



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΔΕΡΜΑΤΟΣ**

Κωνσταντίνος Βροντάκης

Επιβλέποντες:

Τσιναράκης Γεώργιος

Ιωαννίδης Ευστράτιος

Στην οικογένεια μου.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον κύριο Τσινιράκη Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια του, τις συμβουλές του και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της. Ακόμα τον κύριο Ιωαννίδη Ευστράτιο και Κουϊκόγλου Βασίλειο για το χρόνο που διέθεσαν κατά την διάρκεια της παρουσίασης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους και φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα. Επιπλέον οφείλω να ευχαριστήσω τον Ανδρέα Καμπιανάκη για την βοήθεια που μου παρείχε σε τεχνικά θέματα στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους της βιομηχανίας ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. για την παροχή από πλευράς τους όλων των απαιτούμενων πληροφοριών για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η γραμμή παραγωγής δερμάτων της βιομηχανίας ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε.. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με χρήση δικτύων Petri. Κατά την μοντελοποίηση υλοποιήθηκαν τρία μοντέλα παραγωγής των πέντε διαφορετικών προϊόντων που παράγονται στη συγκεκριμένη βιομηχανία, όπως αυτά προέκυψαν από την συσχέτιση τους και τις κοινές εργασίες που περιλαμβάνουν. Τα μοντέλα μελετήθηκαν εκτεταμένα με σκοπό να εντοπισθούν οι εργασίες εκείνες που περιορίζουν την αποδοτικότητα του συστήματος. Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ένα ρεαλιστικό σενάριο εγκατάστασης στη γραμμή παραγωγής μιας σύγχρονης μονάδας στεγνώματος των δερμάτων. Επιπλέον, εξετάστηκε ένα δεύτερο σενάριο που αφορά τη χρήση σύγχρονου εξοπλισμού διαπλάτυνσης των δερμάτων. Εκτελέστηκαν προσομοιώσεις των μοντέλων και για τα τρία σενάρια με στόχο τη συγκριτική τους αξιολόγηση και τον υπολογισμό ενός αριθμού παραμέτρων που είναι αναγκαίες και στα επόμενα στάδια της εργασίας.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη, με χρήση μαθηματικών μεθόδων, της ζήτησης δερμάτων για το έτος 2015, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της ζήτησης των τεσσάρων προηγούμενων ετών (2011-2014). Εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι πρόβλεψης και τα αποτελέσματα τους συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν με την χρήση έξι διαφορετικών κριτηρίων. Επιλέχθηκε η μέθοδος πρόβλεψης που παρουσίαζε την καλύτερη προσαρμογή στην τάση αλλά και στην εποχικότητα.

Στο τρίτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καταστρώθηκε και επιλύθηκε γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους. Στο μοντέλο που διαμορφώθηκε εισήχθησαν όλοι οι τεχνικοί και φυσικοί περιορισμοί, όπως π.χ. ο περιορισμός του συγκεκριμένου αριθμού δερμάτων ανά παρτίδα, γεγονός που μετέτρεψε το πρόβλημα σε γραμμικό πρόβλημα μικτού ακεραίου (MILP). Εξετάστηκαν τα εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας μεταβάλλοντας αναλόγως τις παραμέτρους (χρονικές, ποσοτικές και οικονομικές) που επηρεάζονταν. Τα αποτελέσματα της επίλυσης του γραμμικού προβλήματος παρείχαν το πλάνο ετήσιας παραγωγής και αποθεματοποίησης για κάθε σενάριο λειτουργίας της βιομηχανίας, ώστε το ετήσιο κέρδος της να είναι το μέγιστο δυνατό.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας συνοψίζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας και κατά συνέπεια αύξησης του κέρδους της υπό μελέτη βιομηχανίας. Επιπλέον παρουσιάζονται επόμενα βήματα της υλοποιούμενης μελέτης.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1 Εισαγωγή | 15 |
| 1.1 Κίνητρα | 15 |
| 1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας | 16 |
| 1.3 Μέθοδος επίλυσης | 16 |
| 1.4 Συνεισφορά και στόχος διπλωματικής εργασίας | 17 |
| 1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας | 18 |
| 2 Παρουσίαση Θεμελιωδών Εννοιών (Σχετική Θεωρία) | 20 |
| 2.1 Μοντελοποίηση | 20 |
| 2.1.1 Η διαδικασία μοντελοποίησης | 21 |
| 2.2 Δίκτυα Petri | 22 |
| 2.2.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri | 22 |
| 2.2.2 Συνήθη δίκτυα Petri | 24 |
| 2.2.2.1 Δομικά στοιχεία δικτύων Petri | 24 |
| 2.2.2.2 Μαθηματικός ορισμός συνήθων δικτύων Petri | 25 |
| 2.2.2.3 Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων | 26 |
| 2.2.2.4 Σημάνσεις δικτύων Petri | 27 |
| 2.2.2.5 Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔΡ | 28 |
| 2.3 Επεκτάσεις δικτύων Petri | 29 |
| 2.3.1 Χρονικά δίκτυα Petri | 29 |
| 2.3.2 Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri | 30 |
| 2.3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri | 31 |
| 2.4 Προσομοίωση | 34 |
| 2.5 Πρόβλεψη | 35 |
| 2.5.1 Διαδικασία Πρόβλεψης | 36 |
| 2.5.2 Μέθοδοι Πρόβλεψης | 38 |
| 2.5.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι | 38 |
| 2.5.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι | 39 |
| 2.6 Γραμμικός Προγραμματισμός | 40 |
| 2.6.1 Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος | 41 |
| 2.6.2 Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού | 42 |
| 2.6.3 Μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός | 43 |

| | |
|---|----|
| 3 Η βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. | 44 |
| 3.1 Παρουσίαση της βιομηχανίας | 44 |
| 3.2 Χώροι-Μηχανήματα | 45 |
| 3.2.1 Αποθηκευτικός χώρος τελικού προϊόντος-έκθεση | 45 |
| 3.2.2 Χώρος φινιρίσματος-πακεταρίσματος | 45 |
| 3.2.2.1 Κύλινδρος | 46 |
| 3.2.2.2 Γυαλιστική | 46 |
| 3.2.2.3 Μετρητική | 47 |
| 3.2.3 Χώρος Δέψης - Πρόδεψης | 48 |
| 3.2.3.1 Τρία Drums | 49 |
| 3.2.3.2 Βιολογικός καθαρισμός αποβλήτων | 49 |
| 3.2.4 Χώρος ενδιάμεσων εργασιών | 50 |
| 3.2.4.1 Κρεμάστρες | 51 |
| 3.2.4.2 Ξεζουμιστήρας | 51 |
| 3.2.4.3 Παστρευτική | 52 |
| 3.2.4.4 Στρωτήρας | 53 |
| 3.2.4.5 Πάγκος εκτέλεσης λοιπών εργασιών | 54 |
| 3.2.4.5.1 Τουναλέτα | 54 |
| 3.2.4.5.2 Στρωτήρι | 54 |
| 3.2.4.5.3 Καθάρισμα | 55 |
| 3.2.4.5.3 Κόψιμο | 55 |
| 3.2.5 Χώρος Στεγνωτηρίου - Βαφείου | 55 |
| 3.2.5.1 Στεγνωτήριο | 56 |
| 3.2.5.2 Βαφείο | 57 |
| 3.2.5.3 Κυλινδράκι | 57 |
| 3.2.5.4 Πρέσα | 58 |
| 3.3 Παρουσίαση προϊόντων | 58 |
| 3.3.1 Πρώτες ύλες | 58 |
| 3.3.2 Τελικά προϊόντα | 60 |
| 3.4 Διαδικασία Επεξεργασίας Δερμάτων | 60 |
| 3.5 Στάδια επεξεργασίας δερμάτων στην βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. | 65 |
| 3.5.1 Προετοιμασία | 65 |
| 3.5.2 Πρόδεψη | 65 |
| 3.5.3 Δέψη | 65 |
| 3.5.4 Διαπλάτυνση | 66 |

| | |
|---|-----|
| 3.5.4.1 Σολόδεσμα..... | 66 |
| 3.5.4.2 Βακέτα, Kudu..... | 66 |
| 3.5.5 Φινίρισμα..... | 67 |
| 3.5.5.1 Σολόδεσμα..... | 67 |
| 3.5.5.2 Βακέτα..... | 67 |
| 3.5.5.3 Kudu..... | 68 |
| 3.5.6 Βάψιμο..... | 68 |
| 3.5.7 Πακετάρισμα..... | 68 |
| 3.6 Διαγράμματα Ροής..... | 69 |
| 3.6.1 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο..... | 69 |
| 3.6.2 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη..... | 71 |
| 3.6.3 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου kudu..... | 73 |
| 3.7 Δευτερεύουσες πρώτες ύλες..... | 75 |
| 3.8 Δεδομένα πωλήσεων..... | 77 |
| 4 Μοντελοποίηση παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας..... | 81 |
| 4.1 Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την παραγωγή δερμάτων της υπό μελέτη βιομηχανίας με δίκτυα Petri..... | 81 |
| 4.1.1 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο..... | 82 |
| 4.1.1.1 Προετοιμασία..... | 91 |
| 4.1.1.2 Πρόδεψη..... | 91 |
| 4.1.1.3 Δέψη..... | 92 |
| 4.1.1.4 Διαπλάτυνση..... | 93 |
| 4.1.1.5 Φινίρισμα..... | 94 |
| 4.1.1.6 Πακετάρισμα..... | 95 |
| 4.1.1.7 Βάψιμο..... | 96 |
| 4.1.1.8 Πακετάρισμα..... | 97 |
| 4.1.2 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη..... | 97 |
| 4.1.2.1 Προετοιμασία..... | 107 |
| 4.1.2.2 Πρόδεψη..... | 107 |
| 4.1.2.3 Δέψη..... | 108 |
| 4.1.2.4 Διαπλάτυνση..... | 109 |
| 4.1.2.5 Φινίρισμα..... | 110 |
| 4.1.2.6 Πακετάρισμα..... | 111 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.2.7 Βάψιμο..... | 111 |
| 4.1.2.8 Πακετάρισμα..... | 112 |
| 4.1.3 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου Kudu | 112 |
| 4.1.3.1 Προετοιμασία | 118 |
| 4.1.3.2 Πρόδεψη..... | 118 |
| 4.1.3.3 Δέψη..... | 119 |
| 4.1.3.4 Διαπλάτυνση..... | 120 |
| 4.1.3.5 Φινίρισμα | 121 |
| 4.1.3.6 Πακετάρισμα | 122 |
| 4.2 Αποτελέσματα και αξιολόγηση παραγωγικής διαδικασίας | 122 |
| 5 Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων για το έτος 2015..... | 131 |
| 5.1 Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της συγκεκριμένης βιομηχανίας | 131 |
| 5.1.1 Απλός κινητός μέσος (Simple Moving Average) | 131 |
| 5.1.2 Διπλός κινητός μέσος (Double Moving Average) | 134 |
| 5.1.3 Μέθοδος Brown..... | 137 |
| 5.1.4 Μέθοδος Winters..... | 140 |
| 5.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων | 144 |
| 5.2.1 Μέσο σφάλμα (Mean Error - ME) | 144 |
| 5.2.2 Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean Absolute Deviation - MAD) .. | 145 |
| 5.2.3 Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean Squared Error - MSE) | 146 |
| 5.2.4 Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Percentage Error - MPE) ... | 148 |
| 5.2.5 Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) | 149 |
| 5.3 Συμπεράσματα | 150 |
| 6 Μοντελοποίηση γραμμικού προβλήματος και αριθμητικά αποτελέσματα | 152 |
| 6.1 Μαθηματικό μοντέλο προβλήματος..... | 152 |
| 6.1.1 Επίλυση του προβλήματος..... | 157 |
| 6.1.2 Αποτελέσματα σεναρίου βάσης..... | 158 |
| 6.1.3 Προγραμματισμός παραγωγής σεναρίου βάσης..... | 158 |
| 6.2 Προσαρμογή του προβλήματος για την χρήση νέας εγκατάστασης στεγνωτηρίου..... | 160 |
| 6.2.1 Αποτελέσματα με τη χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου | 161 |
| 6.2.2 Προγραμματισμός παραγωγής με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου | 162 |

| | |
|--|-----|
| 6.3 Προσαρμογή του προβλήματος για την χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης | 164 |
| 6.3.1 Αποτελέσματα με την χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης..... | 165 |
| 6.3.2 Προγραμματισμός παραγωγής με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης | 165 |
| 7 Συμπεράσματα και Προτάσεις | 168 |
| 7.1 Ανακεφαλαίωση | 168 |
| 7.2 Συμπεράσματα | 169 |
| 7.3 Προτάσεις | 169 |
| 7.4 Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας | 170 |

Πίνακας Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του | 27 |
| Εικόνα 2: Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού | 29 |
| Εικόνα 3: Τοποθεσία βιομηχανίας στο χάρτη | 44 |
| Εικόνα 4: Χώρος φινιρίσματος..... | 45 |
| Εικόνα 5: Κύλινδρος (RollingMachine) | 46 |
| Εικόνα 6: Γυαλιστική (GlazingMachine) | 47 |
| Εικόνα 7: Μετρητική (MeasuringMachine) | 48 |
| Εικόνα 8: Χώρος Δέψης-Πρόδεψης..... | 48 |
| Εικόνα 9: Drums..... | 49 |
| Εικόνα 10: Διαδικασία καθαρισμού αποβλήτων..... | 50 |
| Εικόνα 11: Βιολογικός Καθαρισμός Αποβλήτων | 50 |
| Εικόνα 12: Χώρος Ενδιάμεσων Εργασιών..... | 51 |
| Εικόνα 13: Ξεζουμιστήρας (SammymingMachine) | 52 |
| Εικόνα 14: Παστρευτική (Shaving Machine) | 53 |
| Εικόνα 15: Στρωτήρας (Setting Out Machine) | 53 |
| Εικόνα 16: Πάγκος εκτέλεσης λοιπών εργασιών..... | 54 |
| Εικόνα 17: Στρωτήρι..... | 55 |
| Εικόνα 18: Χώρος Στεγνωτηρίου-Βαφείου | 56 |
| Εικόνα 19: Στεγνωτήριο (Drying) | 56 |
| Εικόνα 20: Κυλινδράκι (Iron Machine) | 57 |
| Εικόνα 21: Πρέσα (Embossing Machine)..... | 58 |
| Εικόνα 22: Αγελάδα Αφρικής (AfricanCow) | 59 |
| Εικόνα 23: Greater kudu..... | 59 |
| Εικόνα 24: Παγκόσμια κατανομή επεξεργασίας δέρματος | 61 |
| Εικόνα 25: Ετήσια παγκόσμια παραγωγή βοδινών δερμάτων | 61 |
| Εικόνα 26: Tanning Process Description | 62 |
| Εικόνα 27: Στάδια επεξεργασίας που πραγματοποιούνται στην βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. | 63 |
| Εικόνα 28: Διαδικασία παραγωγής δερμάτων | 64 |
| Εικόνα 29: Σολόδεσμα και Σολόδεσμα Βαμμένο, διάγραμμα ροής..... | 70 |
| Εικόνα 30: Βακέτα και Βακέτα Βαμμένα, διάγραμμα ροής | 72 |
| Εικόνα 31: Kudu, διάγραμμα ροής..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 32: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου kudu | 77 |
| Εικόνα 33: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου βακέτα | 78 |
| Εικόνα 34: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου σολόδεσμα..... | 78 |
| Εικόνα 35: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη..... | 78 |
| Εικόνα 36: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο | 79 |
| Εικόνα 37: Ποσοστά πωλήσεων ανά τύπο δέρματος | 79 |
| Εικόνα 38: Παρουσίαση Μοντέλου, σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο | 83 |
| Εικόνα 39: Σολόδεσμα, Στάδιο Προετοιμασίας | 91 |
| Εικόνα 40: Σολόδεσμα, Στάδιο Πρόδεψης | 91 |
| Εικόνα 41: Σολόδεσμα, Στάδιο Δέψης | 92 |
| Εικόνα 42: Σολόδεσμα, Στάδιο Διαπλάτυνσης | 93 |
| Εικόνα 43: Σολόδεσμα, Στάδιο Φινιρίσματος | 94 |
| Εικόνα 44: Σολόδεσμα, Στάδιο Πακεταρίσματος | 95 |
| Εικόνα 45: Σολόδεσμα, Στάδιο Βαψίματος..... | 96 |
| Εικόνα 46: Σολόδεσμα Βαμμένο, Στάδιο Πακεταρίσματος | 97 |
| Εικόνα 47: Παρουσίαση Μοντέλου, Βακέτα και Βακέτα βαμμένη | 98 |
| Εικόνα 48: Βακέτα, Στάδιο Προετοιμασίας..... | 107 |
| Εικόνα 49: Βακέτα, Στάδιο Πρόδεψης..... | 107 |
| Εικόνα 50: Βακέτα, Στάδιο Δέψης..... | 108 |
| Εικόνα 51: Βακέτα, Στάδιο Διαπλάτυνσης | 109 |
| Εικόνα 52: Βακέτα, Στάδιο Φινιρίσματος..... | 110 |
| Εικόνα 53: Βακέτα, Στάδιο Πακεταρίσματος | 111 |
| Εικόνα 54: Βακέτα, Στάδιο Βαψίματος..... | 111 |
| Εικόνα 55: Βακέτα Βαμμένη, Στάδιο Πακεταρίσματος..... | 112 |
| Εικόνα 56: Παρουσίαση Μοντέλου, Kudu | 113 |
| Εικόνα 57: Kudu, Στάδιο Προετοιμασίας..... | 118 |
| Εικόνα 58: Kudu, Στάδιο Πρόδεψης | 118 |
| Εικόνα 59: Kudu, Στάδιο Δέψης..... | 119 |
| Εικόνα 60: Kudu, Στάδιο Διαπλάτυνσης | 120 |
| Εικόνα 61: Kudu, Στάδιο Φινιρίσματος | 121 |
| Εικόνα 62: Kudu, Στάδιο Πακεταρίσματος | 122 |
| Εικόνα 63: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο του απλού κινητού | 132 |
| Εικόνα 64: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου | 132 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 65: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου | 133 |
| Εικόνα 66: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου | 133 |
| Εικόνα 67: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου | 133 |
| Εικόνα 68: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου | 135 |
| Εικόνα 69: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου | 135 |
| Εικόνα 70: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου..... | 136 |
| Εικόνα 71: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου..... | 136 |
| Εικόνα 72: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου | 136 |
| Εικόνα 73: Μεταβολή δείκτη RMSE για τις διάφορες τιμές της παραμέτρου α | 138 |
| Εικόνα 74: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο Brown | 138 |
| Εικόνα 75: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο Brown | 138 |
| Εικόνα 76: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο Brown..... | 139 |
| Εικόνα 77: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο Brown..... | 139 |
| Εικόνα 78: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο Brown..... | 139 |
| Εικόνα 79: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο Winters | 142 |
| Εικόνα 80: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο Winters | 142 |
| Εικόνα 81: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο Winters | 143 |
| Εικόνα 82: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο Winters..... | 143 |
| Εικόνα 83: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο Winters..... | 143 |
| Εικόνα 84: Πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2015, για όλους τους τύπους δέρματος.. | 151 |
| Εικόνα 85: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου βάσης | 159 |
| Εικόνα 86: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου βάσης | 159 |
| Εικόνα 87: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου | 162 |
| Εικόνα 88: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου | 163 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 89: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης | 166 |
| Εικόνα 90: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης | 166 |

Πίνακας Πινάκων

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 1: Σύγκριση των πέντε διαφορετικών τύπων δερμάτων | 75 |
| Πίνακας 2: Ποσότητα δευτερευουσών πρώτων υλών ανά τύπο τελικού προϊόντος .. | 76 |
| Πίνακας 3: Περιγραφή δευτερευουσών πρώτων υλών | 76 |
| Πίνακας 4: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου σολόδερμα και σολόδερμα βαμμένο..... | 84 |
| Πίνακας 5: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου σολόδερμα και σολόδερμα βαμμένο..... | 87 |
| Πίνακας 6: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη | 99 |
| Πίνακας 7: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη | 102 |
| Πίνακας 8: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου kudu | 114 |
| Πίνακας 9: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου kudu | 115 |
| Πίνακας 10: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_2 , σεναρίου βάσης | 123 |
| Πίνακας 11: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_5 , σεναρίου βάσης | 124 |
| Πίνακας 12: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_6 , σεναρίου βάσης | 124 |
| Πίνακας 13: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_8 , σεναρίου βάσης | 124 |
| Πίνακας 14: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{10} , σεναρίου βάσης | 124 |
| Πίνακας 15: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{12} , σεναρίου βάσης | 125 |
| Πίνακας 16: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{14} , σεναρίου βάσης | 125 |
| Πίνακας 17: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{16} , σεναρίου βάσης | 125 |
| Πίνακας 18: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{19} , σεναρίου βάσης | 125 |
| Πίνακας 19: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{21} , σεναρίου βάσης | 126 |
| Πίνακας 20: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{23} , σεναρίου βάσης | 126 |
| Πίνακας 21: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{25} , σεναρίου βάσης | 126 |
| Πίνακας 22: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου βάσης..... | 127 |
| Πίνακας 23: Χρόνος επεξεργασίας σεναρίου βάσης | 128 |
| Πίνακας 24: Κόστος εργατικών ανά τύπο δέρματος..... | 129 |
| Πίνακας 25: Χρόνος επεξεργασίας 2^{ou} σεναρίου, με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου | 129 |
| Πίνακας 26: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα | 145 |
| Πίνακας 27: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέση Απόλυτη Απόκλιση | 146 |
| Πίνακας 28: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα Τετραγώνου .. | 147 |

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 29: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Τετραγωνική Ρίζα Μέσου Σφάλματος Τετραγώνου | 147 |
| Πίνακας 30: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα ... | 148 |
| Πίνακας 31: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα | 149 |
| Πίνακας 32: Αναλυτική πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2015, ανά μήνα | 150 |
| Πίνακας 33: Πίνακας $c_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 153 |
| Πίνακας 34: Πίνακας $z_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 153 |
| Πίνακας 35: Πίνακας $x_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 153 |
| Πίνακας 36: Πίνακας $n_{k,j}$, σεναρίου βάσης..... | 154 |
| Πίνακας 37: Πίνακας $m_{k,j}$, σεναρίου βάσης..... | 154 |
| Πίνακας 38: Πίνακας $D_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 154 |
| Πίνακας 39: Πίνακας $r_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 154 |
| Πίνακας 40: Πίνακας $ca_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 155 |
| Πίνακας 41: Πίνακας $cf_{k,j}$, σεναρίου βάσης | 155 |
| Πίνακας 42: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων, ανά μήνα, σεναρίου βάσης | 158 |
| Πίνακας 43: Αριθμός αποθέματος δερμάτων, ανά μήνα, σεναρίου βάσης | 158 |
| Πίνακας 44: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου βάσης | 159 |
| Πίνακας 45: Μεταβολή δυναμικότητας για το σενάριο με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου | 160 |
| Πίνακας 46: Πίνακας $D_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου.. | 161 |
| Πίνακας 47: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου, ανά μήνα..... | 161 |
| Πίνακας 48: Αριθμός αποθέματος δερμάτων με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου, ανά μήνα..... | 162 |
| Πίνακας 49: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου | 163 |
| Πίνακας 50: Πίνακας $z_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυσης | 164 |
| Πίνακας 51: Πίνακας $c_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυσης | 164 |
| Πίνακας 52: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυσης, ανά μήνα | 165 |
| Πίνακας 53: Αριθμός αποθέματος δερμάτων με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυσης, ανά μήνα | 165 |
| Πίνακας 54: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυσης | 167 |

1^ο Κεφάλαιο

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον με τον έντονο ανταγωνισμό και τις διαρκώς εντεινόμενες πιέσεις για περιορισμό των χρόνων και του κόστους παραγωγής, η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων και των παραγωγικών δυνατοτήτων, είναι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες για την επιβίωση και την ανάπτυξη των βιομηχανιών. Η μελέτη προβλημάτων σχετικά με τα βιομηχανικά συστήματα και τα συστήματα παραγωγής αποτελεί ιδιαίτερα δημοφιλές αντικείμενο στην επιστημονική κοινότητα, αφού ακόμα και μικρές αναβαθμίσεις και εξελίξεις μπορεί να οδηγήσουν σε τεράστια οφέλη. Σε αυτό συνεισφέρει το μεγάλο εύρος αντικειμένων που σχετίζονται με τα συστήματα παραγωγής καθώς και το γεγονός ότι πολλά προβλήματα δεν μπορούν να επιλυθούν αναλυτικά της λόγω ιδιαίτερα αυξημένης πολυπλοκότητας.

Στη σύγχρονη βιομηχανική πραγματικότητα όπου ο ανταγωνισμός σε όλα τα επίπεδα ολοένα γίνεται πιο ισχυρός, ο αποδοτικός προγραμματισμός της παραγωγικής διαδικασίας σε συνδυασμό με την κατάλληλη πρόβλεψη, κρίνεται κάτι παραπάνω από σημαντικός. Μία σωστή μελέτη αποφέρει σε μία βιομηχανία μεγαλύτερα κέρδη όσο και ένα πιο «υγιές» περιβάλλον λειτουργίας από την άποψη της σωστής αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων. Παρόλα αυτά ο παράγοντας της αβεβαιότητας που είναι παρόν τόσο στο επίπεδο της αγοράς και της οικονομίας όσο και της λειτουργίας μιας επιχείρησης, δεν δίδει αρκετά περιθώρια στη εκπόνηση μιας αποτελεσματικής και ρεαλιστικής μελέτης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών είναι η χρήση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών πωλήσεων, όπου σε συνδυασμό με τα εργαλεία προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό μιας λύσης που δεν είναι βέλτιστη. Για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων αποφασίστηκε να μοντελοποιηθεί ο προγραμματισμός παραγωγής σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του ετήσιου κέρδους, η βέλτιστη λύση του οποίου μπορεί να υπολογιστεί. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου έγινε στην περίπτωση ενός εργοστασίου επεξεργασίας δέρματος(βυρσοδεψείο).

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη μιας βιομηχανίας επεξεργασίας δέρματος που εδράζεται στην πόλη των Χανίων της Κρήτης. Σε πρώτο στάδιο καταγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας της μονάδας, τα στάδια κατεργασίας, η χρονική διάρκεια της κάθε εργασίας, οι τρόποι αλληλεπίδρασης καθώς και οι ροές των πρώτων υλών και των προϊόντων μέσα στην μονάδα. Στη συνέχεια γίνεται μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής των πέντε διαφορετικών ειδών δέρματος και με τη βοήθεια προσομοιώσεων μελετώνται εναλλακτικά σενάρια παραγωγής. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τους διάφορους περιορισμούς (φυσικούς, τεχνολογικούς και οικονομικούς) με αποτέλεσμα να προσεγγιστεί ο τρόπος λειτουργίας σαν ένας συνδυασμός πολλών παραμέτρων που λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές και με χαρακτηριστικά που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους.

