



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ**  
**ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη για τη χωροταξία μέσων παραγωγής και τη  
δημιουργία ειδικού αποθηκευτικού χώρου προϊόντων  
υπαιθρίας χρήσης**

**ΣΟΥΡΜΕΛΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ**

**A.M.: 2013010016**

**Επιβλέπων καθηγητής: Μουστάκης Βασίλης**

**Χανιά, 4 Αυγούστου 2020**

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, στα πλαίσια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν ώστε να καταφέρω να εκπληρώσω το στόχο μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και υπεύθυνο για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας Κ. Μουστάκη Βασίλη, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, την καθοδήγηση και την πολύτιμη συμβολή του στην υλοποίησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την βιοτεχνία παραγωγής επίπλων εξωτερικού χώρου με έδρα το Ρέθυμνο, για την άψογη συνεργασία μας, καθ' όλη την διάρκεια των υποχρεώσεών μου.

## Πρόλογος

Η διαδικασία της παραγωγής ορίζεται ως το σύνολο των δραστηριοτήτων που χρειάζεται να πραγματοποιηθούν σε συγκεκριμένη σειρά για τη δημιουργία ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, συνήθως σε μεγάλες ποσότητες. Μπορεί να νοηθεί ως μια διαδικασία μετατροπής πόρων σε προϊόντα ή υπηρεσίες. Οι πόροι που χρειάζονται για την παραγωγή ενός προϊόντος διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε εκείνους που μετατρέπονται για να δημιουργηθεί το προϊόν, δηλαδή τα υλικά, τις πληροφορίες ή τα ενδιάμεσα προϊόντα, και σε εκείνους που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των πρώτων, δηλαδή τους εργαζόμενους και τις μηχανές. Σε μια δραστηριότητα που αποτελεί μέρος της διαδικασίας παραγωγής, ένας αριθμός υλικών ή ενδιάμεσων προϊόντων χρησιμοποιείται από τη δεύτερη κατηγορία πόρων για να εκτελεστεί ένα μέρος της διαδικασίας παραγωγής και να δημιουργηθεί ένα μέρος του τελικού προϊόντος ή ένα ακόμα ενδιάμεσο προϊόν. Για την παραγωγή ενός προϊόντος μπορεί να χρειάζεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός τέτοιων διαδικασιών, με διαφορετικό χρόνο εκτέλεσης, απαιτώντας την ύπαρξη επιπλέον χώρου για την αποθήκευση των προϊόντων μέχρι να γίνει επεξεργασία τους από τον επόμενο σταθμό παραγωγής. Επίσης, ανάλογα με τη ζήτηση απαιτείται διαχείριση του αποθηκευτικού χώρου των αποθεμάτων των τελικών προϊόντων που θα επιτρέψει την ομαλή αποστολή τους στους αγοραστές.

Η χωροταξική διάταξη μιας γραμμής παραγωγής σε έναν υπάρχον χώρο, προγραμματίζοντας σωστά τη βέλτιστη τοποθέτηση αποθηκευτικών χώρων για τα τελικά και τα ενδιάμεσα προϊόντα, ώστε να γίνεται σωστή εξυπηρέτηση των σταθμών παραγωγής και της ζήτησης, αποτελεί καίριο πρόβλημα της σύγχρονης βιομηχανίας, και ειδικότερα των μικρών παραγωγών και βιοτεχνιών. Μια καλή χωροταξία των σταθμών παραγωγής και των αποθηκευτικών χώρων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου, την καλύτερη ροή πόρων προς τους σταθμούς παραγωγής, καλύτερες συνθήκες εργασίας και τη βελτίωση του χρόνου παραγωγής.

Σε αυτή την εργασία μελετάται το πρόβλημα δημιουργίας ειδικών αποθηκευτικών χώρων για μια βιοτεχνία προϊόντων υπαίθριας χρήσης. Με βάση την υπάρχουσα χωροταξική διάταξη της γραμμής παραγωγής της βιοτεχνίας γίνεται μελέτη για τη βέλτιστη εκμετάλλευση επιπλέον χώρου, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για να φιλοξενήσει μέρος της παραγωγής και αποθηκευτικό χώρο για τα τελικά προϊόντα. Η βέλτιστη τοποθέτηση των συγκεκριμένων μονάδων γίνεται με γνώμονα τους υπάρχοντες κανονισμούς ασφαλείας και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής με αυξημένα οικονομικά οφέλη για τη βιοτεχνία.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Πρόλογος.....	2
Περιεχόμενα .....	3
Ευρετήριο εικόνων.....	4
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Γενικά .....	6
2. Θεωρητικό υπόβαθρο .....	8
2.1 Η διαδικασία παραγωγής.....	8
2.2 Χωροταξική διάταξη εργοστασίου .....	10
2.2.1 Λόγοι χωροταξικής διάταξης εργοστασίου .....	10
2.2.2 Φάσεις χωροταξικής διάταξης εργοστασίου .....	11
2.2.3 Μέθοδοι χωροταξικής διάταξης εργοστασίου .....	12
2.3 Διαχείριση αποθεμάτων.....	18
2.3.1 Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων – Σταθερή ζήτηση .....	20
2.3.2 Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων – Στοχαστική ή τυχαία ζήτηση.....	23
2.4 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	30
3. Εφαρμογή χωροταξικής διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου για μια εταιρία παραγωγής επίπλων εξωτερικού χώρου.....	33
3.1 Γενικά Στοιχεία.....	33
3.2 Μοντέλο διαδικασίας παραγωγής .....	36
3.3 Ανάγκες για προσθήκη αποθηκευτικού χώρου .....	39
3.4 Η διαδικασία παραγωγής των δύο ειδών ξαπλώστρας .....	42
3.4.1 Διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ.....	42
3.4.2 Διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ .....	47
3.5 Χωροταξική διάταξη νέου ορόφου και αποθηκευτικού χώρου για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ .....	51
3.5.1 Εύρεση του βέλτιστου σχήματος χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με κάθετη τοποθέτηση χωρίς διαδρόμους. ....	53
3.5.2 Εύρεση του βέλτιστου σχήματος χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με κάθετη τοποθέτηση με διαδρόμους. ....	58
3.6 Διαχείριση αποθηκευτικού χώρου για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ .....	63
3.7 Χωροταξική διάταξη νέου ορόφου της εταιρίας BIOTZA A.B.E.E. ....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
4. Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία .....	76
5. Βιβλιογραφία .....	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ .....	79
Πίνακας τιμών κατανομής Poisson με μέση τιμή $\mu L = 2123.288$ .....	79

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Χωροταξική οργάνωση εργοστασίου σε περίπτωση διαδικασίας παραγωγής κατά παραγγελία (Αδαμίδης, 2015). ....	11
Εικόνα 2: Διάγραμμα σχέσεων σταθμών εργασίας για μια εταιρία με πέντε σταθμούς (Αδαμίδης, 2015). ....	14
Εικόνα 3: Παράδειγμα διαγράμματος δικτύου/διαδοχής .....	16
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο στη μέθοδο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας. ....	21
Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο στη μέθοδο Οικονομικής Ποσότητας Παραγωγής .....	22
Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση μεταβολής αποθέματος με πολιτική σταθερής ποσότητας παραγγελίας (Αδαμίδης, 2015). ....	26
Εικόνα 7: Μεταβολή του αποθέματος με πολιτική σταθερής περιόδου παραγγελίας (Αδαμίδης, 2015). ....	28
Εικόνα 8: Δομή γενετικού αλγόριθμου (αριστερά), διαδικασία επιχιασμού (δεξιά) (Mallawaarachchi, 2017). ....	30
Εικόνα 9: Διαδικασία μετάλλαξης (Mallawaarachchi, 2017). ....	31
Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής γενετικού αλγόριθμου. ....	31
Εικόνα 11: Ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ .....	34
Εικόνα 12: Ξαπλώστρα τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ .....	34
Εικόνα 13: Ομπρέλες αλουμινίου που παράγονται από την Χ. ....	35
Εικόνα 14.: Τωρινή διάταξη του εργοστασίου. ....	36
Εικόνα 15: Πατάρι της εταιρίας που στεγάζει το τμήμα υφασμάτων. ....	37
Εικόνα 16: Κάτοψη της εταιρίας με σημειωμένα τα πατάρια. ....	37
Εικόνα 17: Ντάνες που αποτελούνται από ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ. Στο έδαφος φαίνεται η πρώτη ύλη αλουμινένιων αγωγών με κυκλική διατομή. ....	39
Εικόνα 18: Κάτοψη του εργοστασίου με τη μελλοντική προσθήκη επιπλέον ορόφου. ....	40
Εικόνα 19: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του εργοστασίου της εταιρίας ΒΙΟΤΖΑ Α.Β.Ε.Ε. με την προσθήκη του νέου ορόφου. ....	40
Εικόνα 20: Διάγραμμα διαδικασίας παραγωγής ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ .....	42
Εικόνα 21: Πρώτη ύλη - Ράβδοι αλουμινίου μήκους 6 μέτρων. ....	44
Εικόνα 22: Μηχανή κουρμπάρισματος ράβδων αλουμινίου. ....	44
Εικόνα 23: Πάγκος Ηλεκτροσυγκόλλησης. ....	45
Εικόνα 24: Πάγκος και μηχανή κοπής υφασμάτων. ....	45
Εικόνα 25: Ολοκληρωμένα υφασμάτινα πανιά για να τοποθετηθούν στις ξαπλώστρες. ....	46
Εικόνα 26: Διαδικασία μονταρίσματος πανιού σε μεταλλικό σκελετό. ....	46
Εικόνα 27: Διάγραμμα Gantt της διαδικασίας παραγωγής της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ .....	47
Εικόνα 28: Διαδικασία παραγωγής μιας ξαπλώστρας τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ. ....	48

Εικόνα 29: Φούρνος βαφής μεταλλικών σκελετών της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ.....	49
Εικόνα 30: Διάγραμμα Gantt για την παραγωγή της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ .....	50
Εικόνα 31: Πιθανά σχήματα αποθηκευτικού χώρου ξαπλώστρας ΔΙΑΣ. Το μαύρο περίγραμμα περιγράφει τα όρια του νέου ορόφου της εταιρίας. ....	51
Εικόνα 32: Παραμετροποίηση του χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ. ....	52
Εικόνα 33: Σύγκλιση γενετικού αλγόριθμου.....	56
Εικόνα 34: Διαφορετικοί τρόποι προσανατολισμού ξαπλωστρών.....	56
Εικόνα 35: Το σχήμα του αποθηκευτικού χώρου με τους δύο τρόπους προσανατολισμού των ξαπλωστρών. Αριστερά: Κάθετος προσανατολισμός, αριστερά: Οριζόντιος προσανατολισμός. ....	57
Εικόνα 36: Σύγκλιση γενετικού αλγορίθμου για εύρεση χώρου με κάθετο προσανατολισμό ξαπλωστρών και διάδρομο πρόσβασης.....	59
Εικόνα 37: Σχηματική αναπαράσταση αποθηκευτικού χώρου με κάθετο προσανατολισμό και διαδρόμους πρόσβασης.....	60
Εικόνα 38: Σύγκλιση προβλήματος με οριζόντιο προσανατολισμό ξαπλωστρών και διάδρομο πρόσβασης.....	61
Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση αποθηκευτικού χώρου με οριζόντιο προσανατολισμό ξαπλωστρών και διαδρόμους πρόσβασης.....	61
Εικόνα 40: Διακύμανση ζήτησης σε ένα έτος.....	65
Εικόνα 41: Σχηματική αναπαράσταση νέου ορόφου της εταιρίας. Τονίζονται η σκάλα που θα οδηγεί στο πατάρι της εταιρίας και η σκάλα προς την έξοδο κινδύνου.....	70
Εικόνα 42: Σχέσεις εγγύτητας τμημάτων νέου ορόφου.....	71
Εικόνα 43: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Πρώτο στάδιο.....	73
Εικόνα 44: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Δεύτερο στάδιο.....	73
Εικόνα 45: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Τρίτο στάδιο .....	74
Εικόνα 46: Τελική θέση τμημάτων στο νέο όροφο.....	75

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους ιστορικούς η ανθρωπότητα έχει διανύσει τρεις περιόδους βιομηχανικής επανάστασης και σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες διανύει την τέταρτη σήμερα (Tay, Lee, Hamid, & Ahmad, 2018). Κάθε περίοδος βιομηχανικής επανάστασης έχει προκληθεί από μια σειρά από παράγοντες, όπως η χρήση νέων πηγών ενέργειας, η άνοδος του εμπορίου, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και η άνοδος του καταναλωτισμού, που με τη σειρά της οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης συγκεκριμένων προϊόντων (Fine & Leopold, 1990). Σε κάθε περίπτωση η βιομηχανία τροφοδοτείται από αυτή την αύξηση της ζήτησης, την οποία προσπαθεί να καλύψει βελτιώνοντας τους χρόνους και τις διαδικασίες παραγωγής. Η αύξηση της ζήτησης και η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησαν αρχικά στη χρήση εναλλάξιμων μερών και στη συνέχεια στη μαζική παραγωγή. Για να ανταπεξέλθει στην αυξανόμενη παραγωγή, η βιομηχανία έπρεπε να ανακαλύψει νέες μεθόδους που θα ελαχιστοποιούσαν το κόστος παραγωγής, θα βελτίωναν τους ρυθμούς παραγωγής και θα κάλυπταν τη ζήτηση.

Οι μέθοδοι προγραμματισμού παραγωγής που αναπτύχθηκαν, από τα πρώτα διαγράμματα του Henry Gantt (Herrmann, 2006), μέχρι τα σύγχρονα συστήματα προγραμματισμού που βασίζονται σε εξειδικευμένους αλγόριθμους, είχαν ως σκοπό τη βελτίωση του χρόνου παραγωγής ενός προϊόντος που μεταφράζεται σε μείωση του κόστους παραγωγής μιας μονάδας προϊόντος, αφού μειώνονται οι ενεργειακοί πόροι που απαιτούνται και οι απαραίτητες εργατοώρες. Ταυτόχρονα αναπτύχθηκαν μέθοδοι διαχείρισης των αποθηκευτικών χώρων, τόσο των πρώτων υλών, όσο και των τελικών προϊόντων. Η σωστή διαχείριση αποθηκευτικών χώρων εξασφαλίζει τον έλεγχο της ροής των υλικών από τους προμηθευτές μέχρι τη μονάδα παραγωγής και από εκεί σε μορφή προϊόντος, μέχρι τον πελάτη. Η επένδυση που κάνει μια επιχείρηση για να εξασφαλίσει ικανό αριθμό αποθεμάτων είναι πλέον τεράστια και το κεφάλαιο που είναι συνδεδεμένο με τις πρώτες ύλες και τα ενδιάμεσα και τα τελικά προϊόντα είναι αυτό που προσφέρει περιθώριο ανάπτυξης. Για όλες τις εταιρίες, ανεξάρτητα από το χώρο δραστηριοποίησής τους, η πολιτική διαχείρισης της εφοδιαστικής τους αλυσίδας, δηλαδή ο έλεγχος της ροής υλικών από τους προμηθευτές μέχρι τους καταναλωτές αποτελεί πολύ σημαντικό πρόβλημα. Το περιθώριο βελτίωσης της επένδυσης μιας επιχείρησης σε πρώτες ύλες, αποθηκευμένα ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα είναι ικανό ώστε να απασχολεί όλα τα επίπεδα διαχείρισης μιας εταιρίας. Οι επιστημονικές μέθοδοι για τη διαχείριση του αποθηκευτικού χώρου είναι πλέον ικανές να προσφέρουν σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Axsater, 2000).

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για το βέλτιστο προγραμματισμό της παραγωγής είναι η διακύμανση της ζήτησης και η πιθανή πρόβλεψη αυτής. Με βάση τέτοιες προβλέψεις οι εταιρίες καταλήγουν στη δημιουργία διαφορετικών ειδών αποθεμάτων που θα τις βοηθήσουν να καλύψουν την επερχόμενη ζήτηση. Το απόθεμα ασφαλείας είναι ουσιαστικά στοκ από έτοιμα προϊόντα που αποθηκεύονται για να αντιμετωπιστεί η διακύμανση της ζήτησης. Το απόθεμα αναμενόμενης ζήτησης μπορεί να οριστεί ως επιπλέον αριθμός προϊόντων που αποθηκεύονται για να καλύψουν μια αναμενόμενη απότομη αύξηση της ζήτησης. Άλλα είδη αποθέματος αποτελούν τα ενδιάμεσα προϊόντα που στην ουσία είναι παραγγελίες που δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί και τα αποθέματα πρώτων υλών που

παραγγέλλονται για να καλύψουν συγκεκριμένη αύξηση στην παραγωγή. Όλα τα παραπάνω αποτελούν διαφορετικές πτυχές που καλείται να καλύψει και να προβλέψει μια ικανή στρατηγική διαχείρισης αποθεμάτων (Axsater, 2000).

Όσο ο προγραμματισμός παραγωγής αποσκοπεί στη βελτίωση των χρόνων και τη μείωση του κόστους παραγωγής και όσο η διαχείριση αποθεμάτων ασχολείται με τη ροή υλικών μεταξύ των σταθμών παραγωγής και την ικανοποίηση της ζήτησης, αυτές οι μέθοδοι δεν μπορούν να αποδώσουν τα μέγιστα αν δεν υπάρχει κατάλληλη χωροταξική διάταξη των γραμμών παραγωγής, των αποθηκευτικών χώρων και των βοηθητικών χώρων ενός εργοστασίου. Ενώ ο προγραμματισμός παραγωγής δεν μπορεί ποτέ να είναι βέλτιστος αν δεν υπάρχει καλή χωροταξική διάταξη των μηχανών και του προσωπικού μέσα σε μια διαδικασία παραγωγής. Οι μέθοδοι χωροταξικής διάταξης βιομηχανικών μονάδων αναπτύχθηκαν για να επιτρέψουν την ελαχιστοποίηση της διαχείρισης των υλικών και της απόστασης που διανύουν μέσα σε μια μονάδα παραγωγής, για να αυξήσουν το ρυθμό παραγωγής και κατά συνέπεια το κόστος παραγωγής ενός προϊόντος.

Σε αυτή την εργασία μελετάται η χωροταξική διάταξη μιας μονάδας παραγωγής επίπλων εξωτερικού χώρου, τόσο ως προς τον αποθηκευτικό χώρο των τελικών προϊόντων, όσο και ως προς τη σχέση εγγύτητας των σταθμών παραγωγής με τον αποθηκευτικό χώρο και τις βοηθητικές μονάδες. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο για το προϊόν με τις μεγαλύτερες πωλήσεις της εταιρίας, με βάση τη ζήτησή του και τη βέλτιστη στρατηγική προγραμματισμού παραγωγής του. Επίσης, αναζητείται ο βέλτιστος χώρος που πρέπει να καταλαμβάνει το αποθηκευμένο τελικό προϊόν, με βάση τη διαθεσιμότητα σε χώρο της εταιρίας. Τέλος, γίνεται μια χωροταξική μελέτη για τη συνύπαρξη κάποιων από τα τμήματα παραγωγής της εταιρίας, ώστε να επιτρέπεται η βελτίωση των χρόνων παραγωγής των προϊόντων.

Στη συνέχεια του πρώτου κεφαλαίου γίνεται μικρή ιστορική αναδρομή στις διαδικασίες παραγωγής και στους τρόπους με τους οποίους έχει εξελιχθεί η παραγωγή μέσα στα χρόνια. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά στη θεωρία της διαχείρισης αποθεμάτων και στη θεωρία χωροταξικής διάταξης μιας βιομηχανικής μονάδας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εταιρία για την οποία μελετάται η χωροταξική διάταξη του αποθηκευτικού της χώρου και μέρους της διαδικασίας παραγωγής της. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.



## 2. Θεωρητικό υπόβαθρο

### 2.1 Η διαδικασία παραγωγής

Η διαδικασία της παραγωγής ορίζεται ως το σύνολο των δραστηριοτήτων που χρειάζεται να πραγματοποιηθούν σε συγκεκριμένη σειρά για τη δημιουργία ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, συνήθως σε μεγάλες ποσότητες. Μπορεί να νοηθεί ως μια διαδικασία μετατροπής πόρων σε προϊόντα ή υπηρεσίες. Οι πόροι που χρειάζονται για την παραγωγή ενός προϊόντος διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε εκείνους που μετατρέπονται για να δημιουργηθεί το προϊόν, δηλαδή τα υλικά, τις πληροφορίες ή τα ενδιάμεσα προϊόντα, και σε εκείνους που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των πρώτων, δηλαδή τους εργαζόμενους και τις μηχανές. Σε μια δραστηριότητα που αποτελεί μέρος της διαδικασίας παραγωγής ένας αριθμός υλικών ή ενδιάμεσων προϊόντων χρησιμοποιείται από τη δεύτερη κατηγορία πόρων για να εκτελεστεί ένα μέρος της διαδικασίας παραγωγής και να δημιουργηθεί ένα μέρος του τελικού προϊόντος ή ένα ακόμα ενδιάμεσο προϊόν. Για την παραγωγή ενός προϊόντος μπορεί να χρειάζεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός τέτοιων διαδικασιών, με διαφορετικό χρόνο εκτέλεσης, απαιτώντας την ύπαρξη επιπλέον χώρου για την αποθήκευση των προϊόντων μέχρι να γίνει επεξεργασία τους από τον επόμενο σταθμό παραγωγής. Η τοποθέτηση των σταθμών εργασίας στο χώρο, η ρύθμιση των μηχανών, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος που θα παραχθεί, η επιλογή των κατάλληλων διαδικασιών, αλλά και η κατάλληλη αλληλουχία των διαδικασιών αποτελούν αποφάσεις που ορίζονται κατά το σχεδιασμό της διαδικασίας παραγωγής. Οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται κάθε φορά με βάση ένα σύνολο πληροφοριών οι οποίες προέρχονται είτε από την ίδια τη διαδικασία παραγωγής όταν έχουν να κάνουν με τις διαθέσιμες μηχανές και το ανθρώπινο δυναμικό, είτε από το εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. ζήτηση του προϊόντος, διαθεσιμότητα πρώτων υλών (Αδαμίδης, 2015)).

Για να είναι δυνατή η οργάνωση και η λειτουργία μιας διαδικασίας παραγωγής, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη το είδος της επιχείρησης, το μοντέλο επιχειρηματικής δράσης που χρησιμοποιεί και τα προϊόντα που παράγει. Με βάση το βαθμό πολυπλοκότητας των προϊόντων και των απαιτήσεών τους σε παραγωγική υποδομή, οι διαδικασίες παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Αδαμίδης, 2015):

α) **Διαδικασίες έργου**, κατά τις οποίες συγκεντρώνονται πόροι και οργανώνεται η διαδικασία παραγωγής για την παραγωγή ενός και μόνου ιδιαίτερου προϊόντος.

β) **Διαδικασίες τύπου παραγωγής κατά παραγγελία**, κατά τις οποίες παράγονται προϊόντα σε μικρές ποσότητες κάθε φορά, είτε μεμονωμένα. Η παραγωγή σε αυτή την περίπτωση γίνεται περνώντας από διάφορους σταθμούς εργασίας, χωρίς να ακολουθείται κάποια τυποποιημένη διαδικασία παραγωγής. Αυτό το είδος παραγωγής αφορά συνήθως εξειδικευμένα προϊόντα, τα οποία παράγονται κατά παραγγελία και ανήκουν σε κλάδους όπου η ταχύτητα εκτέλεσης της παραγγελίας και το εύρος ικανοτήτων παραγωγής ξεχωρίζουν τις πιο ανταγωνιστικές εταιρίες από τις υπόλοιπες. Σε αυτού του είδους τις διαδικασίες παραγωγής δεν υπάρχει αυστηρός έλεγχος της ροής των υλικών μεταξύ σταθμών εργασίας με αποτέλεσμα συχνά να δημιουργείται απόθεμα, ενώ η χωροταξική διάταξη γίνεται κατά διαδικασία, ομαδοποιώντας τις μηχανές ή το ανθρώπινο δυναμικό που κάνουν παρόμοιες διεργασίες. Η ανάθεση του ανθρώπινου δυναμικού γίνεται με βάση την

ένταση της εργασίας σε κάθε σταθμό εργασίας, ενώ μπορεί κάποιες μηχανές να παραμένουν αδρανείς κατά διαστήματα. Στις διαδικασίες τύπου παραγωγής κατά παραγγελία ο προγραμματισμός των αναγκών σε υλικά και εξαρτήματα γίνεται με τη λήψη της παραγγελίας, ενώ έτσι ορίζονται και οι πωλήσεις που εξαρτώνται από το κόστος των υλικών και της επεξεργασίας τους. Καθώς οι παραγγελίες συχνά είναι δύσκολο να προβλεφθούν, ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής δεν μπορεί να είναι ακριβής. Ο μεγάλος όγκος παραγγελιών συχνά αντιμετωπίζεται με υπερωρίες ή υπεργολαβίες, ενώ η ποιότητα των προϊόντων διασφαλίζεται με την εμπειρία των εργατών και με υιοθέτηση προτύπων διαχείρισης ποιότητας.

γ) **Διαδικασίες διακεκομμένων γραμμών ροής ή παραγωγής κατά παρτίδες**, κατά τις οποίες τα προϊόντα παράγονται και πάλι κατά παραγγελία, αλλά η κίνησή τους μεταξύ σταθμών εργασίας είναι πιο προκαθορισμένη. Έτσι παράγεται συγκεκριμένη ποικιλία προϊόντων που έχουν σχεδιαστεί από την εταιρία. Οι σταθμοί εργασίας είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και δεν συνδέονται με αυτοματοποιημένα συστήματα μεταφοράς υλικών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αποθέματα από υλικά και ενδιάμεσα προϊόντα σε διάφορα σημεία του εργοστασίου. Συχνά τα τελικά προϊόντα αποτελούνται από ενδιάμεσα προϊόντα που παράγονται από μικρές διατάξεις μηχανών και ανθρώπινου δυναμικού. Αυτά στη συνέχεια αποθηκεύονται μέχρι να χρησιμοποιηθούν από άλλες διατάξεις για να παραχθεί η γκάμα προϊόντων που προσφέρει η εταιρεία. Η χωροταξική οργάνωση της παραγωγής γίνεται μικτά, κατά διαδικασίες και κατά εξάρτημα ή ενδιάμεσο προϊόν, με μικρό βαθμό αυτοματοποίησης, έχοντας κάποιες μηχανές αδρανείς, ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Ο χρόνος διεργασίας των ενδιάμεσων προϊόντων σε κάθε σταθμό εργασίας είναι διαφορετικός και γι' αυτό είναι δύσκολο να βελτιστοποιηθεί ο χρόνος παραγωγής, παρά μόνο σε επίπεδο παρτίδας. Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί η χρήση μιας διεργασίας για διαφορετικά είδη τελικών προϊόντων. Τα υλικά προμηθεύονται με βάση κάποιες στατιστικές προβλέψεις ζήτησης, ενώ διατηρούνται αποθέματα υλικών και ενδιάμεσων προϊόντων. Οι πωλήσεις γίνονται κατά παρτίδες για να καλύψουν τις απαιτήσεις των παραγγελιών, ενώ συλλέγονται πληροφορίες για τις πωλήσεις και την κατάσταση των αποθεμάτων, προκειμένου να προγραμματιστεί σωστά η παραγωγή, η οποία ξεκινά συνήθως όταν ο αριθμός των αποθεμάτων πέσει κάτω από κάποιο όριο. Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής είναι συνεπώς ευέλικτος, άλλα με μικρές πιθανότητες αλλαγών. Η διασφάλιση της ποιότητας σε αυτή την περίπτωση γίνεται με αυστηρότερα πρότυπα, ενώ η ζήτηση καλύπτεται από τον όγκο των αποθεμάτων.

δ) **Διαδικασίες συνδεδεμένων γραμμών ροής**, οι οποίες αποτελούν ουσιαστικά κλασικές γραμμές συναρμολόγησης προϊόντων, όπως οι γραμμές συναρμολόγησης στις αυτοκινητοβιομηχανίες. Τα υλικά, τα ενδιάμεσα προϊόντα και τα εξαρτήματα που πρέπει να προστεθούν σε κάθε διεργασία μεταφέρονται μεταξύ σταθμών εργασίας αυτόματα, ώστε να επιτυγχάνεται ένας συγκεκριμένος ρυθμός στη διαδικασία παραγωγής. Τα προϊόντα που παράγονται είναι τυποποιημένα, με ελάχιστο περιθώριο διαφοροποίησης. Τα υπό κατασκευή προϊόντα μεταφέρονται μεταξύ των σταθμών εργασίας με τέτοιο τρόπο ώστε οι τελευταίοι να είναι σφιχτά συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός είναι εξειδικευμένος και ο χρόνος διεργασιών στους διαφορετικούς σταθμούς εργασίας είναι ο ίδιος, προκειμένου να επιτυγχάνεται ομαλή ροή στη διαδικασία παραγωγής και να αποφεύγεται η δημιουργία αποθέματος ενδιάμεσων προϊόντων. Η ταχύτητα της παραγωγής ορίζεται από την ταχύτητα των μηχανών και από το σχεδιασμό των διεργασιών που γίνονται με το χέρι, οδηγώντας δυνητικά σε μεγάλο όγκο παραγωγής. Η προμήθεια

των υλικών γίνεται σταθερά, ανάλογα με το πρόγραμμα παραγωγής, αφού οι απαιτήσεις σε υλικά καθορίζονται απόλυτα από αυτό. Η παραγωγή είναι συνήθως συνεχόμενη, αφού υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης των αναγκών σε απόθεμα, προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση. Η ποιότητα των προϊόντων διασφαλίζεται με συνεχείς ελέγχους στη διαδικασία παραγωγής και την τήρηση των σχετικών προτύπων.

ε) **Διαδικασίες συνεχούς ροής**, κατά την οποία οι πόροι που μετατρέπονται σε προϊόντα (υλικά) είναι σε ρευστή κατάσταση (υγρά ή αέρια) και κινούνται μεταξύ σταθμών εργασίας με μόνιμη ροή. Σε αυτή τη διαδικασία παραγωγής συμπεριλαμβάνονται η παραγωγή τροφίμων, ποτών, χημικών και φαρμάκων. Όλα τα προϊόντα που παράγονται με αυτόν τον τρόπο είναι τυποποιημένα με καθόλου ή ελάχιστες δυνατότητες τροποποίησης. Η διαδικασία παραγωγής είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και αποτελείται από προκαθορισμένους και μόνιμα συνδεδεμένους σταθμούς παραγωγής με εξειδικευμένα μηχανήματα. Οι ανάγκες σε πρώτες ύλες είναι γνωστές μέσα από το πρόγραμμα παραγωγής, δημιουργώντας ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο για αυτές, αφού χρειάζονται μεγάλα αποθέματα, αλλά δεν δημιουργούνται σχεδόν καθόλου ενδιάμεσα αποθέματα. Ανάλογα με το είδος των προϊόντων και των δικτύων διανομής τα αποθέματα τελικών προϊόντων μπορεί να είναι επίσης μεγάλα.

