμενική συνάρτηση (στόχος ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης).
- Οποιοσδήποτε λογικός περιορισμός πιθανών λύσεων, οι οποίοι ονομάζονται περιορισμοί.

Για το υποπρόβλημα ανάθεσης δημιουργήσαμε στο Excel Solver τους παρακάτω Πίνακες. Οι πίνακες περιέχουν κελιά με τα δεδομένα της παραγωγής και της ζήτησης, και κενά κελιά που θα συμπληρωθούν αυτόματα μετά την επίλυση του προβλήματος.

Ελαχιστοποίηση Χρόνου Λειτουργίας Μηχανών	
---	--

Εικόνα 12: Πίνακας Αντικειμενικής Συνάρτησης στο Excel

	Χρόνος Λειτουργίας Μηχανών		Μέγιστος χρόνος Λειτουργίας
Μηχανή 1		<=	144
Μηχανή 2		<=	144
Μηχανή 3		<=	144
Μηχανή 4		<=	144

Εικόνα 13: Πίνακας Περιορισμού Λειτουργίας Μηχανών στο Excel

	Προϊόν		Ζήτηση		Προϊόν		Ζήτηση
Ζήτηση 1		=	40	Ζήτηση 14		=	15
Ζήτηση 2		=	25	Ζήτηση 15		=	10
Ζήτηση 3		=	35	Ζήτηση 16		=	20
Ζήτηση 4		=	65	Ζήτηση 17		=	8
Ζήτηση 5		=	80	Ζήτηση 18		=	10
Ζήτηση 6		=	30	Ζήτηση 19		=	15
Ζήτηση 7		=	40	Ζήτηση 20		=	30
Ζήτηση 8		=	20	Ζήτηση 21		=	35
Ζήτηση 9		=	23	Ζήτηση 22		=	15
Ζήτηση 10		=	35	Ζήτηση 23		=	10
Ζήτηση 11		=	30	Ζήτηση 24		=	8
Ζήτηση 12		=	15	Ζήτηση 25		=	35
Ζήτηση 13		=	38	Ζήτηση 26		=	15

Εικόνα 14: Πίνακας Περιορισμού Ζήτησης στο Excel

Μηχανή 1	Προϊόν 1		Μηχανή 2	Προϊόν 3		Μηχανή 3	Προϊόν 1		Μηχανή 4	Προϊόν 1	
	Προϊόν 2			Προϊόν 4			Προϊόν 2			Προϊόν 2	
	Προϊόν 3			Προϊόν 6			Προϊόν 3			Προϊόν 3	
	Προϊόν 4			Προϊόν 7			Προϊόν 4			Προϊόν 4	
	Προϊόν 5			Προϊόν 8			Προϊόν 5			Προϊόν 5	
	Προϊόν 6			Προϊόν 9			Προϊόν 6			Προϊόν 6	
	Προϊόν 7			Προϊόν 10			Προϊόν 7				
	Προϊόν 8			Προϊόν 11			Προϊόν 8				
	Προϊόν 9						Προϊόν 9				
	Προϊόν 10						Προϊόν 10				
	Προϊόν 11						Προϊόν 11				
	Προϊόν 12						Προϊόν 12				
	Προϊόν 13						Προϊόν 13				
	Προϊόν 14						Προϊόν 14				
	Προϊόν 15						Προϊόν 15				
	Προϊόν 16						Προϊόν 16				
	Προϊόν 17						Προϊόν 17				
	Προϊόν 18						Προϊόν 18				
	Προϊόν 19						Προϊόν 19				
	Προϊόν 20						Προϊόν 20				
	Προϊόν 21						Προϊόν 21				
	Προϊόν 22										
	Προϊόν 23										
	Προϊόν 24										

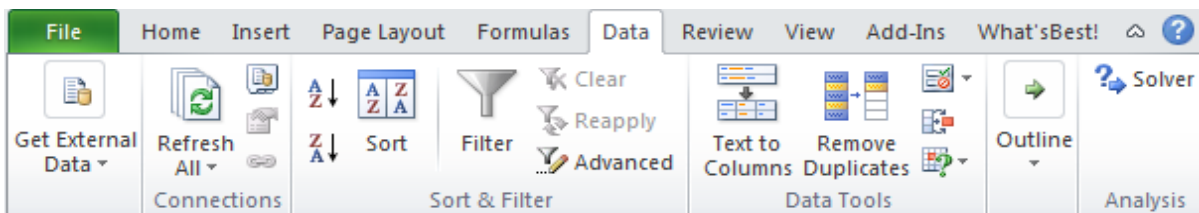
**Εικόνα 15: Πίνακας Μεταβλητών Απόφασης στο Excel**