Με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, πραγματοποιείται η πρόβλεψη του όγκου παραγωγής σε επίπεδο μήνα για κάθε κατηγορία δέρματος ξεχωριστά και σε συνεργασία με το βασικό στέλεχος της επιχείρησης. Στη συνέχεια επιλέγεται το πιο αποδοτικό και κατά συνέπεια το πιο έγκυρο μοντέλο, συγκρίνοντας τα. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν, από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος, προτείνεται μηνιαίο πλάνο παραγωγής που μεγιστοποιεί το κέρδος, στηριζόμενο στις πωλήσεις των προηγούμενων ετών, από όπου αντλήθηκαν και τα δεδομένα. Δηλαδή, αντικείμενο της εργασίας είναι ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής της υπό μελέτη μονάδας σε επίπεδο μήνα.

1.3 Μέθοδος επίλυσης

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή για την ανάπτυξη του πλαισίου μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, είναι τα χρονικά δίκτυα Petri (ΔΡ) κι οι επεκτάσεις τόξων. Τα ΔΡ συνδυάζουν ένα απλό γραφικό περιβάλλον, που αυξάνει σημαντικά τη δυνατότητα κατανόησης κι εποπτικής παρακολούθησης της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος, με ένα πλήρες μαθηματικό πλαίσιο που διευκολύνει την χρήση των κατασκευαζόμενων μοντέλων για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των συστημάτων που αναπαριστούν. Επιπλέον, τα μοντέλα που κατασκευάζονται με ΔΡ είναι πιο συμπυκνωμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα που προκύπτουν με χρήση άλλων εργαλείων μοντελοποίησης όπως για παράδειγμα, τα αυτόματα. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί το γεγονός πως διαθέτουν πλήρη συλλογή από εργαλεία ανάλυσης και μπορούν να συνδυαστούν με άλλα εργαλεία για την ικανοποίηση πιο εξειδικευμένων αναγκών.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται ποσοτικά μοντέλα μαθηματικής πρόβλεψης για τα διαφορετικά είδη-προϊόντα δέρματος που παράγονται για το έτος 2015 αξιοποιώντας τα δεδομένα πωλήσεων των τελευταίων τεσσάρων ετών. Βασισμένα στις ποσότητες που υπολογίζονται, δημιουργείται γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους με τους αντίστοιχους τεχνολογικούς και φυσικούς περιορισμούς. Από την επίλυση του υπολογίζονται οι μηνιαίες ποσότητες παραγωγής και αποθεματοποίησης τέτοιες που επιτυγχάνουν την μεγιστοποίηση του κέρδους. Έτσι πραγματοποιείται ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής σε ετήσιο και μηνιαίο επίπεδο.

1.4 Συνεισφορά και στόχος διπλωματικής εργασίας

Η ιδέα εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ξεκίνησε από την ανάγκη για βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας στο συγκεκριμένο κλάδο όπου οι απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται και τη διαπίστωση πως πολλές σημαντικές αποφάσεις και διαδικασίες για την λειτουργία της μονάδας εκτελούνται και προσδιορίζονται εμπειρικά. Σε συνεργασία με τα βασικά στελέχη της επιχείρησης και με τους ίδιους τους εργαζόμενους, δόθηκε η δυνατότητα για την άντληση όλων των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για την παραγωγική διαδικασία. Πολλά από τα στοιχεία αυτά είναι ευαίσθητα-απόρρητα και αφορούν κατά κύριο λόγο τη σχέση με τους προμηθευτές, τις πρώτες ύλες, τα έσοδα, τα έξοδα, τη δυναμικότητα του συστήματος αλλά κυρίως τις επιμέρους αναλυτικές διαδικασίες που απαιτούνται για την επεξεργασία των διαφόρων ειδών δέρματος.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τη χωροθέτηση, τη διασύνδεση, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών και την δυναμικότητα των αποθηκών, σε συνδυασμό με τις παραγωγικές δυνατότητες θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο λειτουργίας του εργοστασίου, το οποίο θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης μέσω προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που θα γίνει για τις απαιτήσεις σε τελικά προϊόντα για το 2015, θα χρησιμοποιηθούν για τον τελικό προγραμματισμό παραγωγής σε ετήσια και μηνιαία βάση για το εργοστάσιο ώστε να βελτιστοποιούν τη συνάρτηση κόστους που υπολογίστηκε.

1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται και οι αντικειμενικοί στόχοι που τέθηκαν καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στις κύριες έννοιες των δικτύων Petri, η διασαφήνιση των οποίων κρίνεται αναγκαία, αφού τα δίκτυα Petri χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση και προσομοίωση της υπό μελέτη γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των όρων μοντελοποίησης, προσομοίωσης, πρόβλεψη και γραμμικός προγραμματισμός που αποτελούν αντικείμενα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υπό μελέτη βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε.. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή και ιστορική αναδρομή της εταιρίας από το ξεκίνημα της μέχρι σήμερα. Έπειτα παρουσιάζονται οι χώροι και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή. Ακολούθως, γίνεται ανάλυση των παραγόμενων προϊόντων της βιομηχανίας όπως επίσης και των πρώτων υλών που απαιτούνται για το εκάστοτε τελικό προϊόν. Στην συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας για κάθε τύπο δέρματος ξεχωριστά, συμπεριλαμβάνοντας και τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής. Στην τελευταία παράγραφο του κεφαλαίου αυτού, καταγράφονται τα δεδομένα πωλήσεων της βιομηχανίας ανά τύπο τελικού προϊόντος, όπως αυτά παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας για την τελευταία τετραετία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υλοποιούνται τα μοντέλα για το κάθε προϊόν ξεχωριστά, με δίκτυα Petri. Στη συνέχεια αναλύεται βήμα-βήμα η διαδικασία δημιουργίας των μοντέλων, παρουσιάζοντας την σημασία του κάθε κόμβου αλλά και του τρόπου σύνδεσης του με τους υπόλοιπους. Εξετάζονται εναλλακτικά ρεαλιστικά σενάρια λειτουργίας της βιομηχανίας με αναβάθμιση του τεχνολογικού εξοπλισμού. Έπειτα συλλέγονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις των σεναρίων και αναλύονται.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η πρόβλεψη της ζήτησης της βιομηχανίας για το έτος 2015, χρησιμοποιώντας δεδομένα των τεσσάρων προηγούμενων ετών. Αναλύονται οι μέθοδοι πρόβλεψης, όπως επίσης και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση τους. Τέλος επιλέγεται η μέθοδος πρόβλεψης που παρουσιάζει τα πιο ρεαλιστικά δεδομένα και παρουσιάζεται αναλυτικά η προβλεπόμενη ζήτηση ανά τύπο τελικού προϊόντος.

Στο έκτο κεφάλαιο το πρόβλημα προγραμματισμού της παραγωγής μοντελοποιείται σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους. Αφού αναλύονται όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, η αντικειμενική συνάρτηση και οι μεταβλητές απόφασης, πραγματοποιείται η επίλυση του. Έπειτα το πρόβλημα προσαρμόζεται σε όλα εναλλακτικά τα σενάρια που εξετάστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται και αναλύονται, επιλέγοντας ταυτόχρονα το βέλτιστο, ενώ προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Βάσει αυτών προτείνεται ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής για την κάλυψη της ζήτησης του έτους 2015.

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια, προτείνοντας παράλληλα λύσεις για την αύξηση της παραγωγής ή/και αύξηση του ετήσιου κέρδους.

2^ο Κεφάλαιο

Παρουσίαση Θεμελιωδών Εννοιών (Σχετική Θεωρία)

2.1 Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι η διαδικασία αναπαράστασης των πραγματικών δεδομένων του συστήματος αυτού που είναι διαθέσιμα, με σκοπό την αναπαραγωγή του φυσικού συστήματος (μαθηματικά, στο εργαστήριο ή μέσω προσομοίωσης με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών). Το μοντέλο ενός συστήματος είναι η απλοποιημένη αναπαράσταση του, που περιέχει λογικές ή / και μαθηματικές συσχετίσεις που περιγράφουν το σύστημα σε όρους κατάστασης, οντοτήτων (συστατικών μερών του) και των χαρακτηριστικών τους, συνόλων, γεγονότων, ενεργειών και καθυστερήσεων. Εναλλακτικά ένα μοντέλο ορίζεται ως ένας αλγόριθμος ή ως ένα σύνολο από εξισώσεις το οποίο συνδυάζεται με ένα σύνολο από τιμές δεδομένων (π.χ. αρχικές συνθήκες και τιμές) για να αναπαραστήσει τη σημαντική συμπεριφορά ενός συστήματος, μιας διαδικασίας ή ενός φαινομένου.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του κάτω από διαφορετικές συνθήκες (για διαφορετικές τιμές παραμέτρων ή διαφορετικές συναρτήσεις εισόδου). Το μοντέλο ενός συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπέρα για τη σχεδίαση ή επανασχεδίαση του, για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή που διασφαλίζει πως η συμπεριφορά του ικανοποιεί δεδομένους περιορισμούς κι απαιτήσεις, για την εξερεύνηση, επαλήθευση και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του σύμφωνα με συγκεκριμένες αντικειμενικές συναρτήσεις και για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της συμπεριφοράς του.

Σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η κατασκευή ενός μοντέλου αποτελεί η δυνατότητα για μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς κι αποδοτικότητας του συστήματος κάτω από ακραίες συνθήκες λειτουργίας που για διάφορους λόγους δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (λόγω της ύπαρξης κινδύνων, μεγάλου κόστους ή ακόμα και της πρόκλησης αντιδράσεων) ή σε περιπτώσεις που το φυσικό σύστημα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό στην αρχή της παραγράφου, τα μοντέλα αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις των αντίστοιχων συστημάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή η αναπαράσταση του συνόλου των πλευρών, των χαρακτηριστικών,

των διαδικασιών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ενός συστήματος θα οδηγούσε σε μοντέλα αντίστοιχης πολυπλοκότητας με τα πραγματικά συστήματα. Στην περίπτωση αυτή, τα μοντέλα που θα προέκυπταν δε θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παραπέρα για τη μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος, αφού τα υπάρχοντα εργαλεία ανάλυσης θα ήταν άχρηστα, ενώ για να προκύψουν κάποια αποτελέσματα θα απαιτούνταν μεγάλος χρόνος και υπολογιστική ισχύς. Η πραγματική πρόκληση της μοντελοποίησης είναι η εύρεση του αναγκαίου αριθμού αρχών, γεγονότων και διαδικασιών που συνθέτουν την παρατηρούμενη πολυπλοκότητα ενός συστήματος, τα οποία σε συνδυασμό με μια σειρά από σωστά ορισμένες παραδοχές περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του. Επιπλέον, οι ανάγκες μοντελοποίησης, ανάλυσης ή ελέγχου έχουν σημαντική επιρροή στο γεγονός αν ένα σύστημα πρέπει να θεωρηθεί υβριδικό ή όχι [1].

2.1.1 Η διαδικασία μοντελοποίησης

Ο σκελετός της διαδικασίας μοντελοποίησης αναπτύχθηκε από τους Bandler και Grinder και συνοψίζεται στα ακόλουθα 5 βήματα [2]:

1. Αναγνώρισε τα συστατικά μέρη του μοντέλου.
2. Συγκέντρωσε πληροφορίες για τις μεταξύ τους σχέσεις, προτεραιότητες, τρόπους σύνδεσης και λειτουργίας, χαρακτηριστικά, χρήση κοινών πόρων.
3. Κατασκεύασε το μοντέλο.
4. Δοκίμασε το μοντέλο χρησιμοποιώντας το (αν μπορείς να γίνει κατά αντιπαράσταση με το πραγματικό σύστημα, όποτε τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα).
5. Τροποποίησε το μοντέλο αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο κι όρισε την αρχική του κατάσταση.

Τα πέντε βήματα δεν αποτελούν γραμμική διαδικασία, αφού κάθε ένα τροφοδοτεί τα επόμενα κι ανατροφοδοτεί τα προηγούμενα, οδηγώντας σε αρκετές επαναλήψεις τον αλγόριθμο μέχρι να μοντέλο να λάβει την οριστική του μορφή. Επιπλέον, η τελική μορφή αναθεωρείται οποτεδήποτε προκύψουν νέα δεδομένα, το μοντέλο αποδειχθεί ανεπαρκές για την περιγραφή καταστάσεων, επεκταθεί ή τροποποιηθεί η χρήση του συστήματος.

Η παραπάνω διαδικασία χωρίζεται στο στάδιο κατασκευής και το στάδιο προσομοίωσης του μοντέλου. Στο πρώτο, δημιουργούνται η βασική δομή κι οι κανόνες του μοντέλου για να του δώσουν την μορφή που μπορεί να περιγράψει τις καταστάσεις που συναντιούνται στο σύστημα. Στη συνέχεια το μοντέλο πρέπει να αναλυθεί με χρήση

κατάλληλων εργαλείων και να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του, ώστε να αποφευχθούν λάθη που δυσχεραίνουν τη χρήση του και μειώνουν την αποτελεσματικότητά του. Στο στάδιο του τρεξίματος, το μοντέλο διερευνάται κι εξετάζεται κατά πόσον η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σε αυτή του πραγματικού συστήματος. Κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά του μπορούν να τροποποιηθούν, αλλά η βασική του δομή παραμένει αναλλοίωτη.

2.2 Δίκτυα Petri

2.2.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri

Τα ΔΡ είναι ένα θεωρητικό μοντέλο ροής πληροφορίας. Οι έννοιες, ιδιότητες, χαρακτηριστικά, εργαλεία ανάλυσης και τεχνικές που σχετίζονται με αυτά αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια για εύρεση απλών, φυσικών κι αποτελεσματικών μεθόδων για περιγραφή κι ανάλυση της ροής πληροφορίας και του ελέγχου συστημάτων [3].

Τα δίκτυα Petri συνδυάζουν γραφικά και μαθηματικά εργαλεία για τη μοντελοποίηση συστημάτων που χαρακτηρίζονται ως παράλληλα, κατανεμημένα, ασύγχρονα, μη αιτιοκρατικά ή στοχαστικά. Οι δυνατότητες γραφικής αναπαράστασης τους αποκτούν επιπλέον αξία από το γεγονός ότι τα μοντέλα που κατασκευάζονται συντίθενται από μικρό αριθμό τύπων στοιχείων, με αποτέλεσμα να αποτελούν μια γλώσσα μοντελοποίησης, η χρήση της οποίας μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή [4]. Ως γραφικό εργαλείο τα ΔΡ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο απεικόνισης κι επικοινωνίας παρόμοιο με τα διαγράμματα ροής, τα λογικά δέντρα και τα δομικά διαγράμματα. Σε σχέση με άλλες τεχνικές γραφικής αναπαράστασης είναι κατάλληλα για αναπαράσταση με φυσικό τρόπο λογικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ή των δραστηριοτήτων σε ένα σύστημα. Τα ΔΡ συνδυάζοντας την έννοια της κατανεμημένης κατάστασης με ένα κανόνα αλλαγής κατάστασης, υλοποιούν τα στατικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά πραγματικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπολογιστικών εργαλείων που επιτρέπουν την προσομοίωσή τους, τα καθιστούν ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο ανάπτυξης πολύπλοκων συστημάτων. Ως μαθηματικό εργαλείο χρησιμοποιούνται για την κατάστρωση εξισώσεων κατάστασης, αλγεβρικών εξισώσεων κι άλλων μαθηματικών μοντέλων που καθορίζουν τη συμπεριφορά των συστημάτων [5]. Επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από θεωρητικούς αλλά και από εφαρμοσμένους επιστήμονες, αποτελούν ισχυρό μέσο επικοινωνίας και συνεννόησης μεταξύ μελών των δύο αυτών ομάδων [6].

Κάποιες από τις πλέον κοινές καταστάσεις συστημάτων διακριτών γεγονότων για την αναπαράσταση των οποίων χρησιμοποιούνται δίκτυα Petri περιλαμβάνουν αμοιβαία αποκλειόμενα γεγονότα, κατανομή κοινών πόρων σε ένα σύστημα, περιορισμούς προαπαιτούμενων κι ακολουθίες γεγονότων. Τα βασικότερα αντικείμενα για τα οποία χρησιμοποιούνται τα ΔΡ είναι η μοντελοποίηση, ανάλυση συμπεριφοράς, αξιολόγηση αποδοτικότητας, επιβεβαίωση δομικών ιδιοτήτων, προσομοίωση, παρακολούθηση, χρονοπρογραμματισμός, εποπτικός έλεγχος κι έλεγχος σε πραγματικό χρόνο συστημάτων [6]. Τα ΔΡ μπορούν να εντοπίσουν παράγοντες που δρουν περιοριστικά στην απόδοση ενός συστήματος, προτείνοντας παράλληλα αλλαγές και βελτιώσεις που θα βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του [7]. Επιπλέον, μπορούν να προσομοιώσουν τις δυναμικά εξελισσόμενες και παράλληλες δραστηριότητες των συστημάτων, επιτρέπουν την ιεραρχική μοντελοποίηση και τη μοντελοποίηση συστημάτων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας.

Οι επιστημονικοί τομείς στους οποίους έχουν μέχρι σήμερα χρησιμοποιηθεί τα δίκτυα Petri προέρχονται από χώρους με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ένας από τους τομείς στον οποίο παρατηρείται μεγάλος αριθμός και ποικιλία εφαρμογών των ΔΡ είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα συστήματα επεξεργασίας πληροφορίας. Προβλήματα σχετικά με ηλεκτρονικούς υπολογιστές στα οποία χρησιμοποιούνται ΔΡ αναφέρονται σε πρωτοκόλλα επικοινωνίας και κατανεμημένα συστήματα, συστήματα πολυμέσων, επεξεργασία δεδομένων, μεταγλωττιστές, τοπικά δίκτυα, ψηφιακά κυκλώματα, υπολογιστικά συστήματα ροής δεδομένων, πληροφοριακά συστήματα γραφείου, ηλεκτρονικές υπηρεσίες και κατανεμημένες ηλεκτρονικές επιχειρήσεις, μοντελοποίηση υλικού (hardware), ψηφιακά φίλτρα, συστήματα μνήμης πολλαπλών επεξεργαστών, αναζήτηση κι επαλήθευση γνώσης, συστήματα πολλαπλών πρακτόρων, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και κέντρα, VLSI, αλγοριθμικά συστατικά, παράλληλα προγράμματα και βάσεις δεδομένων.

Τα ΔΡ έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλούς ακόμα τομείς, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης κι αξιολόγησης αποδοτικότητας συστημάτων πολλών εξυπηρετητών - πολλαπλών ουρών, μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, εφοδιαστικών αλυσίδων, χημικών εργοστασίων, ενεργειακών συστημάτων, αυτοματοποίησης εργοστασίων, συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας (εναέριας ή επίγεια), προβλήματα χρονοπρογραμματισμού κι ελέγχου σιδηροδρομικών δικτύων, συστήματα στρατιωτικών εντολών κι ελέγχου, επιλογή συμπεριφοράς πλοήγησης, εφαρμογές ρομποτικού ελέγχου, προσομοίωση πολλαπλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών και διαχείριση έργων.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επέκταση στη χρήση των δικτύων Petri σε εφαρμογές που απέχουν σημαντικά από τις παραδοσιακές εφαρμογές μηχανικών. Τέτοια παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μελέτη συμπεριφοράς κι αντίδρασης ομάδων ή ατόμων κάτω από δεδομένες συνθήκες, μοντέλα αποφάσεων, διαδικασιών εξέλιξης και νευρωνικών δικτύων, εφαρμογές προερχόμενες από την εργονομία (π.χ. διάγνωση σφαλμάτων [8]), εφαρμογές στην ιατρική και τη βιοτεχνολογία [9], μοντελοποίηση βιολογικών διαδικασιών (μεταβολικών διαδικασιών) και βιοχημεία, μοντελοποίηση οικολογικών διαδικασιών και περιβαλλοντικών θεμάτων [10].

2.2.2 Συνήθη δίκτυα Petri

Τα συνήθη δίκτυα Petri (Ordinary Petri Nets - OPNs) αποτέλεσαν το βασικό μοντέλο για όλες τις παραλλαγές και επεκτάσεις που προέκυψαν στη συνέχεια. Το αρχικό μοντέλο δεν περιλαμβάνει σύνδεση με την έννοια του χρόνου, αλλά αναπαριστά ακολουθίες εκτέλεσης διακριτών γεγονότων καθώς και τις λογικές συνδέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μερών του υπό μελέτη συστήματος. Η ακολουθία εκτέλεσης των γεγονότων σε ένα σύστημα μοντελοποιημένο με ΔΡ είναι μια από τις επιτρεπόμενες από τη δομή του δικτύου, γεγονός που οδηγεί σε μη αιτιοκρατία στην εκτέλεση του.

2.2.2.1 Δομικά στοιχεία δικτύων Petri

Ένα ΔΡ είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που αποτελείται από δύο τύπους κόμβων τις θέσεις και τις μεταβάσεις, στο οποίο ένα σύνολο από αφηρημένες οντότητες που από εδώ και πέρα θα ονομάζονται τελείες (tokens) μετακινούνται, δημιουργούνται ή εξαφανίζονται. Γραφικά οι τελείες συμβολίζονται ως μαύρες τελείες (•) και δεν εμφανίζονται αυτόνομα στο δίκτυο, αλλά αλληλοεπιδρούν με τους δύο τύπους κόμβων που το συνθέτουν.

Οι θέσεις περιγράφουν τις καταστάσεις (κάθε θέση μια μερική κατάσταση) και τους πόρους του συστήματος κι αντιπροσωπεύονται γραφικά από κύκλους (○). Οι θέσεις είναι τα παθητικά στοιχεία του δικτύου, που αναφέρονται και ως δίαυλοι κι είναι ικανά να αποθηκεύσουν υλικά (π.χ. κομμάτια σε μηχανές και αποθήκες) και μη (π.χ. πληροφορίες) συστατικά ενός συστήματος. Ο σκοπός των θέσεων είναι να αναπαραστήσουν την αποκεντρωμένη φύση του συστήματος και την κατανομημένη κατάσταση της πληροφορίας σε ένα σύνθετο σύστημα [11].

Οι μεταβάσεις έχουν την έννοια των γεγονότων που συμβαίνουν στο σύστημα κι η πραγματοποίησή τους μεταβάλλει την κατάσταση του. Γραφικά αντιπροσωπεύονται από τετράγωνα ή μπάρες (\square ή —) κι αποτελούν τα ενεργά στοιχεία του συστήματος. Μια μετάβαση μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ενέργεια, μια διαδικασία, μια επεξεργασία, μια δραστηριότητα, το υπολογιστικό βήμα ενός αλγορίθμου, μια λογική πρόταση ή ένα επεξεργαστή σήματος [12]. Οι μεταβάσεις αναφέρονται και ως υπηρεσίες κι είναι ικανές να παράγουν, να μεταφέρουν ή να μετατρέπουν τελείες. Οι θέσεις μαζί με τις μεταβάσεις αναπαριστούν τη στατική δομή ενός δικτύου Petri ενώ οι τελείες καθορίζουν τη δυναμική του κατάσταση.

Τα στοιχεία των δύο συνόλων κόμβων συνδέονται με χρήση προσανατολισμένων τόξων (τα τόξα συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις ή το αντίστροφο, αλλά ένα τόξο δεν επιτρέπεται να συνδέσει στοιχεία του ίδιου συνόλου). Τα τόξα αναπαριστούν φυσική σύνδεση, δικαιώματα πρόσβασης, λογικές συνδέσεις μεταξύ θέσεων και μεταβάσεων, απαίτηση σε πόρους, την εξαγωγή συμπερασμάτων, ενώ καθορίζουν την προτεραιότητα στην εκτέλεση ανταγωνιζόμενων εργασιών ή τη σειρά με την οποία κάποιες εργασίες θα εκτελεστούν. Γενικά, κάθε τόξο συνοδεύεται από ένα θετικό ακέραιο που αντιπροσωπεύει το βάρος πολλαπλότητας του. Σε περίπτωση που για κάποιο τόξο δεν εμφανίζεται ο αριθμός αυτός, το βάρος του θεωρείται μοναδιαίο. Στα συνήθη ΔΡ, τα βάρη όλων των τόξων είναι ίσα με τη μονάδα.

Οι τελείες αποθηκεύονται μέσα στις θέσεις του δικτύου, ενώ ταξιδεύουν μέσω των τόξων κι η ροή τους στο δίκτυο ρυθμίζεται από τις μεταβάσεις που τίθενται σε ετοιμότητα από την παρουσία τους στις κατάλληλες θέσεις. Όταν μια θέση περιέχει μεγάλο αριθμό τελειών αναγράφεται μέσα σε αυτή ο αντίστοιχος αριθμός. Οι τελείες σε μια θέση αναπαριστούν τη διαθεσιμότητα ενός πόρου, την κατάσταση του πόρου (π.χ. αν μια μηχανή είναι διαθέσιμη ή όχι), υποθέσεις ή σήματα εισόδου κι εξόδου. Το βάρος πολλαπλότητας ενός τόξου αντιστοιχεί στον αριθμό από τελείες που προστίθενται ή αφαιρούνται στη θέση εισόδου (ή στις θέσεις εισόδου) ή εξόδου αντίστοιχα της μετάβασης που λειτουργεί.

2.2.2.2 Μαθηματικός ορισμός συνήθων δικτύων Petri

Ένα σύννηθες δίκτυο Petri είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που ορίζεται από την πεντάδα στοιχείων: $\Delta P = \{P, T, I, O, m_0\}$, όπου

- $P = \{p_1, p_2 \dots p_{np}\}$ είναι ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από θέσεις.
- $T = \{t_1, t_2 \dots t_{nt}\}$ ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από μεταβάσεις.

Η τομή των συνόλων των θέσεων και των μεταβάσεων είναι το κενό σύνολο ($P \cap T = \emptyset$), ενώ η ένωση τους ορίζει το σύνολο V των κόμβων του δικτύου $P \cup T = V$.

- $I: (P \times T) \rightarrow N$ είναι ο πίνακας συμβάντων εισόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των τόξων με κατεύθυνση από θέσεις προς μεταβάσεις.
- $O: (P \times T) \rightarrow N$ είναι ο πίνακας συμβάντων εξόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των κατευθυνόμενων τόξων από μεταβάσεις προς θέσεις αντίστοιχα.

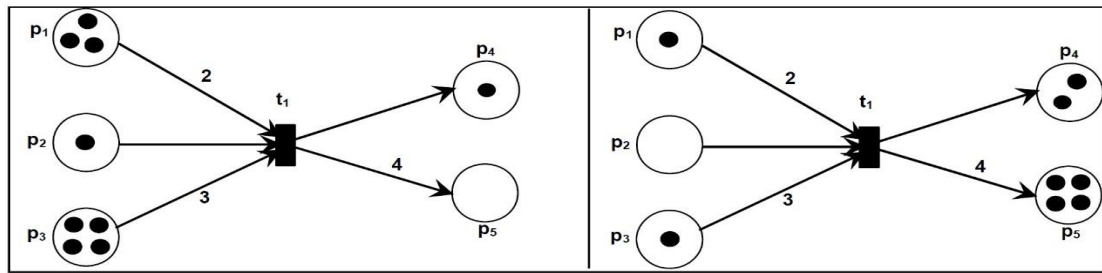
Το σύνολο των τόξων ενός δικτύου PetriA, είναι $A = I \cup O$. Το αναπαριστά το σύνολο των μη αρνητικών ακεραίων αριθμών.