## 2.2 Χωροταξική διάταξη εργοστασίου

### 2.2.1 Λόγοι χωροταξικής διάταξης εργοστασίου

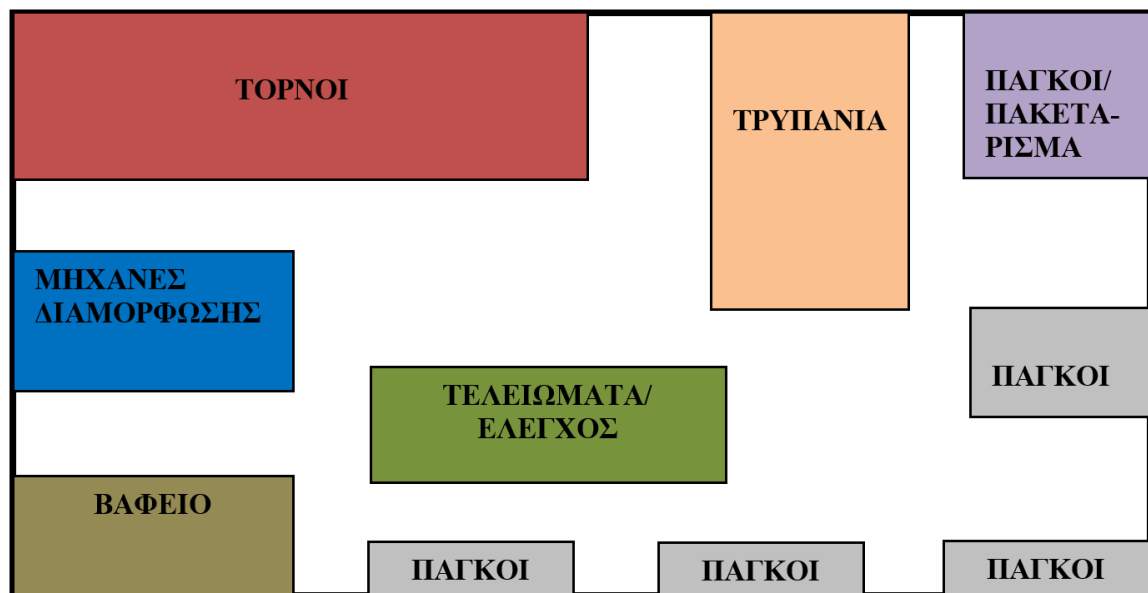
Ο κύριος σκοπός οποιουδήποτε σχεδίου χωροταξικής διάταξης ενός εργοστασίου ή βιοτεχνίας είναι η ενσωμάτωση της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον στόχοι είναι (Muther & Hales, 2015):

- η ελαχιστοποίηση της διαχείρισης υλικών, ειδικά όσον αφορά την απόσταση που διανύουν μεταξύ σταθμών εργασίας
- η δυνατότητα ευελιξίας της διάταξης των σταθμών εργασίας σε περίπτωση αλλαγής της διαδικασίας παραγωγής
- η ελαχιστοποίηση του χρόνου που οι σταθμοί εργασίας μπορεί να μένουν στάσιμοι
- ο περιορισμός επενδύσεων σε εξοπλισμό
- η οικονομία χώρου
- η αποτελεσματικότερη χρήση του εργατικού δυναμικού
- η επίτευξη πιο ασφαλούς και άνετου περιβάλλοντος εργασίας.

Τα παραπάνω αποτελούν γενικότερα τους στόχους που προσπαθεί να καλύψει μια μελέτη χωροταξικής διάταξης εργοστασίου, όμως ανάλογα με το είδος της διαδικασίας παραγωγής υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες σε χωροταξία (π.χ. χώρος αποθήκευσης ενδιάμεσων ή τελικών προϊόντων, διάταξη σταθμών εργασίας, κλπ.). Άρα ανάλογα με το είδος της διαδικασίας παραγωγής επιλέγεται χωροταξική διάταξη του εργοστασίου που θα καλύπτει τις ανάγκες της παραγωγής (Αδαμίδης, 2015):

α) Στην περίπτωση διαδικασίας **παραγωγής κατά παραγγελία** η παραγωγή ολοκληρώνεται μεταφέροντας τα υλικά και τα ενδιάμεσα προϊόντα μεταξύ σταθμών εργασίας στους οποίους εκτελούνται κατά κύριο λόγο χειρωνακτικές εργασίες. Στο

μηχανουργείο που απεικονίζεται στην Εικόνα 1 τα προϊόντα περνάνε από τους πάγκους εργασίας με μια σειρά που δεν είναι απολύτως προκαθορισμένη και εξαρτάται από το τελικό προϊόν. Τα αποθέματα τελικού και ενδιάμεσων προϊόντων συσσωρεύονται στους σταθμούς εργασίας δημιουργώντας μικρότερους χώρους αποθήκευσης σε διάφορα μέρη του εργοστασίου. Σε περίπτωση που ο όγκος των τελικών προϊόντων είναι μεγάλος μεταφέρονται στην αποθήκη. Σε αυτή την περίπτωση εργοστασίου η χωροταξία γίνεται κατά διαδικασία, ομαδοποιώντας τις μηχανές που εκτελούν όμοιες διεργασίες.



Εικόνα 1: Χωροταξική οργάνωση εργοστασίου σε περίπτωση διαδικασίας παραγωγής κατά παραγγελία (Αδαμίδης, 2015).

β) Στην περίπτωση διαδικασιών **παραγωγής κατά παρτίδα** χρησιμοποιείται και πάλι χωροταξία διαδικασίας, αφού το προϊόν και πάλι περνά από πάγκους εργασίας σε μια σειρά που μπορεί να είναι προκαθορισμένη, αλλά με χρόνους διεργασίας που διαφέρουν από σταθμό σε σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση ο όγκος της παραγωγής μπορεί να είναι μεγαλύτερος, με τα ενδιάμεσα προϊόντα να μεταφέρονται μεταξύ σταθμών εργασίας σε παρτίδες, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη επεξεργασία. Σε αυτήν την περίπτωση ο χωροταξικός σχεδιασμός έχει ως σκοπό να ελαττώσει τους χρόνους αναμονής μεταξύ διεργασιών και να ικανοποιήσει τις ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο.

γ) Στην περίπτωση διαδικασιών παραγωγής **συνδεδεμένων γραμμών ροής** και **συνεχούς ροής** η χωροταξική διάταξη των σταθμών εργασίας ταυτίζεται με τη σειρά των εργασιών που χρειάζεται να ολοκληρωθούν για να παραχθεί το τελικό προϊόν.

### 2.2.2 Φάσεις χωροταξικής διάταξης εργοστασίου

Οι δύο βασικότεροι παράγοντες γύρω απ' τους οποίους σχεδιάζεται η χωροταξική διάταξη ενός εργοστασίου είναι το είδος του προϊόντος (είτε αυτό είναι το τελικό προϊόν, είτε τα ενδιάμεσα προϊόντα) και η ποσότητα αυτού που πρέπει να παραχθεί. Η ικανοποίηση

των δύο αυτών παραγόντων γίνεται με τον ορισμό της διαδικασίας παραγωγής για να παραχθεί το συγκεκριμένο προϊόν. Η διαδικασία παραγωγής πρέπει να υποστηρίζεται από συγκεκριμένες βοηθητικές μονάδες που βρίσκονται σε κάθε εταιρία, όπως το τμήμα συντήρησης των μηχανών, βοηθητικοί και διοικητικοί χώροι και χώροι απαραίτητοι για το ανθρώπινο δυναμικό. Τέλος είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος στον οποίο θα πρέπει να είναι έτοιμο το προϊόν και ο χρόνος κατά τον οποίο θα λειτουργεί η παραγωγική μονάδα. Έχοντας υπόψη τους πέντε προαναφερθέντες παράγοντες, μία ολοκληρωμένη μελέτη χωροταξικής διάταξης εργοστασίου γίνεται σε τέσσερα βήματα (Muther & Hales, 2015):

- i. **Εύρεση χώρου.** Σε αυτό το βήμα εξετάζεται ο χώρος στον οποίο θα στηθεί η παραγωγική μονάδα, είτε αυτό σημαίνει εύρεση θέσης για το εργοστάσιο, είτε αναπροσαρμογή του υπάρχοντα χώρου του εργοστασίου για να τοποθετηθούν καλύτερα οι μηχανές και οι βοηθητικοί χώροι.
- ii. **Γενική διάταξη του χώρου.** Σε αυτό το βήμα γίνεται μια αρχική χωροταξική διάταξη των σταθμών εργασίας και των υπόλοιπων χώρων ώστε να υπάρχει ικανοποιητικός χώρος για κάθε επιμέρους τμήμα της διαδικασίας παραγωγής και οι σχέσεις των διαφόρων τμημάτων μπορούν να ικανοποιηθούν.
- iii. **Λεπτομερής διάταξη του χώρου.** Σε αυτό το βήμα επιλέγονται οι ακριβείς θέσεις για κάθε σταθμό εργασίας και βοηθητικό χώρο.
- iv. **Εγκατάσταση.** Στο τελευταίο βήμα προστίθενται οι τελευταίες λεπτομέρειες και εγκρίνεται το τελικό σχέδιο και γίνονται οι κατάλληλες κινήσεις για να γίνει πραγματικότητα.

### 2.2.3 Μέθοδοι χωροταξικής διάταξης εργοστασίου

Όπως φαίνεται στην ενότητα 2.2.1, ανάλογα με το είδος της διαδικασίας παραγωγής επιλέγεται η κατάλληλη μεθοδολογία για τη χωροταξική διάταξη του εργοστασίου, προκειμένου να καλυφθούν οι ειδικές ανάγκες της παραγωγής. Τα δύο βασικά είδη χωροταξικού σχεδιασμού είναι η χωροταξία διαδικασιών παραγωγής κατά παραγγελία και **κατά διαδικασία**, σε **κυψέλες**, και **κατά προϊόν**. Το πρώτο είδος χρησιμοποιείται για διαδικασίες παραγωγής με τις οποίες παράγονται προϊόντα κατά παραγγελία και σε παρτίδες. Με το δεύτερο είδος οι σταθμοί εργασίας τοποθετούνται στο χώρο με βάση τη σειρά των διεργασιών που πρέπει να γίνουν στα υλικά και στα ενδιάμεσα προϊόντα προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν. Με αυτόν τον τρόπο τα ενδιάμεσα προϊόντα, τα υλικά και τα εξαρτήματα μεταφέρονται αυτόματα μεταξύ σταθμών εργασίας, ελαχιστοποιώντας τους χρόνους μεταφοράς, μειώνοντας τα αποθέματα και διευκολύνοντας το προγραμματισμό της παραγωγής. Για κάθε προϊόν που παράγει το εργοστάσιο δημιουργείται μια ξεχωριστή **κυψέλη** από μηχανές και σταθμούς εργασίας που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του. Η χωροταξική διάταξη κυψέλης είναι πιο χρήσιμη στην περίπτωση διαδικασιών παραγωγής συνδεδεμένων γραμμών ροής. Στην περίπτωση χωροταξικής διάταξης **κατά προϊόν** οι μηχανές εκτελούν μία συνταγή ή διαδικασία με την οποία παράγεται το τελικό προϊόν, άρα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούν με ακρίβεια τη διαδικασία εκτέλεσης αυτής της συνταγής. Αυτή η μορφή χωροταξικής διάταξης χρησιμοποιείται σε περίπτωση διαδικασίας παραγωγής συνεχούς ροής.

#### α) Χωροταξική διάταξη κατά διαδικασία

Σε ένα εργοστάσιο ή βιοτεχνία που υιοθετεί το είδος της διαδικασίας παραγωγής κατά παραγγελία τα μηχανήματα τοποθετούνται συνήθως κατά ομάδες μηχανών που εκτελούν τις ίδιες ή παρόμοιες διεργασίες. Στα αγγλικά χρησιμοποιείται ο όρος *job shop* για να περιγράψει το σύνολο των διαφορετικών σταθμών εργασίας στους οποίους εκτελούνται διεργασίες ενός είδους (*jobs*). Στην περίπτωση ενός τέτοιου χώρου, η απόδοση της χωροταξικής διάταξης της παραγωγικής μονάδας εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των διαφορετικών σταθμών εργασίας, από την οποία εξαρτάται και το κόστος μεταφοράς υλικών ή προϊόντων μεταξύ διαδοχικών σταθμών εργασίας κατά τη διαδικασία παραγωγής τους. Η μέθοδος χωροταξικής διάταξης που χρησιμοποιείται συνήθως για *job shops* ονομάζεται **μέθοδος του κόστους-όγκου-απόστασης**. Με βάση αυτή τη μέθοδο γίνεται ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς από σταθμό εργασίας σε σταθμό εργασίας. Η συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι η:

$$C_T = \sum V_{ij} D_{ij} C_{ij} \quad (1)$$

όπου  $C_T$  είναι το συνολικό κόστος που θα ελαχιστοποιηθεί,  $V_{ij}$  είναι ο όγκος των φορτίων (υλικών, ενδιάμεσων προϊόντων) που μεταφέρονται από το σταθμό  $i$  στο σταθμό  $j$ ,  $D_{ij}$  είναι η απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών εργασίας και  $C_{ij}$  είναι το κόστος μεταφοράς των φορτίων μεταξύ των σταθμών  $i$  και  $j$ . Η διάταξη των σταθμών εργασίας που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος είναι η επιθυμητή. Η εύρεση αυτής της διάταξης θα μπορούσε να γίνει είτε με τη μέθοδο *Systematic Layout Planning* (SLP) (Muther & Hales, 2015). Η μέθοδος SLP πραγματοποιείται σε έξι βήματα:

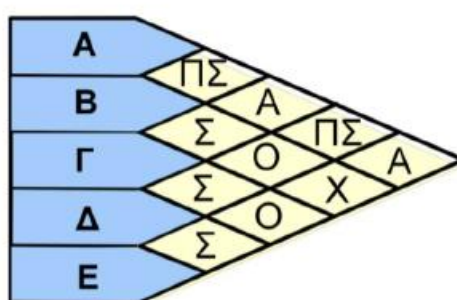
##### **i. Καταγραφή των δεδομένων και διάγραμμα σχέσεων**

Σε αυτό το βήμα καταγράφεται το κόστος μεταφοράς πόρων (υλικών, ενδιάμεσων προϊόντων ή ακόμα και προσωπικού) μεταξύ των σταθμών εργασίας του εργοστασίου. Θεωρητικά οι πόροι μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ οποιωνδήποτε σταθμών εργασίας. Η καταγραφή γίνεται με τη χρήση ενός πίνακα που έχει ίσο αριθμό στηλών και γραμμών. Σε κάθε κελί του πίνακα καταγράφεται το κόστος μετακίνησης υλικών από σταθμό σε σταθμό. Στον Πίνακα 1: Παράδειγμα πίνακα κόστους μετακίνησης φορτίων μεταξύ σταθμών εργασίας. φαίνεται ένα παράδειγμα πίνακα κόστους μεταφοράς φορτίου μεταξύ σταθμών εργασίας μιας διαδικασίας παραγωγής με τέσσερις σταθμούς εργασίας.

προς από	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4
Σ1	X	30	40	10
Σ2	30	X	50	30
Σ3	40	50	X	15
Σ4	10	30	15	X

Πίνακας 1: Παράδειγμα πίνακα κόστους μετακίνησης φορτίων μεταξύ σταθμών εργασίας.

Στη συνέχεια σχεδιάζεται το διάγραμμα σχέσεων των σταθμών εργασίας, το οποίο είναι ένα εργαλείο όπου καταγράφεται η ανάγκη εγγύτητας των σταθμών εργασίας. Στην Εικόνα 2 φαίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα, όπου με Α σημειώνεται μια σχέση εγγύτητας μεταξύ δυο μηχανών όταν απαραίτητη, με ΠΣ όταν η σχέση εγγύτητας είναι πολύ σημαντική, με Σ όταν είναι σημαντική και με Ο όταν είναι ουδέτερη. Σε περίπτωση που η εγγύτητα δυο μηχανών είναι ανεπιθύμητη τότε η σχέση τους σημειώνεται με Χ. Σε πιο ολοκληρωμένα διαγράμματα σχέσεων εγγύτητας συμπεριλαμβάνονται και οι υπόλοιποι χώροι του εργοστασίου, δηλαδή οι λειτουργικοί και βοηθητικοί χώροι. Το διάγραμμα σχέσεων σταθμών εργασίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περίπτωση που είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστεί το κόστος μεταφοράς φορτίων από σταθμό σε σταθμό, και συνεπώς δεν μπορεί να κατασκευαστεί εύκολα ο πίνακας κόστους μετακίνησης φορτίων.



Εικόνα 2: Διάγραμμα σχέσεων σταθμών εργασίας για μια εταιρία με πέντε σταθμούς (Αδαμίδης, 2015).

## ii. Ορισμός αναγκών σε χώρο

Σε αυτό το βήμα ορίζονται οι ανάγκες σε χώρο που έχει κάθε σταθμός εργασίας. Οι χώροι υπολογίζονται είτε κατ' εκτίμηση, λαμβάνοντας υπόψη

τις υπάρχουσες ανάγκες σε χώρο και προσθέτοντας μετά επιπλέον χώρο εκτιμώντας πόσο θα βοηθούσε ο επιπλέον χώρος την κάθε εργασία, είτε σχεδιάζοντας ένα σχέδιο υπό κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη τα μεγέθη των μηχανών και τις ανάγκες τους σε επιπλέον χώρο. Για τους βοηθητικούς χώρους χρησιμοποιούνται δεδομένα μεγέθη.

### **iii. Διάγραμμα δικτύου/διαδοχής**

Σε αυτό το βήμα, λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στο πρώτο βήμα δημιουργείται ένα διάγραμμα δικτύου που περιγράφει τη διαδικασία παραγωγής με τις μεταφορές φορτίου μεταξύ σταθμών εργασίας. Κάθε σταθμός εργασίας βρίσκεται σε ένα κόμβο του δικτύου και οι σχέσεις των σταθμών περιγράφονται με ακμές. Ένα ενδεικτικό τέτοιο δίκτυο φαίνεται στην Εικόνα 3. Σε αυτό το παράδειγμα λαμβάνονται υπόψη μόνο οι πληροφορίες του διαγράμματος σχέσης εγγύτητας. Οι σχέσεις τύπου Α, ΠΣ (Ε) και Σ (Ι) αναπαρίστανται με τέσσερις, τρεις και δύο παράλληλες γραμμές μεταξύ σταθμών, αντίστοιχα. Στη συνέχεια το διάγραμμα ξανασχεδιάζεται για να συμπεριλάβει τις σχέσεις τύπου Ο και Χ, οι οποίες αναπαρίστανται με μία ίσια και μια γραμμή ζιγκ-ζαγκ, αντίστοιχα. Τέλος το διάγραμμα ξανασχεδιάζεται για να ικανοποιηθούν καλύτερα οι σχέσεις, πετυχαίνοντας έτσι μια καλή χωροταξική διάταξη. Σε αυτό το παράδειγμα δεν λαμβάνονται υπόψη τα κόστη μεταφοράς φορτίων μεταξύ σταθμών. Σε περίπτωση που αυτά ληφθούν υπόψη, τότε το δίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί με απλές ακμές μεταξύ κόμβων, αλλά με αναφορά του κόστους μεταφοράς σε κάθε ακμή.

### **iv. Αρχική σχεδίαση χώρου**

Σε αυτό το βήμα σχεδιάζεται ένα σκαρίφημα της κάτοψης του εργοστασίου, στην οποία φαίνεται η θέση και το μέγεθος κάθε σταθμού εργασίας και βοηθητικού χώρου. Έχοντας λύσει τα προβλήματα του χώρου και των θέσεων των σταθμών εργασίας, αυτό το σχέδιο δείχνει για πρώτη φορά μια αρχική αίσθηση της χωροταξικής διάταξης του εργοστασίου.

### **v. Αξιολόγηση εναλλακτικών χωροταξικών διατάξεων**

Σε περίπτωση που από το τρίτο βήμα προκύψουν περισσότερες από μία λύσεις, αυτές αξιολογούνται σε αυτό το βήμα για να επιλεγεί η καλύτερη.

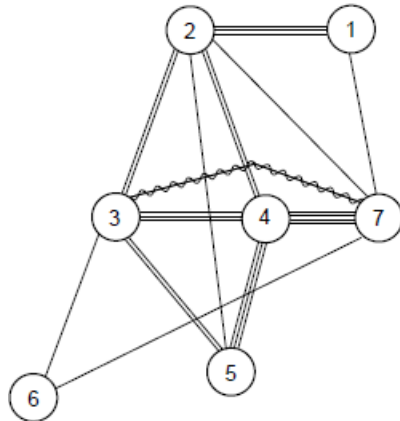
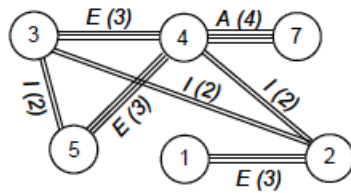
### **vi. Λεπτομερής σχεδίαση χώρου**

Το τελευταίο βήμα είναι η λεπτομερής σχεδίαση του χώρου του εργοστασίου, συμπεριλαμβάνοντας όλους τους σταθμούς εργασίας, τους λειτουργικούς και βοηθητικούς χώρους. Το τελικό λεπτομερές μοιάζει με αρχιτεκτονικό σχέδιο, αφού περιέχει τις θέσεις των μηχανών και έπιπλα ή άλλα στοιχεία των βοηθητικών χώρων.



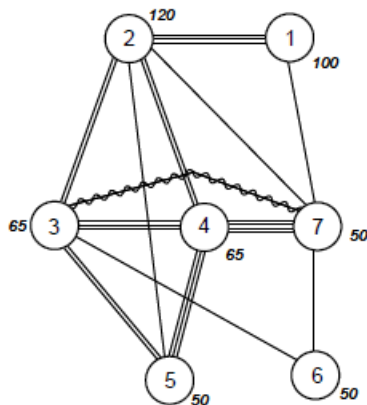
### Diagram the Relationships

Dr. Stone's Laboratory  
New Location Layout  
K.U 11-2



Redraw for best fit of  
A's, E's and I's; Then  
add O's and X's.

5
1
13
U's 8
ok 21



Redraw for best fit of all  
relationships; Check for  
completeness; Then add  
space for each activity.

Εικόνα 3: Παράδειγμα διαγράμματος δικτύου/διαδοχής

Στην πραγματικότητα, τα προβλήματα χωροταξικής διάταξης διαδικασιών είναι στην ουσία πολύ δύσκολα προβλήματα για να επιλυθούν με το χέρι, αφού ο χώρος λύσεων μπορεί να είναι πολύ μεγάλος ανάλογα με το μέγεθος των job shops, τον αριθμό των σταθμών εργασίας και την πραγματική γεωμετρία του χώρου. Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων είναι διαθέσιμα εξειδικευμένα λογισμικά προγράμματα που χρησιμοποιούν ειδικούς αλγόριθμους εύρεσης των βέλτιστων λύσεων.

### β) Χωροταξική διάταξη σε κυψέλες

Στην περίπτωση χωροταξικής διάταξης σε κυψέλες, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι πόροι (μηχανές, προσωπικό και υλικά) ομαδοποιούνται σε ομάδες (κυψέλες) κάθε μία απ' τις οποίες αναλαμβάνει την παραγωγή ενός προϊόντος ή ενός είδους προϊόντων. Σε αυτή την περίπτωση οι κυψέλες προσφέρουν μικρότερους χρόνους υστέρησης, λιγότερα αποθέματα και ευκολότερο προγραμματισμό της παραγωγής, σε σχέση με την οργάνωση κατά παραγγελία ή σε παρτίδες.

Για να δημιουργηθούν οι κυψέλες αποτελεσματικά, χρειάζεται να αναγνωρισθούν οι ομάδες προϊόντων που θα μπορούν να παραχθούν από κάθε κυψέλη. Μία απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των οικογενειών προϊόντων είναι η **Ανάλυση Ροής Παραγωγής** (Production Flow Analysis – PFA). Με αυτή τη μέθοδο αξιολογούνται τα προϊόντα με βάση τις απαιτήσεις τους σε μηχανές. Τα προϊόντα ή ενδιάμεσα προϊόντα που χρησιμοποιούν τις ίδιες μηχανές τοποθετούνται στην ίδια ομάδα. Σε περίπτωση που το εργοστάσιο έχει περιορισμένο μηχανολογικό εξοπλισμό είτε χρειάζεται κάποια προϊόντα να ανήκουν σε περισσότερες από μια κυψέλες, ή να αγοραστεί επιπλέον εξοπλισμός. Για τη μέθοδο PFA σχηματίζεται ένας πίνακας μηχανών – εξαρτημάτων στον οποίο φαίνεται ποια εξαρτήματα χρησιμοποιούν την ίδια μηχανή. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου πίνακα φαίνεται στον Πίνακα 2: Πίνακας σχέσεων μηχανών/ εξαρτημάτων.

. Στις στήλες του πίνακα τοποθετούνται τα εξαρτήματα και στις γραμμές οι μηχανές. Όταν ένα κελί του πίνακα σημειώνεται με X, τότε το εξάρτημα στη συγκεκριμένη στήλη χρησιμοποιεί τη μηχανή της συγκεκριμένης γραμμής.

Μηχανές	Εξαρτήματα						
	1	2	3	4	5	6	7
1		X		X	X		
2	X	X	X			X	
3	X	X			X		X
4	X		X	X		X	X
5	X		X				X
6				X		X	X

Πίνακας 2: Πίνακας σχέσεων μηχανών/ εξαρτημάτων.

Για να βρεθούν οι ομάδες προϊόντων ή εξαρτημάτων απαιτείται η αναδιοργάνωση του πίνακα με μετακίνηση σειρών και στηλών, ώστε να ομαδοποιηθούν τα X στη διαγώνιο του πίνακα. Επιπλέον λαμβάνονται οι παρακάτω περιορισμοί:

- Τα εξαρτήματα ή μηχανές επικοινωνούν μόνο με άλλα εξαρτήματα ή μηχανές που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη.

- Οι μηχανές που δεν είναι συμβατές μεταξύ τους πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικές κυψέλες.
- Κάθε εξάρτημα παράγεται από μια κυψέλη μόνο.
- Αποφεύγονται οι επενδύσεις σε μηχανές ίδιου τύπου.
- Οι κυψέλες πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες.

### 2.3 Διαχείριση αποθεμάτων

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, στην περίπτωση διαδικασιών παραγωγής κατά παρτίδα ή κατά παραγγελία δημιουργούνται συχνά αποθηκευτικοί χώροι ενδιάμεσων προϊόντων και υλικών, λόγω της μεταφοράς των φορτίων μεταξύ σταθμών εργασίας. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτών των διαδικασιών παραγωγής η ικανοποίηση της ζήτησης γίνεται από το απόθεμα τελικών προϊόντων που δημιουργείται από την παραγωγή, ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι παραγγελίες εγκαίρως. Συνεπώς, δημιουργείται ένα επιπλέον πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση των διαδικασιών παραγωγής. Εκείνο της διαχείρισης αποθεμάτων, το οποίο αποτελεί πολύ σημαντικό τμήμα του τομέα της επιχειρησιακής έρευνας και ανήκει στη **Θεωρία Ελέγχου Αποθεμάτων** (Μπερμπέρης, 2010).

Η ύπαρξη αποθεμάτων οφείλεται κυρίως στη δυσκολία συγχρονισμού προσφοράς και ζήτησης, ή λόγω του πεπερασμένου χρόνου παραγωγής ενός προϊόντος. Αν το προϊόν μπορούσε να παραχθεί τη στιγμή που εκδηλωνόταν ζήτηση για αυτό, τότε δεν θα υπήρχε ανάγκη να αποθηκευτεί ως απόθεμα. Συνεπώς, η διαχείριση αποθεμάτων αφορά κυρίως τη διαχείριση της παραγωγής και κατ' επέκταση την εισροή στον αποθηκευτικό χώρο, δεδομένου ότι οι εκροές αφορούν τη ζήτηση, την οποία μια εταιρία δεν μπορεί να διαχειριστεί άμεσα. Η διαχείριση της παραγωγής και των εισροών στον αποθηκευτικό χώρο έχουν να κάνουν με αποφάσεις για το μέγεθος της παραγωγής και το ύψος των αποθεμάτων που θα επιτρέπεται να διατηρούνται ανά πάσα χρονική στιγμή (Αδαμίδης, 2015). Βέβαια, βασικές προϋποθέσεις για να λειτουργήσει με τον παραπάνω τρόπο η εταιρία ως προς τη διαχείριση της παραγωγής και τη ζήτησης είναι αφενός η μη ύπαρξη αλληλεξαρτούμενων προϊόντων και αφετέρου να μην επιζητείται τελικά η εξάλειψη των αποθεμάτων, στρέφοντας την επιχείρηση σε τακτικές λιτής παραγωγής και του συστήματος Just-In-Time.

Αρχικά, είναι απαραίτητο να γίνει αναγνώριση των αποθεμάτων σε είδη. Υπάρχουν πέντε είδη αποθεμάτων:

- Μεταφερόμενα αποθέματα** είναι τα αποθέματα υλικών ή έτοιμων προϊόντων που μεταφέρονται μέσα στην εταιρία. Η μετακίνηση αυτή συνήθως αφορά τη μεταφορά τους σε άλλους σταθμούς εργασίας για περαιτέρω επεξεργασία, ή για χρήση τους στη διαδικασία παραγωγής.
- Προσωρινά αποθέματα (buffer)** είναι αποθέματα τελικών προϊόντων που δημιουργούνται για την ασφάλεια της επιχείρησης, προκειμένου να καλύψει τη μεταβαλλόμενη ζήτηση. Το μέγεθος τέτοιων αποθεμάτων μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από τη μέση ζήτηση, σε περίπτωση απρόβλεπτης αύξησής της.

- iii. **Αποθέματα πρόβλεψης** είναι τα αποθέματα τελικών προϊόντων που προκύπτουν από κάποια πρόβλεψη αύξησης της ζήτησης, είτε αυτή προκύπτει από κάποιο στατιστικό μοντέλο, ή από πληροφορίες της επιχείρησης.
- iv. **Αποθέματα συγχρονισμού παραγωγής** είναι αποθέματα υλικών, εξαρτημάτων και ενδιάμεσων προϊόντων που προκύπτουν από τη διαφορά στο χρονισμό μεταξύ σταθμών εργασίας. Η διαφορά αυτή προκύπτει από τους διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας σε κάθε σταθμό εργασίας ή από πιθανή βλάβη στη διαδικασία παραγωγής.
- v. **Κυκλικά αποθέματα** είναι τα αποθέματα σε πρώτες ύλες και εξαρτήματα που παραγγέλνονται για να καλυφθεί η παραγωγή, ελαχιστοποιώντας το κόστος διατήρησης, μεταφοράς και αποθήκευσης. Το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για να καλυφθεί η άμεση παραγωγή, αλλά αποτελούν μέρος της στρατηγικής της εταιρίας για ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής.