Παραγωγή / Ώρα			Παραγωγή / Ώρα			Παραγωγή / Ώρα			Παραγωγή / Ώρα		
Μηχανή 1	Προϊόν 1	1,42813125	Μηχανή 2	Προϊόν 3	1,96130025	Μηχανή 3	Προϊόν 1	1,7681625	Μηχανή 4	Προϊόν 1	0,625
	Προϊόν 2	1,4508		Προϊόν 4	2,07555075		Προϊόν 2	1,722825		Προϊόν 2	0,875
	Προϊόν 3	1,3873275		Προϊόν 6	2,125		Προϊόν 3	1,56414375		Προϊόν 3	0,9375
	Προϊόν 4	1,727812125		Προϊόν 7	2,25		Προϊόν 4	1,96130025		Προϊόν 4	1,125
	Προϊόν 5	1,828461375		Προϊόν 8	1,6926		Προϊόν 5	2,07555075		Προϊόν 5	1,125
	Προϊόν 6	2,04321		Προϊόν 9	0,125		Προϊόν 6	2,625		Προϊόν 6	1,25
	Προϊόν 7	2,125		Προϊόν 10	0,125		Προϊόν 7	2,75			
	Προϊόν 8	0,88105875		Προϊόν 11	0,125		Προϊόν 8	0,625			
	Προϊόν 9	1,521073125					Προϊόν 9	0,875			
	Προϊόν 10	0,92216475					Προϊόν 10	0,875			
	Προϊόν 11	1,555983					Προϊόν 11	1,819545			
	Προϊόν 12	1,51276125					Προϊόν 12	1,85128125			
	Προϊόν 13	1,0064925					Προϊόν 13	0,125			
	Προϊόν 14	1,78932					Προϊόν 14	1,8153135			
	Προϊόν 15	1,719424688					Προϊόν 15	1,951779375			
	Προϊόν 16	1,181875					Προϊόν 16	1,875			
	Προϊόν 17	1,432125					Προϊόν 17	1,875			
	Προϊόν 18	1,31975					Προϊόν 18	1,625			
	Προϊόν 19	1,22625					Προϊόν 19	1,625			
	Προϊόν 20	1,625					Προϊόν 20	1,5			
	Προϊόν 21	1,625					Προϊόν 21	1,25			
	Προϊόν 22	1,25									
	Προϊόν 23	1,125									
	Προϊόν 24	0,875									