- m_0 συμβολίζεται η αρχική σήμανση του ΔΡ, δηλαδή η αρχική κατανομή των τελειών στις θέσεις του (οι αριθμοί τελειών που βρίσκονται σε κάθε θέση).

2.2.2.3 Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων

Για να ενεργοποιηθεί μια μετάβαση, πρέπει να είναι πρώτα σε ετοιμότητα. Στα συνήθη ΔΡ μια μετάβαση είναι σε ετοιμότητα (enabled) όταν όλες οι θέσεις εισόδου της περιέχουν τουλάχιστον μια τελεία. Δηλαδή, η $t \in T$ είναι σε ετοιμότητα αν $m(p_i) > 0$ για κάθε $p_i \in P$ για το οποίο ισχύει $I(p_i, t) = 1$. Οι θέσεις εισόδου μιας μετάβασης έχουν δηλαδή την έννοια των προϋποθέσεων για την ενεργοποίηση της. Γενικά, μια μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα όταν όλες οι θέσεις εισόδου περιέχουν αριθμό από τελείες μεγαλύτερο ή ίσο των βαρών των αντίστοιχων τόξων σύνδεσης της μετάβασης με τις θέσεις εισόδου. Μία μετάβαση ενεργοποιείται (fires) μέσω της απομάκρυνσης τελειών από τις θέσεις εισόδου της και της προσθήκης τελειών στις θέσεις εξόδου της, σύμφωνα με τα βάρη των αντίστοιχων τόξων. Ο αριθμός των τελειών που αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου δεν είναι πάντα ίδιος με τον αριθμό τελειών που προστίθενται στις θέσεις εξόδου. Ο παραπάνω μηχανισμός ενεργοποίησης μεταβάσεων είναι γνωστός κι ως “token game”.

Υπάρχουν περιπτώσεις που μια μετάβαση σε ετοιμότητα δεν ενεργοποιείται, όπως για παράδειγμα όταν περισσότερες από μια μεταβάσεις έχουν μια κοινή θέση εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Στην πράξη, το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε προβλήματα κατανομής κοινών πόρων σε ένα σύστημα και σε προβλήματα αμοιβαία αποκλειόμενων γεγονότων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μεταβολή της κατανομής τελειών σε ένα απλό ΔΡ που προκαλείται από την ενεργοποίηση της μετάβασης του.



Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του

Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εισόδου ονομάζεται μετάβαση πηγής (source transition) και τροφοδοτεί με τελείες το σύστημα χωρίς να καταναλώνει κάποιες από τις υπάρχουσες. Το φαινόμενο αυτό αντιστοιχεί στην εμφάνιση για παράδειγμα μη ελεγχόμενων γεγονότων, όπως οι βλάβες κι οι αφίξεις παραγγελιών σε ένα σύστημα. Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εξόδου ονομάζεται μετάβαση βύθισης (sink transition) και καταναλώνει τελείες χωρίς να παράγει νέες. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται για παράδειγμα σε ένα σύστημα όταν τα έτοιμα προϊόντα απομακρύνονται για να παραδοθούν στους πελάτες.

2.2.2.4 Σημάνσεις δικτύων Petri

Η κατάσταση ενός ΔΡ περιγράφεται κάθε στιγμή από τη σήμανσή του, η οποία προκύπτει από την αντιστοίχιση σε κάθε θέση ενός μη αρνητικού ακέραιου αριθμού που αναπαριστά τον αριθμό από τελείες που βρίσκονται σε αυτή την τρέχουσα στιγμή. Η σήμανση ενός ΔΡ συμβολίζεται με το γράμμα m κι είναι ένα διάνυσμα μεγέθους ίσου με τον αριθμό θέσεων του. Η αρχική σήμανση ενός ΔΡ είναι υπεύθυνη για όλες τις σημάνσεις που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση των διαδοχικών ενεργοποιήσεων. Οι σημάνσεις αυτές συμβολίζονται ως m_i , όπου ο δείκτης i είναι θετικός ακέραιος αριθμός που δείχνει τον αύξοντα αριθμό της τρέχουσας ενεργοποίησης.

Όταν σε ένα ΔΡ η κατάσταση του οποίου περιγράφεται αρχικά από τη σήμανση m_i , ενεργοποιηθεί μια μετάβαση t_j σε ετοιμότητα, προκύπτει η νέα του σήμανση m_{i+1} που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$m_{i+1}(p_j) = m_i(p_j) + O(p_j, t_i) - I(p_j, t_i), \text{ για } j = 1, 2, \dots, n$$

όπου n ο αριθμός των θέσεων που συνθέτουν το δίκτυο. Η σήμανση m_{i+1} λέγεται προσεγγίσιμη από την αρχική σήμανση m_i . Η αλλαγή κατάστασης του ΔΡ από m_{i+1} σε m_{i+1}

λόγω της ενεργοποίησης της t_j συμβολίζεται ως: $m_i \xrightarrow{t_j} m_{i+1}$

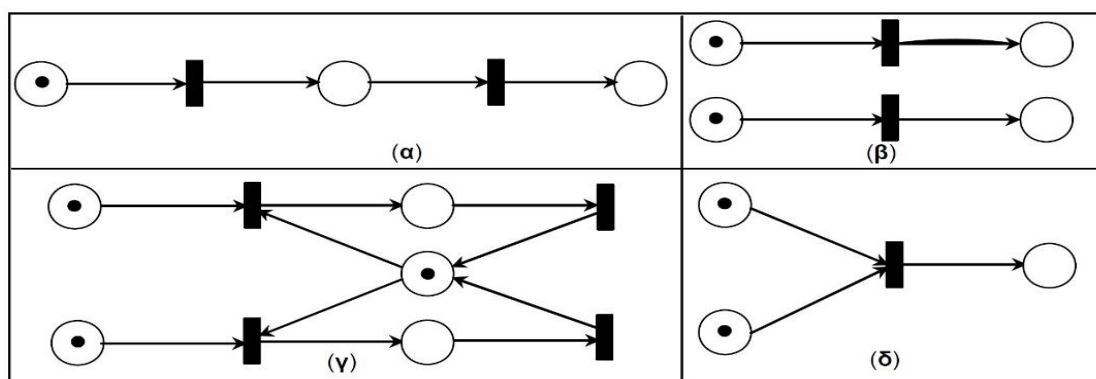
2.2.2.5 Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔΡ

Οι πιο βασικές καταστάσεις που εμφανίζονται κατά τη μελέτη συστημάτων διακριτών γεγονότων είναι η ακολουθία γεγονότων, η παραλληλία, ο αμοιβαίος αποκλεισμός κι ο συγχρονισμός. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ΔΡ ανταποκρίνονται στις ανάγκες μοντελοποίησης τους. Δύο επιπλέον καταστάσεις συνήθεις για τα συστήματα διακριτών γεγονότων είναι το αδιέξοδο και η σύγκρουση.

Η ακολουθία ή ακολουθιακή συμπεριφορά αναφέρεται σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από δύο μεταβάσεις, όπου η θέση εξόδου της πρώτης αποτελεί τη θέση εισόδου της δεύτερης. Στην περίπτωση αυτή η δεύτερη μετάβαση δε μπορεί να ενεργοποιηθεί αν δεν προηγηθεί ενεργοποίηση της πρώτης. Η παραλληλία ή ταυτοχρονισμός συμβαίνει όταν δύο μεταβάσεις είναι σε ετοιμότητα και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (δεν έχουν κοινές εισόδους, ή οι θέσεις εξόδου της μιας δεν αποτελούν εισόδους στην άλλη), οπότε μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός συνδέεται με την ύπαρξη κοινών πόρων σε ένα σύστημα. Σε αυτόν, δύο μεταβάσεις είναι παράλληλα σε ετοιμότητα σε κάποια σήμανση, όμως δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν κι οι δύο εξαιτίας της ύπαρξης κοινής θέσης εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Η ενεργοποίηση της μιας μετάβασης αφαιρεί την ετοιμότητα της άλλης, η οποία έχει μια τουλάχιστον κενή θέση εισόδου. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός αποτελεί περίπτωση σύγκρουσης. Σε περιπτώσεις συγκρούσεων, η επιλογή της μετάβασης που θα ενεργοποιηθεί, μπορεί να γίνει με διαφορετικά κριτήρια, όπως την ύπαρξη προτεραιοτήτων, τη συνολική κατάσταση του συστήματος, την απόδοση πιθανοτήτων, την ετοιμότητα των μεταβάσεων σε διαφορετικό χρόνο κτλ.

Ο συγχρονισμός παρατηρείται όταν μια μετάβαση έχει περισσότερες από μια θέσεις εισόδου. Στην περίπτωση αυτή, η μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα μέχρι να βρεθούν τελείες σε όλες της τις θέσεις εισόδου. Χαρακτηριστική περίπτωση κατεργασίας που είναι αναγκαίος ο συγχρονισμός αποτελούν οι συναρμολογήσεις στα συστήματα παραγωγής. Η αναπαράσταση με δίκτυα Petri των παραπάνω γεγονότων παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Αδιέξοδο εμφανίζεται σε ένα ΔΡ όταν φτάσει σε μια κατάσταση όπου καμία μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί και συνεπώς η εκτέλεση του δικτύου διακόπτεται. Με λίγες εξαιρέσεις (π.χ. όταν μελετάται η εξυπηρέτηση συγκεκριμένου αριθμού πελατών σε ένα σύστημα), πρόκειται για ανεπιθύμητη κατάσταση που οφείλεται σε λάθος σχεδιασμού, κι απαιτεί τον επανασχεδιασμό μέρους του συστήματος ή του μοντέλου του [13].



Εικόνα 2: Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού

2.3 Επεκτάσεις δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι επεκτάσεις ΔΡ που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη για τη μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής διαφόρων κατηγοριών. Συγκεκριμένα, ορίζονται και παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των χρονικών ΔΡ καθώς κι οι επεκτάσεις τόξων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με το αρχικό μοντέλο ή τις επεκτάσεις του. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι επεκτάσεων που δεν παρουσιάζονται αφού δεν εντάσσονται στους σκοπούς της μελέτης αυτής.

2.3.1 Χρονικά δίκτυα Petri

Τα χρονικά ΔΡ χρησιμοποιούνται για την ποσοτική ανάλυση αποδοτικότητας και τον έλεγχο αξιοπιστίας συστημάτων στο πέρασμα του χρόνου. Στα χρονικά ΔΡ εισάγεται στη λειτουργία του δικτύου η έννοια του χρόνου, την οποία είχε εσκεμμένα παραλείψει ο Petri [14], αφού θεωρούσε ανεπιθύμητες κάποιες συνέπειες της. Η εισαγωγή της έννοιας του χρόνου γίνεται συνδέοντας χρονικές καθυστερήσεις με τους κόμβους του δικτύου. Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορούν να συνδέονται και με τους δύο τύπους κόμβων, όμως για λόγους ευκολίας ανάλυσης προτιμάται όλες οι καθυστερήσεις να συνδέονται είτε με θέσεις είτε με μεταβάσεις [15]. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται ΔΡ στα οποία οι χρόνοι έχουν συνδεθεί με τις μεταβάσεις, τα οποία ονομάζονται t-χρονικά δίκτυα Petri. Σε αυτά η χρονική καθυστέρηση μεσολαβεί από τη στιγμή που η μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα μέχρι να ενεργοποιηθεί.

Ένα χρονικό δίκτυο Petri ορίζεται αυστηρά από την εξάδα από στοιχεία:

$$TPN = \{P, T, I, O, m_0, D\}$$

Τα πέντε πρώτα στοιχεία είναι αυτά που περιγράφηκαν στον αντίστοιχο ορισμό των συνήθων δικτύων Petri και το D είναι ένα διάνυσμα m στοιχείων που αναπαριστά τις χρονικές καθυστερήσεις των μεταβάσεων κι είναι συνάρτηση από το σύνολο των μη-αρνητικών πραγματικών αριθμών $(0, \infty)$. Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορεί να είναι σταθερές (αιτιοκρατικά ΔP), να είναι τυχαίες μεταβλητές (π.χ. να ακολουθούν εκθετικές, ομοιόμορφες κτλ. κατανομές οπότε πρόκειται για στοχαστικά ΔP) ή ακόμα και να είναι συναρτήσεις των σημάνσεων θέσεων του δικτύου.

Η δραστηριότητα που περιγράφει μια μετάβαση, ολοκληρώνεται με δύο διαδοχικά στοιχειώδη γεγονότα. Ο χρόνος μεταξύ των δύο γεγονότων μπορεί να είναι μηδενικός, οπότε πρόκειται για άμεση μετάβαση ή όχι οπότε η μετάβαση ενεργοποιείται με καθυστέρηση και ονομάζεται χρονική. Για λόγους καλύτερης διάκρισης των όσων ισχύουν, με μαύρο χρώμα (■) συμβολίζονται οι άμεσες μεταβάσεις και με λευκό (□) οι χρονικές μεταβάσεις. Οι τελείες αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου κατά την πραγματοποίηση του πρώτου στοιχειώδους γεγονότος και τοποθετούνται στις θέσεις εξόδου με την πραγματοποίηση του δεύτερου [16], [17]. Για παράδειγμα, η επιδιόρθωση μιας μηχανής ξεκινάει με το γεγονός «έναρξη επιδιόρθωσης» και τελειώνει με την «ολοκλήρωση επιδιόρθωσης».

Οι ιδιότητες και τα εργαλεία ανάλυσης των χρονικών δικτύων Petri είναι τα ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν για τα συνήθη δίκτυα Petri. Παρόλα αυτά, αν επιχειρηθεί η ανάλυση ενός χρονικού ΔP μέσω του αντίστοιχου συνήθους, θα οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα εξαιτίας του μη συνυπολογισμού του χρόνου.

2.3.2 Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri

Συχνά, το σύνολο τόξων A ενός ΔP , χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, το υποσύνολο των συνήθων τόξων και το υποσύνολο των άλλων τύπων τόξων (επεκτάσεων). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι δύο πλέον δημοφιλείς τύποι επεκτάσεων τόξων, τα τόξα ενεργοποίησης (activator arcs) και τα τόξα παρεμπόδισης (inhibitor arcs) [18] - [21]. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των κατηγοριών τόξων είναι πως έχουν κατεύθυνση μόνο από θέσεις προς μεταβάσεις κι όχι αντίστροφα, καθώς επίσης και το ότι δε συμβαίνει ροή τελειών μέσω αυτών, αλλά χρησιμοποιούνται για να θέσουν σε ετοιμότητα ή να εμποδίσουν την ενεργοποίηση μεταβάσεων με βάση την παρουσία τελειών σε συγκεκριμένες θέσεις.

- Ένα τόξο ενεργοποίησης βάρους W με κατεύθυνση από μια θέση p_i προς μια μετάβαση t_j , επιτρέπει στην t_j να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) \geq W$$

- Ένα τόξο παρεμπόδισης βάρους W με κατεύθυνση από θέση p_i προς μετάβαση t_j , επιτρέπει στην t_j να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί, μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) < W$$

Για λόγους διάκρισης, τα συνήθη τόξα αναπαρίστανται με απλά βέλη (\rightarrow), τα τόξα ενεργοποίησης έχουν διακεκομμένη γραμμή (\dashrightarrow) και τα τόξα παρεμπόδισης αναπαρίστανται ως βέλη με ένα μικρό κύκλο στο τέλος τους ($\rightarrow\circ$).

Πρέπει να σημειωθεί πως στην περίπτωση που ένα ΔΡ είναι k-περιορισμένο, τα τόξα ενεργοποίησης και παρεμπόδισης μπορούν να αντικατασταθούν από ισοδύναμες δομές συνήθων ΔΡ [22]. Το κύριο χαρακτηριστικό στην περίπτωση αυτή είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα, αφού για την αντικατάσταση ενός τόξου απαιτείται ολόκληρη δομή συνήθους δικτύου Petri. Οι επεκτάσεις τόξων βοηθούν σημαντικά την απόδοση προτεραιοτήτων και την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ μεταβάσεων.

2.3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των ΔΡ και τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με άλλες μεθόδους μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων, όπως αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία [11], [23] - [25]. Τα στοιχεία αυτά οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου εργαλείου ως εργαλείο υλοποίησης στην παρούσα μελέτη.

Τα ΔΡ αποτελούν ένα καλά ορισμένο γραφικό και μαθηματικό φορμαλισμό μοντελοποίησης, σε αντίθεση με άλλες αντίστοιχες τεχνικές, όπου η μια από τις δύο αυτές ιδιότητες είναι καλά ανεπτυγμένη ενώ η άλλη έχει προστεθεί με λιγότερο συστηματικό τρόπο. Να σημειωθεί πως και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά των ΔΡ είναι υψηλής σημασίας, αφού η διαδικασία ανάπτυξης απαιτεί τη χρήση γραφικών αλλά και αλγοριθμικών εργαλείων. Το γραφικό περιβάλλον βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση και το μαθηματικό υπόβαθρο στην κατάστρωση εξισώσεων και προσομοίωση των μοντέλων που προκύπτουν. Η προσομοίωση αποτελεί το βασικότερο εργαλείο ανάλυσης αποδοτικότητας των ΔΡ.

Στη μεγάλη απήχηση των ΔΡ στην επιστημονική κοινότητα συντελεί το γεγονός πως μπορούν να αναπαραστήσουν αποτελεσματικά όλα τα βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων διακριτών γεγονότων με αλληλ επιδρώντα συστατικά μέρη, δηλαδή την ακολουθία γεγονότων, την παραλληλία, το συγχρονισμό, τον αμοιβαίο αποκλεισμό, την κατανομή κοινών πόρων, την ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων διεργασιών, την τυχαιότητα, την εμφάνιση αδιεξόδων και τις συγκρούσεις. Ουσιαστικά, τα δομικά στοιχεία (θέσεις, μεταβάσεις και τρόποι σύνδεσης τους) των ΔΡ περιγράφουν τη στατική δομή ενός συστήματος, ενώ οι τελείες αναπαριστούν κάθε στιγμή τη δυναμική του κατάσταση.

Έχει οριστεί μεγάλος αριθμός επεκτάσεων του αρχικού μοντέλου που βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες αναπαράστασης του. Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουν μεταξύ άλλων την πληρέστερη ποσοτική ανάλυση συστημάτων (χρονικά ΔΡ), την αναπαράσταση συνεχών ή υβριδικών συστημάτων (συνεχή και υβριδικά ΔΡ), την πιο συμπυκνωμένη αναπαράσταση συστημάτων μέσω της σύνδεσης θέσεων με διαφορετικούς τύπους τελειών, όπου κάθε τύπος τελείας συνδέεται με διαφορετικές δομές δεδομένων (υψηλού επιπέδου ΔΡ όπως για παράδειγμα τα έγχρωμα ΔΡ), την αναπαράσταση μη βεβαίας γνώσης για την κατάσταση ενός συστήματος (ασαφή ΔΡ), τη δυνατότητα εξωτερικοί ελεγκτές να επηρεάσουν την εξέλιξη της κατάστασης των τελειών στο δίκτυο (ελεγχόμενα ΔΡ), την αναπαράσταση υποθετικού λόγου (ΔΡ με επεκτάσεις τόξων) και ΔΡ στα οποία ένα δίκτυο μπορεί να αποτελέσει τελεία ενός άλλου δικτύου (αντικειμενοστραφή ΔΡ). Επίσης τα ΔΡ είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την ιεραρχική μοντελοποίηση συστημάτων, αφού μια θέση ή μια μετάβαση μπορεί να αντικατασταθεί από ένα υποδίκτυο για να παρέχει πιο λεπτομερή περιγραφή κάποιων συστατικών μερών (για τις ανάγκες αυτές έχει αναπτυχθεί κατηγορία ιεραρχικών επεκτάσεων ΔΡ).

Η μεταβολή της κατάστασης σε ένα ΔΡ ορίζεται από τη ροή των τελειών μέσα σε αυτό. Αυτό σημαίνει πως μια περιορισμένη σε μέγεθος δομή ΔΡ μπορεί να αναπαραστήσει μεγάλο πλήθος διαφορετικών καταστάσεων καθώς κι αλλαγές των αρχικών χαρακτηριστικών του μοντέλου (m_o), κάτι που δεν ισχύει για άλλες μεθόδους μοντελοποίησης όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων και τα αυτόματα που αναπαριστούν ένα σταθερό σύνολο καταστάσεων (κάθε κατάσταση αναπαρίσταται από ένα κόμβο) και πρέπει να τροποποιηθούν συνολικά όταν μεταβάλλονται οι πληροφορίες των αρχικών καταστάσεων. Ακόμα, τα αυτόματα έχουν αποδειχθεί στην πράξη ανεπαρκή για την περιγραφή παράλληλων δραστηριοτήτων, ενώ οι τελείες στα ΔΡ μπορούν σαφώς να αναπαραστήσουν ταυτόχρονα την κατάσταση πολλαπλών συστατικών μερών του συστήματος. Αυτό προκύπτει από το ότι τα αυτόματα αναπαριστούν την κατάσταση του συνολικού συστήματος σε μια χρονική στιγμή, ενώ τα ΔΡ περιγράφουν τις καταστάσεις των συστατικών του μερών ανεξάρτητα. Τα ΔΡ

είναι το πιο κατάλληλο εργαλείο μοντελοποίησης για την αναπαράσταση συστημάτων με επαναλαμβανόμενες δομές και ροές και μεγάλους χώρους προσεγγίσιμων καταστάσεων. Η χρήση λεκτικών περιγραφών ή μαθηματικών παραστάσεων στις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων δυσκολεύει την κατανόηση των μοντέλων από μη ειδικούς σε σχέση με την απλή γραφική αναπαράσταση των ΔΡ η οποία κάνει δυνατή την οπτικοποίηση της ροής καταστάσεων σε ένα σύστημα και τον εντοπισμό των εξαρτήσεων μεταξύ των μερών του. Επίσης, η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση συστημάτων που μπορεί να γίνει σε συστήματα μοντελοποιημένα με ΔΡ είναι πιο ολοκληρωμένη και μπορεί αν δώσει πιο σημαντικά αποτελέσματα, ενώ η χρήση τους μπορεί να συνδυαστεί με πλήθος άλλων εργαλείων στα πλαίσια μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών.

Τα ΔΡ εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα κι έναντι των αλυσίδων Markov. Στα ΔΡ ο αριθμός θέσεων και μεταβάσεων του μοντέλου αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της πολυπλοκότητας του υπό μελέτη συστήματος, ενώ στην ίδια περίπτωση ο αριθμός καταστάσεων της αντίστοιχης αλυσίδας Markov αυξάνει εκθετικά. Επίσης, η δυνατότητα χρήσης θεμελιωδών υποσυστημάτων κατά τη σχεδίαση ενός ΔΡ επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση του κι επέκταση του όταν αυτό είναι αναγκαίο προσθέτοντας τις αναγκαίες θέσεις μεταβάσεις και τελείες. Στην περίπτωση των αλυσίδων Markov η παραμικρή τροποποίηση του συστήματος απαιτεί τον εκ νέου ορισμό όλων των καταστάσεων του μοντέλου. Να σημειωθεί πως η αλυσίδα Markov ενός ΔΡ μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα μέσω του γράφου προσεγγισιμότητας του και να χρησιμοποιηθεί για παραπέρα ανάλυση αποδοτικότητας του συστήματος.

Επιπλέον πλεονέκτημα των ΔΡ αποτελεί το γεγονός πως έχουν αναπτυχθεί πλήρεις τεχνικές για την ανάλυση ιδιοτήτων (γράφοι προσεγγισιμότητας και καλυψιμότητας, πίνακας συμβάντων και αναλλοίωτα) των μοντέλων που υλοποιούνται. Ακόμα έχει αναπτυχθεί μεγάλη ποικιλία προγραμμάτων σχεδιασμού, προσομοίωσης κι ανάλυσης μοντέλων υλοποιηθέντων με διάφορες κατηγορίες ΔΡ, αρκετά από τα οποία είναι ελεύθερα διαθέσιμα από το διαδίκτυο. Η χρήση ΔΡ σε συνδυασμό με προσεγγίσεις θεμελιωδών υποσυστημάτων, επιτρέπουν την εύκολη τροποποίηση, ανανέωση κι επέκταση κομματιών των μοντέλων που έχουν υλοποιηθεί, χωρίς να απαιτείται αλλαγή ολόκληρου του μοντέλου.

Τα δίκτυα Petri επιτρέπουν ακόμα την υλοποίηση στρατηγικών εποπτικού ελέγχου για την εξάλειψη επικινδύνων καταστάσεων από τη λειτουργία ενός συστήματος. Δύο κύριες προσεγγίσεις εποπτικού ελέγχου βασισμένου σε δίκτυα Petri, είναι ο εποπτικός έλεγχος χαρτογράφησης (mappingsupervisor), όπου η πολιτική ελέγχου υπολογίζεται από ένα ελεγκτή πραγματικού χρόνου ως συνάρτηση ανατροφοδότησης της σήμανσης του ΔΡ και ο εποπτικός έλεγχος ενσωματωμένου

ελεγκτή (compiled supervisor), όπου η πολιτική ελέγχου αναπαρίσταται στη δομή του δικτύου.

2.4 Προσομοίωση

Η έννοια της προσομοίωσης (simulation) εμφανίστηκε αρχικά στο χώρο της επιστημονικής έρευνας ως τεχνική μελέτης των αποτελεσμάτων μιας δράσης πάνω σε ένα φαινόμενο χωρίς να απαιτείται παρέμβαση στο ίδιο το φαινόμενο. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την κατανόηση αρχών λειτουργίας πολλών φυσικών, βιολογικών και κοινωνικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή [26]. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλοεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Αν οι σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συστήματος είναι απλές, τότε είναι δυνατή η εύρεση λύσεων κλειστής μορφής, οπότε λέμε ότι το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο σε συστήματα που περιγράφονται από πολύπλοκα μοντέλα και διάνυσμα κατάστασης μεγάλων διαστάσεων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για την μελέτη αυτών των συστημάτων εφαρμόζονται οι λεγόμενες αριθμητικές μέθοδοι. Τέτοιες είναι η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση συνίσταται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου του υπό εξέταση συστήματος με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και στην εκτέλεση ενός(ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές αποτυπώνοντας ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του συστήματος στο χρόνο. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος.

Η προσομοίωση ευρίσκει εφαρμογές:

- Στην ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Στον έλεγχο αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Στη μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)
- Στη μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία, τηλεπικοινωνίες)
- Στην αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (χρηματιστήριο, επενδύσεις, marketing).

Με την προσομοίωση μπορεί κανείς να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα ή απόδοση ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευασθεί με σκοπό τη βέλτιστη σχεδίαση του και έχει στόχο την οικονομικότερη, ταχύτερη και λιγότερο επικίνδυνη απεικόνιση της πραγματικότητας σε υπολογιστικό περιβάλλον.

2.5 Πρόβλεψη

Η πρόβλεψη αποτελεί την διαδικασία υπολογισμού μιας τιμής του μέλλοντος με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για το παρελθόν και το παρόν αλλά και την ανάλυση των τάσεων. Για την επίτευξη μιας όσο το δυνατόν ακριβέστερης πρόβλεψης, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση τα δεδομένα να είναι ενημερωμένα. Ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα είναι κεντρικής σημασίας για την πρόβλεψη, γι' αυτό το σκοπό δηλώνεται και ο βαθμός αβεβαιότητας.