Η επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής διαχείρισης αποθεμάτων γίνεται κατά κύριο λόγο με βάση το συνολικό κόστος αποθήκευσης. Τα κόστη που συσχετίζονται με την διαχείριση αποθεμάτων χωρίζονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα (Hadley & Whitin, 1963). Στα πρωτεύοντα κόστη συγκαταλέγονται το **κόστος υλικών**, το **κόστος παραγγελίας**, το **κόστος διατήρησης** αποθεμάτων και το **κόστος έλλειψης**. Στα δευτερεύοντα κόστη συγκαταλέγονται το **κόστος ασφάλισης προϊόντων**, το **κόστος ζημιών** και το **κόστος δεσμευόμενου κεφαλαίου**. Τα δευτερεύοντα κόστη αποτελούν πιθανά κόστη που δεν υφίστανται για κάθε εταιρεία και κάθε διαδικασία παραγωγής. Αναλυτικότερα:

- i. **Κόστος υλικών** είναι το κόστος που αφορά την αγορά των υλικών και εξαρτημάτων που είναι απαραίτητα για την παραγωγή. Συνήθως υπολογίζεται ως το μοναδιαίο κόστος του υλικού ή προϊόντος επί το μέγεθος της παραγγελίας. Το μοναδιαίο αυτό κόστος όμως δεν είναι σταθερό, αφού εξαρτάται από το μέγεθος της ζήτησης τη δεδομένη χρονική στιγμή της παραγγελίας. Πολλές φορές οι εταιρίες διατηρούν μόνιμες σχέσεις με τους προμηθευτές υλικών και εξαρτημάτων, εξασφαλίζοντας έτσι πιο σταθερές τιμές για το μοναδιαίο κόστος υλικών (Μπερμπέρης, 2010).
- ii. **Κόστος παραγγελίας ή προετοιμασίας παραγωγής** είναι το κόστος εκτέλεσης της παραγγελίας, που συμπεριλαμβάνει τα κόστη καταγραφής και ελέγχου της παραγγελίας, το κόστος μεταφοράς που συνήθως είναι μεταβλητό, ανάλογα με το μέγεθος της παραγγελίας, την επεξεργασία του τιμολογίου, κλπ. Το κόστος προετοιμασίας της παραγωγής συμπεριλαμβάνει επίσης το εργατικό κόστος προετοιμασίας. Σε περίπτωση ειδικής παραγγελίας ενός προϊόντος που παράγεται για πρώτη φορά, συμπεριλαμβάνονται τα κόστη των υλικών δοκιμής και της καμπύλης μάθησης των εργατών (Αδαμίδης, 2015).
- iii. Στο **κόστος διατήρησης αποθεμάτων** συμπεριλαμβάνονται το κόστος αποθήκευσης και το κόστος κινδύνου, ενώ μπορεί να συμπεριληφθεί και το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου, που είναι δευτερεύον και υφίσταται μόνο αν η επιχείρηση έχει επενδύσει κεφάλαιο σε αποθέματα και αποθηκευτικούς χώρους. Το κόστος αποθήκευσης αφορά όλα τα λειτουργικά κόστη που αφορούν τους αποθηκευτικούς χώρους, όπως ενοίκια, φόρους, συντήρηση

χώρων, θέρμανση και φωτισμός. Το κόστος κινδύνου αφορά προϊόντα που κινδυνεύουν από τη φθορά του χρόνου, όπως τρόφιμα, μεταλλικά προϊόντα που κινδυνεύουν από σκουριά, κλπ.

- iv. Το **κόστος έλλειψης** είναι το κόστος που αφορά τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει έλλειψη έτοιμων προϊόντων ή έλλειψη πρώτων υλών και η εταιρία δεν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση εγκαίρως. Σε αυτές τις περιπτώσεις το κόστος προέρχεται είτε από ακυρώσεις παραγγελιών, χαμένες πωλήσεις και χαμένους πελάτες ή από την ανάγκη για αγορά υλικών πιο ακριβά, προκειμένου να καλυφθούν οι παραγγελίες. Το συγκεκριμένο κόστος είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί, άρα συνήθως αναζητούνται μέθοδοι που ελαχιστοποιούν τα υπόλοιπα είδη κόστους.

Η επιλογή μιας στρατηγικής που θα μειώνει τα παραπάνω κόστη είναι ζωτικής σημασίας για μια επιχείρηση, είναι όμως ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα. Για παράδειγμα, η παραγγελία μεγάλων ποσοτήτων πρώτων υλών μπορεί να μειώσει τα κόστη υλικών και έλλειψης, αλλά αυξάνει το κόστος αποθήκευσης και πιθανώς το κόστος παραγγελίας. Σε αντίθετη περίπτωση, η παραγγελία αρκετών πρώτων υλών για να καλυφθεί η παραγωγή μικρών παρτίδων από προϊόντα θα ελαχιστοποιήσει το κόστος διατήρησης αποθεμάτων και παραγγελίας, αλλά επιφέρει κίνδυνο μη ικανότητας κάλυψης της ζήτησης και αύξηση του κόστους έλλειψης και κατά συνέπεια του κόστους υλικών.

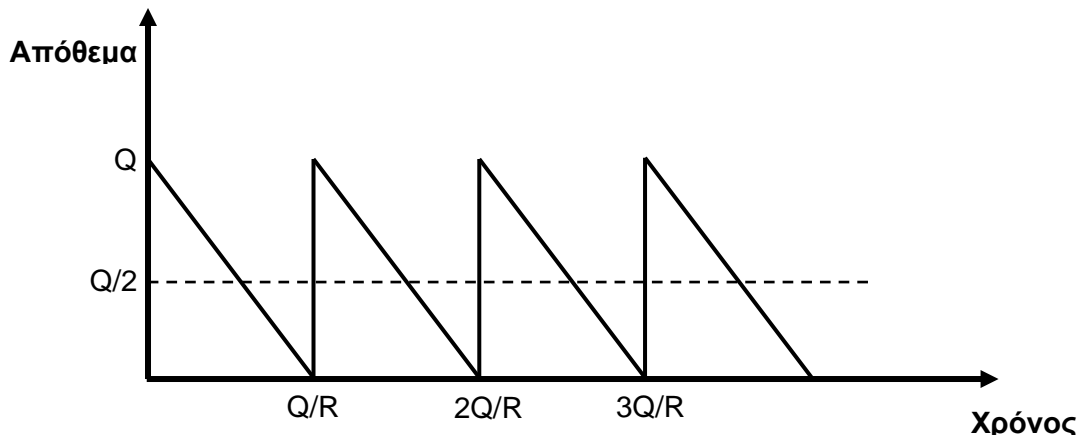
### 2.3.1 Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων – Σταθερή ζήτηση

#### α) Μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας

Το μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας είναι το πιο μοντέλο διαχείρισης αποθεμάτων και βασίζεται στις εξής παραδοχές (Axsater, 2000):

- Δεν υπάρχει αβεβαιότητα στη ζήτηση, δηλαδή ο ρυθμός της ζήτησης είναι σταθερός στο χρόνο.
- Η παραγγελία και αποστολή των πρώτων υλών γίνεται στιγμιαία, ενώ είναι σίγουρο ότι ικανοποιείται κάθε φορά. Η παραγωγή γίνεται στιγμιαία και όλη η παρτίδα παράγεται ταυτόχρονα.
- Η παράδοση κάθε παρτίδας γίνεται στιγμιαία, δηλαδή υπάρχει χρόνος παράδοσης.
- Το κόστος παραγγελίας είναι σταθερό και δεν εξαρτάται από το μέγεθος της παραγγελίας.
- Τα προϊόντα που παράγει η εταιρία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η μεταβολή του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο κατά τη μέθοδο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας αναπαρίσταται σχηματικά στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο στη μέθοδο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας.

Το μέγεθος της παραγγελίας ορίζεται ως  $Q$  και είναι μεταβλητή απόφασης του προβλήματος, ενώ η ζήτηση ορίζεται ως  $R$  και περιγράφει το ρυθμό με τον οποίο μειώνεται το απόθεμα στο χρόνο. Με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο, τη χρονική στιγμή μηδέν υπάρχει απόθεμα προϊόντων μεγέθους  $Q$  στην αποθήκη. Το απόθεμα μειώνεται με σταθερό ρυθμό  $R$ . Η μέση τιμή του αποθέματος είναι  $Q/2$  ανά πάσα στιγμή. Ο αριθμός παραγγελιών σε μια χρονική περίοδο (πχ. σε ένα χρόνο) υπολογίζεται ως  $R/Q$ , άρα ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο παραγγελιών θα είναι  $R/Q$  που είναι και η κλίση του ρυθμού ζήτησης από την Εικόνα 4.

Το συνολικό κόστος διατήρησης αποθεμάτων σε μια χρονική περίοδο ορίζεται ως  $c_h \cdot Q/2$ , όπου  $c_h$  είναι το κόστος διατήρησης μιας μονάδας προϊόντος για μια χρονική περίοδο. Άρα το κόστος διατήρησης αποθεμάτων σε μια χρονική περίοδο θα είναι ίσο με το κόστος διατήρησης μιας μονάδας σε μια χρονική περίοδο πολλαπλασιασμένο με το μέσο απόθεμα.

Το συνολικό κόστος παραγγελίας σε μια χρονική περίοδο ορίζεται ως  $c_p \cdot R/Q$ , όπου  $c_p$  είναι το κόστος μιας παραγγελίας. Άρα το συνολικό κόστος παραγγελίας ορίζεται ως το κόστος μιας παραγγελίας πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των παραγγελιών.

Το συνολικό κόστος παραγωγής των προϊόντων ορίζεται ως  $R \cdot p$ , όπου  $p$  είναι το κόστος παραγωγής μιας μονάδας προϊόντος και περιέχει το κόστος των αρχικών υλών και εξαρτημάτων και το κόστος λειτουργίας των μηχανών (εργατικό δυναμικό, ηλεκτρικό ρεύμα, κλπ.).

Το συνολικό κόστος αποθεμάτων για μια χρονική περίοδο θα είναι το άθροισμα του κόστους διατήρησης αποθεμάτων, του συνολικού κόστους παραγγελίας και του συνολικού κόστους αγοράς πρώτων υλών, που ορίζεται ως:

$$T_c = c_h \cdot \frac{Q}{2} + c_p \cdot \frac{R}{Q} + R \cdot p \quad (2)$$

Για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος, αρκεί να βρεθεί η τιμή της μεταβλητής  $Q$  που το επιτυγχάνει αυτό. Αυτό επιτυγχάνεται επιλύοντας την παρακάτω εξίσωση:

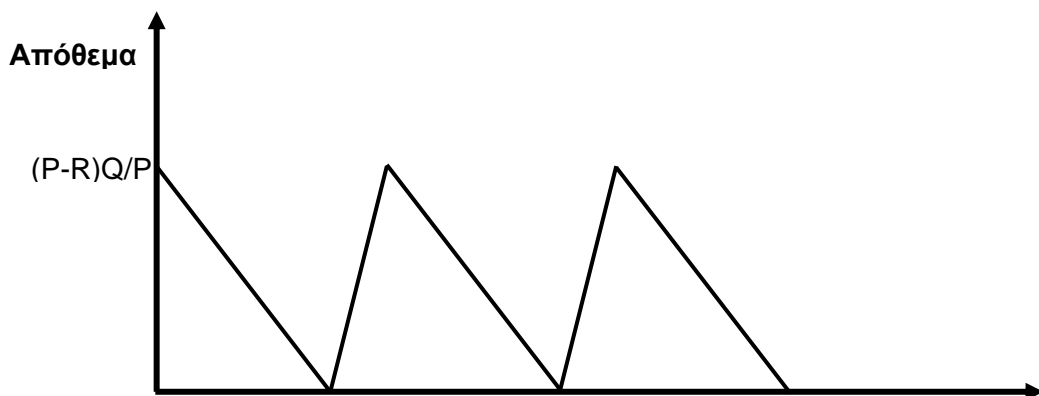
$$\frac{d \left( c_h \cdot \frac{Q}{2} + c_p \cdot \frac{R}{Q} + R \cdot p \right)}{dQ} = 0 \quad (3)$$

Η τιμή του  $Q$  που ελαχιστοποιεί την εξίσωση 3 δίνεται από την εξίσωση 4 και αποτελεί την Οικονομική ποσότητα παραγγελίας. Στην ουσία είναι ο μέγιστος αριθμός αποθεμάτων που χρειάζεται να υπάρχει αποθηκευμένος προκειμένου να ικανοποιήσει τη ζήτηση με βάση τους περιορισμούς που ορίστηκαν πιο πάνω.

$$Q_{min} = \sqrt{\frac{2C_p R}{c_h}} \quad (4)$$

### β) Μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγωγής

Το μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας είναι πολύ απλοϊκό για να περιγράψει την πραγματικότητα της αγοράς, όσον αφορά τους χρόνους παραγωγής και την ικανοποίηση της ζήτησης. Μια βελτίωση αυτού το μοντέλου είναι η παραδοχή ότι η παραγωγή των προϊόντων μπορεί να γίνεται με σταθερό ρυθμό και η πλήρωση του αποθέματος να μην γίνεται στιγμιαία. Στο μοντέλο που ονομάζεται μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγωγής μεσολαβεί κάποιο διάστημα μέχρι το απόθεμα να αποκατασταθεί πλήρως και να είναι δυνατή η εξυπηρέτηση των παραγγελιών. Η σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής του αποθέματος σε σχέση με το χρόνο στη μέθοδο Οικονομικής Ποσότητας Παραγωγής

Εισάγοντας στο μοντέλο το ρυθμό παραγωγής  $P$ , που μετριέται σε μονάδες προϊόντος ανά χρονική περίοδο, τα αποθέματα αυξάνονται με ρυθμό  $P - R$  σε μια χρονική περίοδο  $Q/P$ . Άρα το μέγιστο απόθεμα σε αυτή την περίπτωση θα είναι  $(P - R)Q/P$ , αλλάζοντας την τιμή του μέσου αποθέματος σε  $(P - R)Q/2P$ . Η διαδικασία παραγωγής σταματά κάθε φορά που το απόθεμα φτάσει τη μέγιστη τιμή και ξεκινά ξανά όταν τελειώσει. Έτσι, το συνολικό κόστος διαχείρισης αποθεμάτων, όπως είχε οριστεί στην εξίσωση 2, ορίζεται πλέον:

$$T_c = c_h \cdot \frac{(P - R)Q}{2P} + c_p \cdot \frac{R}{Q} + R \cdot p \quad (5)$$

η οποία έχει ελάχιστο για την τιμή του  $Q$ :

$$Q_{min} = \sqrt{\frac{2C_p R P}{c_h (P - R)}} \quad (6)$$

### 2.3.2 Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων – Στοχαστική ή τυχαία ζήτηση

Στο μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας γίνεται η υπόθεση ότι η ζήτηση είναι γνωστή από πριν και σταθερή στο χρόνο. Όμως, στην πράξη αυτή η υπόθεση σπάνια μπορεί να αντικατοπτρίσει την πραγματικότητα. Η ζήτηση συνήθως σημειώνει διακυμάνσεις, ενώ μπορεί να υπάρξει απότομη αύξησή της λόγω κάποιου απρόβλεπτου παράγοντα. Συνεπώς, τα προαναφερθέντα μοντέλα δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μιας εταιρίας που λειτουργεί στον πραγματικό κόσμο. Απαιτούνται μοντέλα που θα λαμβάνουν υπόψη τη μεταβολή της ζήτησης στο χρόνο. Μια συνήθης τακτική είναι η αντιμετώπιση της ζήτησης ως μια σειρά μετρήσεων σε διακριτά χρονικά διαστήματα (μήνες, εβδομάδες, ημέρες). Για τη σωστή περιγραφή του μοντέλου εισάγονται τα παρακάτω μεγέθη:

- $t$  : η χρονική περίοδος, είτε αυτή μετριέται σε ημέρες, εβδομάδες ή μήνες.
- $R_t$  : η ζήτηση τη χρονική περίοδο  $t$ .
- $p_t$  : το κόστος παραγωγής τη χρονική περίοδο  $t$ .
- $c_{pt}$  : το κόστος παραγγελίας για την παραγωγή μιας παρτίδας τη χρονική περίοδο  $t$ .
- $c_{ht}$  : το κόστος διατήρησης αποθέματος μιας μονάδας προϊόντος τη χρονική περίοδο  $t$ .
- $I_t$  : το απόθεμα σε αριθμό μονάδων προϊόντος μετά το τέλος της περιόδου  $t$ .
- $Q_t$  : το μέγεθος της παραγγελίας για τη χρονική περίοδο  $t$ .



Δεδομένης της πρόσθετης πολυπλοκότητας του μοντέλου, υιοθετείται η υπόθεση ότι το κόστος παραγωγής παραμένει σταθερό με το χρόνο, άρα οι αποφάσεις που λαμβάνονται έχουν ως απώτερο σκοπό τη βελτίωση των κοστών προετοιμασίας και αποθήκευσης. Τα μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων στην περίπτωση τυχαίας ζήτησης χωρίζονται σε εκείνα στα οποία η επιθεώρηση του αποθέματος γίνεται περιοδικά και σε εκείνα κατά τα οποία η επιθεώρηση είναι συνεχής. Στα πρώτα η κατάσταση του αποθέματος γίνεται σε συγκεκριμένες στιγμές στο χρόνο λειτουργίας της επιχείρησης, διευκολύνοντας το συντονισμό των παραγγελιών προϊόντων που πρέπει να γίνουν σε μεγαλύτερες παρτίδες και μικρότερο αριθμό παραγγελιών. Στα δεύτερα η κατάσταση του αποθέματος ελέγχεται συνέχεια, επιτρέποντας μικρότερο κόστος διαχείρισης του αποθηκευτικού χώρου και ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα έλλειψης κάποιου προϊόντος.

#### α) Περιοδική επιθεώρηση αποθέματος - Μοντέλο Παρτίδα για Παρτίδα

Η πιο απλοϊκή πολιτική για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μεταβλητής ζήτησης είναι το μοντέλο **παρτίδα για παρτίδα**, κατά την οποία παράγεται αριθμός προϊόντων σε κάθε χρονική περίοδο, ίσος με τη ζήτηση των προϊόντων. Αυτή η πολιτική, όμως, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις, ειδικά όταν ο χρόνος παραγωγής είναι τέτοιος που είναι αδύνατον να μην μπορεί να καλύψει τη ζήτηση σε κάποιες χρονικές περιόδους, ενώ την υπερκαλύπτει σε άλλες.

#### β) Περιοδική επιθεώρηση αποθέματος - Μοντέλο Newboy

Στο μοντέλο Newboy η περίοδος επιθεώρησης του αποθηκευτικού χώρου είναι ενιαία, ενώ η ζήτηση είναι στοχαστική που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Η ποσότητα παραγγελίας ορίζεται κάθε φορά πριν από την έναρξη της περιόδου επιθεώρησης. Λόγω του άγνωστου επιπέδου της ζήτησης μπορεί να υπάρχουν επιπλέον κόστη τα οποία προέρχονται από πλεονάζουσες ή ελλιπείς παραγγελίες. Στην περίπτωση παραγγελιών με περισσότερα προϊόντα το κόστος προέρχεται είτε από το επιπλέον κόστος αποθήκευσης, είτε από κόστος φθοράς των προϊόντων, σε περίπτωση που έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Στη δεύτερη περίπτωση το επιπλέον κόστος προέρχεται από την ανικανοποίητη ζήτηση. Τα επιπλέον μεγέθη που ορίζονται είναι τα :

- $x$ : Περίοδος στοχαστικής ζήτησης.
- $c_o$ : Κόστος ανά μονάδα αδιάθετης παραγγελίας (θετικό απόθεμα στο τέλος της περιόδου).
- $c_u$ : Κόστος ανά μονάδα έλλειψης παραγγελίας (αρνητικό απόθεμα στο τέλος της περιόδου).

Το επιπλέον συνολικό κόστος θα είναι συνεπώς:

$$\begin{cases} C_t = (Q - x)c_o, & x < Q \\ C_t = (x - Q)c_u, & x \geq Q \end{cases} \quad (7)$$

Το μέσο αναμενόμενο κόστος για  $C$  για μία περίοδο ορίζεται ως εξής (Axsater, 2000):

$$\begin{aligned} C &= C_o \int_{-\infty}^S (Q - x) \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) dx + C_u \int_S^{\infty} (x - Q) \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) dx = \\ &= C_o(Q - \mu) + (C_o - C_u) \cdot \sigma \cdot \Phi\left(\frac{Q - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

Στην παραπάνω σχέση ως  $\Phi(z)$  ορίζεται η τυποποιημένη κανονική κατανομή  $N(0,1)$ . Η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας προκύπτει από την παράγωγο της πιο πάνω εξίσωσης ως προς  $Q$ :

$$\frac{dC}{dQ} = C_o + (C_o - C_u) \cdot \left( \Phi\left(\frac{Q - \mu}{\sigma}\right) - 1 \right) = 0 \quad (8)$$

από την οποία προκύπτει:

$$\Phi\left(\frac{Q - \mu}{\sigma}\right) = \frac{C_u}{C_u + C_o} \quad (9)$$

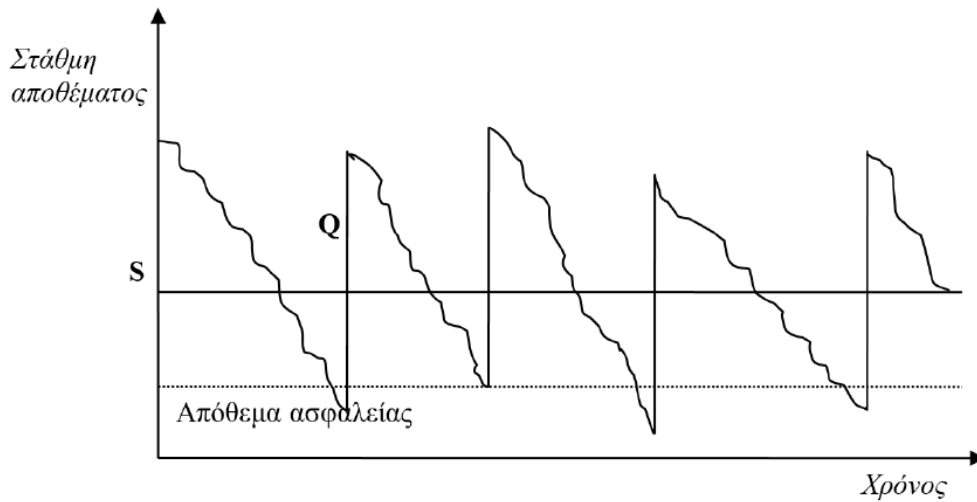
Από τη σχέση (8) μπορεί κανείς να επιλέξει το επίπεδο της παραγγελίας για κάθε περίοδο, ώστε να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος διαχείρισης αποθεμάτων.

#### γ) Συνεχής επιθεώρηση αποθέματος - Μοντέλο Σταθερής Ποσότητας Παραγγελίας

Στα προηγούμενα μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων έγινε η υπόθεση ότι η ανάλωση των αποθεμάτων γίνεται με σταθερό ρυθμό, πράγμα που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Στα μοντέλα συνεχούς επιθεώρησης του αποθέματος το απόθεμα αναπληρώνεται με βάση κάποιους κανόνες. Το μοντέλο **Σταθερής Ποσότητας Παραγγελίας** είναι μια παραλλαγή του μοντέλου Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας, κατά το οποίο παράγεται μια σταθερή ποσότητα προϊόντων κάθε φορά που το απόθεμα πέσει κάτω από τη στάθμη  $S$  που αποτελεί το απόθεμα ασφαλείας. Σε αυτή την περίπτωση η ποσότητα που παραγγέλλεται κάθε φορά είναι  $Q$  ή πολλαπλάσιο του  $Q$ . Η εφαρμογή αυτού του μοντέλου γίνεται συνήθως σε περιπτώσεις διαδικασιών παραγωγής κατά παρτίδες. Η σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου φαίνεται στην Εικόνα 6.

Το ζητούμενο σε αυτή την περίπτωση είναι η εύρεση της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας  $Q$  βέλτιστη ποσότητα αποθέματος ασφαλείας ώστε να εξυπηρετείται η ζήτηση και να ελαχιστοποιείται το κόστος. Όπως και στην περίπτωση του μοντέλου Newboy η ζήτηση είτε θα υπερκαλύπτεται, δημιουργώντας πλεόνασμα αποθέματος το οποίο ενέχει ένα κόστος αποθήκευσης ή φθοράς του προϊόντος, ή δεν θα καλύπτεται, δημιουργώντας αρνητικό απόθεμα και κόστος έλλειψης προϊόντος. Προφανώς η ανικανοποίητη ζήτηση είναι

πολύ πιο ανεπιθύμητη σε σχέση με το πλεόνασμα αποθέματος, άρα η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της ανικανοποίητης ζήτησης.



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση μεταβολής αποθέματος με πολιτική σταθερής ποσότητας παραγγελίας (Αδαμίδης, 2015).

Για τον υπολογισμό του μεγέθους της παραγγελίας χρησιμοποιείται ο τύπος (4) από το μοντέλο Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας. Η πιθανότητα η ζήτηση κατά το χρόνο υστέρησης  $D$  να μην υπερβεί το απόθεμα ασφαλείας  $S$  είναι  $p(D \leq S)$ . Αν ληφθούν υπόψη το κόστος αρνητικού αποθέματος  $c_u$ , το κόστος αποθεματοποίησης ανά μονάδα προϊόντος  $c_h$  και το κόστος παραγγελίας ανά παρτίδα, τότε το επίπεδο εξυπηρέτησης  $SL$  ορίζεται ως:

$$SL = SL(R) = P(D \leq S) = 1 - \frac{c_h \cdot Q}{c_u \cdot \mu} \quad (10)$$

και

$$SL = \varphi(z), \quad z = \frac{R - \mu_L}{\sigma_L} \quad (11)$$

όπου  $\mu_L$  και  $\sigma_L$  είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ζήτησης αντίστοιχα και  $\varphi(z)$  η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής  $N(0,1)$ .

Το κόστος αποθεμάτων σε μια περίοδο χρήσης ορίζεται ως:

$$C(Q, R) = \frac{\mu c_p}{Q} + c_h \cdot \left\{ \frac{Q}{2} + S - [B(D) - B(R)] \right\} + c_u \cdot E(R) \cdot \frac{\mu}{Q} \quad (12)$$

όπου  $E(D)$  και  $E(R)$  είναι η επιθυμητή τιμή της ζήτησης και ο επιθυμητός αριθμός προϊόντων ώστε να καλυφθεί πλήρως η ζήτηση κατά την περίοδο που μεσολαβεί μεταξύ των παραγγελιών. Για να βρεθεί η βέλτιστη τιμή  $Q$  που ελαχιστοποιεί την εξίσωση (11) γίνεται παραγωγή της ως προς  $Q$ . Συνεπώς προκύπτει:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u E(R))}{c_h}} \quad (13)$$

Η ποσότητα  $E(R)$  μπορεί να θεωρηθεί η ποσότητα των παραγγελιών που μένουν ανεκτέλεστες (backorders) στο τέλος κάθε κύκλου ανεφοδιασμού.

Αν η ζήτηση στην περίοδο υστέρησης  $L$  ακολουθεί κανονική κατανομή  $N(\mu_L, \sigma_L)$ , το  $E(R)$  ορίζεται ως:

$$E(R) = \sigma_L \cdot L(z) \quad (14)$$

όπου  $\sigma_L = \sigma\sqrt{L}$  είναι η τυπική απόκλιση της ζήτησης κατά την περίοδο υστέρησης και  $L(z)$  είναι η μοναδιαία κανονική συνάρτηση απωλειών, η οποία ορίζεται σε συνάρτηση με το  $z$ , την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $\varphi(z)$  και την αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $\Phi(z)$ :

$$L(z) = \varphi(z) - z(1 - \Phi(z)) \quad (15)$$

Στην περίπτωση που η ζήτηση κατά την περίοδο υστέρησης ακολουθεί κατανομή Poisson με μέση τιμή  $\mu_L$ , το  $E(R)$  ορίζεται ως:

$$E(R) = \mu_L \cdot P(x = R) + (\mu_L - R)(1 - P(x \leq R)) \quad (16)$$

Η εύρεση του βέλτιστου ζεύγους  $(Q, R)$  που θα ικανοποιεί τις εξισώσεις (10) και (13) βρίσκεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας που ορίζεται πιο κάτω:

Βήμα 0:

Υπολογίζεται το  $Q_0 = \sqrt{\frac{2c_p\mu}{c_h}}$  και το  $R_0$  τέτοιο ώστε  $SL(R_0) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_0}{c_u \cdot \mu}$ .

Βήμα 1:

Υπολογίζονται τα  $Q_1$  και  $R_1$  ως:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u E(R_0))}{c_h}}$$

$$SL(R_1) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_1}{c_u \cdot \mu}$$

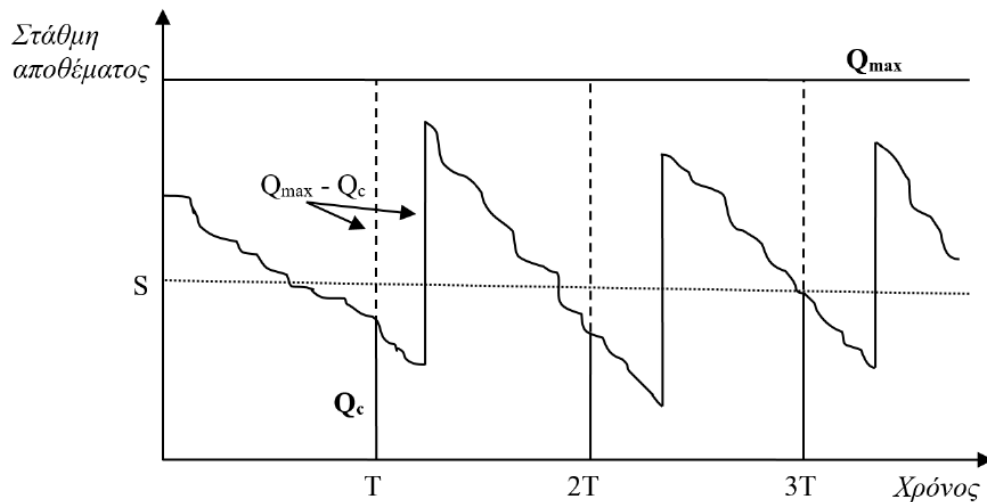
Το βήμα 1 επαναλαμβάνεται μέχρι να ισχύσουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$|Q_k - Q_{k-1}| < 1$$

$$|R_k - R_{k-1}| < 1, \quad k = 2, 3, \dots, n$$

#### δ) Συνεχής επιθεώρηση αποθέματος – Σταθερή Περίοδος Παραγγελίας ( $T, S$ )

Με το μοντέλο Σταθερής Περιόδου Παραγγελίας δίνονται παραγγελίες ίσου μεγέθους κατά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που επιλέγονται από την επιχείρηση για την μείωση του κόστους αποθήκευσης. Η ποσότητα που παραγγέλλεται κάθε φορά είναι ίση με τον αριθμό προϊόντων που χρειάζονται για να συμπληρωθεί το απόθεμα ασφαλείας  $S$ . Η μεταβολή του αποθέματος στο χρόνο σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Μεταβολή του αποθέματος με πολιτική σταθερής περιόδου παραγγελίας (Αδαμίδης, 2015).