**Εικόνα 16: Πίνακας Παραγωγικότητας ανά Ώρα στο Excel**

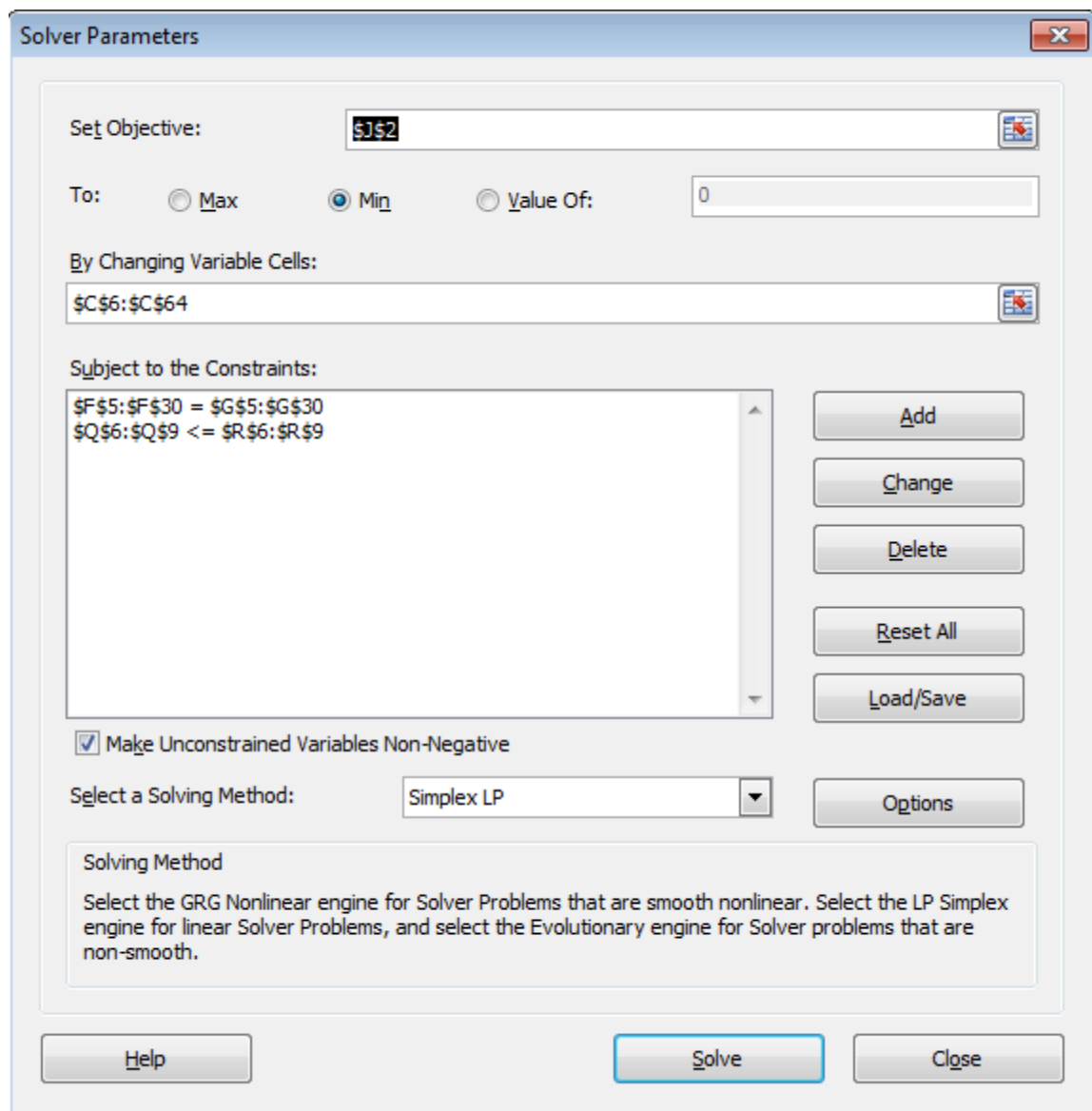
Αφού δημιουργηθούν οι παραπάνω πίνακες με τα δεδομένα που χρειάζονται, συνεχίζουμε στα παρακάτω βήματα:

1. Στην καρτέλα **Data**, στην ομάδα **Analysis**, κάντε κλικ στην επιλογή **Solver**.



**Εικόνα 17: Στήλη Επιλογής Εργαλείων στο Excel**

Αυτόματα ανοίγει ένα νέο παράθυρο, το παράθυρο του Solver και συνεχίζουμε με τα επόμενα βήματα.



**Εικόνα 18: Παράθυρο του Solver στο Excel**

2. Στο πλαίσιο **Set Objective**, εισαγάγετε το κελί ή το όνομα της αντικειμενικής συνάρτησης. Το κελί της αντικειμενικής συνάρτησης πρέπει να περιέχει τον τύπο της αντικειμενικής.

Εισάγουμε τον κελί της αντικειμενικής συνάρτησης (Εικόνα 11), το οποίο περιέχει τον αντίστοιχο τύπο από το κεφάλαιο 4.1.

3. Στην συνέχεια κάντε ένα από τα παρακάτω:
  - Αν θέλετε η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, κάντε κλικ στο κουμπί **Max**.



- Αν θέλετε η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, κάντε κλικ στο **Min**.
- Εάν θέλετε η αντικειμενική συνάρτηση να είναι μια ορισμένη τιμή, κάντε κλικ στην επιλογή **Value of** και στην συνέχεια, πληκτρολογήστε την τιμή στο πλαίσιο.

Επιλέξαμε το **Min** για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος λειτουργίας των μηχανών.

4. Στο πλαίσιο "**By Changing Variable Cells**", εισάγεται ένα όνομα ή τα κελία με την περιοχή των μεταβλητών απόφασης. Διαχωρίστε τις μη γειτονικές αναφορές με κόμματα. Τα κελία των μεταβλητών απόφασης πρέπει να σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με το κελί της αντικειμενικής συνάρτησης. Υπάρχει όριο για τον αριθμό των κελιών που θα επιλεγούν και διαφέρει σε κάθε έκδοση προγράμματος.