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές συνθήκες ως αποτέλεσμα του παγκόσμιου ανταγωνισμού και των ραγδαίων τεχνολογικών αλλαγών ασκούν πιέσεις στις επιχειρήσεις για όσο το δυνατόν πιο ακριβείς προβλέψεις. Οι προβλέψεις είναι αναγκαίες προκειμένου να καθορίσει μια επιχείρηση τους πόρους που θα χρειαστεί και τις ανάγκες της σε προσωπικό, να προγραμματίσει την διαδικασία παραγωγής και τις δραστηριότητες της με σκοπό να ολοκληρώσει έγκαιρα όλες τις μελλοντικές ανάγκες της αγοράς. Οι ακριβείς προβλέψεις επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αξιοποιούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες του εξοπλισμού, να διαχειρίζονται αποτελεσματικά το προσωπικό τους, να μειώνουν τους μέσους χρόνους και κατά συνέπεια τα μέσα κόστη παραγωγής καθώς και να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο το απόθεμα πρώτων υλών και προϊόντων [27] – [30]. Πρέπει να σημειωθεί πως οποιαδήποτε μέθοδος πρόβλεψης και να χρησιμοποιηθεί, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα αφού πολλοί τυχαίοι παράγοντες συμβάλουν σε αυτό. Το ζητούμενο μιας αποτελεσματικής μεθόδου πρόβλεψης είναι οι αποκλίσεις αυτές να είναι οι μικρότερες δυνατές κι η επιλογή της μεθοδολογίας που θα χρησιμοποιηθεί τελικά πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πρόβλεψη, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργούν σήμερα οι επιχειρήσεις, είναι αναγκαία και μια από τις πλέον σημαντικές λειτουργίες της διοικήσεως των επιχειρήσεων. Επιπλέον, η πρόβλεψη καλύπτει τις πληροφοριακές ανάγκες των διαφόρων λειτουργικών τμημάτων των επιχειρήσεων και δρα υποστηρικτικά των αποφάσεων που λαμβάνουν. Ωστόσο, μια πρόβλεψη όσο ακριβής και αν είναι δεν δύναται να εξαλείψει εντελώς το στοιχείο της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το σημερινό περιβάλλον λειτουργίας των επιχειρήσεων. Αποτελεί όμως σημαντική πηγή πληροφόρησης για τη λήψη

επιχειρηματικών αποφάσεων, καθώς περιορίζει, κατά το μέτρο του δυνατού, το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Οι μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να βασιστούν είτε σε μαθηματικά μοντέλα με τη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων, είτε σε ποιοτικές μεθόδους βασισμένες στην διοικητική εμπειρία των στελεχών της επιχείρησης, είτε σε συνδυασμό και των δύο. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους πρόβλεψης, τα πλεονεκτήματα αλλά και οι περιορισμοί τους και τέλος θα πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για την ζήτηση διαφορετικών τύπων δερμάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την υπό μελέτη βιομηχανία. Η πρόβλεψη που θα πραγματοποιηθεί στο σχετικό κεφάλαιο, αφορά την ζήτηση δερμάτων για το έτος 2015. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί για κάθε τύπο δέρματος ξεχωριστά χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα την ζήτηση σε κάθε τύπο για τα έτη 2011, 2012, 2013 και 2014.

Η ζήτηση δέρματος (όλων των τύπων) δεν θεωρείται σταθερή και ομαλά κατανομημένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται έντονη εποχικότητα αλλά και αύξηση της ζήτησης κυρίως σε περιόδους όπου αυξάνεται ο τουρισμός στην Ελλάδα, δηλαδή την άνοιξη, το καλοκαίρι αλλά και το φθινόπωρο. Το φαινόμενο αυτό όμως δεν μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια κατά τη διαδικασία πρόβλεψης καθώς εμφανίζεται σε τυχαίες περιόδους και εξαρτάται άμεσα από την τάση της αγοράς δέρματος (μόδα), από εγχώριες εξελίξεις που επηρεάζουν τον τουρισμό, από το κλίμα αλλά και από την πολιτική αγοράς και αποθεματοποίησης που ακολουθεί η εκάστοτε βιοτεχνία μεταποίησης που προμηθεύεται δέρμα.

2.5.1 Διαδικασία Πρόβλεψης

Η διαδικασία της πρόβλεψης αποτελείται από συνολικά πέντε διαδοχικά στάδια τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια:

- Καθορισμός προβλήματος (problem definition). Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί τις περισσότερες φορές το δυσκολότερο μέρος της πρόβλεψης αλλά ταυτόχρονα και το πιο σημαντικό. Αυτό συμβαίνει γιατί θα πρέπει να καταστούν σαφή θέματα που σχετίζονται κυρίως με τον τρόπο χρήσης των προβλέψεων αλλά και από το ποιοι θα τις χρησιμοποιήσουν.
- Συγκέντρωση πληροφοριών (information gathering). Το συγκεκριμένο στάδιο χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Τις πληροφορίες που αποτελούν στατιστικά, συνήθως αριθμητικά δεδομένα και εκείνες που σχετίζονται με την κρίση, την πείρα και την εμπειρία όσων ασχολούνται με

το υπό μελέτη αντικείμενο. Οι πληροφορίες είναι απαραίτητο να συλλεχθούν πριν από την έναρξη της διαδικασίας της πρόβλεψης και παράλληλα να είναι σαφώς ορισμένες και κατατοπιστικές.

- Προκαταρκτική ανάλυση (exploratory analysis). Το συγκεκριμένο στάδιο σχετίζεται με το είδος της πληροφορίας που μπορεί να προκύψει από την ακατέργαστη πληροφορία που έχει ήδη συλλεχθεί. Αρχικά, γίνεται γραφική αναπαράσταση των δεδομένων και υπολογίζονται μια σειρά από στατιστικούς δείκτες όπως π.χ. η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο καθώς και η γραμμική τάση. Οι δείκτες αναδεικνύουν κάποια δευτερεύοντα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, έτσι ώστε να προκύψει μια ολοκληρωμένη εικόνα των δεδομένων, δίδοντας παράλληλα απαντήσεις σε ερωτήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη λανθασμένων προτύπων, την ύπαρξη σημαντικής τάσης ή/και εποχικότητας όπως επίσης αν υπάρχουν ασυνήθιστες τιμές(outliers). Η ανάλυση αυτή οδηγεί στην οικογένεια μοντέλων που αναμένεται να δώσει ικανοποιητικές προβλέψεις.
- Επιλογή και προσαρμογή μοντέλων (choosing & fitting models). Στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιείται η αναγνώριση και ο καθορισμός των παραμέτρων διαφόρων ποσοτικών μοντέλων πρόβλεψης που έχουν επιλεγεί στο προηγούμενο στάδιο. Σχολιάζονται όλες οι πιθανές εκδοχές πρόβλεψης που έχουν κηρυχθεί κατάλληλες για εφαρμογή και σταδιακά αποκλείονται, καταλήγοντας σε μία.
- Εφαρμογή και αξιολόγηση μοντέλου (using & evaluating forecasting model). Στο συγκεκριμένο στάδιο το μοντέλο που έχει επιλεγεί, εφαρμόζεται και καταγράφονται τα αποτελέσματά του, θετικά ή αρνητικά. Αν κριθεί απαραίτητο και εφόσον ζητηθεί επαναλαμβάνονται κάποια βήματα της διαδικασίας για να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα.

Με την ολοκλήρωση της πρόβλεψης και της καταγραφής των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται μέτρηση σφάλματος για τον εντοπισμό της απόκλισης των αποτελεσμάτων από την πραγματικότητα. Όσο πιο μικρή είναι η απόκλιση αυτή, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται ότι είναι η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε, δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσδιορίζει με σχετικά μεγαλύτερη ακρίβεια τις τιμές που εξετάζει. Αντίθετα, όσο περισσότερο απέχουν οι πραγματικές τιμές από τις προβλεπόμενες, τόσο λιγότερο αξιόλογη είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος πρόβλεψης. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

2.5.2 Μέθοδοι Πρόβλεψης

Οι μέθοδοι πρόβλεψης σε δύο κύριες κατηγορίες, τις ποιοτικές και τις ποσοτικές. Οι ποιοτικές μέθοδοι θεωρούνται υποκειμενικές, βασίζονται σε εκτιμήσεις-γνώμες ειδικών και περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό το στοιχείο της προκατάληψης. Σε αντίθεση όμως με τις ποιοτικές, οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται στη μαθηματική μοντελοποίηση, είναι αντικειμενικές και επαναλήψιμες. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε μεθόδους προεκβολής (ανάλυση χρονοσειρών), αιτιατικές μεθόδους και τη μέθοδο της προσομοίωσης. Η ανάλυση χρονοσειρών στηρίζεται στην ιδέα ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων και ασχολείται με την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων σε παράγοντες όπως η τάση, η εποχικότητα, ο ανταγωνισμός, κ.λπ. Οι αιτιατικές μέθοδοι πρόβλεψης θεωρούν ότι η ζήτηση εξαρτάται από ορισμένους εξωτερικούς (μακροοικονομικούς) παράγοντες. Η δυσκολία της μεθόδου έγκειται στο γεγονός πως η μεταβλητή για την οποία γίνεται η πρόβλεψη εξαρτάται με κάποιο τρόπο από ένα ή περισσότερα εξωγενή στοιχεία όπου δυσκολεύουν την εύρεση της κατάλληλης μαθηματικής σχέσης. Κατά μία γενική εικόνα τα αιτιατικά μοντέλα είναι περίπλοκα καθώς λαμβάνουν υπόψη τους πολλές παραμέτρους. Τέλος η μέθοδος της προσομοίωσης παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής μιας σειράς υποθέσεων σχετικά με την πρόβλεψη και την δημιουργία κατάλληλου μοντέλου το οποίο κατά την εφαρμογή του μας δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε επίπεδο πρόβλεψης. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι δύο κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης.

2.5.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι

Οι ποιοτικές μέθοδοι προβλέψεων ονομάζονται και «υποκειμενικές» μέθοδοι προβλέψεων, επειδή σε πολύ μεγάλο βαθμό στηρίζονται στην πείρα και στις υποκειμενικές εκτιμήσεις ανθρώπων μέσα αλλά και έξω από μια επιχείρηση. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν υπάρχουν επαρκή (ή και καθόλου) αριθμητικά δεδομένα, όταν ο διαθέσιμος χρόνος για τη διαμόρφωση προβλέψεων με αναλυτική τεχνική κρίνεται ανεπαρκής και για πολύ μακροχρόνιες προβλέψεις. Για παράδειγμα, η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος ή μιας νέας υπηρεσίας αντιπροσωπεύουν επιχειρηματικές δραστηριότητες με πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη προηγούμενη πείρα. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις η χρήση μιας ποιοτικής μεθόδου πρόβλεψης είναι επιτακτική, καθώς δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία ώστε να επιλεγθεί κάποια από τις ποσοτικές μεθόδους προβλέψεων που υπάρχουν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποιοτικές μεθόδους πρόβλεψης:

- Grass Roots. Η πρόβλεψη πραγματοποιείται από δεδομένα που προέρχονται από εκείνους που έρχονται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο της πρόβλεψης, όπως πωλητές στην περίπτωση πρόβλεψης πωλήσεων ενός προϊόντος.
- Έρευνα Αγοράς. Συλλογή δεδομένων από διάφορους τρόπους (συνεντεύξεις, ερωτηματολόγιο,...) με στόχο τον έλεγχο συνθηκών της αγοράς. Θεωρείται μακροπρόθεσμη μέθοδος πρόβλεψης κυρίως για νέα προϊόντα.
- Συμβούλιο τεχνικών. Ελεύθερη ανταλλαγή απόψεων σε συνελεύσεις. Οι συμμετέχοντες μπορεί να είναι στελέχη, πωλητές και πελάτες.
- Ιστορική αναλογία. Σύνδεση του αντικειμένου πρόβλεψης με ένα παρόμοιο μέγεθος. Χρήσιμη για το σχεδιασμό νέων προϊόντων όπου η πρόβλεψη πραγματοποιείται σύμφωνα με το ιστορικό ενός παρόμοιου προϊόντος.
- Μέθοδος Delphi. Μια ομάδα ειδικών απαντάει σε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο τροποποιείται σύμφωνα με τα αποτελέσματα και αποστέλλεται ξανά με στόχο να δημιουργηθεί μία διαδικασία μάθησης για τα μέλη της ομάδας χωρίς πίεση από προϊστάμενους.
- Μέθοδος Brainstorming. Ομαδική ή ατομική τεχνική κατά την οποία πραγματοποιείται προσπάθεια για την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από την δημιουργία ενός καταλόγου από αυθόρμητες απόψεις που προσφέρονται από τα μέλη της επιχείρησης.

2.5.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τις ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης οι οποίες στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα λειτουργίας. Ο τρόπος λειτουργίας των μεθόδων είναι συγκεκριμένος και αντικειμενικός με δυνατότητα εμφάνισης όμοιων αποτελεσμάτων κάτω από τις ίδιες συνθήκες χρήσης. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση στατιστικών αποτελεσμάτων βασισμένων σε παλιότερα κυρίως στοιχεία. Η οικογένεια αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εύρεση πιο άμεσων προβλέψεων, δεδομένα για επόμενες χρονικές περιόδους όπως εβδομάδα, μήνας, χρόνος κ.τ.λ. Για παράδειγμα, αν καταγράψουμε τις ημερήσιες τιμές κλεισίματος μια συγκεκριμένης μετοχής στο ελληνικό χρηματιστήριο για χρονικό διάστημα 5 ετών, τότε έχουμε στη διάθεσή μας ένα στατιστικό αποτέλεσμα για τις τιμές που λάμβανε η μετοχή το χρονικό διάστημα αυτό. Αναλύοντας τα δεδομένα γίνεται πρόβλεψη για την τιμή που ενδεχομένως να λάβει η μετοχή στο άμεσο ακόλουθο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης και των τριών υποκατηγοριών (ανάλυση χρονοσειρών, αιτιατικές και προσομοίωσης):

- Μέθοδος προεκβολής. Θεωρεί ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων.

- Απλός κινητός μέσος (Simple moving average). Απλός μέσος όρος n παρατηρήσεων όπου κάθε σημείο έχει την ίδια βαρύτητα.
- Σταθμισμένος κινητός μέσος (Weighted moving average). Ορισμένα σημεία (συνήθως τα πιο πρόσφατα) έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον υπολογισμό του μέσου όρου.
- Διπλός κινητός μέσος (Double moving average). Υπολογίζεται ο απλός κινητός μέσος δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Brown. Η στάθμιση των δεδομένων μειώνεται εκθετικά σε σχέση με τον χρόνο δίνοντας μεγαλύτερη στάθμιση στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Γνωστή και ως απλή εκθετική εξομάλυνση (Simple exponential smoothing).
- Διπλή εκθετική εξομάλυνση (Double exponential smoothing). Η εξομάλυνση των παρατηρήσεων γίνεται δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Holt. Επέκταση της μεθόδου Brown (απλή εκθετική εξομάλυνση). Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει τάση στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση.
- Μέθοδος Winters. Επέκταση της μεθόδου Holt (εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση). Χρησιμοποιείται όταν εντοπίζεται τάση και εποχικότητα στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση και την εποχικότητα.
- Παλινδρόμηση. Προσαρμογή γραμμικής σχέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων είναι η πιο συνηθισμένη τέτοια μέθοδος γραμμικής προσαρμογής.
- Box-Jenkins. Περίπλοκη και ακριβής στατιστική μέθοδος που σχετίζει στατιστικά μοντέλα με τα δεδομένα και προσαρμόζει το μοντέλο στην χρονοσειρά με την χρήση κατανομών Bezier.
- Χρονοσειρές Shinskin. Αποτελεσματική μέθοδος ανάλυσης χρονοσειρών σε εποχικότητα, τάση και τυχαιότητα. Απαιτεί δεδομένα τουλάχιστον τριών ετών και είναι πολύ αποτελεσματική στον εντοπισμό του σημείου αλλαγής.

2.6 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) αποτελεί το δημοφιλέστερο μοντέλο στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας αλλά και της διοικητικής επιστήμης (management science) γενικότερα. Κυριαρχεί σήμερα η αντίληψη ότι, τρείς στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνα σε πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στο γραμμικό προγραμματισμό (γ.π.) [31].

Ο γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο τρόπο. Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή καλλιεργήσιμης γης σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες, κ.λπ. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κ.λπ.

Από μαθηματική πλευρά ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο επιχειρείται η βελτιστοποίηση (είτε μεγιστοποίηση είτε ελαχιστοποίηση) μιας ή περισσοτέρων γραμμικών συναρτήσεων (κριτήρια βελτιστοποίησης) αγνώστων πραγματικών μεταβλητών των οποίων το πεδίο τιμών οριοθετείται έμμεσα από γραμμικούς περιορισμούς (ανισοεξισώσεις) συναρτήσει των μεταβλητών αυτών. Η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, εξελίχθηκε ως μεθοδολογία βελτιστοποίησης ενός και μόνο κριτηρίου απόφασης με την ονομασία αντικειμενική συνάρτηση (objective function). Όμως, η πολυπλοκότητα των συστημάτων απόφασης καθώς και οι συνθήκες ανταγωνιστικότητας κάτω από τις οποίες παίρνονται οι αποφάσεις καθιστούν την προσέγγιση αυτή κάθε άλλο παρά ρεαλιστική.

2.6.1 Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ενός γραμμικού προβλήματος μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια στάδια τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια [32].

1^ο Στάδιο: Αντικείμενο της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης οι οποίες οφείλουν να αντανakλούν απόλυτα (μοντελοποιούν) το ζητούμενο της απόφασης, μέσα από τις ανάγκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα παρθεί η απόφαση και σύμφωνα με τις αξίες της κοινωνίας.

Το αντικείμενο της απόφασης ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό του συνόλου των λύσεων μετά από τη διαμόρφωση των περιορισμών που είναι γραμμικές

συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί, οι φυσικοί περιορισμοί, οι διαθέσιμοι πόροι και οι προτιμήσεις είναι η πηγή των έμμεσων επιτρεπτών ορίων μέσα στα οποία «κινούνται» οι τιμές των μεταβλητών απόφασης.

2^ο Στάδιο: Κριτήρια απόφασης

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

3^ο Στάδιο: Μοντέλα απόφασης

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

4^ο Στάδιο: Υποστήριξη της απόφασης

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

2.6.2 Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού

Για να είναι θεμιτή η προσέγγιση ενός γραμμικού προβλήματος απόφασης μέσω ενός κλασικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να ισχύουν οι προϋποθέσεις που ακολουθούν [33].

- **Γραμμικότητα:** Το αποτέλεσμα, είτε αυτό είναι όρος περιορισμού είτε όρος αντικειμενικής συνάρτησης, είναι γραμμική συνάρτηση του αιτίου που το προκαλεί. Στην αντίθετη περίπτωση το μοντέλο εμπίπτει στο χώρο του μη γραμμικού προγραμματισμού.
- **Διαιρετότητα:** Οι μεταβλητές απόφασης είναι άπειρα διαιρετές, εκφράζονται, για παράδειγμα, σε μονάδες μήκους, βάρους, κ.λπ. Σε περίπτωση που οι μεταβλητές δεσμεύονται να πάρουν όλες ακέραιες τιμές, το πρόβλημα εμπίπτει στην κατηγορία του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν δεσμεύονται όλες οι μεταβλητές να πάρουν ακέραιες τιμές, αλλά μονάχα

μερικές από αυτές, τότε το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.

- **Βεβαιότητα:** Τα δεδομένα του προβλήματος (αριθμητικά στοιχεία) είναι γνωστά με απόλυτη βεβαιότητα. Όταν ορισμένα από αυτά δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα, αλλά ακολουθούν γνωστούς στατιστικούς νόμους, ο προγραμματισμός λέγεται στοχαστικός. Ενώ όταν η πληροφορία για κάποιους συντελεστές είναι προσεγγιστική, είναι δηλαδή διαστήματα στα οποία ανήκουν ασαφώς οι συντελεστές αυτοί, ο προγραμματισμός λέγεται ασαφής.
- **Μονοδιάσταση:** Στον κλασικό γραμμικό προγραμματισμό η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να είναι μια και μοναδική (μονοδιάστατος ή μονοκριτήριο). Στην αντίθετη περίπτωση, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του πολυκριτηρίου γραμμικού προγραμματισμού.

2.6.3 Μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός

Σε ένα κλασικό (συνεχές) γραμμικό πρόγραμμα οι τιμές των μεταβλητών μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως αυτή που αναφέρεται στο γραμμικό πρόβλημα της συγκεκριμένης βιομηχανίας, μερικές από τις μεταβλητές υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Τέτοιες μεταβλητές είναι για παράδειγμα αυτές που δηλώνουν αριθμό εργατών, αποφάσεις χρηματοδότησης ή όπως στο συγκεκριμένο πρόβλημα, παρτίδες επεξεργαζόμενων τεμαχίων. Τα προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού που ο περιορισμός ακεραιότητας δεν ισχύει για όλες τις μεταβλητές, ονομάζονται προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού. Στην συγκεκριμένη διατριβή το γραμμικό πρόβλημα ανήκει σε αυτή την κατηγορία μιας και η μεταβλητή απόφασης για τον καθορισμό των επεξεργαζόμενων παρτίδων δερμάτων θα πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός, ενώ παράλληλα η μεταβλητή απόφασης που καθορίζει το μηνιαίο απόθεμα, μπορεί να δεχθεί όλες τις τιμές.

3^ο Κεφάλαιο

Η βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε.

3.1 Παρουσίαση της βιομηχανίας



Εικόνα 3: Τοποθεσία βιομηχανίας στο χάρτη

Η βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. ξεκίνησε το 1952 στην περιοχή της Χαλέπας Χανίων και δραστηριοποιήθηκε κυρίως στην επεξεργασία δερμάτων. Με την παραγωγή της κάλυπτε τους τοπικούς βιοτέχνες κατασκευής δερμάτινων ειδών (σανδάλια, τσάντες κ.α.). Μετά από 63 χρόνια λειτουργίας η συγκεκριμένη επιχείρηση τριπλασίασε το μέγεθος της σε περίπου 520 m² ενώ έχει αυξηθεί σημαντικά το εργατικό της δυναμικό. Ταυτόχρονα πολλαπλασιάστηκε η παραγωγή (31 φορές) και πλέον τα επεξεργασμένα δέρματα που παράγονται στην συγκεκριμένη βιομηχανία καλύπτουν τις ανάγκες τροφοδοσίας αρκετών βιοτεχνιών και εργοστασίων σε Ελλάδα και εξωτερικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ξεκίνημα της η

παραγωγή της δεν ξεπερνούσε τα 480 m² ετησίως. Πλέον με την εισαγωγή νεότερων μηχανημάτων και τεχνολογίας ταχύτερης μαζικής παραγωγής, έχει φτάσει τον αριθμό των 17,786.6 m² το 2014.

3.2 Χώροι-Μηχανήματα

Οι χώροι που αποτελείται η συγκεκριμένη μονάδα είναι συνολικά πέντε (5) διαφορετικοί οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους.

3.2.1 Αποθηκευτικός χώρος τελικού προϊόντος- έκθεση

Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει έκταση 140 m² και χρησιμοποιείται για την σωστή φύλαξη των επεξεργασμένων δερμάτων ενώ παράλληλα διατηρεί κατάλληλες συνθήκες για την διατήρηση της ποιότητας τους (χαμηλός φωτισμός, χαμηλά επίπεδα υγρασίας). Τα δέρματα στοιβάζονται ανά τύπο, χρώμα και ποιότητα είτε στο πάτωμα είτε σε ειδικές κατασκευές όπου και γίνεται πιο εύκολη η επίδειξη τους.

3.2.2 Χώρος φινιρίσματος - πακεταρίσματος

Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει έκταση 80 m² και περιλαμβάνει ειδικούς πάγκους όπου πραγματοποιείται το πακετάρισμα των δερμάτων, κατάλληλα διαμορφωμένους κάθετους πάγκους για την άμεση αποθήκευση τελικού προϊόντος καθώς και τα μηχανήματα (3) που περιγράφονται παρακάτω:



Εικόνα 4: Χώρος φινιρίσματος

3.2.2.1 Κύλινδρος

Είναι μιας μορφής κυλινδρικής πρέσας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5 Αποτελείται από δύο τμήματα, ένα σταθερό (πάγκος) και ένα κινούμενο (ρόδα). Ο χρήστης ορίζει την φορά της κίνησης του άνω κινούμενου τμήματος με σκοπό τη σάρωση όλης της επιφάνειας του δέρματος. Επίσης ο χειριστής του μηχανήματος έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την πίεση που ασκείται στο δέρμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση, τόσο περισσότερο προσδίδει στο δέρμα γυαλιστερή επιφάνεια αυξάνοντας ταυτόχρονα την σκληρότητα του. Στο συγκεκριμένο μηχανήμα επεξεργάζονται δέρματα τύπου σολόδερμα.



Εικόνα 5: Κύλινδρος (Rolling Machine)

3.2.2.2 Γυαλιστική

Και αυτό το μηχανήμα, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 6 αποτελείται από ένα σταθερό τμήμα (πάγκος) και ένα κινούμενο. Η διάταξη της μετατρέπει την περιστροφική κίνηση ενός ηλεκτροκινητήρα σε παλινδρομική στο άκρο του όπου και φέρει έναν κύλινδρο από ανοξείδωτο ατσάλι. Ο κύλινδρος αυτός έρχεται σε επαφή με το δέρμα και δια μέσου της τριβής που δημιουργείται προσδίδει πιο γυαλιστερή

επιφάνεια καθώς και πιο απαλή υφή. Η ένταση της τριβής ρυθμίζεται από τον χρήστη. Στο συγκεκριμένο μηχάνημα γίνεται η επεξεργασία δερμάτων τύπου βακέτα.



Εικόνα 6: Γυαλιστική (GlazingMachine)

3.2.2.3 Μετρητική

Στο συγκεκριμένο μηχάνημα πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί αναγράφεται ως rin-machine. Η επιφάνεια κάθε δέρματος μετρίεται ξεχωριστά σε cm^2 ενώ η ταχύτητα του είναι σταθερή και παρέχεται από έναν ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 7: Μετρητική (Measuring Machine)

3.2.3 Χώρος Δέψης-Πρόδεψης

Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει 90 m² σε έκταση και περιλαμβάνει:



Εικόνα 8: Χώρος Δέψης-Πρόδεψης

3.2.3.1 Τρία Drums

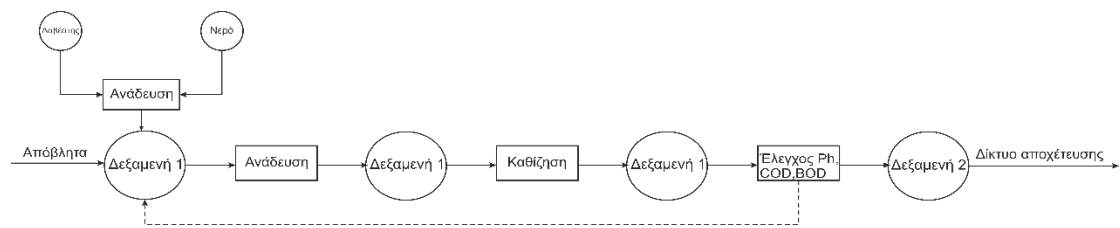
Τα δύο εξ' αυτών χρησιμοποιούνται για την διαδικασία της δέψης των δερμάτων τύπου σολόδεσμα και βακέτα-kudu αντίστοιχα και το τρίτο για την διαδικασία της πρόδεψης αλλά και της διαπλάτυνσης όλων των δερμάτων. Τα Drums μοιάζουν με μεγάλου μεγέθους βαρέλια (λόγω της κυλινδρικής, ξύλινης, κατασκευής τους) γι' αυτό και πολλές φορές αναφέρονται και σαν «βαρέλες». Στο εσωτερικό τους διαθέτουν ειδικές εσοχές (πεύρους) με σκοπό την βέλτιστη ανάδευση των δερμάτων. Η περιστροφική τους κίνηση παρέχεται από έναν ηλεκτροκινητήρα ενώ η μετάδοση της κίνησης αυτής πραγματοποιείται με την βοήθεια ιμάντα. Η κύρια λειτουργία τους σε όποιο στάδιο της κατεργασίας και αν βρίσκονται είναι η ανάμιξη των δερμάτων με διάφορα υλικά όπως κεμπράχο, λάδι, νερό και άλλα.