Στο συγκεκριμένο μοντέλο αναζητείται η βέλτιστη περίοδος παραγγελίας  $T$  και το μέγεθος του αποθέματος ασφαλείας  $S$ , ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος αποθέματος. Δεδομένου ότι η ζήτηση είναι στοχαστική, αν θεωρηθεί ότι ακολουθεί κανονική κατανομή με μέσο όρο  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ , τότε η περίοδος αναπαραγγελίας δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$T = \frac{\sqrt{2c_p}}{\sqrt{\mu \cdot c_h}} \quad (17)$$

Η μέγιστη στάθμη του αποθέματος  $S$  που πρέπει να συμπληρώνεται σε κάθε περίοδο, υπολογίζεται από την πιθανότητα να υπάρξει έλλειψη αποθεμάτων κατά την περίοδο  $(T + L)$ , δηλαδή κατά την υπολογιζόμενη περίοδο συν το χρόνο υστέρησης. Η σχέση που δίνει τη βέλτιστη τιμή του  $S$  είναι:

$$S = \mu(T + L) + z_\alpha \sigma \sqrt{T + L} \quad (18)$$

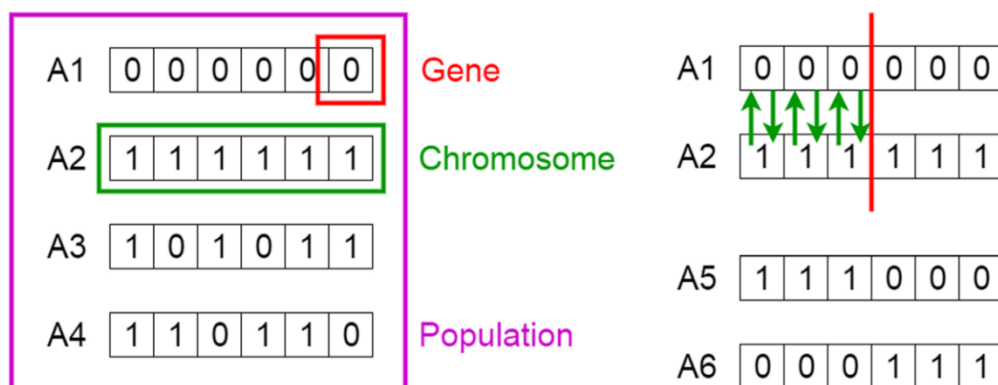
όπου με  $z_\alpha$  συμβολίζεται το πλήθος των τυπικών αποκλίσεων για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης της ζήτησης. Ουσιαστικά, είναι η τιμή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για την οποία ισχύει  $\Phi(z) = \alpha$ .

Στην περίπτωση που κανένα από τα προαναφερθέντα μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μιας εταιρίας από μόνα τους, η εταιρία επιλέγει ένα συνδυασμό των δύο προηγούμενων πολιτικών για να ικανοποιήσει τη μεταβαλλόμενη ζήτηση των προϊόντων της. Το μοντέλο αυτό είναι γνωστό ως **μοντέλο επιλεκτικής αναπλήρωσης**.

## 2.4 Γενετικοί αλγόριθμοι

Ως γενετικοί αλγόριθμοι ονομάζονται προγράμματα βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούν στοχαστικές μεθόδους για να μοντελοποιήσουν κάποια φυσικά φαινόμενα, όπως η γενετική κληρονομικότητα και η διαμάχη για επιβίωση, όπως περιγράφηκε από το Δαρβίνο (Darwin, 1909). Ένας γενετικός αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη θεωρία της φυσικής εξέλιξης (Michalewicz, 1992), κατά την οποία κάθε οργανισμός αναζητά τις κατάλληλες αλλαγές ώστε να προσαρμοστεί για να επιβιώσει σε ένα εχθρικό περιβάλλον. Η προσαρμογή αυτή απεικονίζεται στο χρωμόσωμα των μελών αυτού του οργανισμού. Συνεπώς, ένας γενετικός αλγόριθμος αντιγράφει τη διαδικασία τροποποίησης του χρωμοσώματος ενός οργανισμού που προσπαθεί να προσαρμοστεί στις δυσκολίες του περιβάλλοντος στο οποίο ζει. Στην περίπτωση του αλγόριθμου το εχθρικό αυτό περιβάλλον είναι το πρόβλημα το οποίο καλείται να λύσει, ενώ η προσαρμογή σε αυτό είναι η λύση του προβλήματος.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι μοιράζονται την ορολογία της επιστήμης της γενετικής. Κάθε επανάληψη του αλγόριθμου ονομάζεται γενιά, ενώ οι διαφορετικές προσπάθειες επίλυσης του προβλήματος σε κάθε γενιά ονομάζονται μέλη ή γενότυποι του πληθυσμού. Η λύση που προτείνει το κάθε μέλος ονομάζεται χρωμόσωμα. Κάθε γενότυπος αποτελεί μια πιθανή λύση του προβλήματος και η διαδικασία αναζήτησης της βέλτιστης λύσης ανάμεσα σε ένα πλήθος γενότυπων μιας γενιάς αποτελεί τη διαδικασία αναζήτησης μέσα στο χώρο των λύσεων. Η αναζήτηση γίνεται ταυτόχρονα με την εκμετάλλευση των καλύτερων λύσεων και με την εξερεύνηση του χώρου των λύσεων. Με αυτόν τον τρόπο οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να αναζητούν τη λύση σε ένα χώρο λύσεων με πολλά τοπικά ακρότατα, επιτρέποντας μεγάλα άλματα μέσα στο χώρο των λύσεων για να βρεθεί το ολικό ακρότατο ή η βέλτιστη λύση (Michalewicz, 1992).



Εικόνα 8: Δομή γενετικού αλγόριθμου (αριστερά), διαδικασία επιχιασμού (δεξιά) (Mallawaarachchi, 2017).

Η δομή ενός γενετικού αλγορίθμου φαίνεται στο αριστερό τμήμα της Εικόνα 8. Το πλήθος των πιθανών λύσεων ορίζεται ως πληθυσμός, κάθε μέλος του οποίου έχει ένα μοναδικό χρωμόσωμα. Το χρωμόσωμα αποτελεί την πιθανή λύση του προβλήματος που

πρεσβεύει το μέλος του πληθυσμού. Κάθε στοιχείο του χρωμοσώματος είναι η τιμή μιας από τις μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος και ονομάζεται γονίδιο (gene).

### Before Mutation

A5 

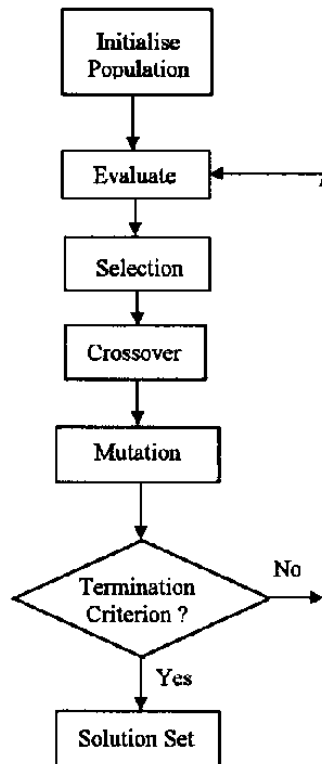
1	1	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---

### After Mutation

A5 

1	1	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---

Εικόνα 9: Διαδικασία μετάλλαξης (Mallawaarachchi, 2017).



Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής γενετικού αλγόριθμου.

Η διαδικασία επίλυσης του αλγορίθμου φαίνεται στην Εικόνα 10. Σε κάθε επανάληψη ή γενιά το χρωμόσωμα κάθε μέλους του πληθυσμού αξιολογείται με βάση μια συνάρτηση ή μεθοδολογία που αποτελεί τη μεθοδολογία αξιολόγησης του προβλήματος που λύνεται. Στη συνέχεια με τη διαδικασία της εξέλιξης επιλέγεται ο αριθμός των μελών που θα περάσουν στην επόμενη γενιά. Η διαδικασία επιλογής θυμίζει τη διαδικασία φυσικής επιλογής όπως περιγράφηκε από το Δαρβίνο. Τα ισχυρότερα μέλη της γενιάς θα περάσουν στην επόμενη, ενώ τα λιγότερο ισχυρά δεν τα καταφέρνουν. Στη συνέχεια γίνονται οι διαδικασίες επιχiasμού και μετάλλαξης. Κατά τη διαδικασία επιχiasμού, δύο τυχαία μέλη του πληθυσμού ανταλλάσσουν τυχαίο μέρος του χρωμοσώματός τους και δημιουργούνται δύο



καινούρια μέλη με καινούρια χρωμοσώματα (Εικόνα 8 (δεξιά)). Κατά τη διαδικασία μετάλλαξης (Εικόνα 9) ένας τυχαίος αριθμός γονιδίων κάποιων από τα μέλη του πληθυσμού που επιλέγονται τυχαία αλλάζουν τυχαία τιμές μέσα στο πεδίο ορισμού τους. Με βάση την αξιολόγηση των χρωμοσωμάτων επιλέγεται το καλύτερο μέλος της γενιάς. Σε περίπτωση που η λύση που προτείνει είναι ικανοποιητική ο αλγόριθμος σταματά. Διαφορετικά επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού, ή να επιτευχθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός γενιών.

### 3. Εφαρμογή χωροταξικής διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου για μια εταιρία παραγωγής επίπλων εξωτερικού χώρου

#### 3.1 Γενικά Στοιχεία

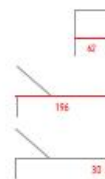
Οι μέθοδοι προγραμματισμού παραγωγής με βάση τη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων και οι μέθοδοι χωροταξικής διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου εφαρμόζονται για μια υπάρχουσα εταιρία παραγωγής επίπλων εξωτερικού χώρου, η οποία επιθυμεί αναγειρεί ένα νέο όροφο στο εργοστάσιό της, όπου θα συμπεριλαμβάνεται ο αποθηκευτικός χώρος για το προϊόν της με τις μεγαλύτερες πωλήσεις ετησίως. Για λόγους ανωνυμίας, η εταιρία θα ονομάζεται εταιρία Χ στην παρούσα εργασία. Η εταιρία Χ ιδρύθηκε το 1985 με έδρα το Ρέθυμνο και δραστηριοποιείται στο σχεδιασμό, την κατασκευή και την εμπορία επίπλων από αλουμίνιο, σίδηρο, ξύλο και ψάθα. Η βιοτεχνία στεγάζεται σε ιδιόκτητο χώρο συνολικής επιφάνειας 4000 τ.μ., όπου σχεδιάζονται και κατασκευάζεται η πλειοψηφία των μεταλλικών προϊόντων της εταιρίας. Διαθέτει επίσης δύο εκθέσεις, στο Ρέθυμνο και στην Αθήνα, μέσω των οποίων προωθούνται τα προϊόντα της.

Τα έπιπλα που παράγει η εταιρεία προορίζονται ως επί το πλείστον για εξωτερικούς χώρους, με κύρια έμφαση στα έπιπλα παραλίας ή πισίνας, δηλαδή ξαπλώστρες και ομπρέλες εξωτερικού χώρου. Η εταιρία επιπλέον παράγει μεγαλύτερες κατασκευές, όπως γκαζέμπο αλουμινίου, τα οποία σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ειδικά για τις ανάγκες του κάθε πελάτη, ενώ στον κατάλόγό της συμπεριλαμβάνει επίσης τραπέζια και καρέκλες εξωτερικού χώρου. Στο εργοστάσιο που βρίσκεται στο Ρέθυμνο κατασκευάζονται τα προϊόντα σιδήρου και αλουμινίου, ενώ ξαπλώστρες από ξύλο και ομπρέλες από ψάθα και ξύλο παράγονται από συνεργαζόμενη εταιρία στην Αθήνα. Η εταιρία Χ έχει πιστοποιηθεί κατά το διεθνώς αναγνωρισμένο σύστημα διαχείρισης ποιότητας ISO 9001:2000, εξασφαλίζοντας την προσκόλληση σε αυστηρές προδιαγραφές για την παροχή προϊόντων και υπηρεσιών συμφωνημένης ποιότητας. Επίσης, έχει κατοχυρώσει Πανελλήνια πατέντα για βάση ομπρέλας που σχεδίασε και κατασκευάζει, επιτρέποντας της να είναι η μόνη εταιρεία στην Ελλάδα που παράγει το συγκεκριμένο προϊόν.

Αν και από τον κατάλογο της εταιρίας φαίνεται ότι η γκάμα προϊόντων που παράγονται είναι πολύ μεγάλη, τα προϊόντα που απασχολούν το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής είναι οι ξαπλώστρες αλουμινίου τύπου ΔΙΑΣ και ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ (Εικόνα 11 και Εικόνα 12), ενώ σημαντικό χώρο στο εργοστάσιο καταλαμβάνουν μέρη της διαδικασίας παραγωγής που αφορά τις ομπρέλες αλουμινίου (Εικόνα 13).



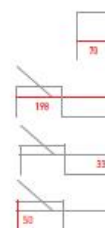
ΔΙΑΣ / DIAS 154



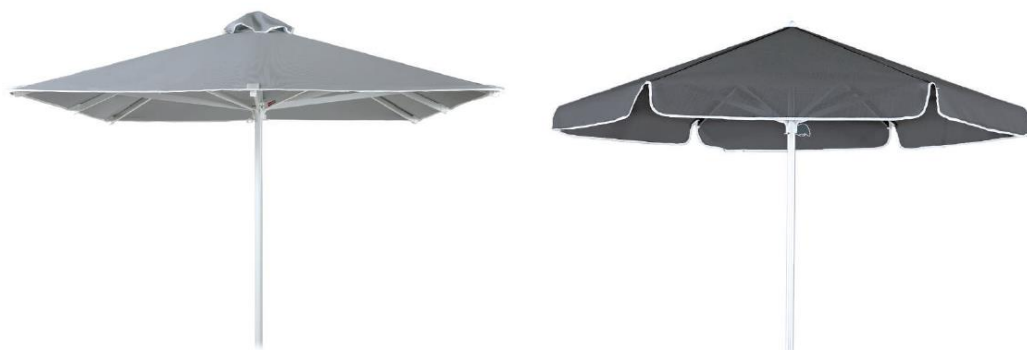
Εικόνα 11: Ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ



ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ 1 / SANTORINI 1\_153



Εικόνα 12: Ξαπλώστρα τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ

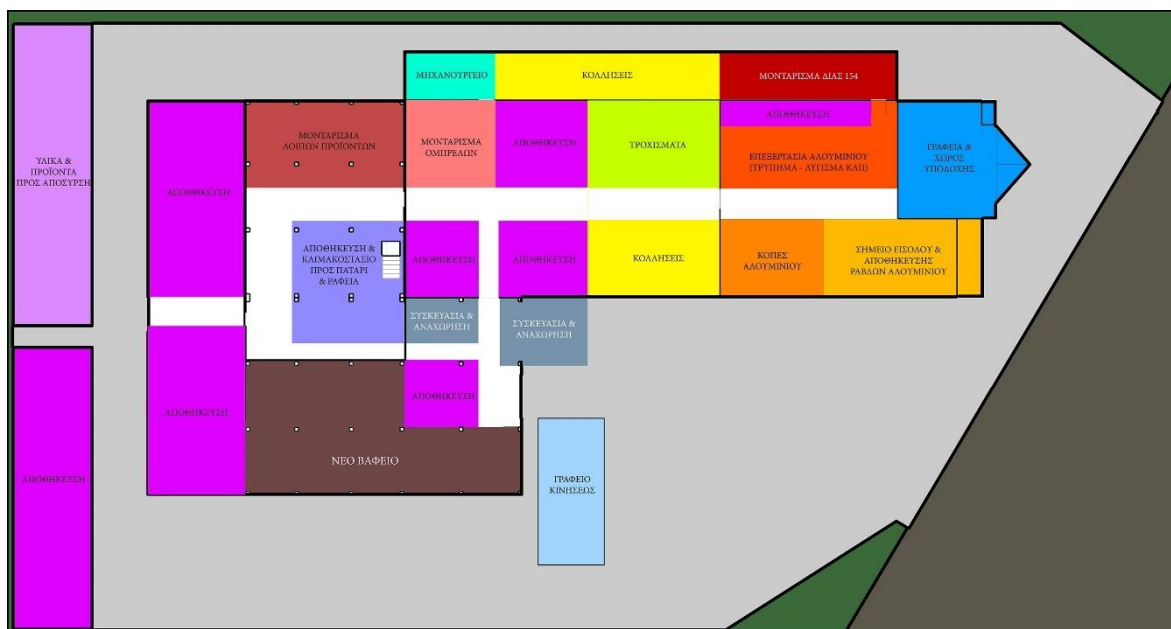


*Εικόνα 13: Ομπρέλες αλουμινίου που παράγονται από την Χ.*

Όπως φαίνεται από τις εικόνες, οι ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ είναι οι απλές ξαπλώστρες που χρησιμοποιούνται κατά κόρον από εταιρίες που παρέχουν τουριστικές υπηρεσίες, ενώ οι ξαπλώστρες τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ αποτελούν ένα πιο πολυτελές μοντέλο ξαπλώστρας, με πιο μοντέρνα σχεδίαση και λεπτομέρειες όπως δυνατότητα βαφής του μετάλλου και καλύτερης ποιότητας ύφασμα. Γι' αυτούς τους λόγους η ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ είναι το προϊόν της εταιρίας με τις μεγαλύτερες ετήσιες πωλήσεις, ενώ ακολουθεί η ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ.

### 3.2 Μοντέλο διαδικασίας παραγωγής

Το μοντέλο διαδικασίας παραγωγής που ακολουθεί η βιοτεχνία είναι τύπου παραγωγής κατά παρτίδα, δεδομένου ότι η εταιρία έχει μια ευρεία γκάμα προσχεδιασμένων προϊόντων με μη σταθερή, εποχιακή ζήτηση. Τα προϊόντα παράγονται σε προκαθορισμένες διαδικασίες, ενώ η διάταξη του εργοστασίου έχει τη μορφή job shop, δηλαδή οι μηχανές είναι ομαδοποιημένες ανάλογα με την εργασία που εκτελούν. Επίσης, υπάρχουν μηχανές που εκτελούν εξειδικευμένες εργασίες, όπως το μοντάρισμα των διάφορων εξαρτημάτων για τη δημιουργία των τελικών προϊόντων. Τα προϊόντα πωλούνται σε παρτίδες, ανάλογα με τη ζήτηση. Το είδος των προϊόντων δημιουργεί ένα εποχιακό ζήτησης που ποικίλει με το μήνα. Για παράδειγμα, σύμφωνα με στοιχεία της εταιρίας για το έτος 2018, οι πωλήσεις για την ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ εμφάνισαν τις περισσότερες πωλήσεις τον Ιούνιο, αρκετά μεγάλη ζήτηση το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, ενώ είχαν τη χαμηλότερη ζήτηση το Δεκέμβριο. Αντίστοιχα, οι ξαπλώστρες τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ είχαν τις μεγαλύτερες πωλήσεις από το Φεβρουάριο μέχρι τον Απρίλη, ενώ είχαν τη χαμηλότερη ζήτηση τον Ιανουάριο. Για να καλύψει αυτή την κυμαινόμενη ζήτηση η εταιρία κρατάει έτοιμα τελικά προϊόντα της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ σε στοκ, από το οποίο καλύπτει τις παραγγελίες που δέχεται.



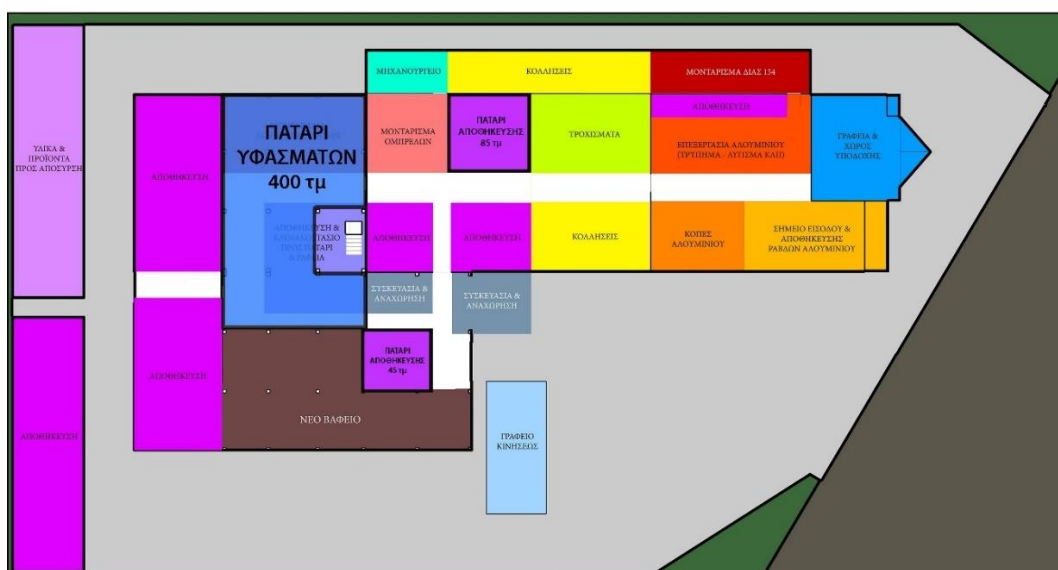
Εικόνα 14.: Τωρινή διάταξη του εργοστασίου.

Στην Εικόνα 14 φαίνεται η διάταξη των διαφόρων σταθμών εργασίας που βρίσκονται στο ισόγειο του εργοστασίου. Η χωροταξική οργάνωση του εργοστασίου έχει οριστεί κατά διαδικασίες, ώστε να μπορεί να εξυπηρετηθούν οι διαδικασίες παραγωγής πολλών διαφορετικών προϊόντων από τους ίδιους σταθμούς εργασίας. Στην εικόνα είναι ξεκάθαρη η διάταξη τύπου job shop, ενώ φαίνονται επίσης και οι διάφοροι αποθηκευτικοί χώροι που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση πρώτων υλών, εξαρτημάτων, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων. Επειδή οι χρόνοι των διαφόρων διεργασιών που χρειάζονται για να κατασκευαστεί ένα προϊόν είναι διαφορετικοί, δημιουργούνται αποθηκευτικοί χώροι ενδιάμεσων προϊόντων σε διάφορα σημεία του εργοστασίου. Αρκετές φορές οι αποθηκευτικοί χώροι χρησιμοποιούνται και για αποθήκευση τελικών προϊόντων, προκειμένου να καλυφθούν οι προβλέψεις για τη ζήτηση. Για να καλυφθεί η παραγωγή, η

εταιρία παραγγέλνει πρώτες ύλες ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής και τις διατηρεί ως ενδιάμεσα αποθέματα (buffer stock).



Εικόνα 15: Πατάρι της εταιρίας που στεγάζει το τμήμα υφασμάτων.



Εικόνα 16: Κάτοψη της εταιρίας με σημειωμένα τα πατάρια.

Η πλειοψηφία των σταθμών εργασίας και των αποθηκευτικών χώρων βρίσκονται στο ισόγειο της εταιρίας. Σε ξεχωριστό χώρο σε πατάρι της εταιρίας βρίσκεται το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων, το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο ζωτικά τμήματα, δεδομένου ότι όλα τα είδη ξαπλώστρας και ομπρέλας αποτελούνται εν μέρει και από ύφασμα. Στην Εικόνα 15 φαίνεται τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου στον οποίο βρίσκεται το τμήμα

επεξεργασίας υφασμάτων, ενώ στην Εικόνα 16 φαίνεται η κάτοψη του χώρου, όπως στην Εικόνα 14, με ιδιαίτερη σημείωση για τα πατάρια που χρησιμοποιεί η εταιρία. Στην εικόνα φαίνονται δύο επιπλέον πατάρια που χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί χώροι.



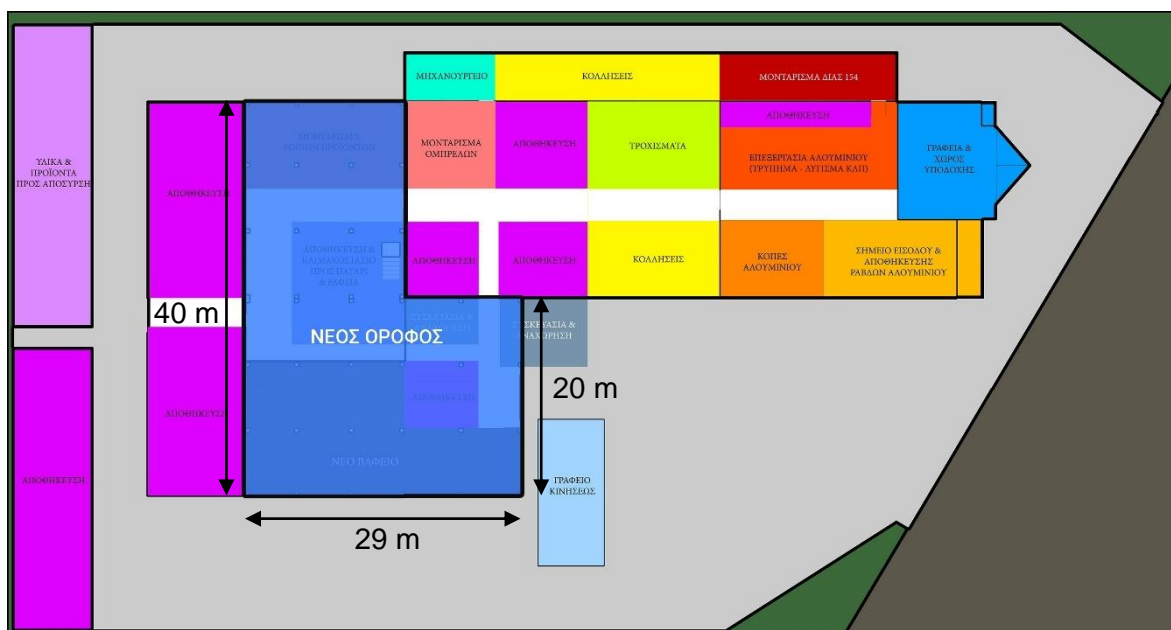
### 3.3 Ανάγκες για προσθήκη αποθηκευτικού χώρου

Όπως προαναφέρθηκε, η εταιρία χρησιμοποιεί τους διάφορους αποθηκευτικούς χώρους του εργοστασίου για να αποθηκεύει τόσο τα ενδιάμεσα προϊόντα, αλλά και τα έτοιμα τελικά προϊόντα που διατηρεί ως στοκ για να καλύπτει τη ζήτηση ανά πάσα στιγμή. Τα προϊόντα που έχουν τις μεγαλύτερες πωλήσεις είναι οι ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ και ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, με τις πρώτες να έχουν τις περισσότερες πωλήσεις με πάνω από 15000 κομμάτια ετησίως. Οι ποικιλίες κάθε είδους ξαπλώστρας εξαρτώνται από τους διαφορετικούς χρωματικούς συνδυασμούς υφασμάτων και μεταλλικού σκελετού που μπορούν να γίνουν. Η ξαπλώστρα ΔΙΑΣ διατίθεται σε 24 διαφορετικά χρώματα υφασμάτων, ενώ ο σκελετός είναι από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Τα χρώματα που θα έχουν τις περισσότερες πωλήσεις κάθε χρόνο είναι σχετικά εύκολο να προβλεφθούν. Αντίθετα, η ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ διατίθεται σε 9 διαφορετικά χρώματα υφάσματος και 6 διαφορετικά χρώματα μεταλλικού σκελετού. Το γεγονός αυτό, μαζί με την πολυτελή γραμμή της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, καθιστά πολύ δύσκολο τον προγραμματισμό παραγωγής της. Για αυτό το λόγο η συγκεκριμένη ξαπλώστρα επιλέγεται να παράγεται κατά παραγγελία. Η διαδικασία παραγωγής των δύο ειδών ξαπλώστρας είναι παρόμοια και χρησιμοποιούνται οι ίδιοι σταθμοί εργασίας. Γι' αυτό το λόγο, επιλέγεται να διατηρείται στοκ ασφαλείας για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση ανά πάσα στιγμή. Λόγω του περιορισμένου αποθηκευτικού χώρου που διαθέτει η επιχείρηση, τους μήνες που παρατηρείται η μεγαλύτερη ζήτηση στις ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ, τα τελικά προϊόντα τοποθετούνται σε ντάνες 24 ξαπλωστρών (Εικόνα 17) σε όλο το χώρο του εργοστασίου (έχοντας πρώτα γεμίσει ειδικά προστατευμένα κιόσκια σε εξωτερικό χώρο), δυσχεραίνοντας κατά πολύ τη δυσκολία του εργοστασίου, αφού δυσκολεύεται η μετακίνηση μεταξύ των σταθμών εργασίας, τόσο των υλικών και ενδιάμεσων προϊόντων, όσο και του προσωπικού.

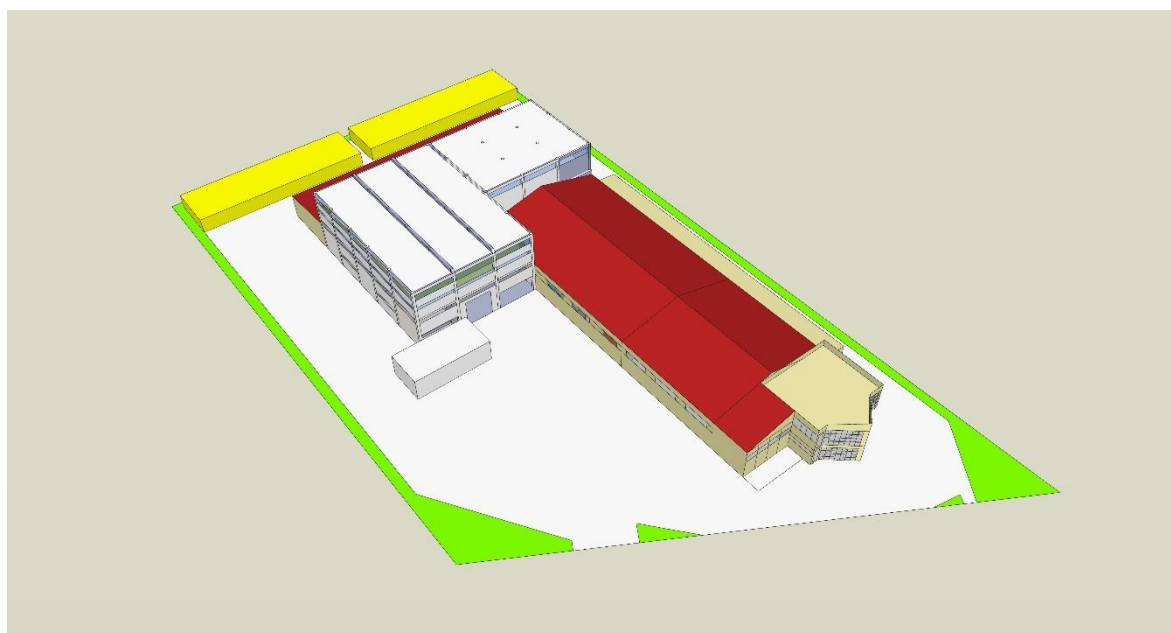


Εικόνα 17: Ντάνες που αποτελούνται από ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ. Στο έδαφος φαίνεται η πρώτη ύλη αλουμινένιων αγωγών με κυκλική διατομή.





Εικόνα 18: Κάτοψη του εργοστασίου με τη μελλοντική προσθήκη επιπλέον ορόφου.



Εικόνα 19: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του εργοστασίου της εταιρίας Χ με την προσθήκη του νέου ορόφου.