Επιλέχθηκαν τα κελία των μεταβλητών απόφασης (Εικόνα 14), δηλαδή τι ποσότητες προϊόντων θα παραχθούν και σε ποιες μηχανές

5. Στο πλαίσιο "**Subject to the Constraints**", εισαγάγετε τους περιορισμούς που θέλετε να εφαρμόσετε κάνοντας τα εξής:
  - a) Στο παράθυρο **Solver Parameters**, κάντε κλικ στο κουμπί **Add** (Προσθήκη)
  - b) Στο πλαίσιο **Cell Reference**, εισαγάγετε τα κελιά ή το όνομα της περιοχής των κελιών για την οποία θέλετε να περιορίσετε την τιμή.
  - c) Κάντε κλικ στην σχέση ( $\leq$ ,  $=$ ,  $\geq$ , **int**, **bin** ή **dif**) που θέλετε μεταξύ των κελιών της αναφοράς και του περιορισμού. Εάν κάνετε κλικ στο **int**, εμφανίζεται integer (Ακέραιος) στο πλαίσιο **Constraint** (Περιορισμός), αν κάνετε κλικ στο **bin**, εμφανίζεται binary (Δυαδικό) και αν κάνετε κλικ στο **dif**, εμφανίζεται **alldifferent**.
  - d) Εάν επιλέξετε  $\leq$ ,  $=$ , ή  $\geq$  για την σχέση των περιορισμών στο πλαίσιο **Constraint**, πληκτρολογήστε έναν αριθμό, ένα κελί ή ένα όνομα ή έναν τύπο.
    - Για να αποδεχθείτε τον περιορισμό και να προσθέσετε ένα άλλο, κάντε κλικ στο κουμπί **Add** (Προσθήκη).
    - Για να αποδεχθείτε τον περιορισμό και να επιστρέψετε στο παράθυρο **Solver Parameters** (Παράμετροι Solver), κάντε κλικ στο κουμπί **OK**.

Επιλέχθηκαν τα κελιά των περιορισμών (Εικόνα 12, Εικόνα 13). Οι ώρες λειτουργίας των μηχανών δεν πρέπει να ξεπερνούν το μέγιστο χρόνο λειτουργίας τους την εβδομάδα (144 ώρες) και η παραγωγή των προϊόντων να είναι ίση της ζήτησης. Μπορείτε να εφαρμόσετε τις σχέσεις **int**, **bin** και **dif** μόνο σε περιορισμούς στις μεταβλητές απόφασης.

Επίσης μπορείτε να αλλάξετε ή να διαγράψετε έναν υπάρχοντα περιορισμό κάνοντας τα εξής:

- e) Στο παράθυρο **Solver Parameters** (Παράμετροι Solver) κάντε κλικ στον περιορισμό που θέλετε να αλλάξετε ή να διαγράψετε.
- f) Κάντε κλικ στην επιλογή **Change**(Αλλαγή) και στην συνέχεια κάντε τις αλλαγές σας ή κάντε κλικ στο κουμπί **Delete** (Διαγραφή).

6. Τέλος κάντε κλικ στην επιλογή **Solve** και κάντε ένα από τα εξής:

- Για να διατηρήσετε τις τιμές λύσης στο φύλλο εργασίας, στο παράθυρο **Solver Results** (Αποτελέσματα Solver) κάντε κλικ στην επιλογή **Keep Solver Solution** (Διατήρηση λύσης).
- Για να επαναφέρετε τις αρχικές τιμές, προτού κάνετε κλικ στην επιλογή **Solve**, κάντε κλικ στην επιλογή **Restore Original Values**.
- Μπορείτε να διακόψετε την διαδικασία λύσης πατώντας Esc. Το Excel υπολογίζει εκ νέου το φύλλο εργασίας με τις τελευταίες τιμές που βρίσκονται για τις μεταβλητές απόφασης.
- Για να δημιουργήσετε μια αναφορά που βασίζεται στην λύση σας, αφού το Solver εντοπίσει μια λύση, μπορείτε να κάνετε κλικ σε έναν τύπο αναφοράς στο πλαίσιο **Reports** (Αναφορές) και στην συνέχεια κάντε κλικ στο κουμπί OK. Η αναφορά δημιουργείται σε ένα νέο φύλλο εργασίας στο βιβλίο εργασίας σας. Εάν το Solver δεν βρει λύση, μόνο ορισμένες αναφορές ή καμία αναφορά είναι διαθέσιμες.

Τα τελικά αποτελέσματα βρίσκονται στο Κεφάλαιο 4.2.