Εικόνα 9: Drums

3.2.3.2 Βιολογικός καθαρισμός αποβλήτων

Η ποσότητα νερού (κυρίως) αλλά και άλλων αποβλήτων που απομακρύνεται από τις διάφορες κατεργασίες, διοχετεύονται σε ειδικές δεξαμενές μέσω ενός συστήματος αντλιών με σκοπό τον καθαρισμό και οδήγηση τους έπειτα στο τοπικό δίκτυο αποχέτευσης. Ο καθαρισμός των λυμάτων πραγματοποιείται σε τρεις βαθμίδες, όπου κατά τη διάρκεια τους πραγματοποιούνται διάφορες χημικές διεργασίες όπως ρύθμιση του pH με χρήση ασβέστη, ανάδευση και καθίζηση, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



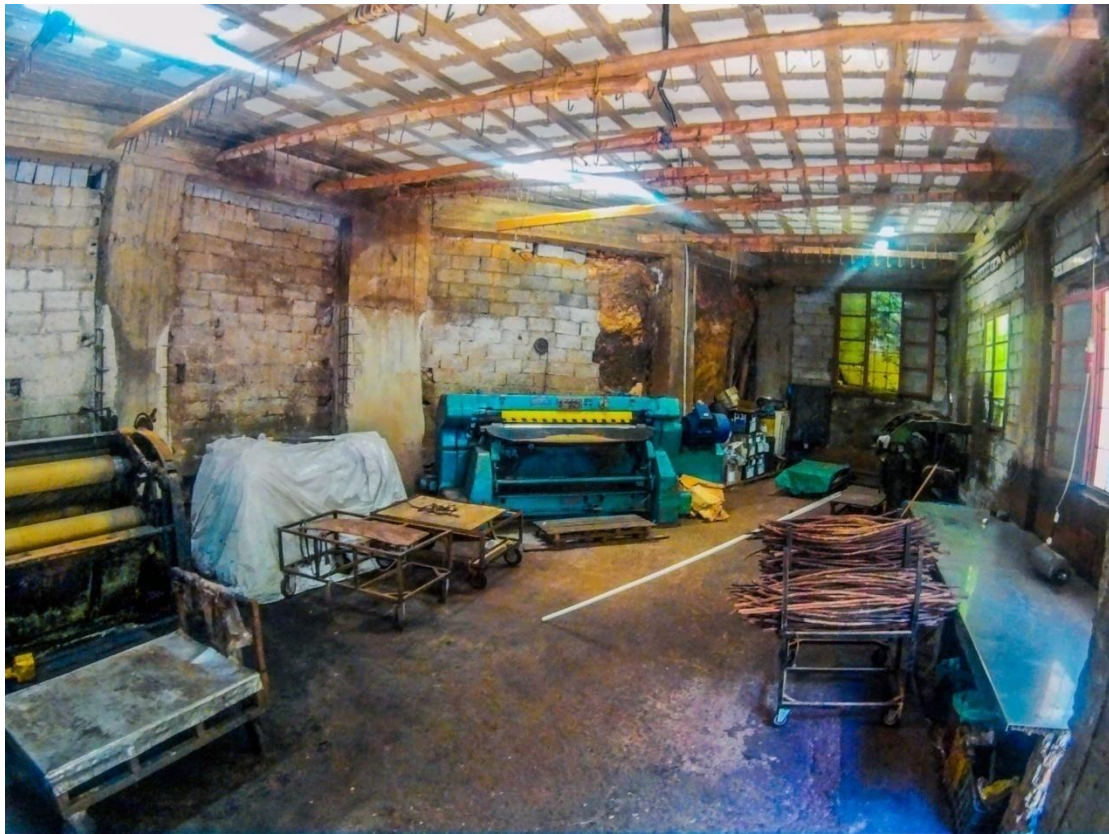
Εικόνα 10: Διαδικασία καθαρισμού αποβλήτων



Εικόνα 11: Βιολογικός Καθαρισμός Αποβλήτων

3.2.4 Χώρος ενδιάμεσων εργασιών

Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει 100 m² σε έκταση και οι κύριες εργασίες που πραγματοποιούνται είναι όσες περιλαμβάνονται στο στάδιο της διαπλάτυνσης. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει:



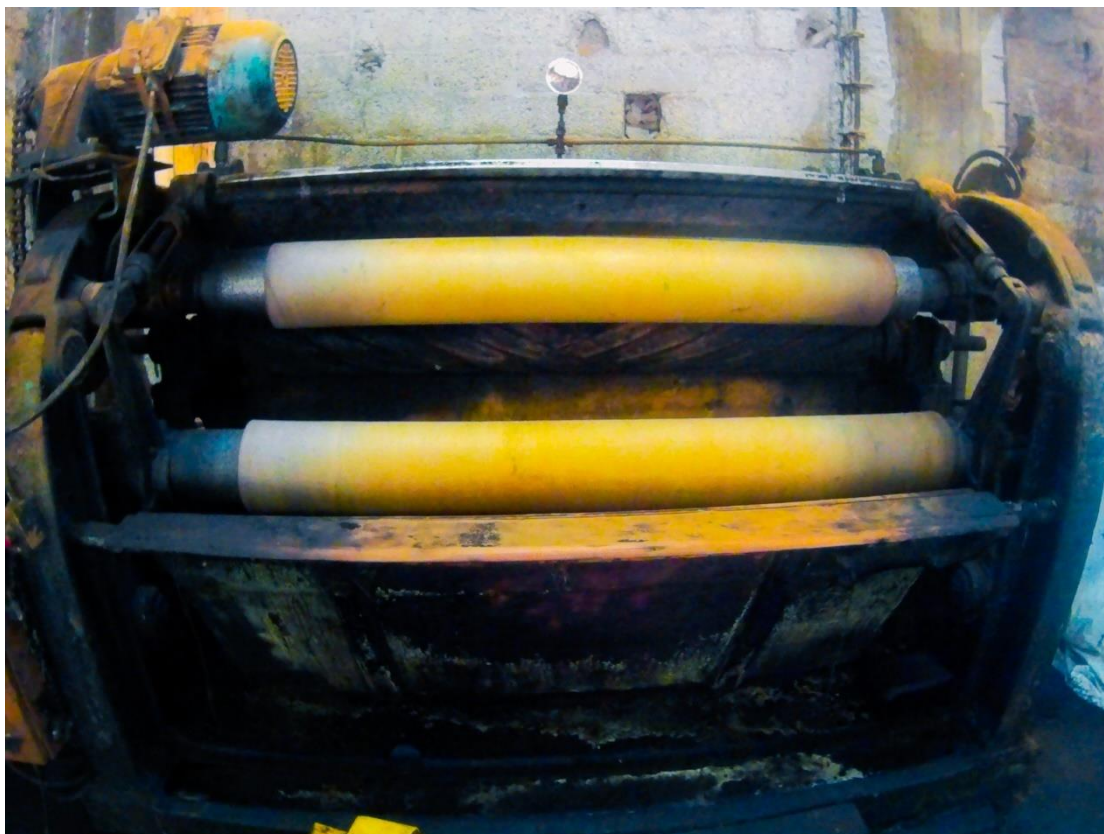
Εικόνα 12: Χώρος Ενδιάμεσων Εργασιών

3.2.4.1 Κρεμάστρες

Αποτελούν τροποποιημένες κατασκευές σε μορφή κρεμάλας οι οποίες βρίσκονται σε ύψος περίπου έξι μέτρων από το έδαφος και βοηθούν στην τοποθέτηση των δερμάτων με τη χρήση κονταριού για την απομάκρυνση της υγρασίας με φυσικό τρόπο (αέρας-θερμοκρασία), μετά το πέρας συγκεκριμένων εργασιών.

3.2.4.2 Ξεζουμιστήρας

Είναι ένα μηχάνημα που αποτελείται από δύο κυλίνδρους (1.80m μήκος) οι οποίοι φέρουν στην περιφέρεια τους ειδικό απορροφητικό υλικό που συμβάλει στην απομάκρυνση της υγρασίας από το εσωτερικό των δερμάτων. Οι δύο αυτοί κύλινδροι, όπως φαίνεται στην εικόνα 14 περιστρέφονται ενώ παράλληλα με την εντολή μέσω πεντάλ που δίδεται από τον χειριστή μειώνεται η μεταξύ τους απόσταση. Η κίνηση παράγεται από δύο ηλεκτροκινητήρες (ο ένας συμβάλει στην περιστροφή των κυλίνδρων και ο άλλος στην παραγωγή της απαιτούμενης υδραυλικής πίεσης). Χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους δερμάτων στο στάδιο της δέψης.



Εικόνα 13: Ξεζουμιστήρας (Sammying Machine)

3.2.4.3 Παστρευτική

Το συγκεκριμένο μηχάνημα αποτελείται από δύο κυλίνδρους. Ο πρώτος είναι μεταλλικός και κινείται με τη βοήθεια υδραυλικής πίεσης ενώ ο δεύτερος φέρει στην επιφάνεια του είκοσι-τέσσερα μαχαίρια σε σπειροειδή μορφή. Η κίνηση του δεύτερου κυλίνδρου παρέχεται από έναν ηλεκτροκινητήρα απόδοσης 60hp, κατάλληλο για να περιστρέφεται με περίπου 10.000rpm. Το μηχάνημα αυτό χρησιμοποιείται για την ισόπαχη εκχόνδριση των δερμάτων από την κάτω πλευρά τους. Χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους των δερμάτων κατά το στάδιο της προετοιμασίας τους και επιπλέον στο στάδιο του φινιρίσματος για τα δέρματα τύπου βακέτα και kudu.



Εικόνα 14: Παστρευτική (Shaving Machine)

3.2.4.4 Στρωτήρας

Το συγκεκριμένο μηχάνημα αποτελείται από δύο κυλίνδρους. Ο πρώτος φέρει την επιφάνεια του πλαστική επίστρωση και κινείται με αρκετά μικρότερη ταχύτητα από τον δεύτερο ο οποίος με τη σειρά του φέρει στην επιφάνεια του είκοσι-τέσσερις μεταλλικές εξοχές (τουναλέτες) σε σπειροειδή μορφή και κινείται με ταχύτητα περίπου 5000rpm. Όταν η απόσταση των δύο κυλίνδρων μειωθεί, έπειτα από εντολή του χειριστή, τότε ο δεύτερος τείνει να «τραβήξει» το δέρμα με σκοπό την διαπλάτυνση του (και αύξηση της επιφάνειας του, πάντα σε συγκεκριμένα πλαίσια). Χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους δερμάτων κατά το στάδιο της διαπλάτυνσης.



Εικόνα 15: Στρωτήρας (Setting Out Machine)

3.2.4.5 Πάγκος εκτέλεσης λοιπών εργασιών

Αποτελεί μία μεταλλική στιβαρή κατασκευή όπου πάνω της πραγματοποιούνται διάφορες εργασίες όπως:



Εικόνα 16: Πάγκος εκτέλεσης λοιπών εργασιών

3.2.4.5.1 Τουναλέτα

Αποτελεί έναν χειροκίνητο τρόπο πιο λεπτομερής λείανσης και διαπλάτυνσης των δερμάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια.

3.2.4.5.2 Στρωτήρι

Αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος στην επιφάνεια τος φέρει δέκα σειρές από μεταλλικές εξοχές (τουναλέτες). Η φορά κίνησης του ελέγχεται από τον χειριστή και αποτελεί πλέον τη βέλτιστη αλλά και πιο δαπανηρή μέθοδο για την διαπλάτυνση των δερμάτων.



Εικόνα 17: Στρωτήρι

3.2.4.5.3 Καθάρισμα

Πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια σε όλους τους τύπους δερμάτων. Αφαιρούνται από την περιφέρεια των δερμάτων περιττά μέρη με σκοπό τόσο την ομορφότερη εμφάνισή τους, όσο και την ευκολότερη επεξεργασία τους.

3.2.4.5.4 Κόψιμο

Στην ουσία τα δέρματα σαν πρώτη ύλη, διχοτομούνται σε δύο ίσα τμήματα για την πιο εύκολη μετέπειτα επεξεργασία τους.

3.2.5 Χώρος Στεγνωτηρίου-Βαφείου

Ο χώρος αυτός καταλαμβάνει 110 m² σε έκταση και βρίσκεται σε ξεχωριστό επίπεδο (1^{ος} όροφος) από τους υπόλοιπους χώρους της βιομηχανίας. Η επικοινωνία με αυτόν τον χώρο, πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανελκυστήρα, επιφάνεια 3m² και μέγιστου βάρους 1.000kg. Σε αυτό τον χώρο υπάρχουν ειδικές κατασκευές για την φύλαξη ενδιάμεσου προϊόντος καθώς και άλλα μηχανήματα.

Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει:



Εικόνα 18: Χώρος Στεγνωτηρίου-Βαφείου

3.2.5.1 Στεγνωτήριο

Αποτελεί ένα απομονωμένο χώρο στον οποίο πραγματοποιείται η αφύγρανση των δερμάτων. Η συνολική χωρητικότητα του είναι 160 τεμάχια δερμάτων ενώ η παροχή θερμού αέρα πραγματοποιείται με την χρήση ενός καυστήρα πετρελαίου. Η θερμοκρασία (που μπορεί να φτάσει τους 50°C) και το επίπεδο υγρασίας στο εσωτερικό του είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενα. Χρησιμοποιείται κυρίως τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 19: Στεγνωτήριο (Drying)

3.2.5.2 Βαφείο

Αποτελεί ένα χώρο ο οποίος περιλαμβάνει ένα επί κλεινές πάγκο. Η βαφή των δερμάτων πραγματοποιείται με την βοήθεια πιστολιού αέρος το οποίο λειτουργεί με την βοήθεια ενός υπερσυμπιεστή αέρος με δεξαμενή χωρητικότητας 500 L. Στον συγκεκριμένο χώρο οδηγούνται τα δέρματα τύπου βακέτα βαμμένη και σολόδεσμα βαμμένο.

3.2.5.3 Κυλινδράκι

Το συγκεκριμένο μηχάνημα αποτελείται από δύο κυλίνδρους. Ο πρώτος φέρει την επιφάνεια του πλαστική επίστρωση και ο δεύτερος, ο οποίος είναι μεταλλικός, φέρει στο εσωτερικό του λεπτόρρευστο λάδι το οποίο θερμαίνεται, σε ελεγχόμενη θερμοκρασία, από μία σειρά ηλεκτρικών αντιστάσεων, που βρίσκονται στο εσωτερικό του. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί εύκολα να ξεπεράσει τους 100°C. Η περιστροφική κίνηση, δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη (επιλέγεται από τον χειριστή) παρέχεται μόνο στον πρώτο κύλινδρο με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα με υποβιβαστή στροφών. Όταν εισάγεται το δέρμα στο συγκεκριμένο μηχάνημα, η απόσταση μεταξύ των δύο κυλίνδρων μειώνεται με υδραυλική υποβοήθηση, ασκώντας πίεση στο δέρμα μέχρι και 150bar. Χρησιμοποιείται στα δέρματα τύπου σολόδεσμα, στο στάδιο της διαπλάτυνσης, σε χαμηλή θερμοκρασία με σκοπό την αύξηση της επιφάνειάς τους, καθώς και στα δέρματα τύπου σολόδεσμα βαμμένο και βακέτα βαμμένη, σε υψηλότερη θερμοκρασία, για την επίτευξη μίας πιο γυαλιστερής επιφάνειας.



Εικόνα 20:Κυλινδράκι (Iron Machine)

3.2.5.4 Πρέσα

Δεν είναι τίποτα άλλο από μία κάθετη υδραυλική πρέσα η οποία χρησιμοποιείται για την κοπή (με το ανάλογο κοπτικό) δειγμάτων, τελικού προϊόντος.



Εικόνα 21:Πρέσα (Embossing Machine)

3.3 Παρουσίαση προϊόντων

Η μονάδα επεξεργασίας δέρματος ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. δραστηριοποιείται αποκλειστικά στην επεξεργασία φυτικού δέρματος (vegetable tanned-leather). Η «φυτική» επεξεργασία δέρματος αποτελεί εν μέρει ξεπερασμένη αλλά ταυτόχρονα σπάνια μέθοδος μιας και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι όλα φυτικά, χωρίς προσθήκη χημικών ουσιών και διαλυμάτων (π.χ. χρώμιο, φορμαλδεΰδη και άλλα). Βασικό της μειονέκτημα είναι η καθυστέρηση στην παραγωγή και το ιδιαίτερα υψηλό κόστος αγοράς τόσο των πρωτευουσών, όσο και των δευτερευουσών πρώτων υλών.

3.3.1 Πρώτες Ύλες

Τα δέρματα σαν πρώτη ύλη, αναφέρονται σαν τύπου «wet white» και αποτελούν ημιεπεξεργασμένα δέρματα διατηρημένα με την προσθήκη «ρίκλας» (rikle). Πιο συγκεκριμένα η βιομηχανία προμηθεύεται τους παρακάτω τύπους δέρματος:

- *Βοδινά*

Σύνηθες χώρες προέλευσης είναι η Νότια Αφρική, η Γαλλία, η Ουκρανία και η Πολωνία.



Εικόνα 22: Αγελάδα Αφρικής (African Cow)

- *Kudu*

Αποτελεί ένα είδος Αντιλόπης, άγριο ζώο όπου ζει στην νοτιοανατολική Αφρική. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η κακής ποιότητας επιφάνεια που διαθέτουν αλλά ταυτόχρονα λόγω του ότι τα συγκεκριμένα ζώα δεν αναπτύσσονται σε προστατευμένο χώρο, το δέρμα τους έχει εξαιρετική αντοχή.



Εικόνα 23: Greater kudu

3.3.2 Τελικά προϊόντα

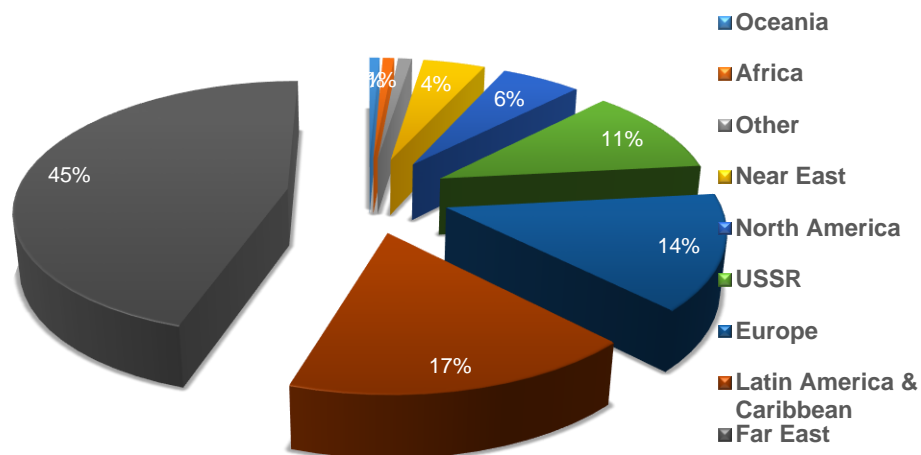
Τα διαφορετικά τελικά προϊόντα (5) διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- *Σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο*
Παράγονται από την κατεργασία βοδινών δερμάτων. Χαρακτηρίζονται από την σκληρή και άκαμπτη επιφάνεια τους γι' αυτό και είναι κατάλληλα κυρίως για σόλες διαφόρων υποδημάτων.
- *Βακέτα και βακέτα βαμμένη*
Παράγονται επίσης από την κατεργασία βοδινών δερμάτων. Χαρακτηρίζονται κυρίως από την απαλή υφή τους και από την γυαλιστερή και εύκαμπτη επιφάνεια τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως για το επάνω μέρος των υποδημάτων, για την κατασκευή τσαντών, διαφόρων τύπων ζωνών και άλλα.
- *Kudu*
Παράγονται από την κατεργασία δερμάτων kudu. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη αντοχή και ελαστικότητα τους αλλά και η επιφάνεια τους που διαθέτει αρκετά ελαττώματα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή δερμάτινων κορδονιών αλλά και για φόδρες υποδημάτων και τσαντών.

3.4 Διαδικασία Επεξεργασίας Δερμάτων

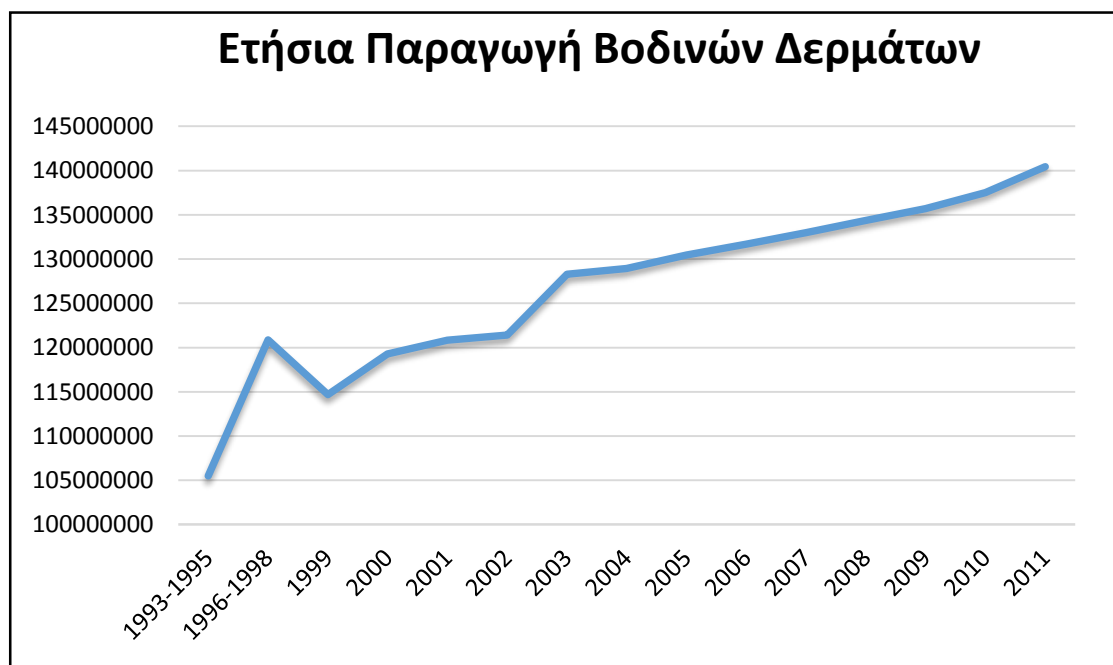
Η επεξεργασία δέρματος περιλαμβάνει την μετατροπή του ακατέργαστου δέρματος σε τελικό προϊόν που χαρακτηρίζεται από την σταθερότητα και την ευκολία κατά την μετέπειτα μεταποίηση του. Στην Ευρώπη υπάρχουν περίπου 36,500 βιομηχανίες επεξεργασίας δέρματος, απασχολώντας 414,000 άτομα στο σύνολο τους. Στην πλειοψηφία τους (70%) είναι μικρού και μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις (ΜΜΕ) με μεγάλη παράδοση. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η παγκόσμια κατανομή των βιομηχανιών επεξεργασίας δέρματος [34].

Ποσοστά Παγκόσμιας Παραγωγής Δέρματος



Εικόνα 24: Παγκόσμια κατανομή επεξεργασίας δέρματος

Η επεξεργασία δέρματος έχει αυξηθεί κατά 33.1% κατά το διάστημα 1993 – 2011. Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ετήσια παγκόσμια παραγωγή βοδινών δερμάτων [35]. Βασικό ρόλο στις ετήσιες διακυμάνσεις της παραγωγής δερμάτων διαδραματίζουν οι τρέχουσες τάσεις της μόδας δεδομένου ότι σημαντικό ποσοστό της παραγωγής χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία ένδυσης και υπόδησης.