Για να επιλυθεί το πρόβλημα της χωροταξικής διάταξης του εργοστασίου και της έλλειψης ικανού αποθηκευτικού χώρου, η εταιρία Χ επέλεξε να κατασκευάσει έναν επιπλέον όροφο στο εργοστάσιο, συνολικής έκτασης 800-900 τετραγωνικά μέτρα. Στην Εικόνα 18

φαίνεται η κάτοψη του εργοστασίου, όπου έχει σημειωθεί η θέση του νέου ορόφου στο υπάρχον κτίσμα και το μέγεθος αυτού. Στην Εικόνα 19 φαίνεται τρισδιάστατη αναπαράσταση του εργοστασίου της εταιρίας με την προσθήκη του νέου ορόφου.

Η εταιρία έχει επιλέξει στο νέο όροφο να στεγαστούν:

- το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων, που προς το παρόν στεγάζεται στο πατάρι της εταιρίας, καταλαμβάνοντας πολύ μικρό χώρο, αν και αποτελεί ζωτικό τμήμα της.
- Μια νέα μηχανή αυτόματης κοπής υφασμάτων.
- Αποθηκευτικός χώρος για τα ρολά υφάσματος.
- Ειδικός αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ.
- Τα γραφεία της διοίκησης και των μηχανικών.
- Μικρός εκθεσιακός χώρος.

Οι ανάγκες σε χώρο για το κάθε τμήμα έχουν αποφασιστεί από την εταιρία και παρατίθενται παρακάτω:

- Τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων (300-400 τ.μ.)
  - 3 – 4 ραπτομηχανές (~20 τ.μ.)
  - 2 πάγκοι εργασίας
  - 1 νέο μηχανήμα αυτόματης κοπής (~40 τ.μ.)
  - 1 μηχανήμα θερμοκόλλησης (~40 τ.μ.)
  - Διάδρομοι και λοιποί χώροι (30-100 τ.μ.)
- Γραφεία (100 τ.μ.)
  - Θέση εργασίας προμηθειών (~15 τ.μ.)
  - Θέση εργασίας μηχανολόγου (~15 τ.μ.)
  - Θέση εργασίας πωλητή (~15 τ.μ.)
  - Θέση εργασίας διευθυντή (~25 τ.μ.)
  - Βοηθητικοί χώροι, τουαλέτες, κουζίνες, κλπ (~30 τ.μ.)
- Αποθηκευτικός χώρος ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ (300 τ.μ.)
- Εκθεσιακός χώρος (100 τ.μ.)

Δεδομένων των παραπάνω απαιτήσεων σε εμβαδό χώρου, πρέπει να βρεθεί το κατάλληλο σχέδιο χωροταξικής διάταξης που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες της εταιρίας και θα βελτιστοποιεί τη διαδικασία παραγωγής, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τη ζήτηση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

### 3.4 Η διαδικασία παραγωγής των δύο ειδών ξαπλώστρας

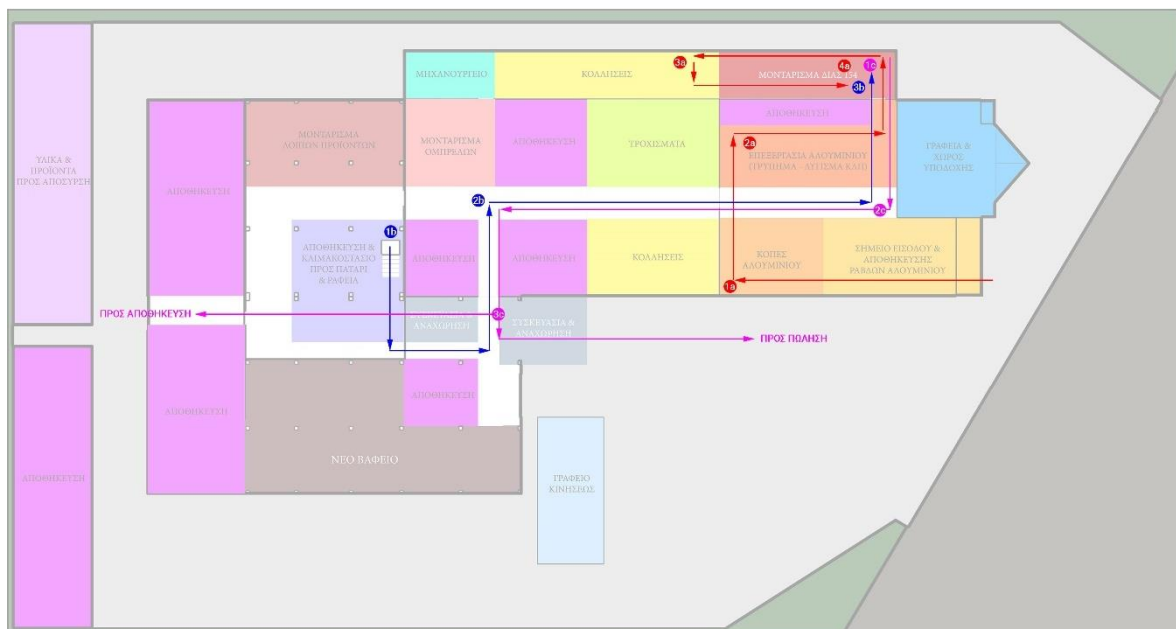
Για να γίνει αρτιότερη μελέτη της χωροταξικής διάταξης του εργοστασίου της εταιρίας Χ και του βέλτιστου μοντέλου διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, είναι απαραίτητο αρχικά να γίνει περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής του κάθε είδους ξαπλώστρας.

#### 3.4.1 Διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ

Η ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ έχει ως πρώτες ύλες:

- Βέργες ανοδιωμένου αλουμινίου με διατομή τύπου αστερίας 2.5cm x 2.5 cm.
- PVC υφάσματα σε διάφορα χρώματα.
- Διάφορα πλαστικά εξαρτήματα, βίδες και παξιμάδια.

Η ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ αποτελείται από το μεταλλικό σκελετό και το υφασμάτινο πανί που λειτουργεί ως στρώμα. Η διαδικασία παραγωγής μιας ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ αποτελείται από τη διαδικασία παραγωγής του πανιού, τη διαδικασία παραγωγής του μεταλλικού σκελετού και το μοντάρισμα του τελικού προϊόντος. Στην Εικόνα 20 φαίνεται σχηματικά η διαδρομή των πρώτων υλών και των ενδιάμεσων προϊόντων για την παραγωγή μιας ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται η διαδικασία κατασκευής του μεταλλικού σκελετού, με μπλε η διαδικασία επεξεργασίας υφασμάτων και με ματζέντα αναπαρίσταται η διαδικασία μονταρίσματος και συσκευασίας των τελικών προϊόντων. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής περιγραφή κάθε φάσης της παραγωγής. Οι χρόνοι παραγωγής περιλαμβάνονται σε παρενθέσεις.



Εικόνα 20: Διάγραμμα διαδικασίας παραγωγής ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ

#### Διαδικασία επεξεργασίας αλουμινίου (10 λεπτά)

1. Κοπή των προφίλ αλουμινίου από βέργες 6 μέτρων στα κατάλληλα μήκη (Εικόνα 21) (**1 min**).
2. Λύγισμα των αλουμινίων με τις ειδικές μηχανές κουρμπάρισματος (Εικόνα 22). Το λύγισμα γίνεται στα πόδια, για το σώμα και για την πλάτη ξεχωριστά (2 πόδια: 60 sec, Σώμα : 15 sec, πλάτη 15 sec, **Σύνολο 1.5 min**).
3. Ηλεκτροσυγκόλληση των μεταλλικών υποστηρίγμάτων των ποδιών (Εικόνα 23) (**5 min**).
4. Μοντάρισμα των πλαστικών εξαρτημάτων πάνω στα αλουμινένια μέρη και το μοντάρισμα της πλάτης με το σώμα (**Σύνολο 2.5 min**).

#### Διαδικασία επεξεργασίας υφασμάτων (10 λεπτά)

1. Κοπή υφασμάτων σε πάγκο (Εικόνα 24) με το χέρι και κόλληση των άκρων με την ειδική θερμοκολλητική μηχανή (**Σύνολο 6 min**).
2. Μεταφορά των κομμένων υφασμάτων στο χώρο μονταρίσματος της ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ (Εικόνα 25) (**Σύνολο 2 min**).
3. Μοντάρισμα του σώματος της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με το ύφασμα (Εικόνα 26) σε ειδική μηχανή (**2 min**).

#### Διαδικασία μονταρίσματος τελικού προϊόντος (5 λεπτά)

1. Τελικό μοντάρισμα του σώματος-πανιού με τα πόδια της ξαπλώστρας σε ειδική μηχανή (**2 min**).
2. Μεταφορά των τελικών προϊόντων προς το τμήμα συσκευασίας και διανομής (**2 min**).
3. Συσκευασία των προϊόντων σε ειδική περιστροφική μηχανή και διανομή τους προς αποθήκευση, ή πώληση (**1 min**).

Από τις διαφορετικές διεργασίες που περιγράφονται πιο πάνω φαίνεται ότι ο συνολικός χρόνος παραγωγής μιας ξαπλώστρας ΔΙΑΣ είναι 25 λεπτά. Αυτό όμως θα ήταν αληθές αν οι διάφορες διεργασίες ήταν αλληλεξαρτούμενες. Από τις περιγραφές τους είναι προφανές ότι οι διεργασίες που είναι αλληλεξαρτούμενες είναι εκείνες που γίνονται κατά την επεξεργασία του αλουμινίου ή των υφασμάτων. Αντίθετα, η συνολική διαδικασία κατασκευής του μεταλλικού σκελετού θα μπορούσε να γίνει ανεξάρτητα από τη συνολική διαδικασία κατασκευής του πανιού-στρώματος, ενώ και τα δύο αυτά έργα είναι απαραίτητα για το τελικό μοντάρισμα. Μοναδική λεπτομέρεια αποτελεί το τελευταίο βήμα της επεξεργασίας των υφασμάτων, όπου είναι απαραίτητο να έχει ολοκληρωθεί ο μεταλλικός σκελετός για να μονταριστεί πάνω του το ύφασμα. Επειδή αυτό είναι το τελευταίο βήμα για το συγκεκριμένο έργο, θα μπορούσε όλη η διαδικασία να καθυστερήσει ώστε ο σκελετός να είναι έτοιμος μόλις χρειαστεί για αυτό το βήμα. Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος παραγωγής μιας ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ είναι 17 λεπτά, αφού ο μεταλλικός σκελετός θα μπορούσε να κατασκευαστεί σχεδόν παράλληλα με το πανί-στρώμα. Αυτό περιγράφεται στο διάγραμμα

Γantt για τη διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ που φαίνεται στην Εικόνα 27.



Εικόνα 21: Πρώτη ύλη - Ράβδοι αλουμινίου μήκους 6 μέτρων.

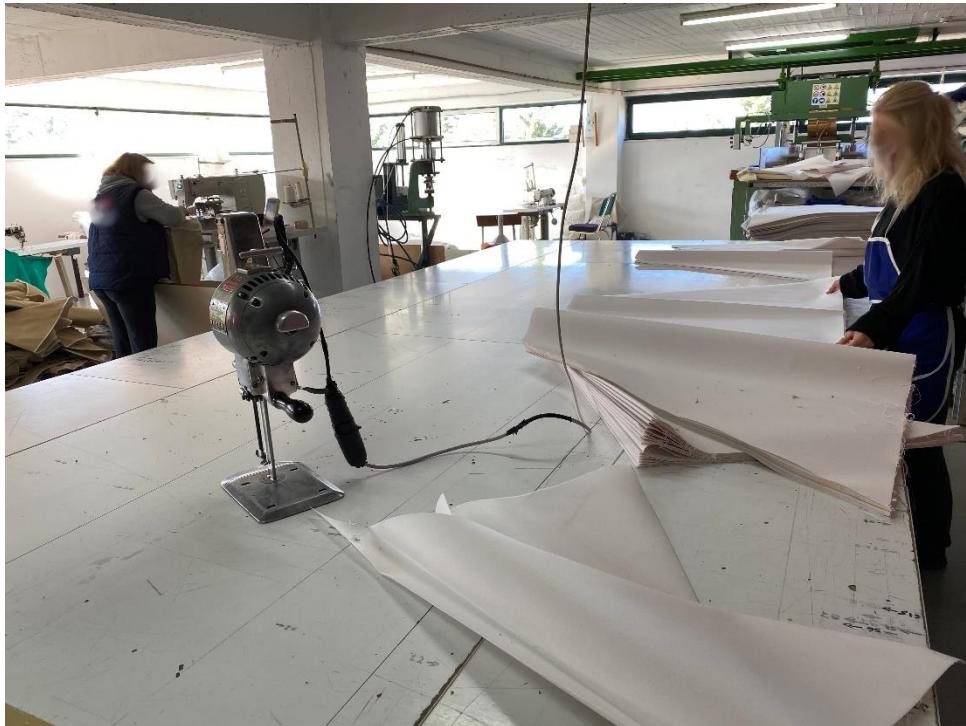


Εικόνα 22: Μηχανή κουρμπάριατος ράβδων αλουμινίου.





Εικόνα 23: Πάγκος Ηλεκτροσυγκόλλησης.

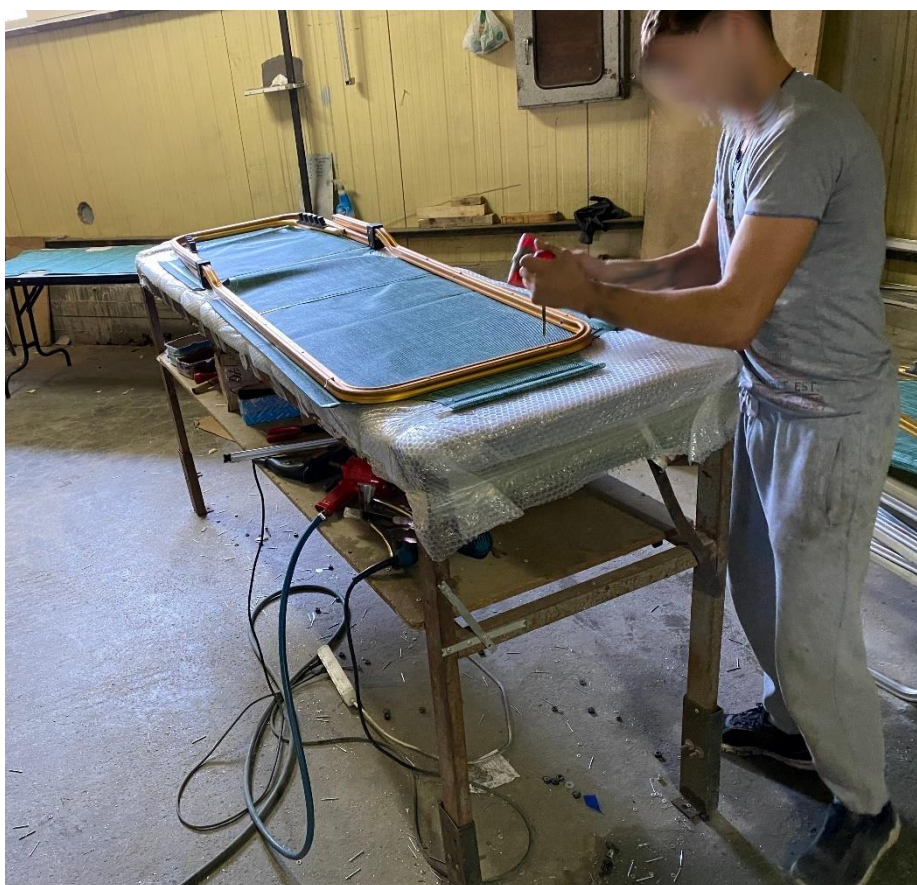


Εικόνα 24: Πάγκος και μηχανή κοπής υφασμάτων.

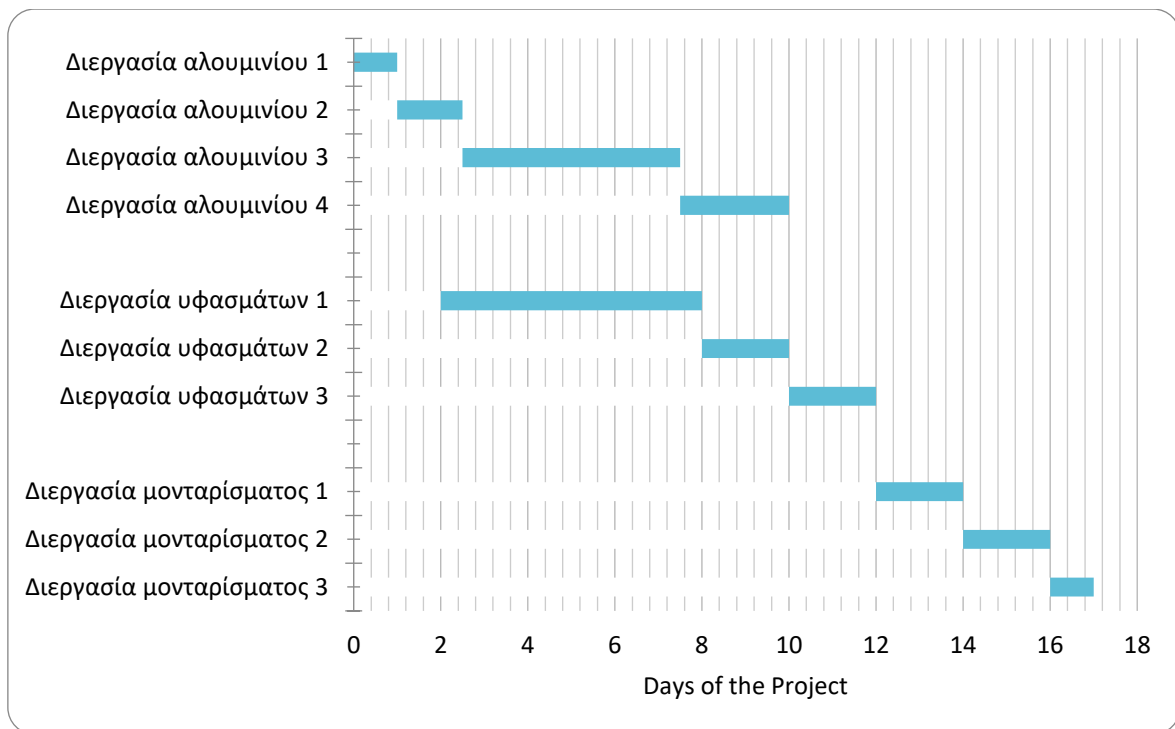




*Εικόνα 25: Ολοκληρωμένα υφασμάτινα πανιά για να τοποθετηθούν στις ξαπλώστρες.*



*Εικόνα 26: Διαδικασία μονταρίσματος πανιού σε μεταλλικό σκελετό.*



Εικόνα 27: Διάγραμμα Gantt της διαδικασίας παραγωγής της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ

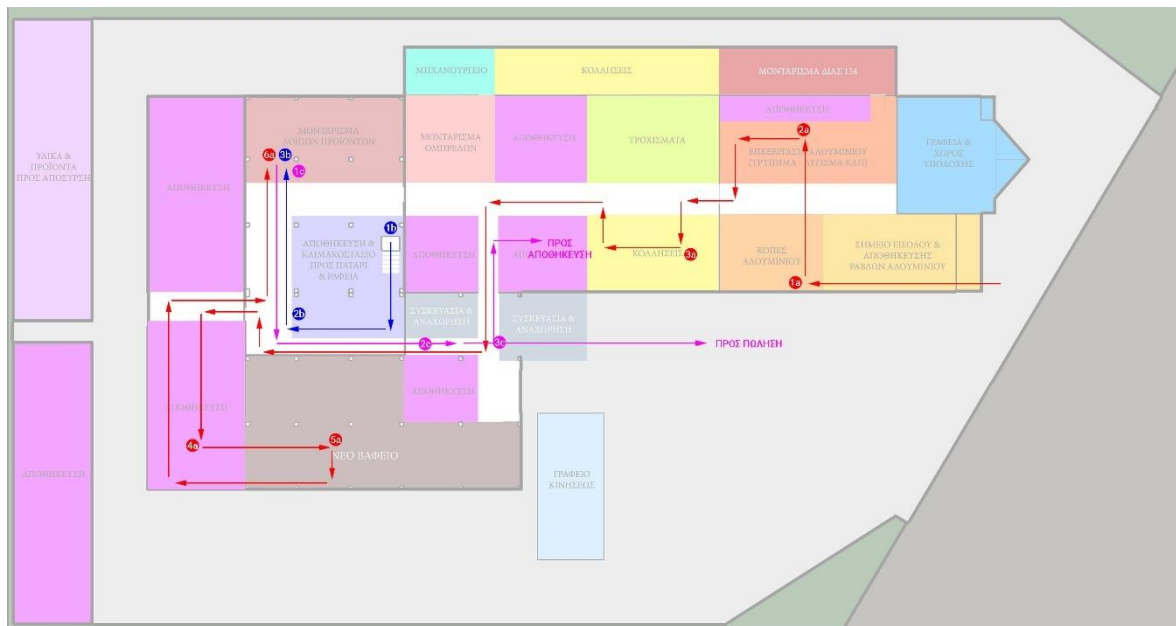
### 3.4.2 Διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ

Η ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ έχει ως πρώτες ύλες:

- Βέργες αλουμινίου με οβάλ διατομή.
- Βέργες αλουμινίου με αυλάκωση (λούκι).
- PVC υφάσματα σε διάφορα χρώματα.
- Διάφορα πλαστικά εξαρτήματα, βίδες και παξιμάδια.

Όπως με την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, η ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ αποτελείται από το μεταλλικό σκελετό και από το υφασμάτινο πανί που λειτουργεί ως στρώμα. Η διαδικασία παραγωγής της αποτελείται από τη διαδικασία επεξεργασίας του υφάσματος, τη διαδικασία επεξεργασίας του αλουμινίου και το μοντάρισμα του τελικού προϊόντος. Στην Εικόνα 28 φαίνεται η διαδρομή των προϊόντων και των πρώτων υλών για την παραγωγή της ξαπλώστρας. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίστανται η διαδικασία κατασκευής του μεταλλικού σκελετού, η οποία λόγω των διαφορετικών διατομών του αλουμινίου διαρκεί περισσότερο χρόνο από την αντίστοιχη διαδικασία για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ. Με μπλε χρώμα αναπαρίστανται η διαδικασία επεξεργασίας του υφάσματος και με ματζέντα αναπαρίστανται το μοντάρισμα του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής περιγραφή κάθε φάσης της παραγωγής. Οι χρόνοι παραγωγής περιλαμβάνονται σε παρενθέσεις.





Εικόνα 28: Διαδικασία παραγωγής μιας ξαπλώστρας τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ.

#### Διαδικασία επεξεργασίας αλουμινίου (32 λεπτά)

1. Κοπή των προφίλ αλουμινίου από βέργες 6 μέτρων στα κατάλληλα μήκη (**1 min**).
2. Λύγισμα των αλουμινίων με τις ειδικές μηχανές κουρμπάρισματος. Το λύγισμα γίνεται στα πόδια, για το σώμα και για την πλάτη ξεχωριστά (2 πόδια: 1.5 min, Σώμα: 15 sec, πλάτη: 15 sec, **Σύνολο 2 min**).
3. Ηλεκτροσυγκόλληση των στηριγμάτων στα πόδια, την πλάτη και το σώμα (**5 min**).
4. Μεταφορά των συγκολλημένων τμημάτων στα αντικείμενα προς βαφή (**Σύνολο 2 min**).
5. Καθαρισμός σε ειδικά πλυντήρια και ηλεκτροστατική βαφή στον ειδικό φούρνο (Εικόνα 29) (Καθαρισμός 5 min, Βαφή 15 min, **Σύνολο 20 min**).
6. Μεταφορά των ήδη βαμμένων τμημάτων στο χώρο μονταρίσματος (**Σύνολο 2 min**).

#### Διαδικασία επεξεργασίας υφασμάτων (10 λεπτά)

1. Κοπή υφασμάτων σε πάγκο με το χέρι και κόλληση των άκρων με την ειδική θερμοκολλητική μηχανή (**Σύνολο 6 min**).
2. Μεταφορά των κομμένων υφασμάτων στο χώρο μονταρίσματος (**Σύνολο 2 min**).
3. Μοντάρισμα του υφάσματος με τα βαμμένα πλέον τμήματα της πλάτης και του σώματος της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ (**2 min**).

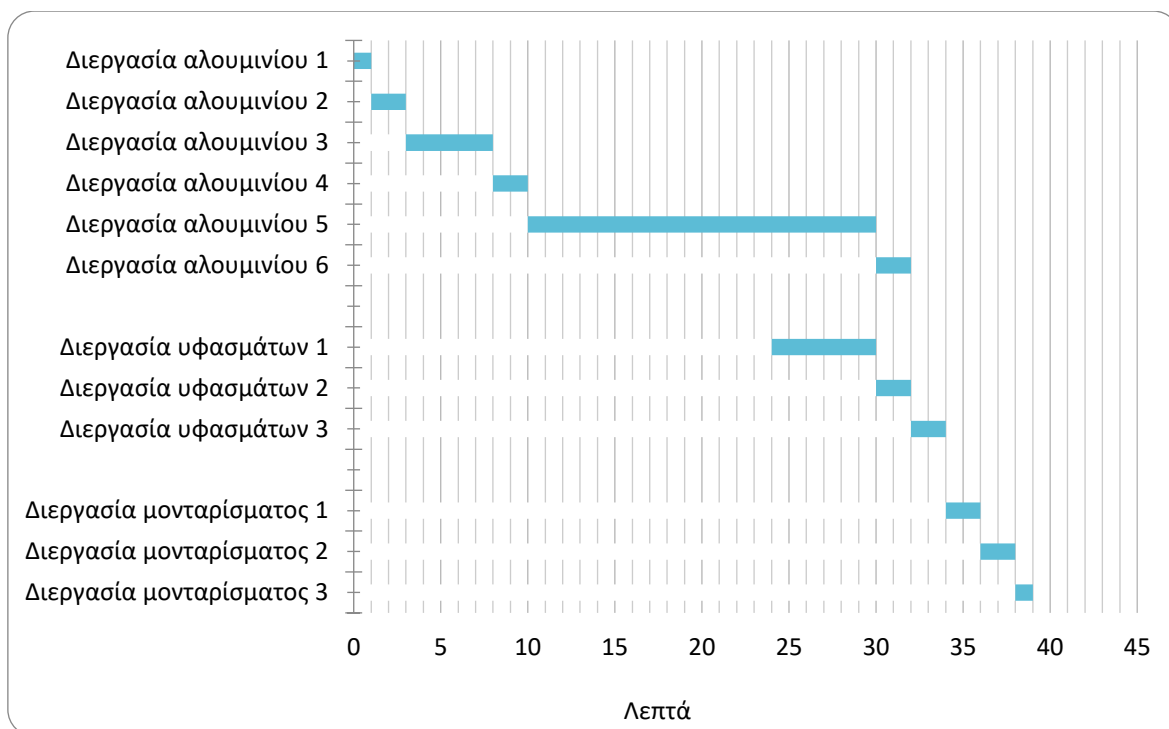
#### Διαδικασία μονταρίσματος τελικού προϊόντος (5 λεπτά)

1. Τελικό μοντάρισμα του σώματος-πανιού με τα πόδια της ξαπλώστρας σε ειδικό πάγκο και προσθήκη πλαστικών εξαρτημάτων και βιδών (**5 min**).
2. Μεταφορά των τελικών προϊόντων προς το τμήμα συσκευασίας και διανομής (**2 min**).
3. Συσκευασία των προϊόντων σε ειδική περιστροφική μηχανή και διανομή τους προς αποθήκευση, ή πώληση (**1 min**).



*Εικόνα 29: Φούρνος βαφής μεταλλικών σκελετών της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ.*

Αντίστοιχα με τη διαδικασία παραγωγής της ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ, και για την ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ η επεξεργασία του μεταλλικού σκελετού και η επεξεργασία των υφασμάτων θα μπορούσαν να γίνουν παράλληλα, αφήνοντας το μοντάρισμα των υφασμάτων πάνω στα βαμμένα τμήματα του σκελετού να γίνει όταν θα έχει η διαδικασία βαψίματος. Ο συνολικός χρόνος παραγωγής μιας ξαπλώστρας τύπου ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ συνεπώς δεν θα είναι το άθροισμα των επιμέρους διεργασιών (50 λεπτά) αλλά ο χρόνος επεξεργασίας του μεταλλικού σκελετού συν το χρόνο μονταρίσματος, δηλαδή 39 λεπτά. Το σχετικό διάγραμμα Gantt φαίνεται στην Εικόνα 30.

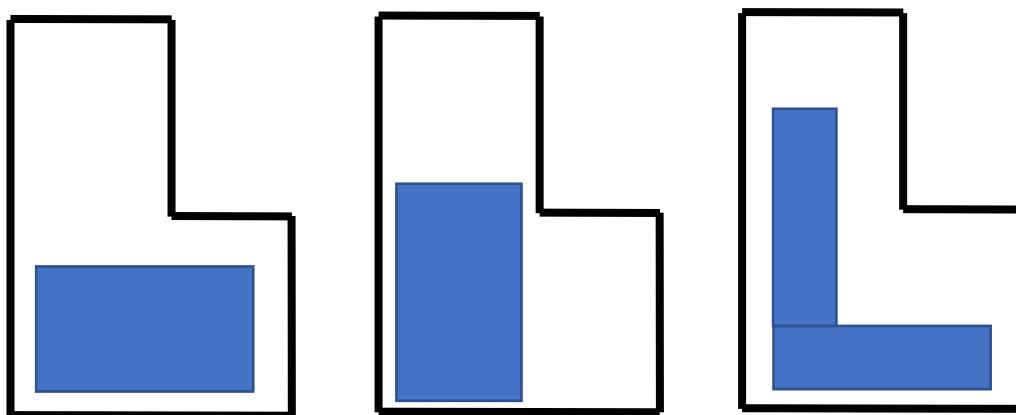


Εικόνα 30: Διάγραμμα Gantt για την παραγωγή της ξαπλώστρας ΣΑΝΤΟΠΙΝΗ

### 3.5 Χωροταξική διάταξη νέου ορόφου και αποθηκευτικού χώρου για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ

Οι ανάγκες της εταιρίας σε αποθηκευτικό χώρο περιγράφηκαν στην ενότητα 3.3. Στον καινούριο όροφο που σκοπεύει να αναγείρει η επιχείρηση θα στεγαστεί το νέο τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων μαζί με τον αποθηκευτικό χώρο για τα ρολά υφάσματος και μια καινούρια μηχανή αυτόματης κοπής υφασμάτων, τα γραφεία της επιχείρησης, ένας μικρός εκθεσιακός χώρος και φυσικά ο αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, εξαιτίας του οποίου γίνεται εξ αρχής η επένδυση της ανέγερσης. Όπως είναι προφανές, τα διαφορετικά τμήματα που προορίζονται να στεγαστούν στο νέο όροφο δεν έχουν μεγάλη σχέση γειτνίασης. Συγκεκριμένα, στο τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων γίνεται κοπή και θερμοκόλληση των υφασμάτων, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται στον χώρο μονταρίσμά τους πάνω στους μεταλλικούς σκελετούς. Συνεπώς το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων έχει μεγαλύτερη σχέση γειτνίασης με το χώρο μονταρίσματος, παρά με όλα τα υπόλοιπα τμήματα που θα τοποθετηθούν στο νέο όροφο. Αντίστοιχα, ο αποθηκευτικός χώρος για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ θα χρησιμοποιείται μόνο για τα τελικά προϊόντα τύπου ΔΙΑΣ, άρα έχει μεγαλύτερη ανάγκη να γειτονεύει με τον χώρο τελικού μονταρίσματος. Τέλος, τα γραφεία και ο εκθεσιακός χώρος δεν έχουν άμεση γειτνίασης με τα υπόλοιπα τμήματα του εργοστασίου, ενώ θα ήταν προτιμότερο να γειτονεύουν μεταξύ τους.