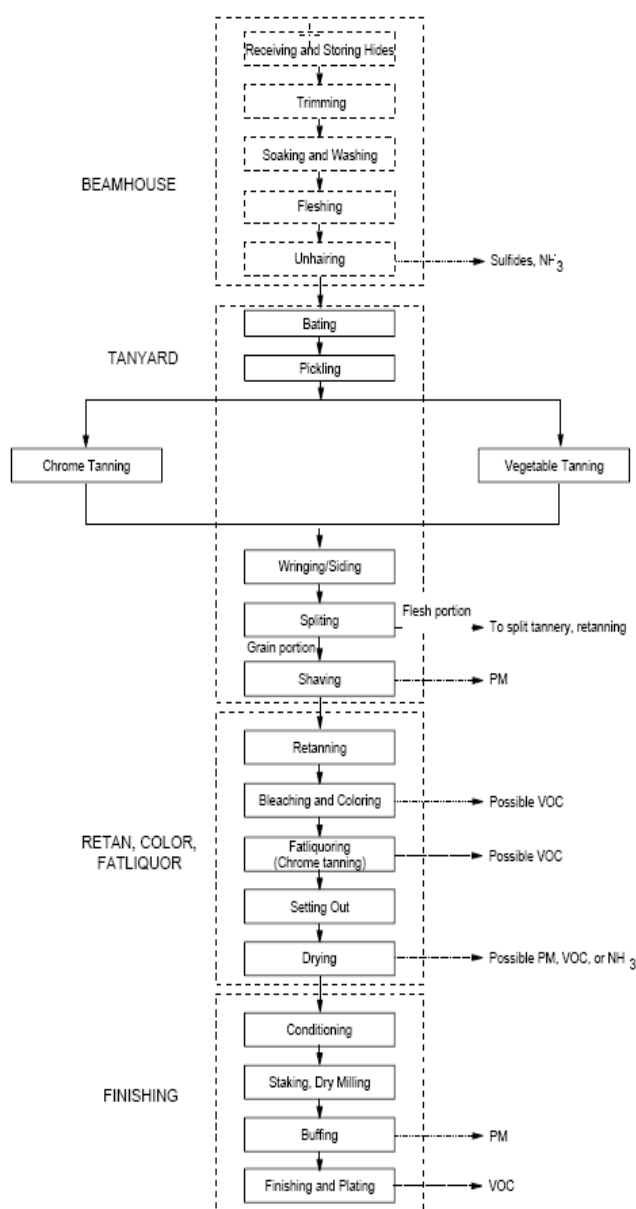


Εικόνα 25: Ετήσια παγκόσμια παραγωγή βοδινών δερμάτων

Η συνολική διαδικασία μετατροπής του δέρματος του ζώου σε τελικό εμπορικό προϊόν χωρίζεται σε τέσσερις μεγάλα στάδια που εκτελούνται διαδοχικά από

εξειδικευμένες συνεργαζόμενες μονάδες. Στο σχήμα 26 συνοψίζονται οι απαραίτητες κατηγορίες επεξεργασίας για τη μετατροπή αυτή καθώς και η αλληλουχία τους, η διασύνδεση τους, οι πρώτες ύλες και τα απόβλητα που προκύπτουν σε κάθε στάδιο. Τα τέσσερα αυτά στάδια είναι:

1. Προετοιμασία
2. Δέψη και συντήρηση
3. Επανάδεψη και επανάδεψη με χρωματισμό
4. Φινίρισμα

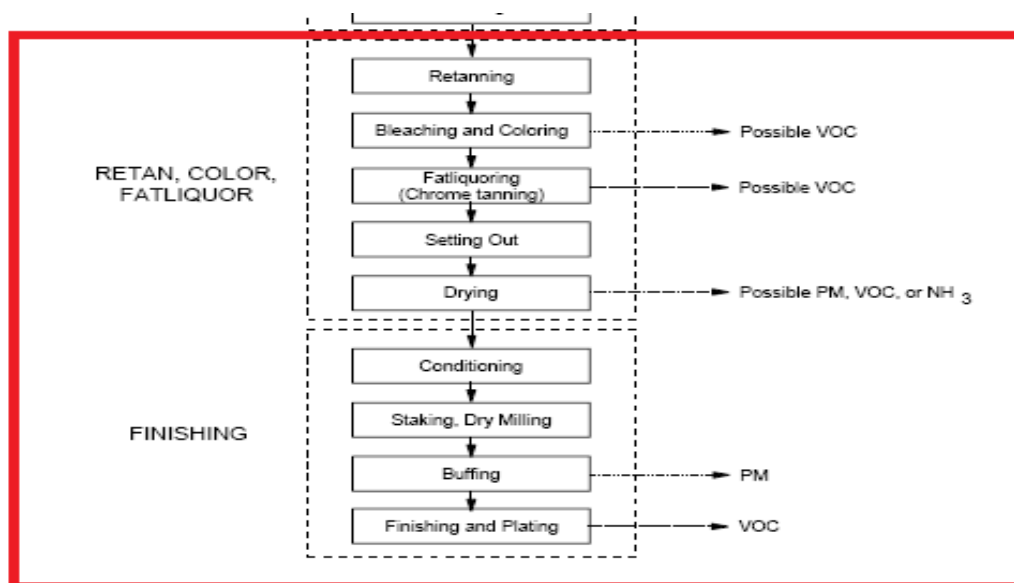


Εικόνα 26: Tanning Process Description [36]

Λόγω της υπάρχουσας νομοθεσίας, τα δέρματα που εισάγονται θα πρέπει να προέρχονται τουλάχιστον από το δεύτερο στάδιο της συνολικής επεξεργασίας τους(κάτι που δεν ίσχυε παλαιότερα). Αυτό οδήγησε τις τοπικές-εγχώριες μονάδες σε ριζική αλλαγή της παραγωγικής τους διαδικασίας, η οποία ποικίλει από την μία βιομηχανία στην άλλη.

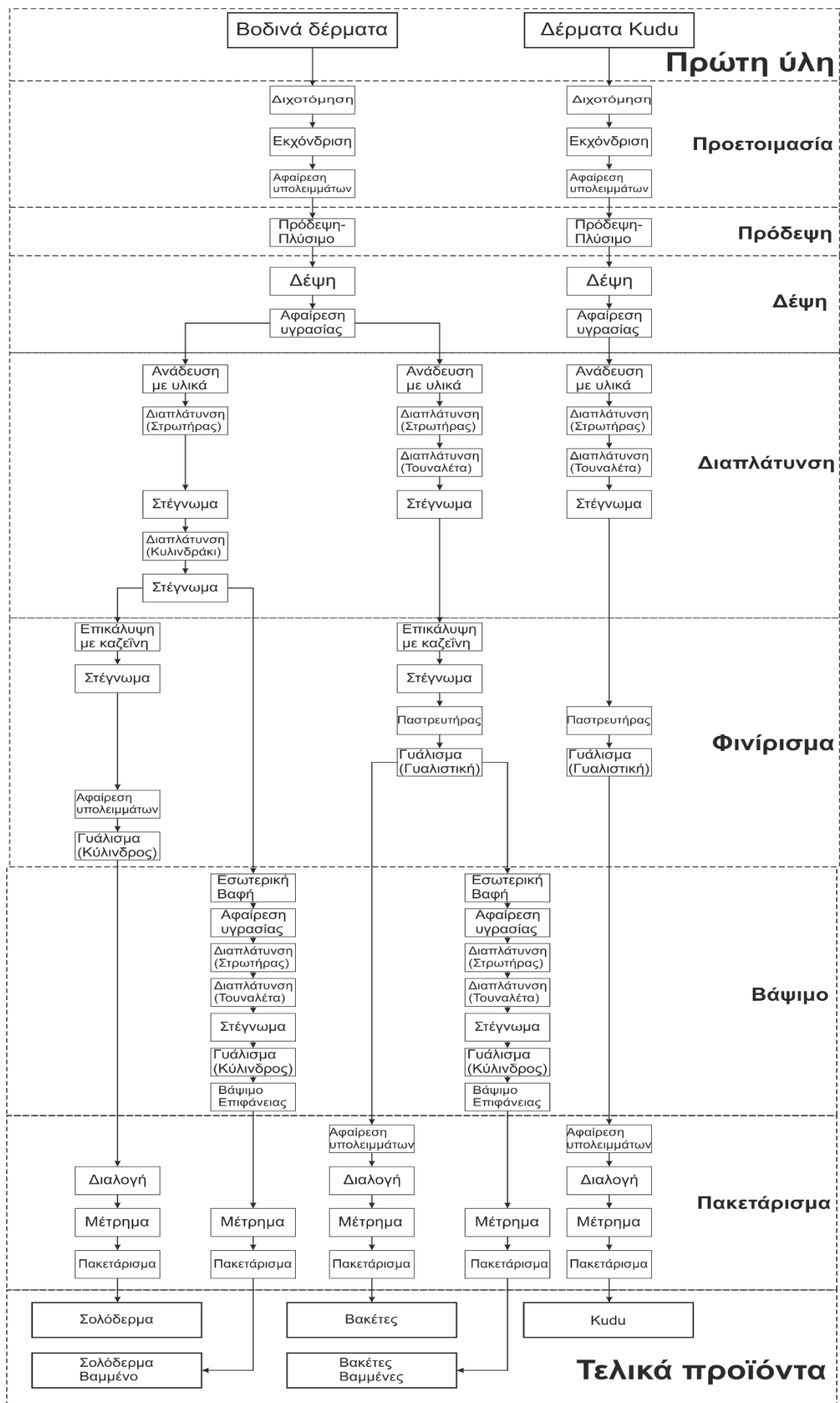
Στην υπό μελέτη μονάδα πραγματοποιούνται τα δύο τελευταία στάδια επεξεργασίας τα οποία αθροιστικά με τη σειρά τους διακρίνονται σε επτά υποστάδια, τα οποία παραμετροποιούνται αναλόγως με τον τύπο δέρματος. Οι πρώτες ύλες είναι δύο τύπων:

- Μοσχαρίσια δέρματα, αφρικάνικης κυρίως (αλλά σε κάποιες περιπτώσεις ευρωπαϊκής) προέλευσης τα οποία προορίζονται για δέρματα τύπου «σολόδερμα», «βακέτα», «σολόδερμα βαμμένο» και «βακέτα βαμμένη»,
- Kudu επίσης αφρικάνικης προέλευσης τα οποία προορίζονται για δέρματα τύπου kudu(για χρήση κυρίως σαν φόδρα και δερμάτινα κορδόνια).



Εικόνα 27: Στάδια επεξεργασίας που πραγματοποιούνται στην βιομηχανία BPONTAKHIS EMMANOYHL & SIA O.E.

Στην εικόνα 28 παρουσιάζεται, σχηματικά, η αλληλουχία ο τρόπος διασύνδεσης και τα στάδια των εργασιών, που εκτελούνται στην υπό μελέτη μονάδα, για την παραγωγή των πέντε διαφορετικών τελικών προϊόντων.



Εικόνα 28: Διαδικασία παραγωγής δερμάτων

3.5 Στάδια επεξεργασίας δερμάτων στην βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.4, στην υπό μελέτη βιομηχανία, η επεξεργασία των δερμάτων πραγματοποιείται σε επτά κύρια στάδια τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια.

3.5.1 Προετοιμασία

Σε αυτό το στάδιο τα δέρματα, όλων των τύπων, σαν πρώτη ύλη προετοιμάζονται για την παραπέρα επεξεργασία τους. Η αρχική πρώτη ύλη κόβεται σε δύο ίσα κομμάτια με σκοπό την πιο σωστή και εύκολη επεξεργασία τους. Στη συνέχεια και με την βοήθεια της Παστρευτικής μηχανής, πραγματοποιείται μία πρώτη εκχόνδριση από την εσωτερική πλευρά του δέρματος με σκοπό να επιτευχθεί το ίδιο πάχος σε όλη την επιφάνεια του. Έπειτα ακολουθεί το καθάρισμα (δια χειρός) των υπολειμμάτων από την προηγούμενη διαδικασία και πλέον τα δέρματα είναι έτοιμα να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο.

3.5.2 Πρόδεψη

Σε αυτό το στάδιο γίνεται μία πρώτη (πιο ήπια) δέψη των δερμάτων, όλων των τύπων. Μετά την προετοιμασία των δερμάτων, εισάγονται στο 1^οDrum (Βαρέλα) μαζί με TaniganOS και TaniganCN και νερό για περίπου 180min. Έπειτα αφού αφαιρεθούν όσο μίγμα έχει απομείνει εισάγεται Unitan μαζί με νερό και ανακατεύονται για περίπου 150min ακόμα. Τα δέρματα στη συνέχεια αφαιρούνται από το 1^οDrum και είναι έτοιμα για την τελική δέψη τους.

3.5.3 Δέψη

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η τελική δέψη των δερμάτων. Είναι το σημαντικότερο στάδιο της επεξεργασίας, αφού με τις κατάλληλες εργασίες, προσδίδεται στο δέρμα η επιθυμητή σκληρότητα, μετατρέποντας το ταυτόχρονα σε πιο φιλική μορφή ως προς τον άνθρωπο. Η διαφορά ανάμεσα στους τρεις διαφορετικούς τύπους δερμάτων είναι στο ποσοστό των υλικών που τοποθετούνται, όπου στα δέρματα τύπου σολόδερμα είναι αρκετά μεγαλύτερο λόγω του ότι οι απαιτήσεις σε σκληρότητα σε αυτού του τύπου το δέρμα, είναι μεγαλύτερες (λόγω χρήσης του και

καταπόνησης που δέχεται). Με το πέρας του σταδίου της πρόδεψης, τα δέρματα εισάγονται στο 2^ο Drum μαζί με Unitan και νερό(η ποσότητα διαφέρει ανά τύπο δέρματος) και αναμιγνύονται μέχρι το μίγμα να εισχωρήσει στο εσωτερικό του δέρματος (ελέγχεται με δοκιμή). Όταν τα δέρματα είναι έτοιμα, μεταφέρονται στον ξεζουμιστήρα με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη αφαίρεση της υγρασίας από το εσωτερικό τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το μίγμα που χρησιμοποιείται στο 2^ο Drum φυλάσσεται και επαναχρησιμοποιείται είτε στο στάδιο της πρόδεψης είτε στην τελική δέψη των δερμάτων. Έτσι το σημαντικότερο στάδιο της επεξεργασίας των δερμάτων έχει πραγματοποιηθεί.

3.5.4 Διαπλάτυνση

Σε αυτό το στάδιο τα δέρματα, με κατάλληλες εργασίες, αποκτούν την μέγιστη δυνατή επιφάνεια με σκοπό την βελτίωση των φυσικών τους ιδιοτήτων καθώς και της επιφανειακής τελικής ποιότητας. Το στάδιο αυτό διαχωρίζεται ανά είδος δέρματος.

3.5.4.1 Σολόδερμα

Τα δέρματα που προορίζονται για τύπου «σολόδερμα», εισάγονται στο 1^ο Drum για να ανακατευτούν μαζί με Portoline και μαγνησία. Μετά από περίπου μία ώρα αφαιρούνται και οδηγούνται προς στρωτήρα με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας τους. Έπειτα τοποθετούνται σε ειδικές κατασκευές με σκοπό την μερική αφαίρεση της υγρασίας που υπάρχει στο εσωτερικό τους. Στη συνέχεια η τελική διαπλάτυνση τους πραγματοποιείται στο κυλινδράκι και αφού στεγνώσουν ολοκληρωτικά πλέον, στο στεγνωτήριο, πραγματοποιείται μία διαλογή για το ποια δέρματα θα προχωρήσουν στο στάδιο του φινιρίσματος και ποια στο στάδιο του βαψίματος.

3.5.4.2 Βακέτα, Kudu

Τα δέρματα που προορίζονται για τύπου «Βακέτα» και «KUDU», εισάγονται και αυτά στο 1^ο Drum μαζί με Portoline και λάδι αυτή τη φορά. Έπειτα, αντίστοιχα με τα δέρματα τύπου «σολόδερμα», οδηγούνται προς την στρωτήρα για την αύξηση της επιφάνειας τους. Η αύξηση αυτή ολοκληρώνεται με την χρήση ενός εργαλείου χειρός,

την τουναλέτα. Τα δέρματα στεγνώνουν σε ειδικές κατασκευές και είναι έτοιμα για να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο, το φινίρισμα.

3.5.5 Φινίρισμα

Σε αυτό το στάδιο, όλες οι εργασίες που πραγματοποιούνται, σχετίζονται με την τελική επιφάνεια και υφή που θα αποκτήσουν τα δέρματα. Ο τρόπος εκτέλεσης της εκάστοτε εργασίας σχετίζεται κυρίως με τις απαιτήσεις του πελάτη. Οι εργασίες διαφέρουν ανά τύπο δέρματος.

3.5.5.1 Σολόδεσμα

Μετά το στάδιο της διαπλάτυνσης, τα δέρματα επιλέγονται για χρήση ως «σολόδεσμα», επικαλύπτονται με ένα ειδικό φυτικό υγρό που ονομάζεται καζεΐνη, που τους προσδίδει πιο γυαλιστερή επιφάνεια. Αφού στεγνώσουν καθαρίζονται τα περιττά μέρη από τις άκρες τους και οδηγούνται στον κύλινδρο. Σε αυτό το στάδιο τα δέρματα, με την πίεση που τους ασκείται, γίνονται σκληρότερα ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται σε σημαντικό ποσοστό η επιφάνεια τους. Τέλος πραγματοποιείται έλεγχος ποιότητας και οδηγούνται στο τελικό στάδιο που είναι το πακετάρισμα.

3.5.5.2 Βακέτα

Παρόμοια με την παραπάνω είναι η κατεργασία για τα δέρματα τύπου «βακέτα». Αρχικά επικαλύπτονται με το ειδικό φυτικό υγρό (καζεΐνη) και τοποθετούνται σε ειδικές κατασκευές με σκοπό την ολοκληρωτική αφαίρεση της υγρασίας που έχει δημιουργηθεί από την τελευταία επικάλυψη. Έπειτα με την χρήση του παστρευτήρα, ορίζεται το τελικό τους πάχος, προσδίδοντας τους ακόμα «καστόρι» υφή στο κάτω μέρος τους. Στη συνέχεια τα δέρματα οδηγούνται στη γυαλιστική μηχανή που τους προσδίδει την επιθυμητή γυαλιστερή επιφάνεια. Τέλος πραγματοποιείται μία διαλογή ως προς το ποια δέρματα θα οδηγηθούν προς το τελικό στάδιο που είναι το πακετάρισμα και ποια θα βαφτούν.

3.5.5.3 Kudu

Η διαδικασία με την οποία γίνεται το φινίρισμα στα δέρματα τύπου «kudu» δεν διαφέρει πολύ από την αντίστοιχη στα δέρματα τύπου «βακέτα». Η μόνη διαφορά είναι ότι μετά το πέρας του προηγούμενου σταδίου (διαπλάτυνση), τα δέρματα του συγκεκριμένου τύπου οδηγούνται αμέσως στον παστρευτήρα και έπειτα στην γυαλιστική μηχανή. Αυτό συμβαίνει διότι ο υποψήφιος αγοραστής δερμάτων τέτοιου τύπου, ενδιαφέρεται κυρίως για τις φυσικές τους ιδιότητες και όχι για την τελική επιφάνεια τους. Πιο συγκεκριμένα, επειδή προορίζονται για χρήση ως φόδρες ή για την κατασκευή δερμάτινου κορδονιού, η τελική ποιότητα της επιφάνειας τους δεν επηρεάζει τον υποψήφιο αγοραστή. Μετά την πραγματοποίηση των τελευταίων διεργασιών πραγματοποιείται ένας έλεγχος ποιότητας και τα δέρματα οδηγούνται στο στάδιο του πακεταρίσματος.

3.5.6 Βάψιμο

Η διαδικασία για το βάψιμο είναι ίδια και στους δύο τύπους δερμάτων «Σολόδεσμα» και «βακέτα». Τα δέρματα, είτε προέρχονται από το στάδιο της διαπλάτυνσης («σολόδεσμα»), είτε από το στάδιο του φινιρίσματος («βακέτα»), εισάγονται εκ νέου στο 1^ο Drum μαζί με νερό, με σκοπό την αφαίρεση κάποιων υλικών που έχουν προστεθεί και κυρίως της καζεΐνης. Στη συνέχεια αναμιγνύονται μαζί με χρώμα για περίπου 225min, ώστε να εισχωρήσει καλά στο εσωτερικό τους. Έπειτα οδηγούνται στον ξεζουμιστήρα για την εν μέρει αφαίρεση της υγρασίας τους. Συνέχεια έχει ο στρωτήρας και η τουναλέτα όπου και πραγματοποιείται εκ νέου η διαπλάτυνση τους. Τα δέρματα αφού στεγνώσουν ολοκληρωτικά, βάφονται με τη βοήθεια ενός πιστολιού αέρος και περνάνε από το κυλινδράκι για να αποκτήσουν πιο γυαλιστερή επιφάνεια, όπου κρίνεται αναγκαίο. Έτσι ολοκληρώνεται και το στάδιο του βαψίματος και τα δέρματα είναι πλέον έτοιμα να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο, το πακετάρισμα.

3.5.7 Πακετάρισμα

Σε αυτό το στάδιο όλα τα δέρματα περνάνε από ένα τελικό και πιο αυστηρό έλεγχο ποιότητας σε συνδυασμό με την αφαίρεση (καθάρισμα) τυχόν ατελειών στην περιφέρεια τους. Έπειτα οδηγούνται στη μετρητική μηχανή για την μέτρηση της επιφάνειας τους και συσκευάζονται σε πακέτα των δέκα ή είκοσι δερμάτων.

3.6 Διαγράμματα ροής

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.3.2 η βιομηχανία παράγει πέντε διαφορετικού τύπου τελικά προϊόντα. Τα προϊόντα σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο, περιλαμβάνουν σε ένα μεγάλο ποσοστό τις ίδιες διεργασίες, με τους ίδιους χρόνους. Γι' αυτό το λόγο και περιγράφονται σε ένα κοινό διάγραμμα ροής, που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Αντίστοιχα συμβαίνει και με τα δέρματα τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένα.

3.6.1 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο

Το μοντέλο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των δερμάτων τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο αποτελείται από συνολικά σαράντα επιμέρους εργασίες και σαράντα τρεις αποθήκες. Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται τόσο οι κύριες όσο και άλλες δευτερεύουσες και ταυτόχρονα αναγκαίες εργασίες. Η υλοποίηση του μοντέλου βασίστηκε στο αρχικό διάγραμμα ροής που δόθηκε από τον υπεύθυνο της βιομηχανίας, το οποίο στη συνέχεια εμπλουτίστηκε έπειτα από προσωπική επίβλεψη και αναλυτική καταγραφή της παραγωγικής διαδικασίας, έτσι ώστε να περιγραφούν με λεπτομέρεια όλα τα γεγονότα. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, παρατηρείται μία αποθήκη εισόδου πρώτης (ακατέργαστης) ύλης (m_1) η οποία στην ουσία περιλαμβάνει βοδινά δέρματα στην μορφή που εισάγονται, καθώς και δύο αποθήκες τελικού προϊόντος, την m_{31} που αναφέρεται στα δέρματα τύπου σολόδεσμα και την m_{43} που αναφέρεται στα δέρματα τύπου σολόδεσμα βαμμένο.

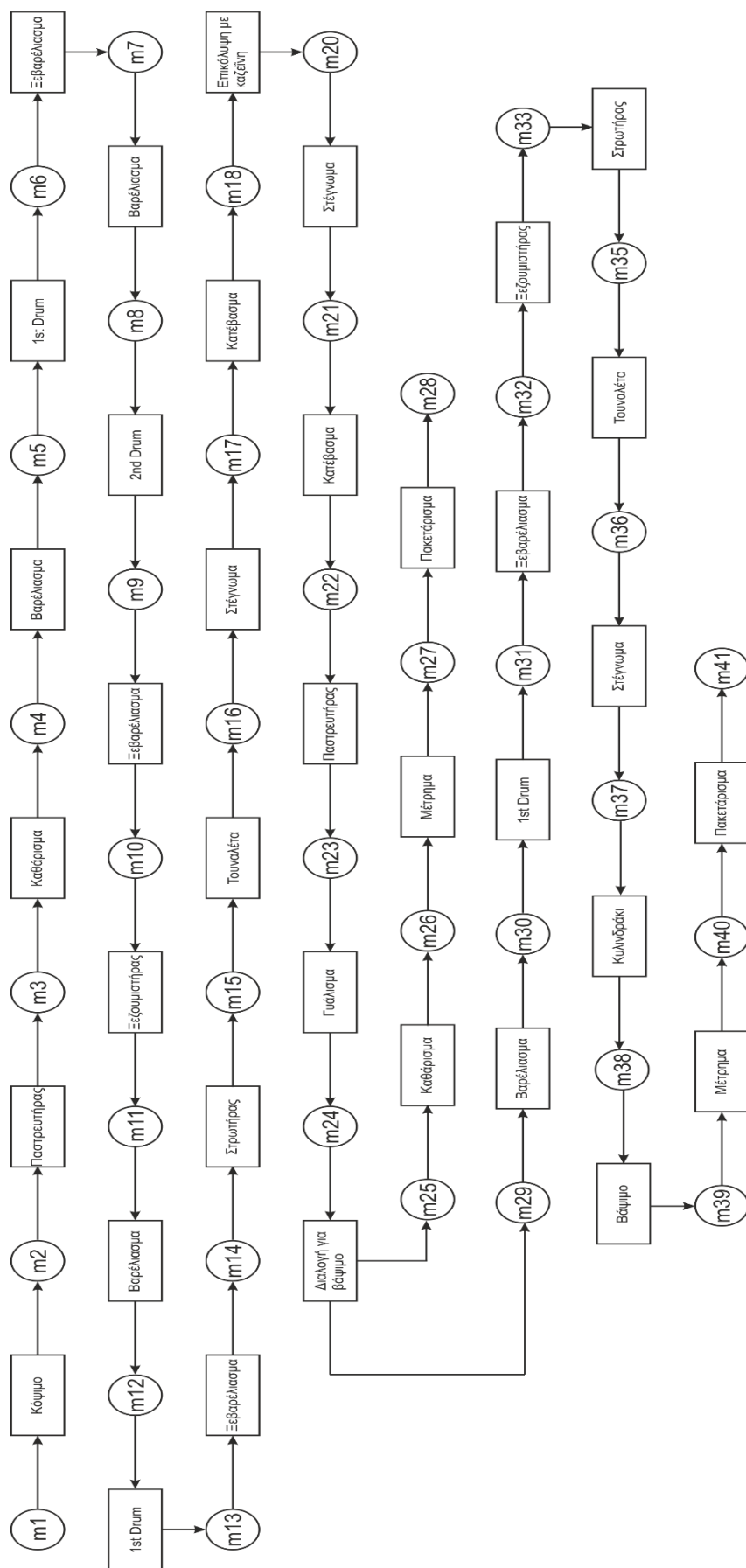
Ο διαχωρισμός των δερμάτων που προορίζονται για σολόδεσμα και βαμμένο σολόδεσμα αντίστοιχα πραγματοποιείται μετά τη διαδικασία του στεγνώματος βάσει ποιοτικού ελέγχου (τα δέρματα που παρουσιάζουν εμφανείς επιφανειακές ατέλειες οδηγούνται στο στάδιο της βαφής). Μελετώντας τις καταγραφές της μονάδας, προκύπτει πως από τα συνολικά δέρματα αυτού του τύπου, περίπου το 10% οδηγείται στο στάδιο της βαφής για την παραγωγή δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο.



3.6.2 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη

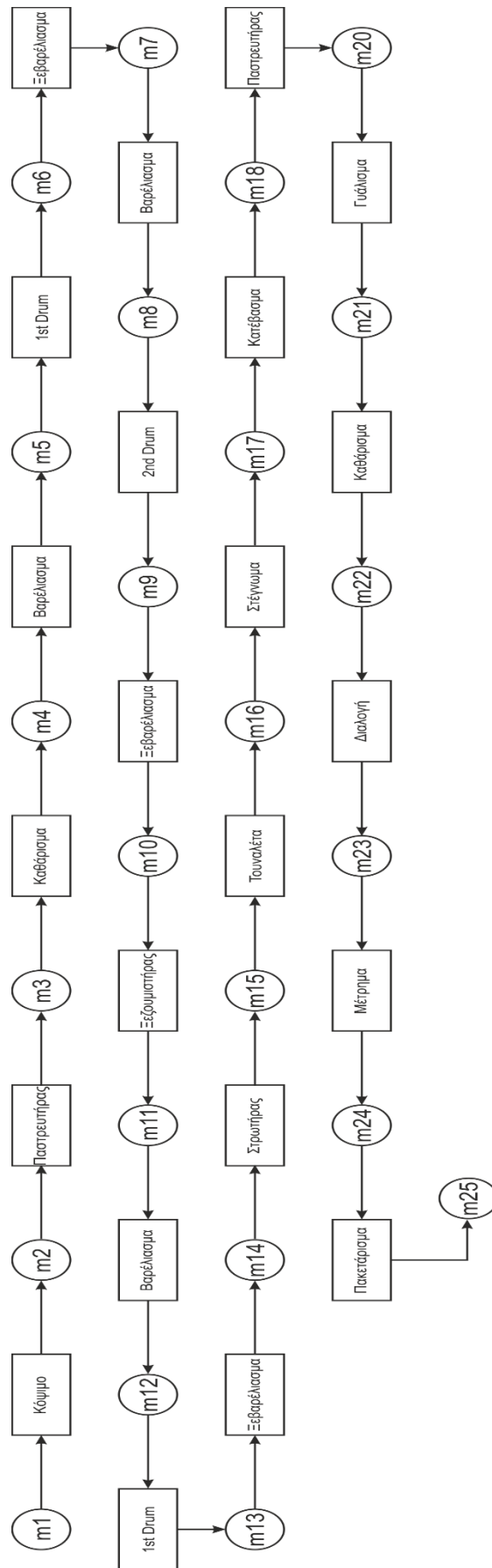
Το μοντέλο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη αποτελείται από συνολικά τριάντα επτά επιμέρους εργασίες και σαράντα μία αποθήκες. Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται τόσο οι κύριες όσο και άλλες δευτερεύουσες και ταυτόχρονα αναγκαίες εργασίες. Ομοίως με πριν η υλοποίηση του μοντέλου βασίστηκε στο αρχικό διάγραμμα ροής που δόθηκε από τον υπεύθυνο της βιομηχανίας, το οποίο στη συνέχεια εμπλουτίστηκε έπειτα από επίβλεψη και αναλυτική καταγραφή της παραγωγικής διαδικασίας, έτσι ώστε να περιγραφούν με λεπτομέρεια όλα τα γεγονότα. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, παρατηρείται μία αποθήκη εισόδου πρώτης (ακατέργαστης) ύλης (m_1) η οποία στην ουσία περιλαμβάνει βοδινά δέρματα στην μορφή που εισάγονται, καθώς και δύο αποθήκες τελικού προϊόντος, την m_{28} που αναφέρεται στα δέρματα τύπου βακέτα και την m_{41} που αναφέρεται στα δέρματα τύπου βακέτα βαμμένη.