Συνεπώς, σε πρώτη ανάγνωση, το πρόβλημα της χωροταξικής διάταξης του νέου ορόφου του εργοστασίου είναι ένα πρόβλημα εύρεσης μιας βέλτιστης θέσης για το κάθε τμήμα που θα φιλοξενηθεί εκεί. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.3 η εταιρία έχει ήδη θέσει τις ανάγκες σε εμβαδό επιφάνειας για κάθε επιμέρους τμήμα, επιθυμώντας να χρησιμοποιήσει 300 τ.μ. από το σύνολο των 900 τ.μ. του νέου ορόφου ως αποθηκευτικό χώρο για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ. Η επιλογή χώρου για το κάθε τμήμα εξαρτάται από τις μηχανές και τον εξοπλισμό που θα τοποθετηθεί εκεί. Για το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων, ο χώρος εξαρτάται από το μέγεθος των μηχανών, τις διαστάσεις της νέας μηχανής αυτόματης κοπής υφασμάτων και από τον αριθμό και τις διαστάσεις των ρολών υφάσματος που θα αποθηκευτούν εκεί. Τα γραφεία της εταιρίας και ο εκθεσιακός χώρος δεν έχουν συγκεκριμένες ανάγκες σε διαστάσεις και πέρα από την εργονομία δεν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για το σχήμα του χώρου που θα καταλάβουν. Απ' την άλλη, στον αποθηκευτικό χώρο της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ πρέπει πέρα από την οργάνωση που θα παρέχει να μπορεί να αποθηκευτεί και ένας ικανοποιητικός αριθμός προϊόντων.

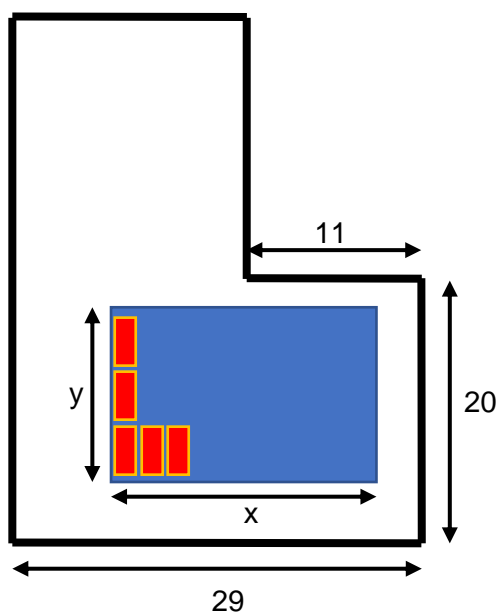


Εικόνα 31: Πιθανά σχήματα αποθηκευτικού χώρου ξαπλώστρας ΔΙΑΣ. Το μαύρο περίγραμμα περιγράφει τα όρια του νέου ορόφου της εταιρίας.

Το πρόβλημα της εύρεσης του βέλτιστου σχήματος συγκεκριμένου εμβαδού ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός ξαπλωστρών είναι πρόβλημα βελτιστοποίησης. Για να βρεθεί πιο εύκολα λύση σε αυτό το πρόβλημα, πρέπει να γίνουν κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις ως προς τη μορφή του σχήματος. Στην περίπτωση που αναζητηθεί χώρος με σχήμα που δεν ανήκει στα απλά γεωμετρικά σχήματα, όπως το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, το τρίγωνο ή ακόμα και ο κύκλος, τότε το πρόβλημα τείνει να έχει πολύ μεγάλο αριθμό λύσεων και πολύ δύσκολο να λυθεί. Στην Εικόνα 31 όλα τα μπλε σχήματα έχουν ακριβώς το ίδιο εμβαδό, αλλά διαφορετικές διαστάσεις και διαφορετικό σχήμα. Όμως λόγω των διαστάσεων της ξαπλώστρας, σε κάθε χώρο μπορεί να τοποθετηθεί διαφορετικός αριθμός από αυτές.

Από το συγκεκριμένο παράδειγμα φαίνεται ότι το πρόβλημα βελτιστοποίησης του αποθηκευτικού χώρου είναι πολύ περίπλοκο, με μεγάλο αριθμό λύσεων. Για να περιοριστεί ο χώρος των λύσεων, αρχικά μπορεί να απορριφθεί μια μεγάλη ομάδα σχημάτων. Άρα μπορούν να γίνουν οι πιο κάτω παραδοχές:

- Η ξαπλώστρα έχει σχεδόν ορθογώνιο σχήμα, με διαστάσεις 62cm x 196cm. Λόγω της συσκευασίας των προϊόντων και επειδή η τοποθέτηση κάθε ντάνας στο χώρο δεν μπορεί να είναι απολύτως ακριβής, οι διαστάσεις κάθε ξαπλώστρας στρογγυλοποιούνται σε 65cm x 200cm.
- Από κάθε σχήμα που περιέχει καμπύλες θα περισσεύει χώρος λόγω του σχήματος της ξαπλώστρας.
- Το σχήμα του αποθηκευτικού χώρου θα πρέπει να είναι ορθογώνιο ή σύνολο ορθογώνιων σχημάτων.
- Ένα σύνολο πολλών ορθογώνιων σχημάτων είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθεί και μπορεί να δυσχεραίνει τη λειτουργία των υπόλοιπων τμημάτων στον όροφο.
- Το σχήμα του χώρου αποθήκευσης θα είναι ορθογώνιο.



Εικόνα 32: Παραμετροποίηση του χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ.

### 3.5.1 Εύρεση του βέλτιστου σχήματος χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με κάθετη τοποθέτηση χωρίς διαδρόμους.

Άρα το πρόβλημα βελτιστοποίησης του χώρου αποθήκευτικού χώρου της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ μπορεί να μοντελοποιηθεί ως:

$$\min -x \cdot y, \text{ υπό:} \quad (17)$$

$$\begin{cases} 0.65x \leq 29 \\ 2y \leq 20 \\ 0.65x \cdot 2y \leq 300 \\ x \geq 0 \\ y \geq 0 \\ x, y \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (18)$$

όπου  $x$  και  $y$  είναι ο αριθμός των ξαπλωστρών που μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος και κατά πλάτος του ορθογώνιου χώρου αποθήκευσης. Η συνάρτηση που βελτιστοποιείται είναι ο αριθμός των ξαπλωστρών που μπορούν να τοποθετηθούν στο επίπεδο. Στην ουσία το πρόβλημα είναι πρόβλημα εύρεσης του μέγιστου αριθμού των ξαπλωστρών. Για να συμβαδίζει ο ορισμός με του προβλήματος με τα προβλήματα βελτιστοποίησης που είναι επί το πλείστον προβλήματα ελαχιστοποίησης, ορίζεται ως ο αρνητικός αριθμός των ξαπλωστρών που θα τοποθετηθούν στο χώρο. Οι δύο πρώτοι περιορισμοί ορίζουν ότι το ορθογώνιο δεν μπορεί να υπερβεί τα όρια του ορόφου. Εδώ επιλέχθηκε το νοτιότερο μέρος του ορόφου ως ο χώρος στον οποίο θα βρίσκεται ο χώρος αποθήκευσης ως ο πιο απομονωμένος και πιο μακριά από το κλιμακοστάσιο στο οποίο θα πρέπει να έχει καλύτερη πρόσβαση το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων για να μεταφέρει τα ολοκληρωμένα ενδιάμεσα προϊόντα στο χώρο μονταρίσματος. Ο τρίτος περιορισμός ορίζει ότι το συνολικό εμβαδό του αποθηκευτικού χώρου δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 300 τ.μ. Οι δύο επόμενοι περιορισμοί ορίζουν ότι τουλάχιστον μία στήλη ή γραμμή από ξαπλώστρες πρέπει να υπάρχει στο χώρο. Ο τελευταίος περιορισμός ορίζει ότι οι αριθμοί  $x$  και  $y$  πρέπει να είναι φυσικοί, άρα δεν μπορεί να υπάρξει κλάσμα ξαπλώστρας, ούτε αρνητικός αριθμός.

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος έγινε στο Matlab, κάνοντας χρήση του προγράμματος *ga* που βρίσκεται στο πακέτο *Global Optimization Toolbox*. Το πρόγραμμα *ga* είναι πρόγραμμα βελτιστοποίησης με γενετικό αλγόριθμο. Η επιλογή αυτού του προγράμματος και όχι κάποιου άλλου προγράμματος βελτιστοποίησης έγινε επειδή η συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι μη γραμμική με ένα μη γραμμικό περιορισμό, ενώ οι μεταβλητές ελέγχου ανήκουν στους φυσικούς αριθμούς, άρα μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Ο γενετικός αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα χρήσης τιμών που είναι ακέραιες και τα βήματα στο χώρο των λύσεων μπορεί να γίνονται τυχαία, παίρνοντας ακέραιες τιμές. Η εφαρμογή του αλγορίθμου στο Matlab γίνεται με τον παρακάτω κώδικα:



#### Αρχείο nonlincons.m

```
function [c,ceq] = nonlincons(x)
```

```
c = 0.65*x(1)*2*x(2) - 300;  
ceq = [];
```

#### Αρχείο ga\_solve.m

```
fun=@(x)x(1)*x(2)*(-1);  
A=[0.65 0;0 2;-1 0;0 -1];  
b=[29;20;0;0];  
nonlcon = @nonlincons;  
options = optimoptions('ga','ConstraintTolerance',1e-6,'PlotFcn',  
@gaplotbestf,'MaxGenerations',1000,'MaxStallGenerations',500);  
x=ga(fun,2,A,b,[],[],[0 0],[1000 1000],nonlcon,[1 2],options);
```

Στο αρχείο nonlincons.m ορίζεται ο μη γραμμικός περιορισμός, ενώ στο αρχείο ga\_solve.m αρχικοποιείται και επιλύεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η περιγραφή των δύο αρχείων γραμμή προς γραμμή γίνεται στη συνέχεια:

#### Αρχείο ga\_solve.m

```
fun=@(x)x(1)*x(2)*(-1);
```

Ορισμός της συνάρτησης προς ελαχιστοποίηση. Η συνάρτηση είναι μη γραμμική με δύο μεταβλητές, οι οποίες ορίζονται ως το διάνυσμα  $x$ .

```
A=[0.65 0;0 2;-1 0;0 -1];  
b=[29;20;0;0];
```

Οι γραμμικοί περιορισμοί του προβλήματος ορίζονται μέσω των πινάκων  $A$  και  $b$ , οι οποίοι ικανοποιούν την εξίσωση  $Ax \leq b$ .

```
nonlcon = @nonlincons;
```

Ο μη γραμμικός περιορισμός του προβλήματος ορίζεται ως ξεχωριστή συνάρτηση η οποία εκτελείται από το αρχείο nonlincons.m.

```
options = optimoptions('ga','ConstraintTolerance',1e-6,'PlotFcn',  
@gaplotbestf,'MaxGenerations',1000,'MaxStallGenerations',500);
```

Οι παράμετροι εκτέλεσης του γενετικού αλγόριθμου ορίζονται μέσω της μεταβλητής *options*. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως η μέγιστη ακρίβεια του αλγορίθμου ('ConstraintTolerance') ως  $10^{-6}$ , ο μέγιστος αριθμός γενιών ('MaxGenerations') είναι 1000 και ο αλγόριθμος τερματίζει όταν δεν υπάρχει αλλαγή στη βέλτιστη λύση ύστερα από 500 γενιές ('MaxStallGenerations'). Τέλος, με την παράμετρο 'PlotFcn' ορίζεται ο τύπος του γραφήματος που θα εξάγει το Matlab, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η βέλτιστη λύση κάθε γενιάς και ο μέσος όρος των λύσεων. Όλες οι υπόλοιπες απαραίτητες παράμετροι για να τρέξει ο γενετικός αλγόριθμος είναι οι προκαθορισμένες από το Matlab.

```
x=ga(fun,2,A,b,[],[],[0 0],[1000 1000],nonlcon,[1 2],options);
```

Ο γενετικός αλγόριθμος εκτελείται με την εντολή `ga` και επιστρέφει τα αποτελέσματα στο διάνυσμα  $x$ . Τα ορίσματα της συνάρτησης `ga` είναι η εξίσωση προς επίλυση  $fun$ , οι πίνακες ορισμού των γραμμικών περιορισμών  $A$  και  $b$ , τα κάτω και άνω όρια των παραμέτρων  $x(1)$  και  $x(2)$ , που ορίζονται στη συγκεκριμένη περίπτωση και οι δύο στο διάστημα  $[0,1000]$ , ο μη γραμμικός περιορισμός, ο ορισμός των ακέραιων μεταβλητών που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι και οι δύο  $([1 2])$ , και οι παράμετροι εκτέλεσης του γενετικού  $options$ . Οι δύο κενές αγκύλες ύστερα από τους πίνακες που ορίζουν τους γραμμικούς περιορισμούς αντιστοιχούν σε τυχόν γραμμικούς περιορισμούς ισότητας, που δεν υπάρχουν στο συγκεκριμένο πρόβλημα και άρα είναι κενά διανύσματα.

### Αρχείο `nonlincons.m`

```
function [c,ceq] = nonlincons(x)
```

Ο μη γραμμικός περιορισμός ορίζεται ως συνάρτηση του Matlab (function), η οποία έχει ως όρισμα το διάνυσμα μεταβλητών  $x$  και επιστρέφει τις τιμές  $c$  και  $ceq$ .

```
c = 0.65*x(1)*2*x(2) - 300;
```

Η τιμή  $c$  ορίζει την τιμή του μη γραμμικού περιορισμού ανισότητας του προβλήματος, για τον οποίο ισχύει  $c \leq 0$ .

```
ceq = [];
```

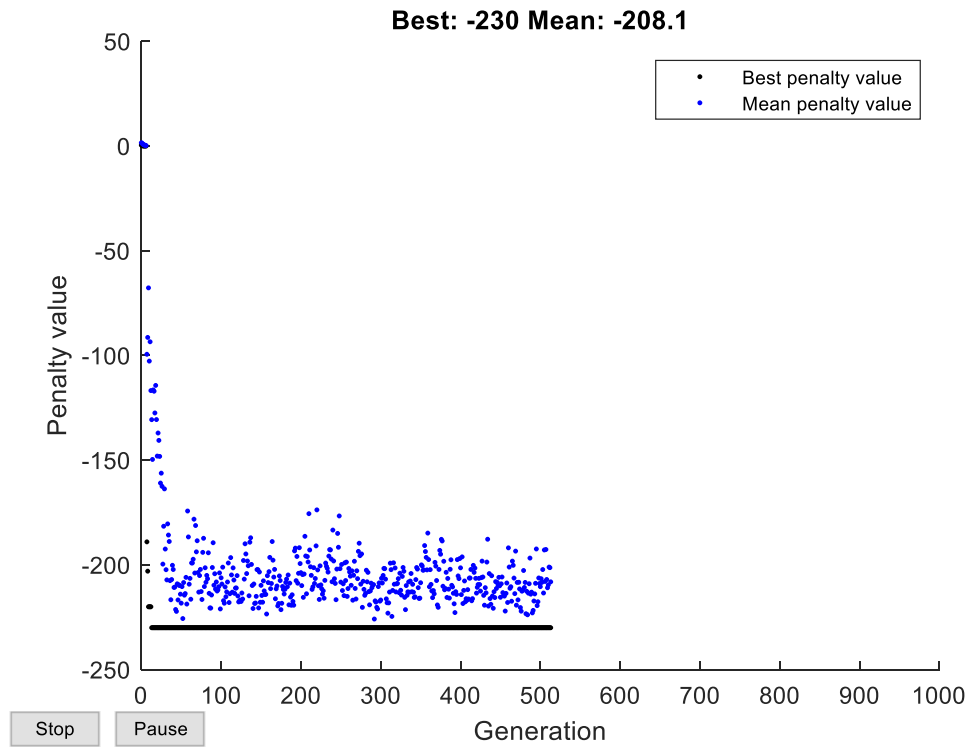
Η τιμή  $ceq$  ορίζει την τιμή όποιου περιορισμού ισότητας θα μπορούσε να συμπεριλαμβάνεται στο πρόβλημα. Επειδή στο συγκεκριμένο πρόβλημα δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός, η τιμή του  $ceq$  είναι ένα κενό διάνυσμα.

Η λύση που δίνει ο αλγόριθμος είναι:

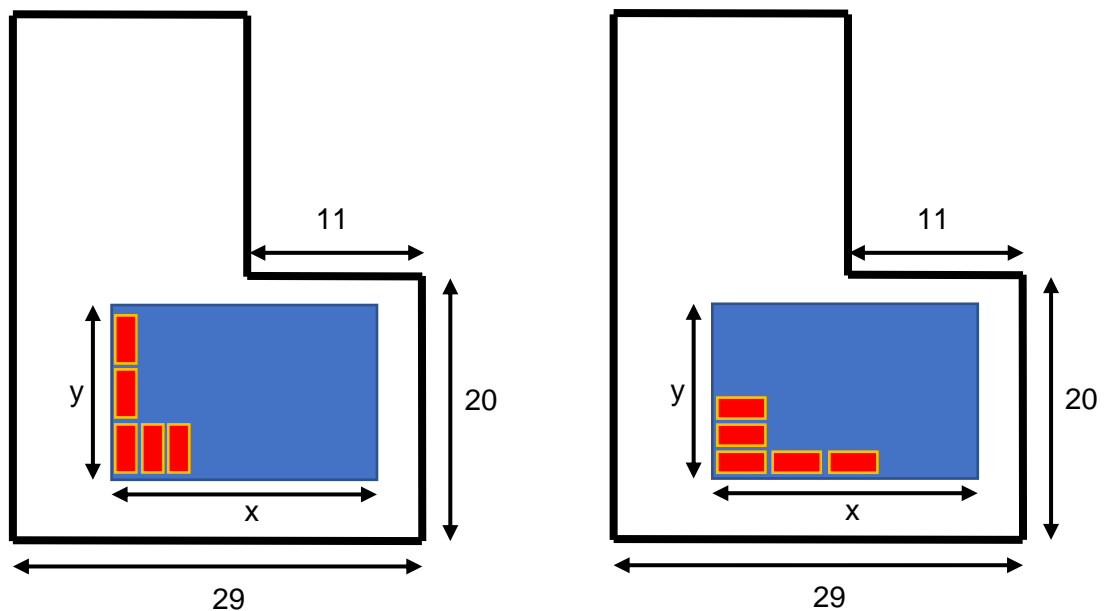
$$\begin{cases} x = 23 \\ y = 10 \end{cases}$$

Άρα ο συνολικός αριθμός ξαπλωστών ΔΙΑΣ που τοποθετούνται στο επίπεδο είναι  $x \cdot y = 230$  και το συνολικό εμβαδό του χώρου είναι  $0.65x \cdot 2y = 299m^2$ . Αν ληφθεί υπόψη ότι ο αριθμός ξαπλωστών ανά ντάνα είναι 24, τότε ο συνολικός αριθμός ξαπλωστών που τοποθετούνται σε αυτή την περίπτωση στο χώρο είναι 5520. Στην Εικόνα 33 φαίνεται ο ρυθμός σύγκλισης του γενετικού αλγορίθμου. Όπως φαίνεται η καλύτερη λύση (μαύρη γραμμή) έχει επιτύχει τη βέλτιστη λύση των 230 ξαπλωστών στο χώρο από τις πρώτες γενιές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αρνητικός αριθμός της λύσης οφείλεται στην επιλογή ελαχιστοποίησης του αρνητικού προβλήματος που επιτρέπει μεγιστοποίηση του πραγματικού προβλήματος.





Εικόνα 33: Σύγκλιση γενετικού αλγόριθμου.



Εικόνα 34: Διαφορετικοί τρόποι προσανατολισμού ξαπλωστών.

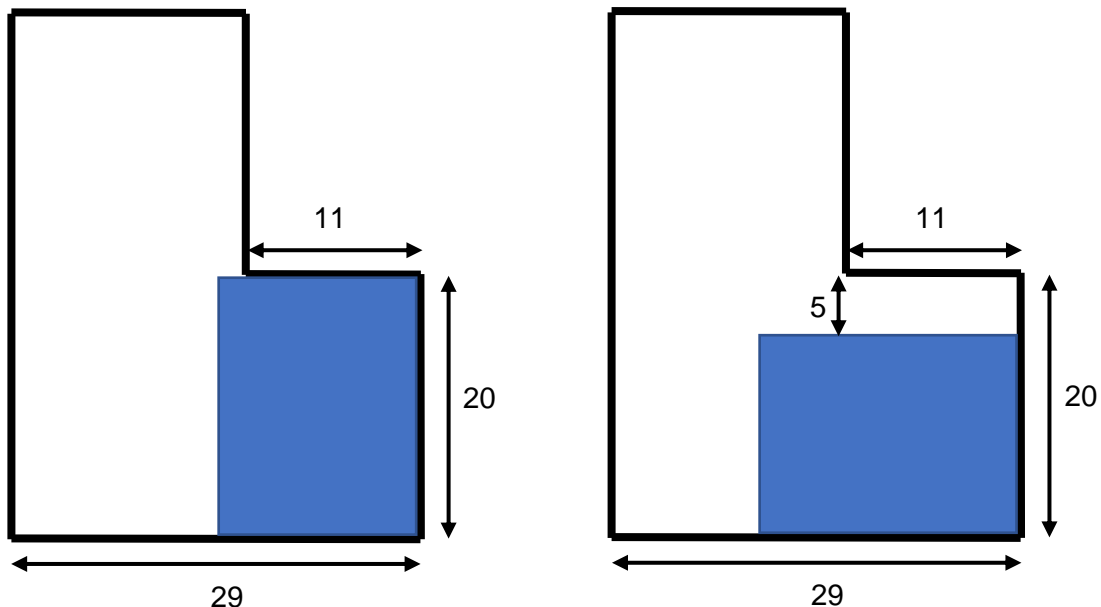
Στη συγκεκριμένη μοντελοποίηση του προβλήματος (εξισώσεις 7 και 8) η τοποθέτηση των ξαπλωστών γίνεται με κάθετο προσανατολισμό, όπως φαίνεται στο αριστερό τμήμα

της Εικόνα 34. Θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί η περίπτωση διαφορετικού προσανατολισμού, όπως αυτός στο δεξί τμήμα της εικόνας. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση γράφεται:

$$\min -x \cdot y, \text{ υπό:} \quad (19)$$

$$\begin{cases} 0.65x \leq 20 \\ 2y \leq 29 \\ 0.65x \cdot 2y \leq 300 \\ x \geq 0 \\ y \geq 0 \\ x, y \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (20)$$

Η επίλυση του αλγόριθμου σε αυτή την περίπτωση δίνει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα, που σημαίνει ότι το σχήμα του χώρου αποθήκευσης περιστρέφεται κατά 90 μοίρες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 35. Το μήκος του αποθηκευτικού χώρου είναι  $0.65 \cdot x = 14.95m$  και το πλάτος  $2 \cdot y = 20m$ , άρα αν τοποθετηθεί όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος της εικόνας, μπορεί να καταλάβει το νοτιοανατολικό τμήμα του νέου ορόφου, με μια επέκταση 3 περίπου μέτρων προς το εσωτερικό του χώρου. Αντίθετα, αν τοποθετηθεί με διαφορετικό προσανατολισμό, όπως φαίνεται στο δεξί τμήμα της εικόνας, τότε περισσεύει ένας διάδρομος πλάτους περίπου 5 μέτρων και μήκους 11 μέτρων, ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κάποιο από τα υπόλοιπα τμήματα που σκοπεύει να τοποθετήσει εκεί η εταιρία.



Εικόνα 35: Το σχήμα του αποθηκευτικού χώρου με τους δύο τρόπους προσανατολισμού των ξαπλωστών. Αριστερά: Κάθετος προσανατολισμός, αριστερά: Οριζόντιος προσανατολισμός.

### 3.5.2 Εύρεση του βέλτιστου σχήματος χώρου αποθήκευσης της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με κάθετη τοποθέτηση με διαδρόμους.

Στην επίλυση του προβλήματος εύρεσης βέλτιστου σχήματος για το χώρο αποθήκευσης στην ενότητα 3.5.1 έγινε η υπόθεση ότι οι ξαπλώστρες στοιβάζονται στο χώρο χωρίς να υπάρχει διάδρομος πρόσβασης ανάμεσά τους. Άρα, για να υπάρχει πρόσβαση στις ξαπλώστρες που βρίσκονται στο πίσω μέρος του αποθηκευτικού χώρου θα πρέπει να μετακινηθούν οι ξαπλώστρες που βρίσκονται πιο μπροστά. Σε περίπτωση που χρειάζεται να υπάρχουν διάδρομοι πρόσβασης, θα πρέπει το μέγεθος των διαδρόμων να προστεθεί στη μοντελοποίηση του προβλήματος. Ο πιο απλός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να θεωρηθεί ότι οι ξαπλώστρες έχουν διπλάσιο πλάτος, ώστε να συμπεριλαμβάνεται αρκετό πλάτος διαδρόμου που θα επιτρέπει πρόσβαση σε κάθε ντάνα ξαπλώστρας και πιθανή μετακίνησή της για χρήση σε παραγγελία. Το πρόβλημα μοντελοποιείται ως εξής:

$$\min -x \cdot y, \text{ υπό:} \quad (21)$$

$$\begin{cases} 2 \cdot 0.65x \leq 29 \\ 2y \leq 20 \\ 2 \cdot 0.65x \cdot 2y \leq 300 \\ x \geq 0 \\ y \geq 0 \\ x, y \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (22)$$

Το πρόγραμμα στο Matlab τροποποιείται ως:

#### Αρχείο nonlincons.m

```
function [c,ceq] = nonlincons(x)
```

```
c = 2*0.65*x(1)*2*x(2) - 300;
```

```
ceq = [];
```

#### Αρχείο ga\_solve.m

```
fun=@(x)x(1)*x(2)*(-1);
```

```
A=[2*0.65 0;0 2;-1 0;0 -1];
```

```
b=[29;20;0;0];
```

```
nonlcon = @nonlincons;
```

```
options = optimoptions('ga','ConstraintTolerance',1e-6,'PlotFcn',
```

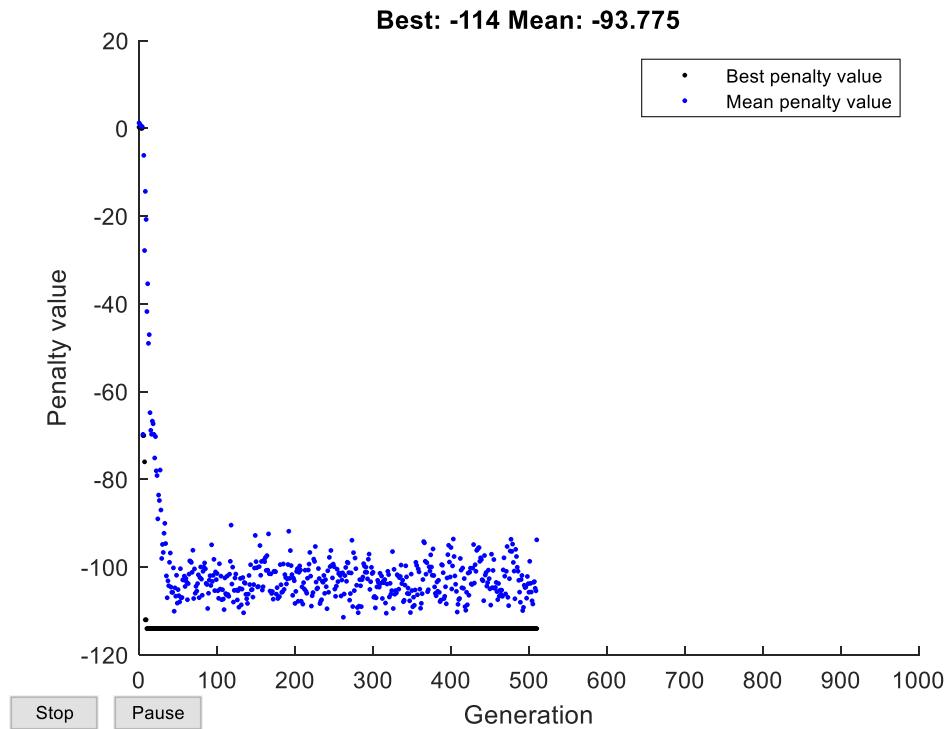
```
@gaplotbestf,'MaxGenerations',1000,'MaxStallGenerations',500);
```

```
x=ga(fun,2,A,b,[],[],[0 0],[1000 1000],nonlcon,[1 2],options);
```

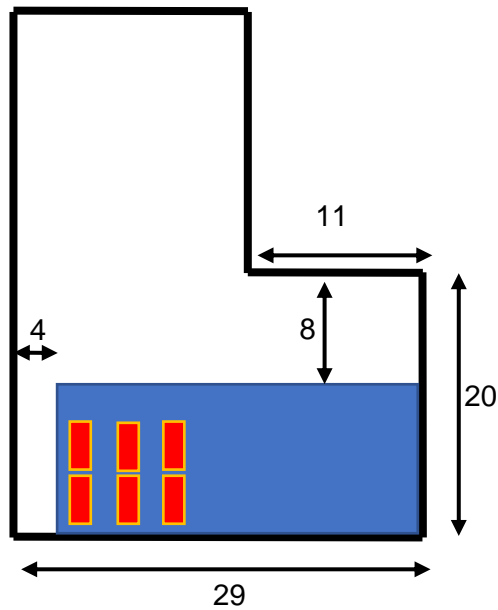
Η λύση του προβλήματος στην περίπτωση κάθετης τοποθέτησης των ξαπλωστρών δίνει ως αποτέλεσμα:

$$\begin{cases} x = 19 \\ y = 6 \end{cases}$$

ορίζοντας ένα μακρόστενο σχήμα με διαστάσεις  $2 \cdot 0.65 \cdot x \times 2 \cdot y = 24.7m \times 12m$  ως βέλτιστο αποθηκευτικό χώρο σε περίπτωση που προστεθούν διάδρομοι πρόσβασης. Σε αυτή την περίπτωση το εμβαδό του χώρου είναι  $296.4m^2$ . Ο αριθμός των ξαπλωστρών που τοποθετούνται στο επίπεδο σε αυτή την περίπτωση είναι 114, ενώ ο συνολικός τους αριθμός αν ληφθεί υπόψη ο αριθμός ξαπλωστρών ανά ντάνα είναι 2736. Η σχηματική αναπαράσταση του αποθηκευτικού χώρου φαίνεται στην Εικόνα 37.



Εικόνα 36: Σύγκλιση γενετικού αλγορίθμου για εύρεση χώρου με κάθετο προσανατολισμό ξαπλωστρών και διάδρομο πρόσβασης.



Εικόνα 37: Σχηματική αναπαράσταση αποθηκευτικού χώρου με κάθετο προσανατολισμό και διαδρόμους πρόσβασης.

Στην περίπτωση που ο προσανατολισμός των ξαπλωστρών είναι οριζόντιος, το πρόβλημα γίνεται:

$$\min -x \cdot y, \text{ υπό:} \quad (23)$$

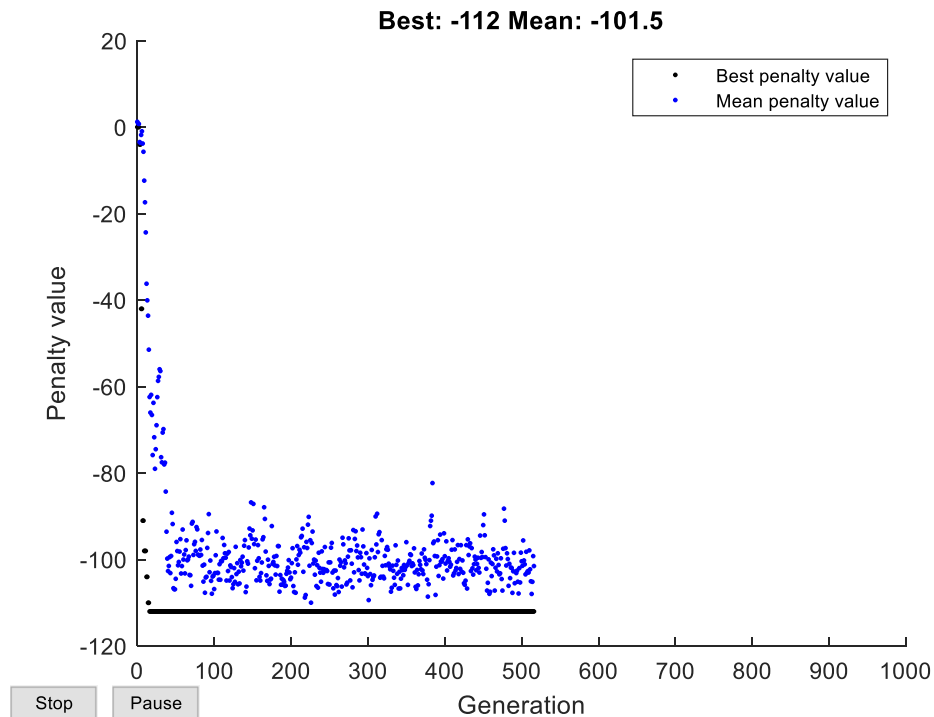
$$\begin{cases} 2 \cdot 0.65x \leq 20 \\ 2y \leq 29 \\ 2 \cdot 0.65x \cdot 2y \leq 300 \\ x \geq 0 \\ y \geq 0 \\ x, y \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (24)$$

Η επίλυση του γενετικού αλγόριθμου δίνει ως αποτέλεσμα:

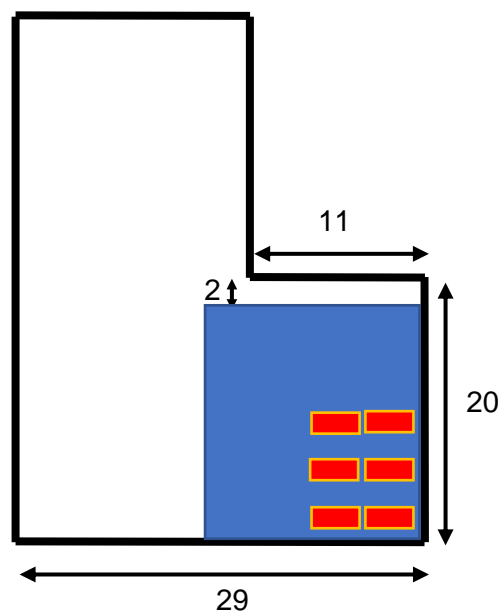
$$\begin{cases} x = 14 \\ y = 8 \end{cases}$$

Ορίζοντας ένα ορθογώνιο σχήμα με διαστάσεις  $2 \cdot 0.65 \cdot x \times 2 \cdot y = 18.2m \times 6m$  ως βέλτιστο αποθηκευτικό χώρο σε περίπτωση που προστεθούν διάδρομοι πρόσβασης. Το εμβαδό του χώρου είναι  $291.2m^2$ . Ο αριθμός των ξαπλωστρών που τοποθετούνται στο επίπεδο σε αυτή την περίπτωση είναι 112, ενώ ο συνολικός τους αριθμός αν ληφθεί υπόψη

ο αριθμός ξαπλωστών ανά ντάνα είναι 2688, που είναι μικρότερος από τον αριθμό των ξαπλωστών στην περίπτωση κάθετου προσανατολισμού. Η σύγκλιση του αλγορίθμου φαίνεται στην Εικόνα 38 και η σχηματική αναπαράσταση του αποθηκευτικού χώρου φαίνεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα 38: Σύγκλιση προβλήματος με οριζόντιο προσανατολισμό ξαπλωστών και διάδρομο πρόσβασης.



Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση αποθηκευτικού χώρου με οριζόντιο προσανατολισμό ξαπλωστών και διαδρόμους πρόσβασης.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η επιλογή που επιτρέπει την αποθήκευση του μεγαλύτερου αριθμού ξαπλωστρών στο χώρο είναι η αποθήκευσή τους χωρίς να διατηρούνται διάδρομοι πρόσβασης. Όμως, σε αυτή την περίπτωση η εταιρία δυσκολεύεται να χρησιμοποιήσει το εμπόρευσμά της, αφού σε ένα μοντέλο παραγωγής όπου αποθηκεύεται πάντα ένας συγκεκριμένος αριθμός προϊόντων σε στοκ, ένας αριθμός ξαπλωστρών θα μένει για μεγάλο χρόνο αχρησιμοποίητο. Επιπλέον, ανάλογα με τον προγραμματισμό της εταιρίας και την ταξινόμηση των προϊόντων στο χώρο, μπορεί να δυσχεραίνεται η πρόσβαση σε ξαπλώστρες συγκεκριμένου χρώματος, ανάλογα με τη θέση που αποθηκεύονται. Απ' την άλλη, η ύπαρξη διαδρόμων πρόσβασης μειώνει το μέγιστο αριθμό έτοιμων προϊόντων που μπορούν να αποθηκευτούν. Για να είναι δυνατή η επιλογή βέλτιστου χώρου αποθήκευσης, χρειάζεται να μελετηθεί ένα ικανό μοντέλο διαχείρισης αποθήκης, ώστε να αναγνωρισθεί ο μέγιστος αριθμός προϊόντων που θα πρέπει να διατηρείται σε στοκ.

### 3.6 Διαχείριση αποθηκευτικού χώρου για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε το πρόβλημα της χωροταξικής διάταξης του νέου ορόφου και του αποθηκευτικού χώρου για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι η δημιουργία του νέου ορόφου γίνεται πρωταρχικά για να φιλοξενήσει αποθηκευτικό χώρο για τις ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ, αλλά και για να αποκτήσει δικό του χώρο το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων, έγινε μια μελέτη ως προς το βέλτιστο σχήμα που θα πρέπει να έχει ο αποθηκευτικός χώρος της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ. Το βέλτιστο σχήμα του αποθηκευτικού χώρου της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ επιτρέπει την τοποθέτηση του μεγαλύτερου δυνατού αριθμού ξαπλωστρών. Όμως, για να μπορέσει να καταστεί σαφές το κατά πόσον αυτός ο αριθμός ξαπλωστρών είναι αρκετά μεγάλος ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες της ζήτησης της εταιρίας σε ξαπλώστρες ΔΙΑΣ, πρέπει να μελετηθεί το κατάλληλο μοντέλο διαχείρισης αυτού του αποθηκευτικού χώρου.

Τα στοιχεία που είναι γνωστά για την εταιρεία Χ και τον τρόπο που λειτουργεί συνοψίζονται στη συνέχεια. Η μελέτη αυτών το στοιχείων θα οδηγήσει στην επιλογή του κατάλληλου μοντέλου διαχείρισης αποθήκης για την εταιρία.

- Η εταιρεία παράγει έπιπλα εξωτερικού χώρου, κυρίως ξαπλώστρες και ομπρέλες παραλίας\πισίνας και συναφή προϊόντα.
- Το προϊόν με τις μεγαλύτερες ετήσιες πωλήσεις είναι η ξαπλώστρα ΔΙΑΣ.
- Η ζήτηση της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ και οι συνδυασμοί χρωμάτων που θα ζητηθούν μπορεί πιο εύκολα να προβλεφθεί, επιτρέποντας στην εταιρία να συντηρεί απόθεμα ασφαλείας για να καλύψει τη ζήτησή της.
- Η ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ είναι το δεύτερο σε πωλήσεις προϊόν, αλλά λόγω του μεγάλου αριθμού χρωματικών συνδυασμών υφάσματος-σκελετού με τους οποίους μπορεί να κατασκευαστεί, δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί η ζήτησή της.
- Η ζήτηση της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ μπορεί να καλυφθεί από το απόθεμα ασφαλείας, άρα μπορεί να διατεθεί άμεσα.
- Η ξαπλώστρα ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ πωλείται μέσω παραγγελιών, οι οποίες ετοιμάζονται μόλις κλείσουν.
- Η ζήτηση όλων των προϊόντων είναι τυχαία, αλλά υπάρχουν μήνες του χρόνου για τους οποίους μπορούν να αναγνωριστούν
- Οι σταθμοί εργασίας της εταιρίας ομαδοποιούνται ανάλογα με το πλήθος των διεργασιών που εκτελούνται σε αυτούς, όπως σε ένα job shop.

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου το οποίο θα καθορίσει πια μορφή του αποθηκευτικού χώρου που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα μπορεί να χρησιμοποιήσει η εταιρία για τις ξαπλώστρες ΔΙΑΣ. Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι πωλήσεις της εταιρίας για το έτος 2018, από τις οποίες μπορούν να ληφθούν πληροφορίες που αφορούν τη ζήτηση της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ σε ένα χρόνο.



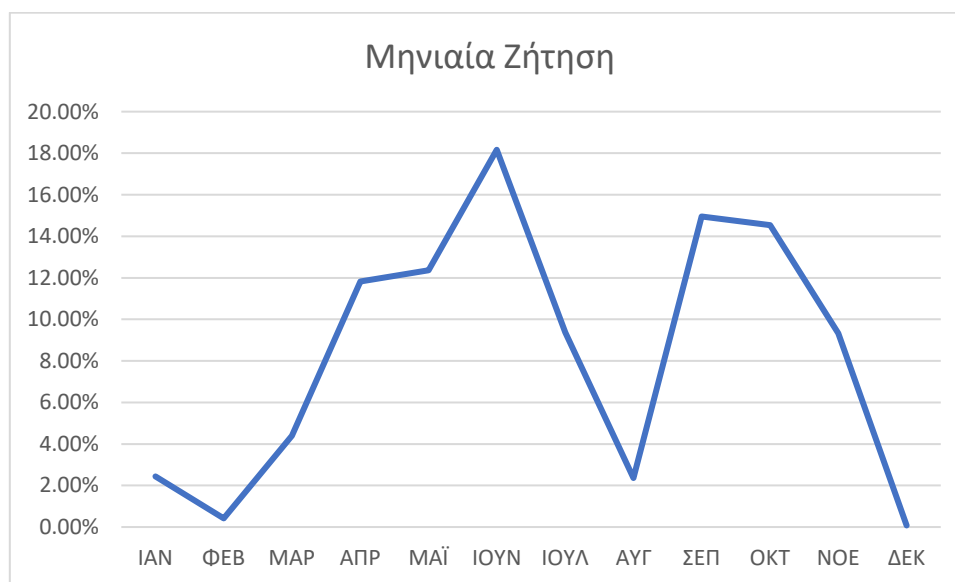
ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ 2018																	
ΠΡΟΪΟΝ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΤΜΧ)	ΚΑΘΑΡΗ ΑΞΙΑ (€)	ΜΕΣΗ ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΤΜΧ (€)	ΜΗΝΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ & ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ												ΚΙΛΑ ΑΛΟΥΜΙΝΟΥ ΑΝΑ ΤΜΧ	ΣΥΝΟΛΟ ΚΙΛΩΝ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ
				ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ		
ΔΙΑΣ 154	15,684	749,111.00 €	47.76 €	2.44%	0.41%	4.39%	11.82%	12.37%	18.17%	9.38%	2.35%	14.95%	14.54%	9.32%	0.08%	4,8 kg ΑΣΤΕΡΙΑΣ 25X25 ΑΝΑ ΔΙΑΣ 154	75.283,2 kg ΑΣΤΕΡΙΑΣ
ΚΑΛΑΝΤΕΡΑ 454	157	9,058.92 €	57.70 €	-	-	27.39%	29.30%	0.64%	37.58%	3.82%	-	-	-	1.27%	-	3 kg ΑΣΤΕΡΙΑΣ + 2,5 kg ΟΒΑΛ 40X25X1,6	471 kg ΑΣΤΕΡΙΑΣ 25X25 + 392,5 kg ΟΒΑΛ 40X25X1.5
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ 1 153	5,450	420,968.52 €	77.24 €	0.04%	30.00%	16.51%	20.79%	15.06%	11.14%	4.40%	1.41%	0.40%	-	0.13%	0.07%	3,5 kg ΟΒΑΛ 40X25X1,6 + 2,5 kg 25X25X1,5 ΜΕ ΛΟΥΚΙ	19.075 kg ΟΒΑΛ 40X25X1,6 + 13.625 kg 25X25X1,5 ΜΕ ΛΟΥΚΙ
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ 2 151	1,335	112,894.68 €	84.57 €	0.30%	3.75%	25.84%	21.95%	11.76%	27.04%	3.45%	2.55%	-	1.35%	1.72%	0.30%	4 kg ΟΒΑΛ 40X25X1,6 + 2,5 kg 25X25X1,5 ΜΕ ΛΟΥΚΙ	5.340 kg ΟΒΑΛ 40X25X1,6 + 3.337,5 kg 25X25X1,5 ΜΕ ΛΟΥΚΙ

Πίνακας 3: Πίνακας πωλήσεων προϊόντων εταιρίας Χ για το έτος 2018.

Από τον Πίνακα 3 μπορεί να υπολογιστεί η μηνιαία ζήτηση σε αριθμό μονάδων για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, καθώς και η ποσότητα αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε για να καλυφθεί αυτή η παραγωγή (Πίνακας 4), ενώ η διακύμανση της ζήτησης φαίνεται στην Εικόνα 40.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μηνιαία ζήτηση $R_i$ (μονάδες)	382.00	65.00	689.00	1854.00	1940.00	2849.00	1471.00	369.00	2344.00	2281.00	1462.00	12.00
Βάρος αλουμινίου (kg)	1833.60	312.00	3307.20	8899.20	9312.00	13675.20	7060.80	1771.20	11251.20	10948.80	7017.60	57.60

Πίνακας 4: Μηνιαία ζήτηση σε μονάδες ξαπλώστρας ΔΙΑΣ για το έτος 2018 και μηνιαία χρήση πρώτης ύλης ράβδων αλουμινίου



Εικόνα 40: Διακύμανση ζήτησης σε ένα έτος

Βάσει αυτών των στοιχείων μπορεί να υπολογιστεί η μέση μηνιαία ζήτηση ως ο μέσος όρος της ζήτησης σε αυτούς τους δώδεκα μήνες:

$$\mu_i = \frac{\sum R_i}{12} = 1309 \text{ μονάδες προϊόντος}$$

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για τη ζήτηση προηγούμενων ετών ή στοιχεία για κάθε παραγγελία της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ, μπορεί να θεωρηθεί ότι η ζήτηση είναι μηνιαία ενώ δεν εξαρτάται από τη ζήτηση προηγούμενης περιόδου. Η συνολική ετήσια ζήτηση για το 2018 ήταν 15684 ξαπλώστρες. Άρα μπορεί να υποτεθεί ότι η ετήσια ζήτηση ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο όρο  $\mu = 15500$  ξαπλώστρες το χρόνο.

Η τιμή πώλησης μιας ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ ήταν 47,76€, άρα το ετήσιο κόστος αποθήκευσης  $c_h$  μιας ξαπλώστρας θεωρείται ότι είναι ίσο με  $c_h = 50$ €, δηλαδή περίπου ίσο με την τιμή πώλησης. Σε περίπτωση που μια ξαπλώστρα δεν πωληθεί μέσα σε ένα χρόνο, τότε είναι πιθανόν να μην μπορεί να πωληθεί την επόμενη χρονιά, αφενός λόγω πιθανής φθοράς από το χρόνο, αφετέρου μπορεί το χρώμα του υφάσματος να μην έχει την ίδια ζήτηση την επόμενη χρονιά. Το σταθερό κόστος τοποθέτησης μιας παραγγελίας και διαχείρισής της, θα θεωρηθεί αρκετά μικρό, στα  $c_p = 5$ €, αφού στην ουσία η συγκεκριμένη παραγγελία είναι εντολή για να παραχθεί κάποια ποσότητα ξαπλώστρας τύπου ΔΙΑΣ. Το κόστος υποαποθέματος εκτιμάται στην τιμή πώλησης της ξαπλώστρας, δηλαδή  $c_u = 47.76$ €.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.4.1 μία ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ χρειάζεται 17 λεπτά για να παραχθεί. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι παράγεται μία ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ κάθε 17 λεπτά, αφού όλες οι θέσεις εργασίας θα λειτουργούν παράλληλα. Ο παράγοντας που θα καθορίσει τον αριθμό των ξαπλωστρών που μπορούν να παραχθούν σε μια μέρα είναι η διεργασία με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Για την παραγωγή της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ αυτή φαίνεται να είναι η διαδικασία κοπής των υφασμάτων που διαρκεί 6 λεπτά. Όμως, όπως φαίνεται από το διάγραμμα Gantt στην Εικόνα 27, αυτή η διεργασία καθυστερεί να ξεκινήσει, ώστε να υπάρχει συγχρονισμός με τη διαδικασία παραγωγής του μεταλλικού σκελετού. Συνεπώς η παραγωγή του σκελετού καθορίζει τον αριθμό των κομματιών που μπορούν να παραχθούν σε μια μέρα και η βραδύτερη διεργασία είναι η συγκόλληση του μεταλλικού σκελετού, με διάρκεια 5 λεπτά. Αν υποτεθεί ότι η βιοτεχνία λειτουργεί σε δύο βάρδιες, κάθε ημέρα μπορούν να παραχθούν  $2 \cdot 8 \cdot 60/5 = 192$  ξαπλώστρες. Στην υποθετική περίπτωση που χρειάζεται να παραχθεί προϊόν για να ικανοποιήσει όλη την ετήσια ζήτηση σε μία παραγγελία, θα χρειαζόνταν  $\frac{15500}{192} \approx 80$  ημέρες. Επειδή αυτός ο αριθμός είναι πολύ μεγάλος, θα θεωρηθεί ότι ο χρόνος υστέρησης θα είναι 50 ημέρες. Φυσικά ο αριθμός παραγωγής προϋποθέτει τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχουν διακοπές ή καθυστερήσεις μεταξύ σταθμών εργασίας.
- Όλοι οι εργαζόμενοι εργάζονται με τον ίδιο ρυθμό.
- Ανά πάσα στιγμή υπάρχει μία μηχανή ή εργάτης που παράγουν κάθε διεργασία.
- Η εταιρία παράγει μόνο ένα προϊόν.

Η μέση ζήτηση του χρόνου υστέρησης θα είναι:

$$\mu_L = \mu \cdot L = 15500 \cdot \frac{50}{365} = 2123.288 \text{ τεμάχια}$$

Για να βρεθεί η τιμή του  $R$  για το οποίο ορίζεται η πιθανότητα  $P(D \leq R)$ , κατασκευάζεται ο πίνακας του Παραρτήματος Α' στο Microsoft Excel. Ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.2:

**Βήμα 0:**

$$Q_0 = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot \frac{\mu}{c_p}} = 55.68 \approx 56$$

Αναζητείται ακέραια τιμή του  $R_0$  που να ικανοποιεί τη σχέση

$$SL(R_0) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_0}{c_u \cdot \mu} = 0.996218$$

Από τον πίνακα στο παράρτημα Α' προκύπτει  $R_0 = 2247$

Υπολογίζεται το  $E(R_0)$  από την εξίσωση (16) ίσο με 0.056273.

**Βήμα 1:**

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u \cdot E(R_0))}{c_p}} = 69.04 \approx 69$$

Αναζητείται ακέραια τιμή του  $R_1$  που να ικανοποιεί τη σχέση

$$SL(R_1) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_1}{c_u \cdot \mu} = 0.995339$$

Από τον πίνακα στο παράρτημα Α' προκύπτει  $R_1 = 2244$

Υπολογίζεται το  $E(R_1)$  από την εξίσωση (16) ίσο με 0.069059.

**Βήμα 2:**

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u \cdot E(R_1))}{c_p}} = 71.73 \approx 72$$

Αναζητείται ακέραια τιμή του  $R_2$  που να ικανοποιεί τη σχέση

$$SL(R_2) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_2}{c_u \cdot \mu} = 0.99513698$$

Από τον πίνακα στο παράρτημα Α' προκύπτει  $R_2 = 2243$

Υπολογίζεται το  $E(R_2)$  από την εξίσωση (16) ίσο με 0.07388142.

### Βήμα 3:

$$Q_3 = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u \cdot E(R_2))}{c_p}} = 72.72 \approx 73$$

Αναζητείται ακέραια τιμή του  $R_3$  που να ικανοποιεί τη σχέση

$$SL(R_3) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_3}{c_u \cdot \mu} = 0.99506943$$

Από τον πίνακα στο παράρτημα Α' προκύπτει  $R_3 = 2243$

Υπολογίζεται το  $E(R_3)$  από την εξίσωση (16) ίσο με 0.07388142.

### Βήμα 4:

$$Q_4 = \sqrt{\frac{2\mu(c_p + c_u \cdot E(R_2))}{c_p}} = 72.72 \approx 74$$

Αναζητείται ακέραια τιμή του  $R_3$  που να ικανοποιεί τη σχέση

$$SL(R_4) = 1 - \frac{c_h \cdot Q_4}{c_u \cdot \mu} = 0.99506943$$

Από τον πίνακα στο παράρτημα Α' προκύπτει  $R_4 = 2243$

Υπολογίζεται το  $E(R_4)$  από την εξίσωση (16) ίσο με 0.07388142.

$$|Q_4 - Q_3| = 0, \quad |R_4 - R_3| = 0$$

Άρα, το ζεύγος τιμών που ελαχιστοποιεί το κόστος αποθήκευσης και την πιθανότητα ανικανοποίητης ζήτησης είναι το  $(Q, R) = (74, 2243)$ , που σημαίνει ότι το απόθεμα ασφαλείας είναι 2243 τεμάχια ξαπλώστρας ΔΙΑΣ ενώ κάθε φορά που το απόθεμα είναι λιγότερο από το απόθεμα ασφαλείας πρέπει να παράγονται 74 τεμάχια.

Αυτό σημαίνει ότι ο αποθηκευτικός χώρος θα πρέπει να έχει χωρητικότητα για τουλάχιστον 2317 τεμάχια ξαπλώστρας ΔΙΑΣ. Ο χώρος που υπολογίστηκε στην προηγούμενη ενότητα

ώστε να υπάρχουν διάδρομοι ανάμεσα στις ντάνες από ξαπλώστρες έχει χωρητικότητα 2688 τεμάχια, άρα μπορεί να φιλοξενήσει τον απαιτούμενο αριθμό ξαπλωστών.

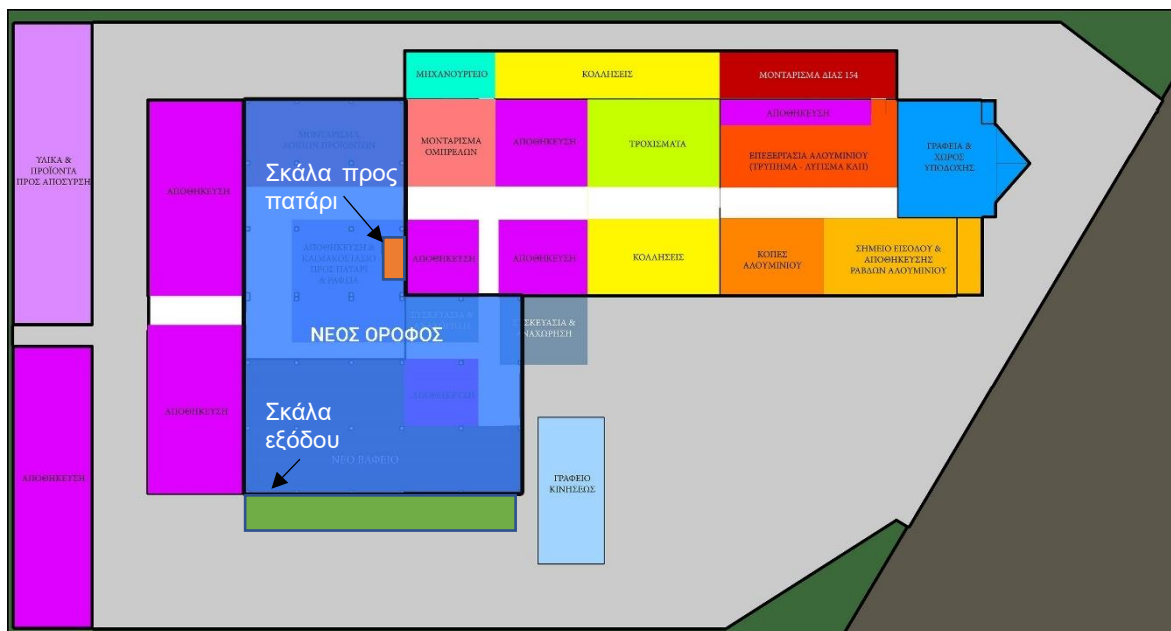
Φυσικά, οι παραπάνω τιμές έχουν βρεθεί υποθέτοντας ότι η ζήτηση είναι μεταβλητή με ένα συγκεκριμένο μέσο όρο, αλλά χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις, ενώ δεν έχει γίνει κάποια πρόβλεψη για το μέγεθος της ζήτησης κάνοντας κάποιου είδους προβολή, αλλά έγινε η υπόθεση ότι η ζήτηση παραμένει ίδια με τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό δεν μπορεί να αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα, καθώς είναι πολλοί οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη ζήτηση. Στην περίπτωση που η ζήτηση είναι ίδια με εκείνη του 2018, φαίνεται ότι τον Ιούνιο πωλήθηκαν 2848 τεμάχια ξαπλώστρας ΔΙΑΣ, αριθμός που υπερβαίνει τη χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου με διαδρόμους ανάμεσα στις ντάνες. Σε αυτή την περίπτωση προτείνεται η χρήση του σχήματος αποθηκευτικού χώρου χωρίς διαδρόμους ανάμεσα στις ντάνες, με μέγιστη χωρητικότητα 5520 τεμάχια. Για να υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης σε όλες τις διαφορετικές παρτίδες ξαπλώστρας, θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν οι ξαπλώστρες ανάλογα με το χρώμα του υφάσμάτος τους και να δημιουργηθούν διάδρομοι ανάμεσα στις ομάδες. Σε αυτή την περίπτωση η ταξινόμηση του χώρου δεν μπορεί να προβλεφθεί, καθώς δεν είναι γνωστός ο αριθμός των διαφορετικών χρωμάτων και των τεμαχίων ανά χρώμα. Σε κάθε περίπτωση η χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου θα είναι μεταξύ 2848 και 5520 τεμαχίων.

### 3.7 Χωροταξική διάταξη νέου ορόφου της εταιρίας Χ

Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι ο αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ στο νέο όροφο της εταιρίας θα έχει διαστάσεις  $14.95m \times 20m$ . Η βέλτιστη τοποθέτησή του στο χώρο του νέου ορόφου θα πρέπει να γίνει σε σχέση με τη θέση των υπόλοιπων τμημάτων που έχει επιλέξει η εταιρία να στεγαστούν στο νέο όροφο. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 3.3, στο νέο όροφο η επιχείρηση επιθυμεί να στεγάσει τα παρακάτω τμήματα:

- Τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων (400 τ.μ.).
- Ειδικός αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ (300 τ.μ.).
- Γραφεία της διοίκησης και των μηχανικών (100 τ.μ.).
- Μικρός εκθεσιακός χώρος (100 τ.μ.).

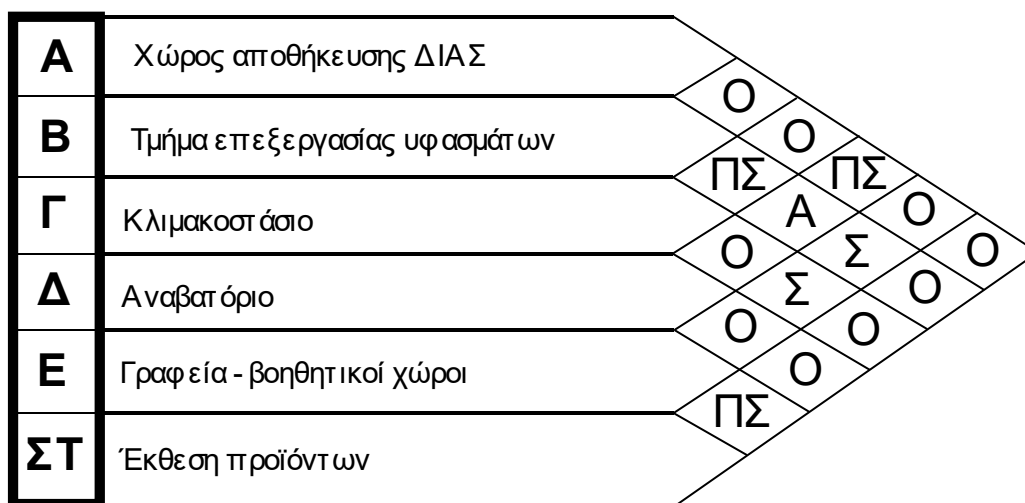
Όμως, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο νέος όροφος δεν μπορεί να θεωρείται ανεξάρτητος από την υπόλοιπη εταιρία, αφού ειδικά το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων συνεργάζεται με τα τμήματα επεξεργασίας αλουμινίου, για την κατασκευή των ξαπλωστών. Είναι προφανές ότι το συγκεκριμένο τμήμα πρέπει να έχει καλύτερη πρόσβαση στο κλιμακοστάσιο ή πιθανότατα σε ένα αναβατόριο που θα μπορεί να μεταφέρει τα επεξεργασμένα υφάσματα, τα ρολά υφάσματος, αλλά και τις ντάνες από ξαπλώστρες τύπου ΔΙΑΣ που οδηγούνται προς αποθήκευση. Η τοποθέτηση του αναβατορίου θα πρέπει να γίνει σε χώρο που δεν επηρεάζει το υπόλοιπο κτήριο. Επίσης, δεδομένου ότι υπάρχει το πατάρι στο οποίο αυτή τη στιγμή στεγάζεται το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων και τα γραφεία της εταιρίας θα ήταν λογικό να ενωθεί με σκάλα με το νέο όροφο. Η θέση της σκάλας είναι λογικό να είναι στην ίδια τοποθεσία που υπάρχει το κλιμακοστάσιο που ενώνει το πατάρι με το ισόγειο.