Ο διαχωρισμός των δερμάτων που προορίζονται για βακέτα και βαμμένη βακέτα αντίστοιχα πραγματοποιείται μετά τη διαδικασία του γυαλίσματος βάσει ποιοτικού ελέγχου (τα δέρματα που παρουσιάζουν εμφανείς επιφανειακές ατέλειες οδηγούνται στο στάδιο της βαφής). Μελετώντας τις καταγραφές της μονάδας, προκύπτει πως από τα συνολικά δέρματα αυτού του τύπου, περίπου το 10% οδηγείται στο στάδιο της βαφής για την παραγωγή δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη.



3.6.3 Διάγραμμα ροής δερμάτων τύπου kudu

Το μοντέλο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των δερμάτων τύπου kudu αποτελείται από συνολικά είκοσι τρείς επιμέρους εργασίες και είκοσι πέντε αποθήκες. Το γεγονός αυτό καθιστά τον συγκεκριμένο τύπο δέρματος να είναι ο απλούστερος στην επεξεργασία του, συγκριτικά με τους προηγούμενου. Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται τόσο οι κύριες όσο και άλλες δευτερεύουσες και ταυτόχρονα αναγκαίες εργασίες. Η υλοποίηση του μοντέλου, ομοίως με τα προηγούμενα, βασίστηκε στο αρχικό διάγραμμα ροής που δόθηκε από τον υπεύθυνο της βιομηχανίας, το οποίο στη συνέχεια εμπλουτίστηκε έπειτα από επίβλεψη και αναλυτική καταγραφή της παραγωγικής διαδικασίας, έτσι ώστε να περιγραφούν με λεπτομέρεια όλα τα γεγονότα. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, παρατηρείται μία αποθήκη εισόδου πρώτης (ακατέργαστης) ύλης (m_1) η οποία στην ουσία περιλαμβάνει δέρματα kudu στην μορφή που εισάγονται, καθώς και την αποθήκη τελικού προϊόντος m_{25} που αναφέρεται στα δέρματα τύπου kudu.



Εικόνα 31: Kudu, διάγραμμα ροής

Οι διαφορετικοί τύποι δερμάτων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.3.2, παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με χρονικές και ποσοτικές παραμέτρους αλλά και όσον αφορά τις φυσικές τους ιδιότητες, εκτός από την αλληλουχία των εργασιών που πραγματοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα οι διαφορές αυτές σχετίζονται με την χρονική καθυστέρηση για την εκτέλεση της εκάστοτε εργασίας αλλά και την χωρητικότητα των αποθηκών (μόνιμων και προσωρινών). Επειδή κάποιες εργασίες γίνονται σε παρτίδες, παρουσιάζονται διαφορές που αφορούν τον αριθμό των δερμάτων ανά παρτίδα, που διαφοροποιείται για κάθε τύπο δέρματος. Άλλες διαφορές σχετίζονται με την συνολική επιφάνεια του κάθε τελικού εμπορικού προϊόντος, επηρεάζοντας (και διαφοροποιώντας) σε μεγάλο βαθμό την παραγωγική διαδικασία. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι διαφορές που εντοπίστηκαν ανά τύπο τελικού προϊόντος.

| ΤΥΠΟΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ | ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ | ΜΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑ ΤΕΜΑΧΙΟ (m ²) | ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΤΙΔΑΣ |
|----------------------|-----------------|--|------------------|
| ΚΥΔΥ | 23 | 0.98 | 300 |
| ΒΑΚΕΤΑ | 34 | 1.4 | 200 |
| ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ | 29 | 1.4 | 150 |
| ΒΑΚΕΤΑ ΒΑΜΜΕΝΗ | 37 | 1.4 | 20 |
| ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ ΒΑΜΜΕΝΟ | 32 | 1.4 | 30 |

Πίνακας 1: Σύγκριση των πέντε διαφορετικών τύπων δερμάτων

3.7 Δευτερεύουσες πρώτες ύλες

Στις δευτερεύουσες πρώτες ύλες συμπεριλαμβάνονται όλα τα υλικά (φυτικά) που είναι απαραίτητα για την παραγωγή τελικού προϊόντος. Δεν είναι ίδια για όλους τους τύπους δέρματος και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

| ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΠΑΡΤΙΔΑ ΚΥΔΥ ΒΑΚΕΤΑ ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ ΒΑΚΕΤΑ ΒΑΜΜΕΝΗ ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ ΒΑΜΜΕΝΟ | ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΎΛΕΣ | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------------|--------|-------|-----------|----------|---------|-----------------|-----------------|
| | Tanigan OS | Tanigan CN | Unitan | Λάδι | Portoline | Μαγνησία | Καζεΐνη | Βαφή διείσδυσης | Βαφή επιφάνειας |
| ΚΥΔΥ | 10 kg | 12 kg | 200 kg | 90 kg | 30 kg | 18 kg | | | |
| ΒΑΚΕΤΑ | 10 kg | 12kg | 200 kg | 60 kg | 20 kg | 18 kg | 5 kg | | |
| ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ | 10 kg | 12 kg | 250 kg | | 15 kg | 18 kg | 5 kg | | |
| ΒΑΚΕΤΑ ΒΑΜΜΕΝΗ | 10 kg | 12kg | 200 kg | 60 kg | 20 kg | 18 kg | 5 kg | 5 kg | 1 kg |
| ΣΟΛΟΔΕΡΜΑ ΒΑΜΜΕΝΟ | 10 kg | 12 kg | 250 kg | | 15 kg | 18 kg | | 7.5 kg | 1.5 kg |

Πίνακας 2: Ποσότητα δευτερευουσών πρώτων υλών ανά παρτίδα και τύπο τελικού προϊόντος

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σημασία της εκάστοτε δευτερεύουσας πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται στην υπό μελέτη βιομηχανία:

| ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ | ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ |
|------------------------------|---|
| TANIGAN OS | Πρόδεψη δερμάτων. Γεμίζει σε ένα πρώτο στάδιο τους πόρους του δέρματος |
| TANIGAN CN | Πρόδεψη δερμάτων. Γεμίζει σε ένα πρώτο στάδιο τους πόρους του δέρματος |
| UNITAN | Δέψη δερμάτων. Υλικό που γεμίζει στο μέγιστο τους πόρους του δέρματος και το σταθεροποιεί |
| LIPSOL COS | Έλαιο εισχώρησης στο εσωτερικό του δέρματος |
| PORTOLINE | Έλαιο επικάλυψης της επιφάνειας του δέρματος, κάνοντας το πιο εύκαμπτο |
| ΜΑΓΝΗΣΙΑ | Προσδίδει πιο απαλή υφή |
| ΚΑΖΕΪΝΗ | Προσδίδει γυαλιστερή επιφάνεια |

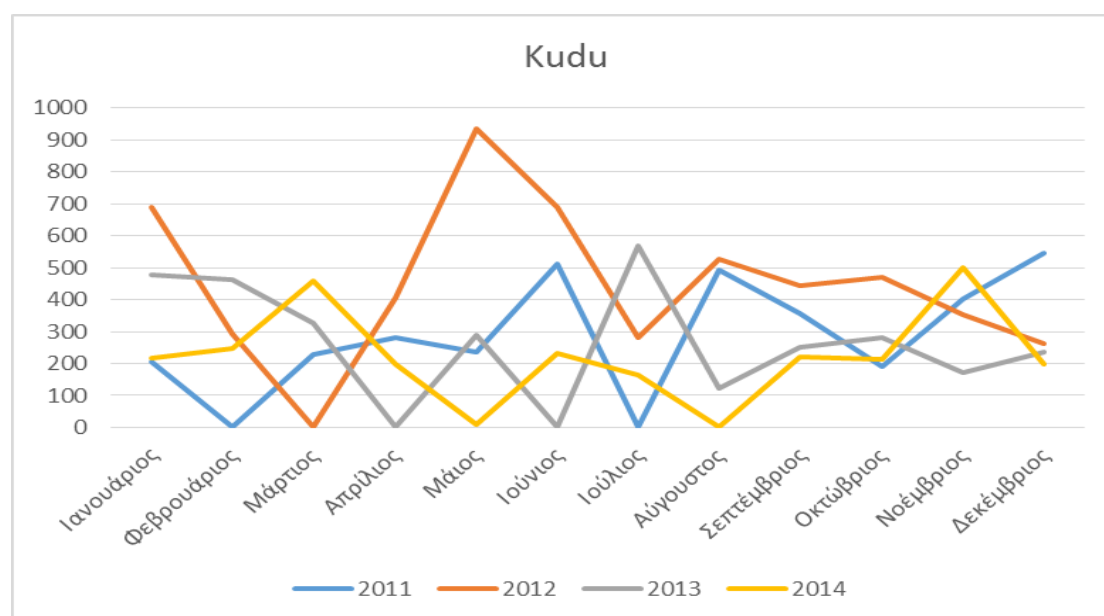
Πίνακας 3: Περιγραφή δευτερευουσών πρώτων υλών

3.8 Δεδομένα πωλήσεων

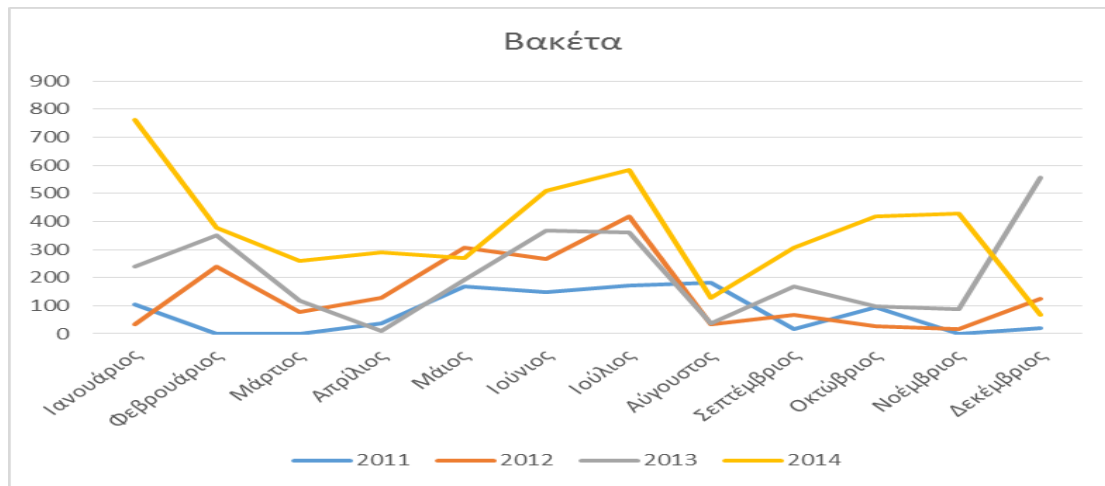
Η διαδικασία παραγωγής έχει μεταβληθεί σημαντικά τα τελευταία πέντε χρόνια, λόγω αλλαγή της νομοθεσίας περί εισαγωγής ακατέργαστων δερμάτων από το εξωτερικό. Στα δέρματα πλέον που εισάγονται, έχουν πραγματοποιηθεί περίπου το 30% των συνολικών εργασιών για λόγους ασφαλείας και δημόσιας υγείας (ασθένειες, βακτήρια και παθογόνοι οργανισμοί που συνδέονται με τα ζώα). Αυτό σχετίζεται άμεσα και με την μεταβολή της παραγωγικής διαδικασίας μιας και πλέον απαιτούνται λιγότερες εργασίες και διαφορετικός τεχνολογικός εξοπλισμός για την παραγωγή τελικού προϊόντος.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν κάποιες αλλαγές στα πλαίσια εκσυγχρονισμού της υπό μελέτη βιομηχανία, οι οποίες είναι, η χρήση του μηχανήματος «παστρευτήρας» καθώς και η μεγαλύτερη προώθηση βαμμένων δερμάτων (βακέτα βαμμένη και σολόδεσμα βαμμένο). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα πωλήσεων των τεσσάρων τελευταίων ετών, με σκοπό την εξαγωγή πιο αντιπροσωπευτικών συμπερασμάτων κατά την μετέπειτα μελέτη και αξιοποίηση τους.

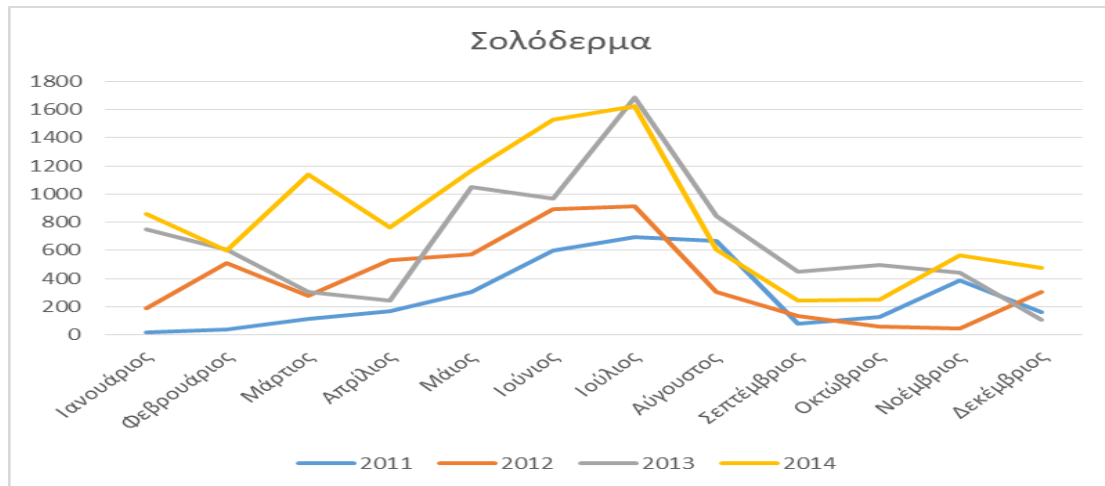
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα ετήσια στοιχεία πωλήσεων ανά τύπο δέρματος, σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων της υπό μελέτη βιομηχανίας.



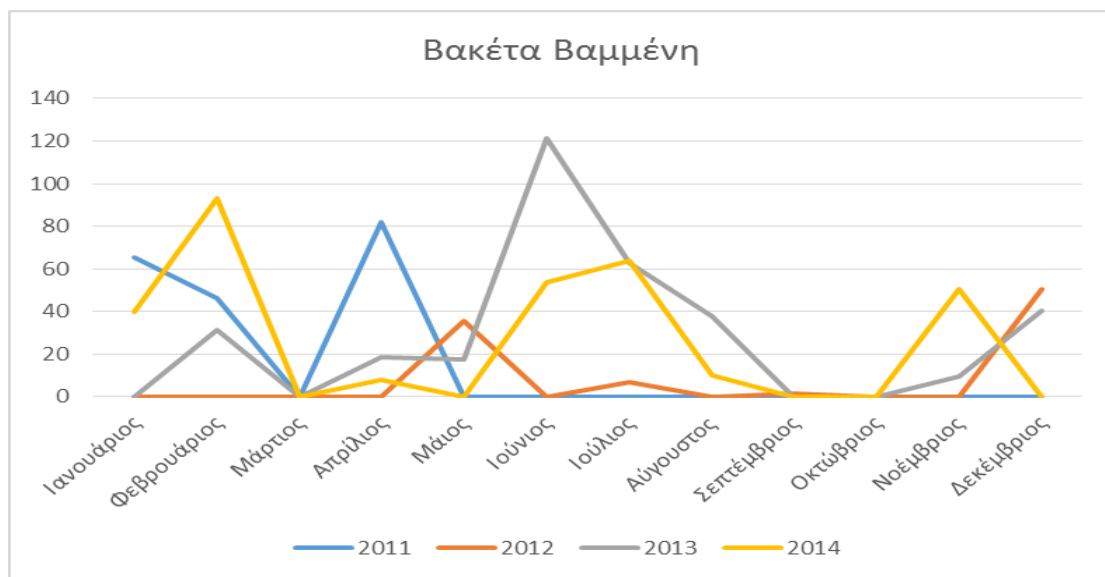
Εικόνα 32: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου kudu



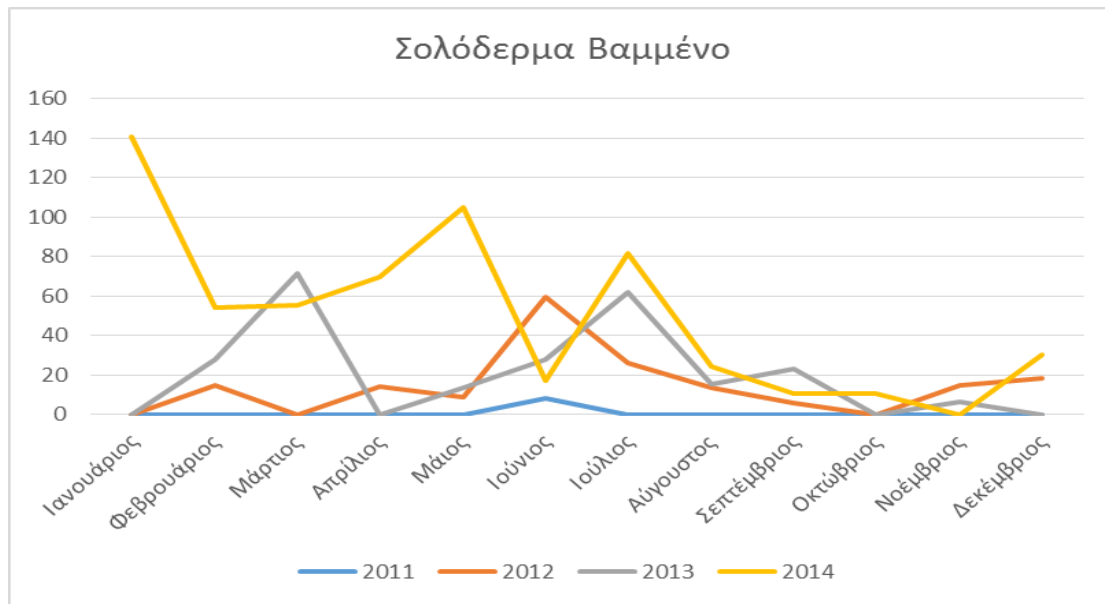
Εικόνα 33: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου βακέτα



Εικόνα 34: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου σολόδερμα



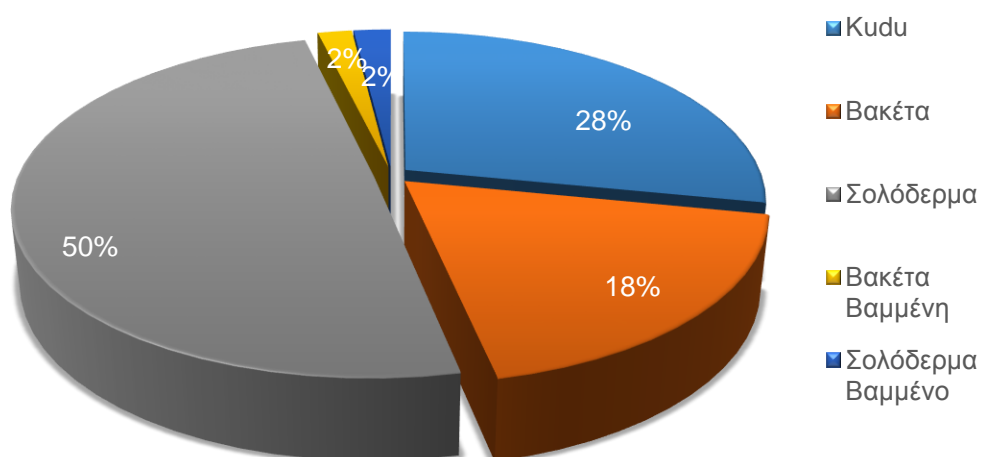
Εικόνα 35: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη



Εικόνα 36: Ετήσιες πωλήσεις δερμάτων τύπου σολόδερμα βαμμένο

Όπως παρατηρείται και από τα διαγράμματα, οι πωλήσεις των δερμάτων παρουσιάζουν μια ανοδική τάση με την πάροδο του χρόνου. Ταυτόχρονα εντοπίζεται έντονη εποχικότητα στις πωλήσεις, η οποία οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό του αγοραστικού κοινού συνδέεται άμεσα με την τουριστική περίοδο η οποία αυξάνεται ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (στην Ελλάδα την τρέχουσα τουριστική περίοδο αναμένονται περίπου είκοσι οκτώ εκατομμύρια τουρίστες).

Ποσοστά πωλήσεων



Εικόνα 37: Ποσοστά πωλήσεων ανά τύπο δέρματος

Στο γράφημα 37 παρουσιάζονται τα ποσοστά πωλήσεων για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δερμάτων η επεξεργασία των οποίων λαμβάνει χώρα στην υπό

μελέτη μονάδα, σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων των τεσσάρων τελευταίων ετών. Όπως παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό πωλήσεων καταλαμβάνουν τα δέρματα τύπου σολόδεσμα (50%). Ακολουθούν τα δέρματα τύπου kudu (28%), τα δέρματα τύπου βακέτα (18%) και τέλος τα δέρματα τύπου βακέτα βαμμένη και σολόδεσμα βαμμένο με ίσα ποσοστά (2%). Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του αγοραστικού κοινού που απευθύνεται η συγκεκριμένη μονάδα ειδικεύεται στην κατασκευή υποδημάτων.

4^ο Κεφάλαιο

Μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας.

4.1 Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την παραγωγή δερμάτων της υπό μελέτη βιομηχανίας με δίκτυα Petri

Σε αυτή την ενότητα υλοποιούνται τα μοντέλα των επιμέρους εργασιών που απαρτίζουν την γραμμή παραγωγής της βιομηχανίας και για τα πέντε προϊόντα, σολόδερμα, σολόδερμα βαμμένο, βακέτα, βακέτα βαμμένη και kudu. Για την πιο αποτελεσματική αλλά και αναλυτικότερη μελέτη της διαδικασίας επεξεργασίας, δημιουργήθηκαν τρία επιμέρους μοντέλα βάσει των ομοιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα σε ένα μοντέλο περιλαμβάνονται τα δέρματα τύπου σολόδερμα και σολόδερμα βαμμένο, στη συνέχεια ξεχωριστά τα δέρματα τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη και τέλος τα δέρματα τύπου kudu. Η υλοποίηση και στη συνέχεια, η προσομοίωση σεναρίων των μοντέλων αυτών, πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού μοντελοποίησης και προσομοίωσης χρονικών και συνεχών δικτύων Petri, VisualObjectNet++ [40].

Αρχικά υλοποιείται το μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας στο οποίο ορίζονται οι δομικές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος καθώς και τα στάδια της παραγωγής, η ακολουθία και ο τρόπος διασύνδεσης των σταδίων αυτών, οι πρώτες ύλες που συμμετέχουν και τα προϊόντα που παράγονται από κάθε στάδιο καθώς και πιθανοί συντελεστές πολλαπλότητας με βάσει τους οποίους γίνεται ο διαχωρισμός τόσο των πρώτων υλών, όσο και ενδιάμεσων προϊόντων καθώς και δομές που διασφαλίζουν την ακολουθία εκτέλεσης των διεργασιών. Στη συνέχεια δημιουργείται μηχανισμός για την αναπαράσταση των αμοιβαίως αποκλειόμενων εργασιών, επιτρέποντας έτσι την διαδοχική λειτουργία τους. Επιπλέον το μοντέλο εμπλουτίζεται με ποσοτικές παραμέτρους, που κατά κύριο λόγο αναφέρονται στις χρονικές καθυστερήσεις των (μη συνεχών) διαδικασιών, στις χωρητικότητες των αποθηκών, στα μεγέθη των παρτίδων αλλά και στα βάρη πολλαπλότητας των τόξων. Για την πιο ολοκληρωμένη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος παραγωγής υπό διάφορες συνθήκες, εκτελούνται προσομοιώσεις εναλλακτικών σεναρίων στα οποία τροποποιούνται τιμές αλλά και η φύση συγκεκριμένων ποσοτικών παραμέτρων (μέσω της εισαγωγής της τυχαιότητας), έτσι ώστε να εξεταστούν τόσο οι πλέον συχνά συναντούμενες περιπτώσεις όσο και ακραίες αλλά ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος (π.χ. καθυστέρηση εκτέλεσης

διαδικασιών λόγω μεγάλου μεγέθους των δερμάτων). Η γνώση της συμπεριφοράς του συστήματος σε ακραίες περιπτώσεις λειτουργίας μπορεί να φανεί πολύ πιο χρήσιμη για την αντιμετώπιση αυτών των καταστάσεων στο πραγματικό σύστημα παραγωγής χωρίς τους κινδύνους (οικονομικούς, φυσικούς και κινδύνους ασφάλειας) που συνεπάγεται για το ίδιο το σύστημα.

Στις ποσοτικές εκείνες παραμέτρους, που παρουσιάζουν τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνουν, η μοντελοποίηση τους πραγματοποιήθηκε ως εξής:

$$A = x + y * \text{rnd}(z)$$

Όπου:

- A: Η παράμετρος που παρουσιάζει τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνει
- x: Η ελάχιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος
- $x + y * z$: Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος
- $z \in \mathbb{Z}$
- Το z λαμβάνει ακέραια τιμή στο διάστημα $[0, z]$

Η τιμή που λαμβάνει το z σε κάθε περίπτωση είναι η μέγιστη δυνατή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ποικιλία αριθμών που παράγει η γεννήτρια τυχαίων αριθμών (rnd). Μεγαλύτερη ποικιλία τιμών, συνεπάγεται πιο ρεαλιστικά και αμερόληπτα αποτελέσματα.

4.1.1 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου σολόδερμα και σολόδερμα

Οι παρακάτω πίνακες επεξηγούν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του μοντέλου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri, για τα δέρματα τύπου σολόδερμα και σολόδερμα βαμμένο. Στην επόμενη στήλη παρουσιάζονται οι χωρητικότητες των θέσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την προσομοίωση των σεναρίων.