Εικόνα 41: Σχηματική αναπαράσταση νέου ορόφου της εταιρίας. Τονίζονται η σκάλα που θα οδηγεί στο πατάρι της εταιρίας και η σκάλα προς την έξοδο κινδύνου.

Για να διασφαλισθεί η ασφάλεια των εργαζομένων της εταιρίας σε περίπτωση πυρκαγιάς, ο νέος όροφος θα πρέπει να συμβαδίζει με τους κανόνες πυρασφάλειας που έχουν τεθεί από την Ελληνική κυβέρνηση (Κυβέρνησης, 2018). Σύμφωνα με τους κανονισμούς η εταιρία πρέπει να παρέχει οδεύσεις διαφυγής από οποιοδήποτε χώρο της εταιρίας. Στην περίπτωση του νέου ορόφου, η όδευση διαφυγής δεν μπορεί να οδηγείται από το κλιμακοστάσιο που οδηγεί στο πατάρι, καθώς η όδευση διαφυγής πρέπει να οδηγεί σε έξοδο εκκένωσης και όχι σε χώρο του εργοστασίου. Σε περίπτωση που η εστία της πυρκαγιάς είναι στη βάση του κλιμακοστασίου, τότε οι εργαζόμενοι που βρίσκονται στον όροφο κινδυνεύουν να εγκλωβιστούν. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να υπάρχει έξοδος κινδύνου με σκάλα που θα οδηγεί στον εξωτερικό χώρο. Η μόνη θέση στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί αυτή η σκάλα είναι στο νοτιότερο τμήμα της οικοδομής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 41. Η συγκεκριμένη σκάλα θα μπορούσε να λειτουργεί και ως είσοδος προς τα γραφεία της εταιρίας από χώρο που δεν περνά μέσα από τους σταθμούς εργασίας του ισογείου.

Για να βρεθεί η βέλτιστη θέση των τμημάτων που θα τοποθετηθούν στο νέο όροφο είναι απαραίτητο να γίνει αρχικά το διάγραμμα εγγύτητας σχέσεων των τμημάτων. Ως τμήματα θα θεωρηθούν και το αναβατόριο και η σκάλα που οδηγεί προς το πατάρι, καθώς μέσα από αυτά συνδέεται ο νέος όροφος με το ισόγειο και τους σταθμούς επεξεργασίας αλουμινίου ή το χώρο μονταρίσματος.



Εικόνα 42: Σχέσεις εγγύτητας τμημάτων νέου ορόφου.

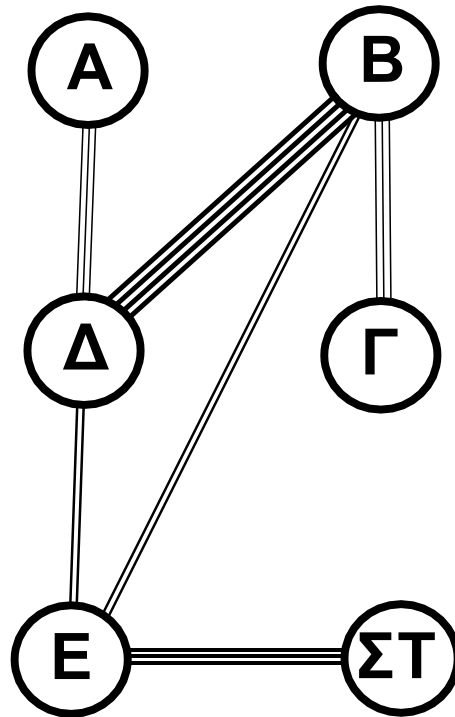
Στην Εικόνα 42 φαίνεται ο σχετικός πίνακας σχέσεων εγγύτητας των τμημάτων του νέου ορόφου. Όπως φαίνεται, ο αποθηκευτικός χώρος της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ έχει πολύ σημαντική σχέση εγγύτητας με το αναβατόριο, αφού από το αναβατόριο θα μεταφέρονται οι ντάνες με τις ξαπλώστρες από και προς το χώρο αποθήκευσης. Η σχέση του με τα υπόλοιπα τμήματα του ορόφου είναι ουδέτερη, καθώς δεν συνδέονται με τη διαδικασία της παραγωγής. Συνεπώς, ο χρόνος μετάβασης από τα υπόλοιπα τμήματα στο χώρο αποθήκευσης δεν συμβάλει στη βελτίωση του χρόνου παραγωγής. Αντίστοιχα, ο



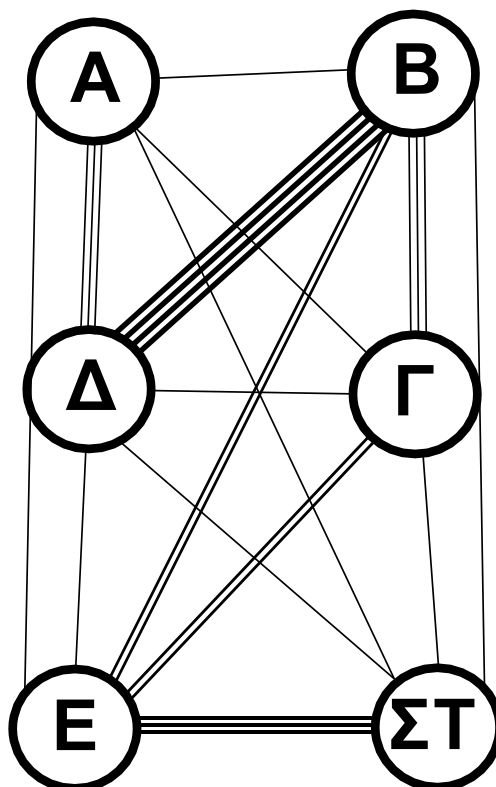
εκθεσιακός χώρος έχει πολύ σημαντική σχέση εγγύτητας με τα γραφεία και τους βοηθητικούς χώρους, ώστε να μπορούν οι πελάτες να έρχονται σε επαφή με τα προϊόντα και τους πωλητές της εταιρίας. Η σχέση εγγύτητας του εκθεσιακού χώρου με τα υπόλοιπα τμήματα του ορόφου είναι ουδέτερη, καθώς οι πελάτες δεν χρειάζεται να έχουν πρόσβαση στους υπόλοιπους χώρους της εταιρίας.

Το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων έχει απαραίτητη σχέση εγγύτητας με το αναβατόριο, ώστε να μπορούν να μεταφέρονται πιο γρήγορα τα έτοιμα υφάσματα στο χώρο μονταρίσματος με το μεταλλικό σκελετό που βρίσκεται στο ισόγειο. Ταυτόχρονα, θα μπορούν να μεταφέρονται τα ρολά υφάσματος στο χώρο αποθήκευσής τους χωρίς επιπλέον κόπο. Η σχέση εγγύτητας του τμήματος επεξεργασίας υφασμάτων με τα γραφεία και τους βοηθητικούς χώρους είναι σημαντική για τη μετακίνηση του προσωπικού, αλλά και για τον προγραμματισμό της παραγωγής. Επίσης, είναι πολύ σημαντική η σχέση εγγύτητας του τμήματος επεξεργασίας υφασμάτων με το κλιμακοστάσιο που παρέχει πρόσβαση στο ισόγειο και στο πατάρι της εταιρίας, το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιείται ως επιπλέον αποθηκευτικός χώρος εξαρτημάτων όταν ανεγερθεί ο νέος όροφος. Τέλος, τα γραφεία έχουν σημαντική σχέση εγγύτητας με το κλιμακοστάσιο που παρέχει πρόσβαση στο ισόγειο και το πατάρι της εταιρίας, έτσι είναι πιο γρήγορη η πρόσβαση στο χώρο της παραγωγής. Απ' την άλλη, η σχέση εγγύτητας των γραφείων με το αναβατόριο θεωρείται ουδέτερη, αφενός επειδή το αναβατόριο πρέπει να χρησιμοποιείται για να μεταφέρονται προϊόντα και όχι προσωπικό, αφετέρου η χρήση του αναβατορίου από προσωπικό που δεν ασχολείται με την παραγωγή (όπως πωλητές, λογιστές, κλπ.) μπορεί να οδηγήσει σε εργατικά ατυχήματα.

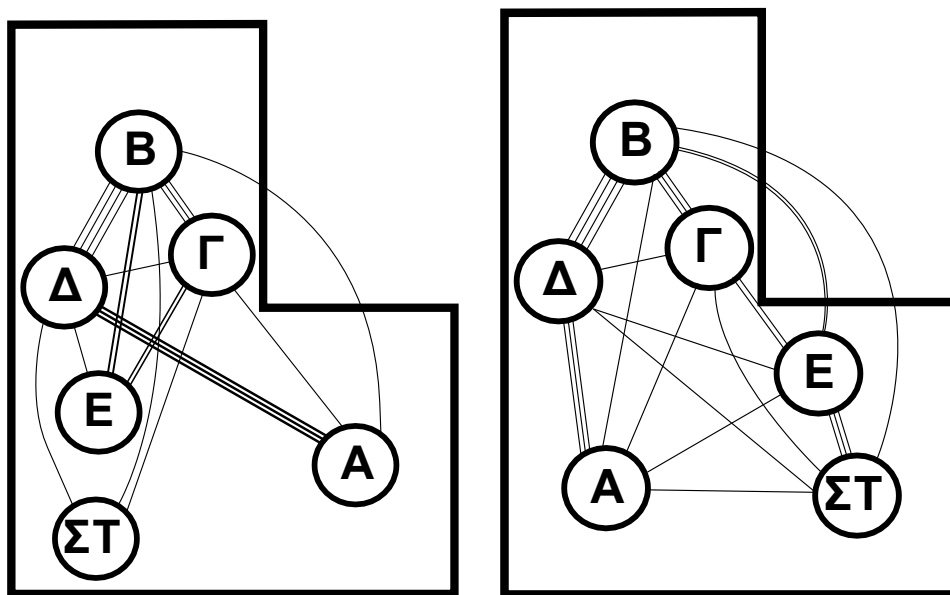
Για να βρεθεί η καλύτερη θέση των τμημάτων στο χώρο, πρέπει αρχικά να σχεδιαστεί το διάγραμμα δικτύου διαδοχής με βάση των πίνακα της Εικόνα 42. Η κατασκευή αυτού του διαγράμματος γίνεται σε τρία βήματα. Το πρώτο βήμα φαίνεται στην Εικόνα 43 και ορίζει τις σχέσεις εγγύτητας που δεν είναι απαραίτητες. Στην Εικόνα 44 φαίνεται το δεύτερο στάδιο του δικτύου διαδοχής, στο οποίο έχουν προστεθεί οι σχέσεις εγγύτητας ουδέτερου χαρακτήρα.



Εικόνα 43: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Πρώτο στάδιο.

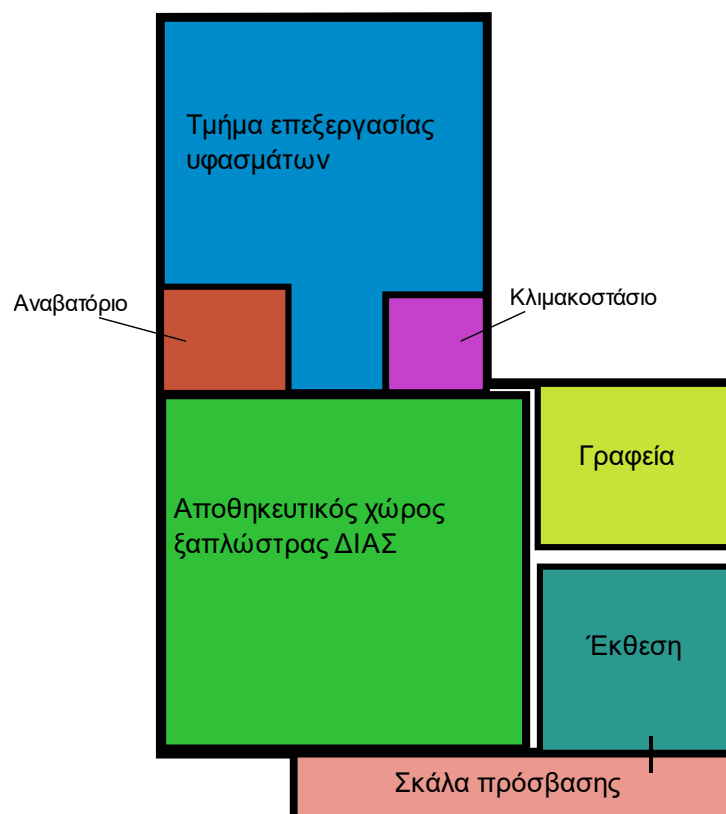


Εικόνα 44: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Δεύτερο στάδιο.



Εικόνα 45: Διάγραμμα δικτύου διαδοχής – Τρίτο στάδιο

Στην Εικόνα 45 φαίνεται το τρίτο στάδιο του δικτύου διαδοχής, στο οποίο έχουν μετακινηθεί τα τμήματα ώστε να είναι λογικές οι αποστάσεις εκείνων με πιο στενές σχέσεις εγγύτητας. Επίσης, τα τμήματα έχουν τοποθετηθεί μέσα στο περίγραμμα του νέου ορόφου, ώστε να φαίνεται η σχετική τους θέση. Παρέχονται δύο πιθανές διατάξεις των τμημάτων στον όροφο, οι οποίες διαφέρουν ως προς τη σχετική θέση του αποθηκευτικού χώρου της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ και των γραφείων – εκθεσιακού χώρου. Σύμφωνα με το υπάρχον σχέδιο του κτιρίου, το κλιμακοστάσιο πρέπει να βρίσκεται στη θέση που φαίνεται στην Εικόνα 45. Η θέση του τμήματος επεξεργασίας υφασμάτων, το οποίο θα περιλαμβάνει τη νέα μηχανή αυτόματης κοπής και το χώρο αποθήκευσης των ρολών υφάσματος πρέπει να βρίσκεται κοντά στο κλιμακοστάσιο αλλά κυρίως κοντά στο αναβατόριο. Συνεπώς η θέση του αναβατορίου θα καθορίσει τη θέση και των υπόλοιπων τμημάτων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, τα σημεία στα οποία μπορεί να τοποθετηθεί το αναβατόριο είναι περιορισμένα, καθώς στο ισόγειο στεγάζεται το νέο βαφείο, το οποίο περιέχει εξοπλισμό που πολύ δύσκολα μπορεί να μετακινηθεί (Εικόνα 29). Ο καταλληλότερος χώρος για να τοποθετηθεί το αναβατόριο είναι κοντά στο κλιμακοστάσιο, πάνω από το πατάρι που στεγάζεται τώρα το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων. Από τα δύο δίκτυα που φαίνονται στην Εικόνα 45, το δεξί προσφέρει περισσότερο στην παραγωγή της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ, αφού ελαχιστοποιεί την απόσταση ανάμεσα στον αποθηκευτικό χώρο και το αναβατόριο, που έχουν πολύ σημαντική σχέση εγγύτητας μεταξύ τους.



Εικόνα 46: Τελική θέση τμημάτων στο νέο όροφο

Στην Εικόνα 46 φαίνεται προσεγγιστικά η τελική θέση των τμημάτων που θα τοποθετηθούν στο νέο όροφο. Η εγγύτητα του τμήματος επεξεργασίας υφασμάτων και του αποθηκευτικού χώρου της ξαπλώστρας ΔΙΑΣ με το αναβατήριο είναι τα δύο στοιχεία που διευκολύνουν τη διαδικασία παραγωγής. Η θέση των γραφείων βρίσκεται σε σημείο που να υπάρχει καλή πρόσβαση προς το κλιμακοστάσιο που παρέχει πρόσβαση στους υπόλοιπους σταθμούς εργασίας, αλλά και προς τα τμήματα του νέου ορόφου. Επίσης ο χώρος της έκθεσης μπορεί να είναι απομονωμένος από τα υπόλοιπα τμήματα και να έχει απευθείας πρόσβαση στην έξοδο του νέου ορόφου.

#### 4. Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

Η μελέτη χωροταξικής διάταξης εργοστασίου (Systematic Layout Planning) είναι η διαδικασία της τοποθέτησης των πόρων ενός εργοστασίου στο διαθέσιμο χώρο, ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία της παραγωγής, μέσω της αύξησης του ρυθμού παραγωγής και τη μείωσης του κόστους της. Ως πόροι μιας παραγωγικής μονάδας εννοούνται τόσο οι πρώτες ύλες ή προϊόντα που μετακινούνται ανάμεσα στους σταθμούς παραγωγής για να ολοκληρωθεί το τελικό προϊόν, όσο και οι μηχανές, οι σταθμοί εργασίας, οι χώροι αποθήκευσης και οι βοηθητικοί χώροι, όπως γραφεία και κοινόχρηστοι χώροι που μπορεί να διαθέτει μια εταιρία. Μια επιτυχημένη μελέτη χωροταξικής διάταξης θα οδηγήσει τόσο στη βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής, όσο και στην εργονομική διάταξη των πόρων που θα βελτιώσει τις εργασιακές συνθήκες και την ασφάλεια του προσωπικού. Και οι δύο αυτοί παράγοντες επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγής και κατά συνέπεια του κέρδους της εταιρίας.

Στην παρούσα εργασία έγινε η μελέτη χωροταξικής διάταξης για το νέο όροφο που προτίθεται να κατασκευάσει στο υπάρχον κτίσμα της υπάρχουσας εταιρίας που δραστηριοποιείται στο χώρο της κατασκευής επίπλων εξωτερικού χώρου και κατά κύριο λόγο παράγει ξαπλώστρες και ομπρέλες παραλίας ή πισίνας. Το προϊόν της εταιρίας με τις μεγαλύτερες ετήσιες πωλήσεις είναι η ξαπλώστρα τύπου ΔΙΑΣ, για την οποία η εταιρία μπορεί να προβλέψει τη ζήτηση του επόμενου χρόνου και να προγραμματίσει ανάλογα την παραγωγή της, ώστε να διατηρήσει το κατάλληλο απόθεμα ασφαλείας. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην πλήρωση όλων των αποθηκευτικών χώρων της εταιρίας με το συγκεκριμένο προϊόν, ενώ στους μήνες που η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, πολλοί άλλοι χώροι της εταιρίας χρησιμοποιούνται ως άτυποι αποθηκευτικοί χώροι για το συγκεκριμένο προϊόν, δυσχεραίνοντας κατά συνέπεια την παραγωγική διαδικασία και την ασφάλεια του προσωπικού. Για αυτό το λόγο η εταιρία αποφάσισε την ανέγερση ενός επιπλέον ορόφου στο υπάρχον κτήριο που στεγάζεται, στον οποίο θα τοποθετηθούν ένας μεγάλος αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα ΔΙΑΣ, το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων που αποτελεί πολύ μεγάλο τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας όλων το προϊόντων της εταιρίας και διάφορους βοηθητικούς και κοινόχρηστους χώρους.

Για να γίνει ολοκληρωμένη χωροταξική μελέτη του νέου ορόφου της εταιρίας, αρχικά μελετήθηκε η μορφή του σχήματος που θα πρέπει να έχει ο αποθηκευτικός χώρος για την ξαπλώστρα, ώστε να βελτιστοποιηθεί ο μέγιστος αριθμός προϊόντων που θα τοποθετηθούν εκεί. Το βέλτιστο σχήμα και οι διαστάσεις του βρέθηκαν με τη χρήση γενετικού αλγόριθμου που είχε ως δεδομένα εισόδου τους περιορισμούς στο χώρο λόγω τόσο των διαστάσεων του κτίσματος, όσο και του μέγιστου εμβαδού του χώρου που θα ήθελε να χρησιμοποιήσει η εταιρία. Με βάση τα αποτελέσματα του αλγορίθμου προτάθηκαν δύο πιθανά σχήματα, ανάλογα με τον τρόπο αποθήκευσης της ξαπλώστρας, με διαφορετικούς μέγιστους αριθμούς προϊόντων. Στη συνέχεια, με βάση τα στοιχεία προηγούμενων ετών για τις πωλήσεις της εταιρίας, έγινε μελέτη διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου που ανέδειξε την πολιτική παραγωγής που πρέπει να διατηρήσει η εταιρία προκειμένου να καλύψει την ετήσια ζήτηση, αλλά και το απόθεμα ασφαλείας του συγκεκριμένου προϊόντος που πρέπει να διατηρεί ανά πάσα στιγμή, ώστε να μην υπάρχει ανικανοποίητη ζήτηση. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ανέδειξε τον αριθμό ξαπλωστρών που πρέπει να αποθηκεύονται στο νέο χώρο αποθήκευσης και συνεπώς το βέλτιστο από τα δύο σχήματα που προέκυψαν από το γενετικό αλγόριθμο. Τέλος, έγινε η μελέτη χωροταξικής διάταξης του νέου ορόφου, ώστε να

τοποθετηθούν κατάλληλα ο αποθηκευτικός χώρος, το τμήμα επεξεργασίας υφασμάτων που πρέπει να έχει την καλύτερη δυνατή σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και διάφοροι βοηθητικοί χώροι που θέλει η εταιρία να στεγάσει στο νέο όροφο. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ανέδειξε την καταλληλότερη θέση για όλα αυτά τα τμήματα.

Τόσο τα προβλήματα διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου, όσο και τα προβλήματα χωροταξικής διάταξης μιας παραγωγικής μονάδας είναι ζωτικής σημασίας για μια εταιρία. Στην πραγματικότητα, είναι προβλήματα που δεν μπορούν να λυθούν επαρκώς από απλά μοντέλα όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία. Συχνά είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων υπολογιστικών προγραμμάτων που θα κάνουν τον προγραμματισμό της παραγωγής, όσο και τη μελέτη χωροταξικής διάταξης του εργοστασίου. Ως μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός τέτοιου προγράμματος, ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων του με αυτά που παρουσιάστηκαν και να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των συγκεκριμένων μοντέλων στη σύγχρονη εποχή. Επιπλέον, θα μπορούσε να γίνει μελέτη χωροταξικής διάταξης και για τους υπόλοιπους χώρους του εργοστασίου, προκειμένου να μελετηθεί κατά πόσον μπορεί βελτιωθεί η διαδικασία παραγωγής και των υπόλοιπων προϊόντων της εταιρίας.

## 5. Βιβλιογραφία

- Axsater, S. (2000). *Inventory Control*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Darwin, C. (1909). *The origin of species*. New York: PF Collier & son.
- Fine, B., & Leopold, E. (1990). Consumerism and the Industrial Revolution. *Social History*, 15(2), 151-179.
- Hadley, G., & Whitin, T. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc.
- Herrmann, J. W. (2006). *Handbook of production scheduling*. New York: Springer.
- Mallawaarachchi, V. (2017, July 8). *Introduction to Genetic Algorithms - Including Example Code*. Ανάκτηση από Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-genetic-algorithms-including-example-code-e396e98d8bf3>
- Michalewicz, Z. (1992). *Genetic algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Berlin Heidelberg: Springer - Verlag.
- Muther, R., & Hales, L. (2015). *Systematic Layout Planning*. Marietta, GA: Management & Industrial Research Publications.
- Tay, S., Lee, T., Hamid, N., & Ahmad, A. (2018). An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, 10(14-Special Issue), 1379-1387.
- Αδαμίδης, Ε. (2015). *Σχεδιασμός και Διοίκηση Βιομηχανικών Μονάδων*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Κυβέρνησης, Ε. τ. (2018). *Προεδρικό διάταγμα υπ' αρ. 41 - Κανονισμός πυροπροστασίας κτιρίων*. Αθήνα: Εθνικό τυπογραφείο.
- Μπερμπέρης, Α. (2010). *Συστήματα αποθήκης και ελέγχου αποθεμάτων. Επισκόπηση της περιοχής διαχείρισης αποθεμάτων, μελέτη και περιγραφή των μαθηματικών τεχνικών, ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης με την βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης SIMUL8*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Πίνακας τιμών κατανομής Poisson με μέση τιμή  $\mu_L = 2123.288$

R	$P(x \leq R)$	R	$P(x \leq R)$	R	$P(x \leq R)$	R	$P(x \leq R)$
2000	0.003600729	2050	0.0564671	2100	0.31143102	2150	0.7233796
2001	0.003846578	2051	0.0590042	2101	0.31917028	2151	0.7305637
2002	0.004107321	2052	0.0616294	2102	0.32698793	2152	0.737652
2003	0.004383723	2053	0.0643445	2103	0.33488099	2153	0.7446424
2004	0.004676578	2054	0.0671511	2104	0.34284641	2154	0.7515332
2005	0.004986709	2055	0.070051	2105	0.35088103	2155	0.7583225
2006	0.005314974	2056	0.0730459	2106	0.3589816	2156	0.7650089
2007	0.005662259	2057	0.0761372	2107	0.3671448	2157	0.7715907
2008	0.006029483	2058	0.0793266	2108	0.37536719	2158	0.7780667
2009	0.006417597	2059	0.0826156	2109	0.38364529	2159	0.7844355
2010	0.006827587	2060	0.0860057	2110	0.39197552	2160	0.7906961
2011	0.007260469	2061	0.0894982	2111	0.40035424	2161	0.7968475
2012	0.007717294	2062	0.0930945	2112	0.40877774	2162	0.8028887
2013	0.008199148	2063	0.0967959	2113	0.41724225	2163	0.808819
2014	0.008707149	2064	0.1006036	2114	0.42574395	2164	0.8146377
2015	0.009242451	2065	0.1045188	2115	0.43427896	2165	0.8203443
2016	0.00980624	2066	0.1085425	2116	0.44284337	2166	0.8259384
2017	0.010399738	2067	0.1126759	2117	0.45143322	2167	0.8314196
2018	0.011024202	2068	0.1169197	2118	0.46004451	2168	0.8367878
2019	0.011680922	2069	0.1212749	2119	0.46867322	2169	0.8420428
2020	0.012371221	2070	0.1257422	2120	0.47731532	2170	0.8471848
2021	0.013096458	2071	0.1303223	2121	0.48596673	2171	0.8522137
2022	0.013858024	2072	0.1350158	2122	0.4946234	2172	0.8571298
2023	0.014657344	2073	0.1398231	2123	0.50328124	2173	0.8619335
2024	0.015495874	2074	0.1447446	2124	0.51193618	2174	0.8666251
2025	0.016375105	2075	0.1497807	2125	0.52058414	2175	0.8712052
2026	0.017296555	2076	0.1549315	2126	0.52922107	2176	0.8756743
2027	0.018261777	2077	0.1601971	2127	0.53784292	2177	0.8800332
2028	0.019272351	2078	0.1655775	2128	0.54644569	2178	0.8842825
2029	0.020329886	2079	0.1710725	2129	0.55502537	2179	0.8884232
2030	0.02143602	2080	0.1766818	2130	0.56357801	2180	0.8924562
2031	0.022592416	2081	0.1824051	2131	0.5720997	2181	0.8963825
2032	0.023800763	2082	0.1882419	2132	0.58058657	2182	0.9002031
2033	0.025062774	2083	0.1941916	2133	0.58903479	2183	0.9039193
2034	0.026380184	2084	0.2002535	2134	0.5974406	2184	0.9075321
2035	0.02775475	2085	0.2064266	2135	0.6058003	2185	0.9110429
2036	0.029188246	2086	0.2127102	2136	0.61411025	2186	0.9144529



2037	0.030682466
2038	0.032239216
2039	0.033860319
2040	0.035547607
2041	0.037302923
2042	0.039128113
2043	0.041025032
2044	0.042995533
2045	0.045041469
2046	0.047164691
2047	0.049367041
2048	0.051650353
2049	0.054016448

2087	0.219103
2088	0.2256038
2089	0.2322113
2090	0.2389241
2091	0.2457405
2092	0.2526588
2093	0.2596773
2094	0.266794
2095	0.2740067
2096	0.2813133
2097	0.2887115
2098	0.2961989
2099	0.303773

2137	0.62236688
2138	0.63056669
2139	0.63870626
2140	0.64678228
2141	0.65479147
2142	0.6627307
2143	0.67059691
2144	0.67838712
2145	0.68609847
2146	0.69372821
2147	0.70127369
2148	0.70873235
2149	0.71610178

2187	0.9177636
2188	0.9209764
2189	0.9240928
2190	0.9271142
2191	0.9300423
2192	0.9328785
2193	0.9356246
2194	0.9382822
2195	0.940853
2196	0.9433386
2197	0.9457409
2198	0.9480615
2199	0.9503022

R	$P(x \leq R)$
2200	0.95246475
2201	0.95455096
2202	0.956562597
2203	0.958501445
2204	0.960369292
2205	0.96216792
2206	0.96389911
2207	0.965564635
2208	0.967166261
2209	0.968705741
2210	0.970184818
2211	0.971605218
2212	0.972968654
2213	0.974276817
2214	0.975531382
2215	0.976734001
2216	0.977886306
2217	0.978989903
2218	0.980046374
2219	0.981057277
2220	0.982024141
2221	0.982948467
2222	0.983831731
2223	0.984675375
2224	0.985480816
2225	0.986249438
2226	0.986982593

R	$P(x \leq R)$
2250	0.996903806
2251	0.997098396
2252	0.997281865
2253	0.99745477
2254	0.997617649
2255	0.997771014
2256	0.997915357
2257	0.998051149
2258	0.998178839
2259	0.998298859
2260	0.998411618
2261	0.998517509
2262	0.998616906
2263	0.998710168
2264	0.998797632
2265	0.998879624
2266	0.998956453
2267	0.999028411
2268	0.999095778
2269	0.999158818
2270	0.999217784
2271	0.999272915
2272	0.999324437
2273	0.999372566
2274	0.999417505
2275	0.999459447
2276	0.999498575

R	$P(x \leq R)$
2300	0.999927
2301	0.999933
2302	0.999938
2303	0.999944
2304	0.999948
2305	0.999953
2306	0.999957
2307	0.99996
2308	0.999964
2309	0.999967
2310	0.999969
2311	0.999972
2312	0.999974
2313	0.999977
2314	0.999979
2315	0.999981
2316	0.999982
2317	0.999984
2318	0.999985
2319	0.999987
2320	0.999988
2321	0.999989
2322	0.99999
2323	0.999991
2324	0.999992
2325	0.999992
2326	0.999993

2227	0.987681606
2228	0.988347765
2229	0.988982332
2230	0.989586533
2231	0.990161563
2232	0.990708585
2233	0.991228731
2234	0.9917231
2235	0.992192758
2236	0.992638742
2237	0.993062056
2238	0.993463671
2239	0.993844532
2240	0.994205548
2241	0.994547601
2242	0.994871542
2243	0.995178194
2244	0.995468351
2245	0.995742776
2246	0.996002209
2247	0.996247357
2248	0.996478906
2249	0.996697511

2277	0.999535061
2278	0.99956907
2279	0.999600755
2280	0.999630262
2281	0.999657729
2282	0.999683285
2283	0.999707054
2284	0.99972915
2285	0.999749683
2286	0.999768754
2287	0.99978646
2288	0.999802891
2289	0.999818132
2290	0.999832265
2291	0.999845362
2292	0.999857495
2293	0.999868731
2294	0.99987913
2295	0.999888751
2296	0.999897649
2297	0.999905873
2298	0.999913473
2299	0.999920491

2327	0.999994
2328	0.999994
2329	0.999995
2330	0.999995
2331	0.999996
2332	0.999996
2333	0.999996
2334	0.999997
2335	0.999997
2336	0.999997
2337	0.999998
2338	0.999998