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (ΤΕΜΑΧΙΑ) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|
| P1 | Αποθήκη πρώτης ύλης | 5000 |
| P2 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 1 | 300 |
| P3 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 2 | 300 |
| P4 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 3 | 300 |
| P5 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 4 | 300 |
| P6 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 5 | 300 |
| P7 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 6 | 1 |
| P8 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 7 | 300 |
| P9 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 8 | 500 |
| P10 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 9 | 500 |
| P11 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 10 | 300 |
| P12 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 11 | 300 |
| P13 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 12 | 300 |
| P14 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 13 | 300 |
| P15 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 14 | 300 |
| P16 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 15 | 300 |

| | | |
|------------|---|-------|
| P17 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 16 | 150 |
| P18 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 17 | 600 |
| P19 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 18 | 600 |
| P20 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 19 | 150 |
| P21 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 20 | 600 |
| P22 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 21 | 600 |
| P23 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 22 | 300 |
| P24 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 23 | 300 |
| P25 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 24 | 300 |
| P26 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 25 | 300 |
| P27 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 26 | 150 |
| P28 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 27 | 150 |
| P29 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 28 | 300 |
| P30 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 29 | 1000 |
| P31 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 30 | 300 |
| P32 | Αποθήκη τελικού προϊόντος τύπου Σολόδερμα | 10000 |
| P33 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 31 | 300 |
| P34 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 32 | 300 |
| P35 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 33 | 300 |
| P36 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 34 | 120 |
| P37 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 35 | 300 |
| P38 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 36 | 120 |
| P39 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 37 | 300 |

| | | |
|------------|---|-------|
| P40 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 38 | 300 |
| P41 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 39 | 120 |
| P42 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 40 | 120 |
| P43 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 41 | 300 |
| P44 | Αποθήκη τελικού προϊόντος τύπου Σολόδερμα βαμμένο | 10000 |
| P45 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P46 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P47 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P48 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P49 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P50 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P51 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 12 |
| P52 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 7 |
| P53 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 7 |
| P54 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 8 |
| P55 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 8 |

| | | |
|------------|--|----|
| P56 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 12 |
| P57 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 12 |
| P58 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 7 |
| P59 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 7 |
| P60 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 8 |
| P61 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 8 |
| P62 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 12 |
| P63 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P64 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |

Πίνακας 4: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου σολόδερμα και σολόδερμα βαμμένο

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) | ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) |
|-------------------------------|--------------------------|---|--|
| T1 | Διχοτόμηση πρώτης ύλης | 1.2 | 1.7 |
| T2 | Εκχόνδριση δερμάτων | 0.63 | 0.99 |
| T3 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.76 | 0.79 |
| T4 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |

| | | | |
|------------|--|------|--------|
| T5 | Πρόδεψη | 360 | 360 |
| T6 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.3 | 0.33 |
| T7 | Εισαγωγή στο 2nd Drum | 0 | 0 |
| T8 | Μετάβαση μετατροπής τεμαχίων σε m ² | 0 | 0 |
| T9 | Δέψη | 1330 | 1630 |
| T10 | Μετάβαση μετατροπής m ² σε τεμάχια | 0 | 0 |
| T11 | Αφαίρεση από το 2nd Drum | 0.3 | 0.33 |
| T12 | Αφαίρεση υγρασίας | 0.7 | 1.7 |
| T13 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T14 | Ανάδευση | 180 | 180 |
| T15 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.18 | 0.198 |
| T16 | Διαπλάτυνση | 0.48 | 0.63 |
| T17 | Κρέμασμα σε ειδικές κατασκευές | 0.32 | 1.82 |
| T18 | Στέγνωμα | 720 | 1440 |
| T19 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 0.34 | 0.49 |
| T20 | Διαπλάτυνση | 1.21 | 1.32 |
| T21 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 0.34 | 0.49 |
| T22 | Διαλογή | 0.14 | 0.1407 |
| T23 | Επικάλυψη με καζεΐνη | 1.64 | 1.75 |
| T24 | Στέγνωμα | 480 | 480 |

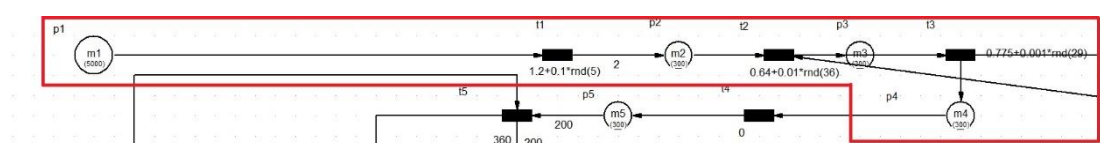
| | | | |
|------------|--|------|-------|
| T25 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 1.03 | 1.03 |
| T26 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.47 | 0.507 |
| T27 | Κύλινδρος | 1.64 | 1.663 |
| T28 | Έλεγχος ποιότητας | 0.16 | 0.183 |
| T29 | Μέτρημα επιφάνειας | 0.13 | 0.209 |
| T30 | Πακετάρισμα | 0.5 | 0.67 |
| T31 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T32 | Εσωτερική βαφή | 225 | 225 |
| T33 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.18 | 0.36 |
| T34 | Αφαίρεση υγρασίας | 0.72 | 1.68 |
| T35 | Διαπλάτυνση | 0.48 | 0.98 |
| T36 | Λεπτομερής διαπλάτυνση | 1.08 | 1.14 |
| T37 | Διαπλάτυνση-Γυάλισμα | 1.21 | 1.46 |
| T38 | Βάψιμο επιφάνειας | 1.58 | 1.83 |
| T39 | Μέτρημα επιφάνειας | 0.13 | 0.209 |
| T40 | Πακετάρισμα | 0.5 | 0.67 |
| T41 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T42 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T43 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T44 | Διαδικασία στεγνώματος, Καλοκαίρι | 1440 | 1440 |

| | | | |
|------------|--|------|------|
| T45 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T46 | Διαδικασία στεγνώματος, Άνοιξη-Φθινόπωρο | 2880 | 2880 |
| T47 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T48 | Διαδικασία στεγνώματος, Χειμώνας | 4320 | 4320 |
| T49 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T50 | Διαδικασία στεγνώματος, Καλοκαίρι | 1440 | 1440 |
| T51 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T52 | Διαδικασία στεγνώματος, Άνοιξη-Φθινόπωρο | 2880 | 2880 |
| T53 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T54 | Διαδικασία στεγνώματος, Χειμώνας | 4320 | 4320 |
| T55 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T56 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |

Πίνακας 5: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο

Στο συγκεκριμένο σενάριο έχουν εισαχθεί οι ποσοτικές παράμετροι όπως έχουν καταγραφεί μέσα από μετρήσεις, μελέτη του αρχείου καταγραφών αλλά και από συνεντεύξεις που έγιναν με τους εργαζόμενους της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Πρόκειται για το σενάριο βάσης, στο οποίο οι ποσοτικές παράμετροι έχουν τις πλέον συνηθισμένες τιμές και πιθανές διακυμάνσεις στην περίπτωση των τυχαίων μεταβλητών. Για την ευκολότερη επεξήγηση του, το βασικό μοντέλο θα χωριστεί σε στάδια, όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 3.5.

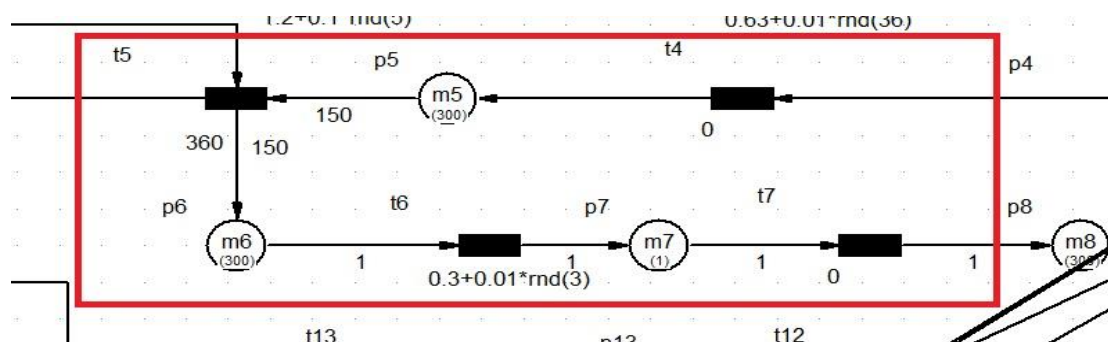
4.1.1.1 Προετοιμασία



Εικόνα 39: Σολόδεσμα, Στάδιο Προετοιμασίας

Ξεκινώντας από την θέση p_1 όπου αποτελεί την αποθήκη πρώτης ύλης, με χωρητικότητα πέντε χιλιάδες τεμάχια, τα δέρματα οδηγούνται διακριτά στην μετάβαση t_1 , ή αλλιώς «Κόψιμο» όπου και πραγματοποιείται η διχοτόμηση τους. Στη συνέχεια ακολουθεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, η p_2 , η οποία συνδέεται με την t_1 με βέλος πολλαπλότητας με τιμή δύο, λόγω του ότι μετά το πέρας της διαδικασίας της διχοτόμησης παράγονται δύο νέα προϊόντα. Έπειτα ακολουθεί η μετάβαση «Παστρευτήρας» (η οποία αναπαρίσταται από την t_2) όπου πραγματοποιείται η εκχόνδριση των δερμάτων τα οποία οδηγούνται στην θέση p_3 που αποτελεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος. Τέλος ακολουθεί η μετάβαση «Καθάρισμα», ή οποία παρουσιάζεται στο μοντέλο από την t_3 , όπου πραγματοποιείται η αφαίρεση των υπολειμμάτων και τα δέρματα πλέον οδηγούνται στην θέση p_4 που αποτελεί επίσης μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

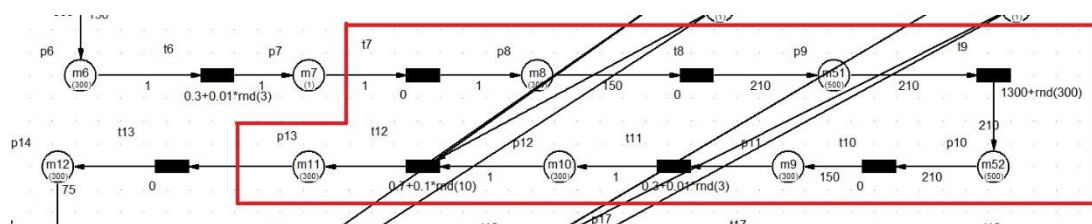
4.1.1.2 Πρόδεψη



Εικόνα 40: Σολόδεσμα, Στάδιο Πρόδεξης

Μετά το πέρας του προηγούμενου σταδίου τα δέρματα οδηγούνται στην μετάβαση t_4 όπου και εισάγονται στο 1st Drum. Ακολουθεί η θέση p_5 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Επειδή η διαδικασία της πρόδεψης που ακολουθεί εκτελείται σε παρτίδες των 150 δερμάτων, στο σημείο αυτό γίνεται η συγκέντρωση των δερμάτων μέχρι τον αριθμό των 150 δερμάτων. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός αυτός στην p_5 , λειτουργεί η μετάβαση t_5 που αναπαριστά την διαδικασία πρόδεψης των δερμάτων η διάρκεια της οποίας έχει μετρηθεί κι είναι 360 λεπτά. Έπειτα, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_6 . Τέλος ακολουθεί η αφαίρεση των δερμάτων από το 1st Drum, η οποία συμβολίζεται με την μετάβαση «Ξεβαρέλιασμα» και τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_7 που αποτελεί μια προσωρινή αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

4.1.1.3 Δέψη

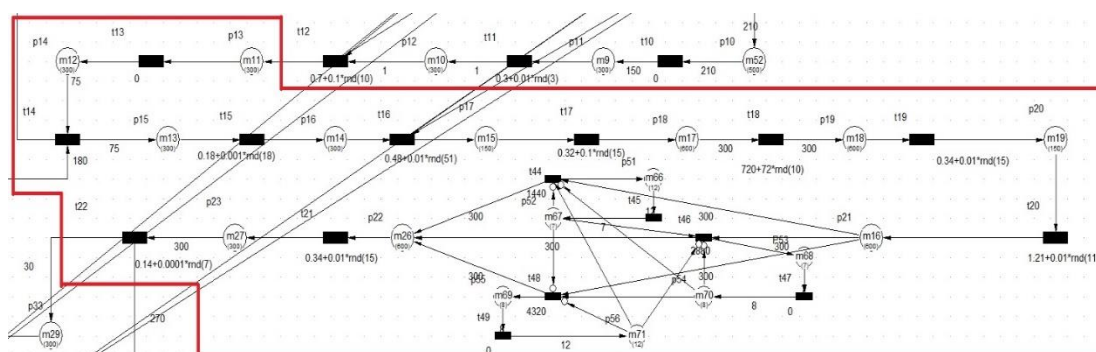


Εικόνα 41: Σολόδεσμα, Στάδιο Δέψης

Τα δέρματα σε αυτό το στάδιο εισάγονται στο «2nd Drum», όπως αναπαρίσταται στο μοντέλο με την άμεση μετάβαση t_7 , που πραγματοποιείται σε πολύ μικρό διάστημα για πολύ μεγάλο αριθμό δερμάτων, επιτρέποντας να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα αμελητέος ο χρόνος της. Ακολουθεί η θέση p_8 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 150 δερμάτων στην m_8 , μεταφέρονται στη μετάβαση «2nd Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_9) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία δέψης των δερμάτων η διάρκεια της οποίας έχει μετρηθεί και κυμαίνεται από 1300 έως 1600 λεπτά.

Η μετάβαση t_8 αποτελεί μία πλασματική μετάβαση μετατροπής των τεμαχίων δέρματος σε επιφάνεια μετρημένη σε m^2 και έχει σαν είσοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 150, ενώ έξοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 210 λόγω του ότι έπειτα από πειραματικές μετρήσεις, η μέση επιφάνεια του δέρματος υπολογίστηκε περίπου στα $1.40 m^2$. Η θέση p_9 είναι επίσης πλασματική και έχει σαν είσοδο την έξοδο της t_8 . Η μετατροπή των τεμαχίων σε m^2 κρίθηκε απαραίτητη αφού η διακύμανση του χρόνου δέψης των δερμάτων επηρεάζεται από την συνολική επιφάνεια των δερμάτων

4.1.1.4 Διαπλάτυνση



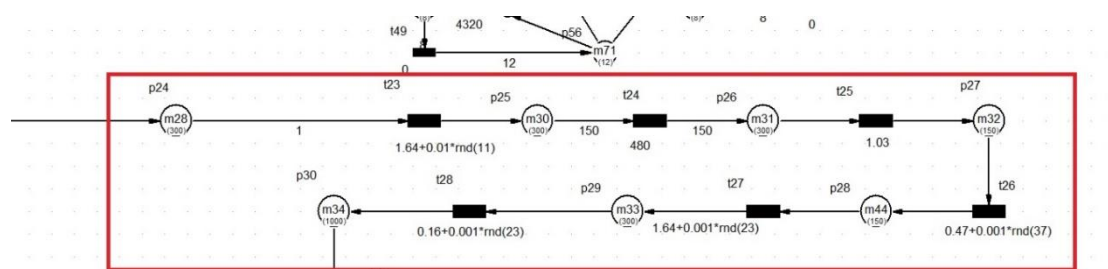
Τα δέρματα που βρίσκονται αποθηκευμένα στην θέση p_{13} , οδηγούνται στην άμεση μετάβαση «Βαρέλιασμα 1^η» η οποία απεικονίζεται από την t_{13} . Ακολουθεί η θέση p_{14} που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 75 δερμάτων στην p_{14} , μεταφέρονται στη μετάβαση «1st Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_{14}) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία ανάδευσης των δερμάτων μαζί με διάφορα υλικά, η διάρκεια της οποίας είναι 180 λεπτά. Έπειτα ακολουθεί μια προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{15} . Τα δέρματα στη συνέχεια οδηγούνται στην διαδικασία «Ξεβαρέλιασμα» η οποία παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{15} . Ακολουθεί η αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{16} , η οποία τροφοδοτεί την διαδικασία «Στρωτήρας», που παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{16} . Έπειτα βρίσκεται η ενδιάμεση αποθήκη p_{17} και τα δέρματα οδηγούνται στην διαδικασία «Κρέμασμα», που συμβολίζεται με την μετάβαση t_{17} .

93 από 173

μεταφέρονται στη μετάβαση «Στέγνωμα» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_{18}) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία φυσικής απομάκρυνσης της υγρασίας των δερμάτων, η διάρκεια της κυμαίνεται από 720 έως 1440 λεπτά. Έπειτα βρίσκεται μια προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{20} . Τα δέρματα στη συνέχεια οδηγούνται στην διαδικασία «Κατέβασμα» η οποία παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{19} . Ακολουθεί μία ενδιάμεση αποθήκη που αναπαρίσταται με την θέση p_{21} και τα δέρματα οδηγούνται στην διαδικασία «Κυλινδράκι» που παρουσιάζεται στο μοντέλο από την μετάβαση t_{20} . Στη συνέχεια ακολουθεί μια συστοιχία θέσεων και μεταβάσεων που αναπαριστούν το στέγνωμα των δερμάτων ανά έτος. Οι χρόνοι στεγνώματος των δερμάτων χωρίστηκαν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, λόγω διαφοράς στο χρόνο που απαιτείται για την περάτωση του. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το καλοκαίρι, στην δεύτερη αυτά που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το φθινόπωρο και την άνοιξη ενώ στην τρίτη αυτά που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται τον χειμώνα.

Αρχικά υπολογίστηκε ο αριθμός των παρτίδων (των 300 δερμάτων) που επεξεργάζονται σε κάθε κατηγορία σύμφωνα με τα δεδομένα του 2014. Έτσι βρέθηκαν 12 παρτίδες για το καλοκαίρι, 7 για την άνοιξη και το φθινόπωρο και 8 για τον χειμώνα. Οι χρόνοι περάτωσης της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι 1440 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το καλοκαίρι, 2880 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται την άνοιξη και το φθινόπωρο και 4320 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται τον χειμώνα. Μετά το πέρας της διαδικασίας του στεγνώματος, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{22} . Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία «Κατέβασμα» (μετάβαση t_{21}) για να οδηγηθούν τα δέρματα στην αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{23} . Τέλος ακολουθεί η διαδικασία «Διαλογή για βάψιμο» που παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{22} .

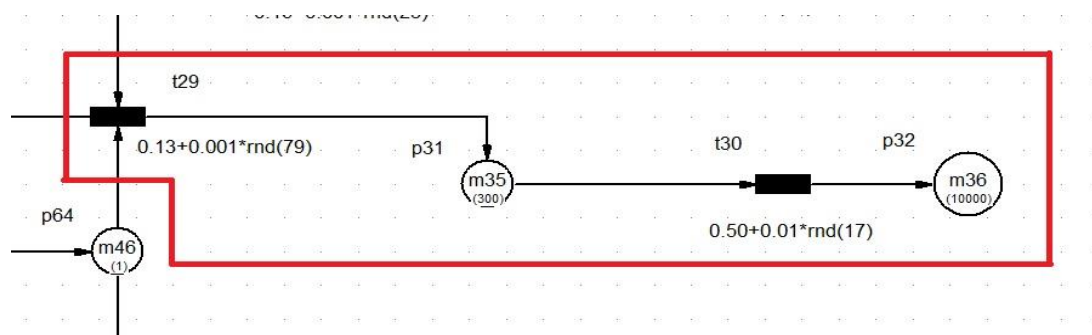
4.1.1.5 Φινιρίσμα



Εικόνα 43: Σολόδεσμα, Στάδιο Φινιρίσματος

Όσα από τα δέρματα που εγκαταλείπουν το τελευταίο στάδιο, δεν οδηγηθούν στο στάδιο «βάψιμο», αποθηκεύονται σε μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, την p_{24} και στη συνέχεια οδηγούνται στην μετάβαση t_{23} όπου πραγματοποιείται η επικάλυψη των δερμάτων με καζεΐνη. Μετά την λειτουργία της t_{23} , ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η οποία παρουσιάζεται από την p_{25} . Τα δέρματα τοποθετούνται στον χώρο του στεγνωτηρίου σε παρτίδες των 150 τεμαχίων όπου και θα παραμείνουν για 480 λεπτά (μετάβαση t_{24}). Ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{26} και τα δέρματα οδηγούνται διακριτά στη μετάβαση t_{25} η οποία αναπαριστά το κατέβασμα των δερμάτων από τις ειδικές κατασκευές μετά το στέγνωμα τους. Έπειτα υπάρχει μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος (p_{27}) για να ακολουθήσει η διαδικασία της αφαίρεσης των υπολειμμάτων που παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{26} και η αποθήκευση των δερμάτων στην προσωρινή αποθήκη p_{28} . Τα δέρματα από την p_{28} οδηγούνται στην μετάβαση t_{27} που αναπαριστά το μηχάνημα «κύλινδρος», αποθηκεύονται προσωρινά στην αποθήκη p_{29} όπου και γίνεται ο τελικός έλεγχος ποιότητας, διαδικασία που παρουσιάζεται από τη μετάβαση t_{28} . Μετά τον έλεγχο ποιότητας, ακολουθεί μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, η p_{30} από όπου τα δέρματα συνεχίζουν στο τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας τους.

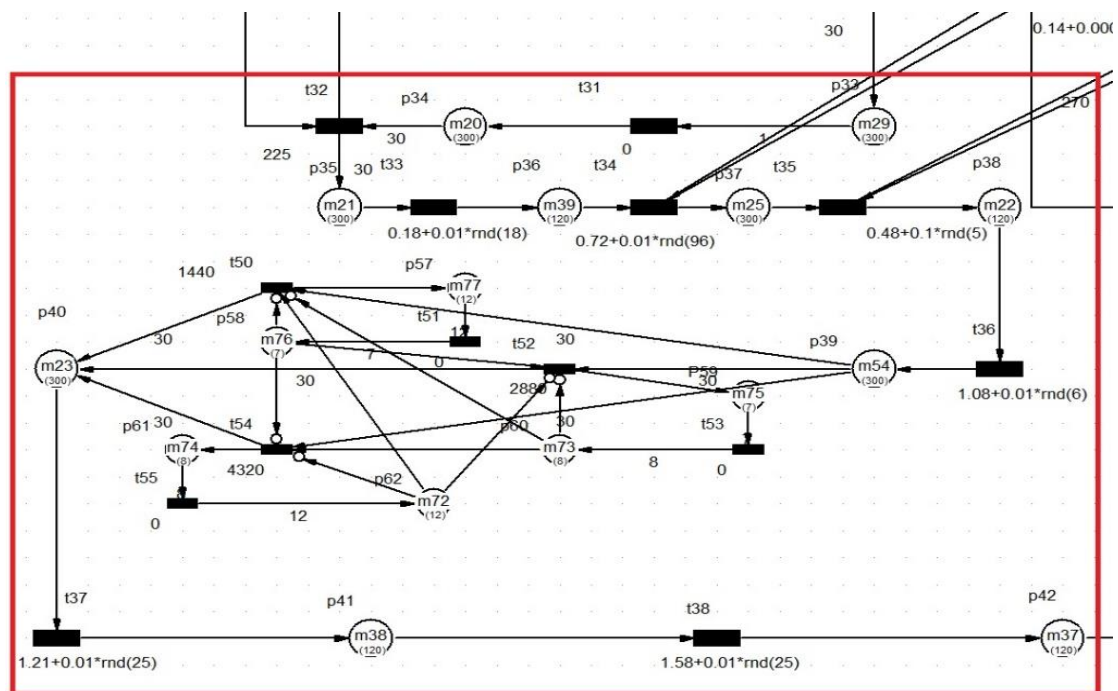
4.1.1.6 Πακετάρισμα



Εικόνα 44: Σολόδεσμα, Στάδιο Πακεταρίσματος

Από την αποθήκη p_{30} , πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων, η οποία παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{29} . Στη συνέχεια ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{31} και έπειτα η συσκευασία τους που παρουσιάζεται από την θέση t_{30} . Τέλος υπάρχει μία αποθήκη τελικού (συσκευασμένου) προϊόντος που παρουσιάζεται από την θέση p_{32} .

4.1.1.7 Βάψιμο



Εικόνα 45: Σολόδεσμα, Στάδιο Βαψίματος

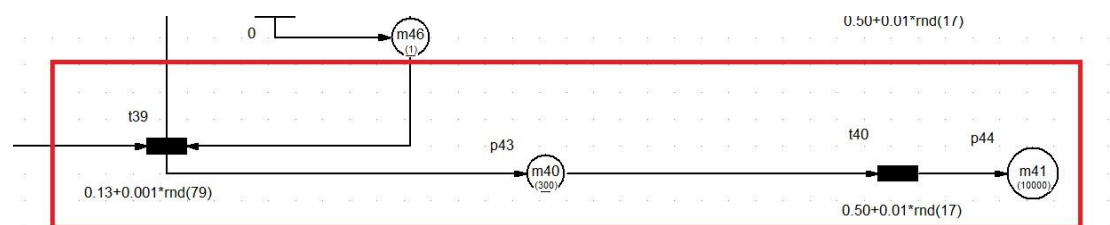
Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας «Διαλογή για βάψιμο» του σταδίου της διαπλάτυνσης, τα δέρματα που προορίζονται για τύπου «Σολόδεσμα Βαμμένο», οδηγούνται στην προσωρινή αποθήκη p_{33} και έπειτα στην θέση t_{31} που αναπαριστά την διαδικασία εισαγωγής των δερμάτων στο 1st Drum. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 30 δερμάτων στην θέση p_{34} , μεταφέρονται στη μετάβαση «1st Drum» (η οποία αναπαρίσταται από την t_{32}) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία ανάδευσης των δερμάτων μαζί με ειδικά χρώματα, για χρόνο 225 λεπτών. Έπειτα βρίσκεται μια προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{35} . Τα δέρματα στη συνέχεια οδηγούνται στην διαδικασία «Ξεβαρέλιασμα» η οποία αναπαρίσταται από την μετάβαση t_{33} και έπειτα στη θέση p_{36} . Στη συνέχεια βρίσκεται η μετάβαση t_{34} που αναπαριστά την διαδικασία «Ξεζουμιστήρας». Ακολουθεί η αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{37} , η οποία τροφοδοτεί την διαδικασία «Στρωτήρας», που παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{35} . Στην συνέχεια βρίσκεται η θέση p_{38} που με την σειρά της τροφοδοτεί την μετάβαση t_{36} που αναπαριστά την διαδικασία «Τουναλέτα».

Από εκεί οδηγούνται στη θέση p_{39} που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Στη συνέχεια ακολουθεί μια συστοιχία θέσεων και μεταβάσεων που αναπαριστούν το στέγνωμα των δερμάτων ανά έτος. Ο τρόπος που μοντελοποιήθηκε η διαδικασία του στεγνώματος δεν διαφέρει από την αντίστοιχη στο

στάδιο της διαπλάτυνσης. Η μόνη διαφορά που παρουσιάζεται είναι στον αριθμό των δερμάτων ανά παρτίδα, που αντί για 150, σε αυτή την περίπτωση είναι 30.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του στεγνώματος, ακολουθεί μία ενδιάμεση αποθήκη που αναπαρίσταται με την θέση p_{40} και τα δέρματα οδηγούνται στην διαδικασία «Κυλινδράκι» που παρουσιάζεται στο μοντέλο από την μετάβαση t_{37} . Στην συνέχεια βρίσκεται μία θέση, η p_{41} για να οδηγηθούν τα δέρματα στη μετάβαση t_{38} που αναπαριστά τον επιφανειακό ψεκασμό των δερμάτων με χρώμα. Με το πέρας και της τελευταίας μετάβασης, τα δέρματα μεταφέρονται στην θέση p_{42} .

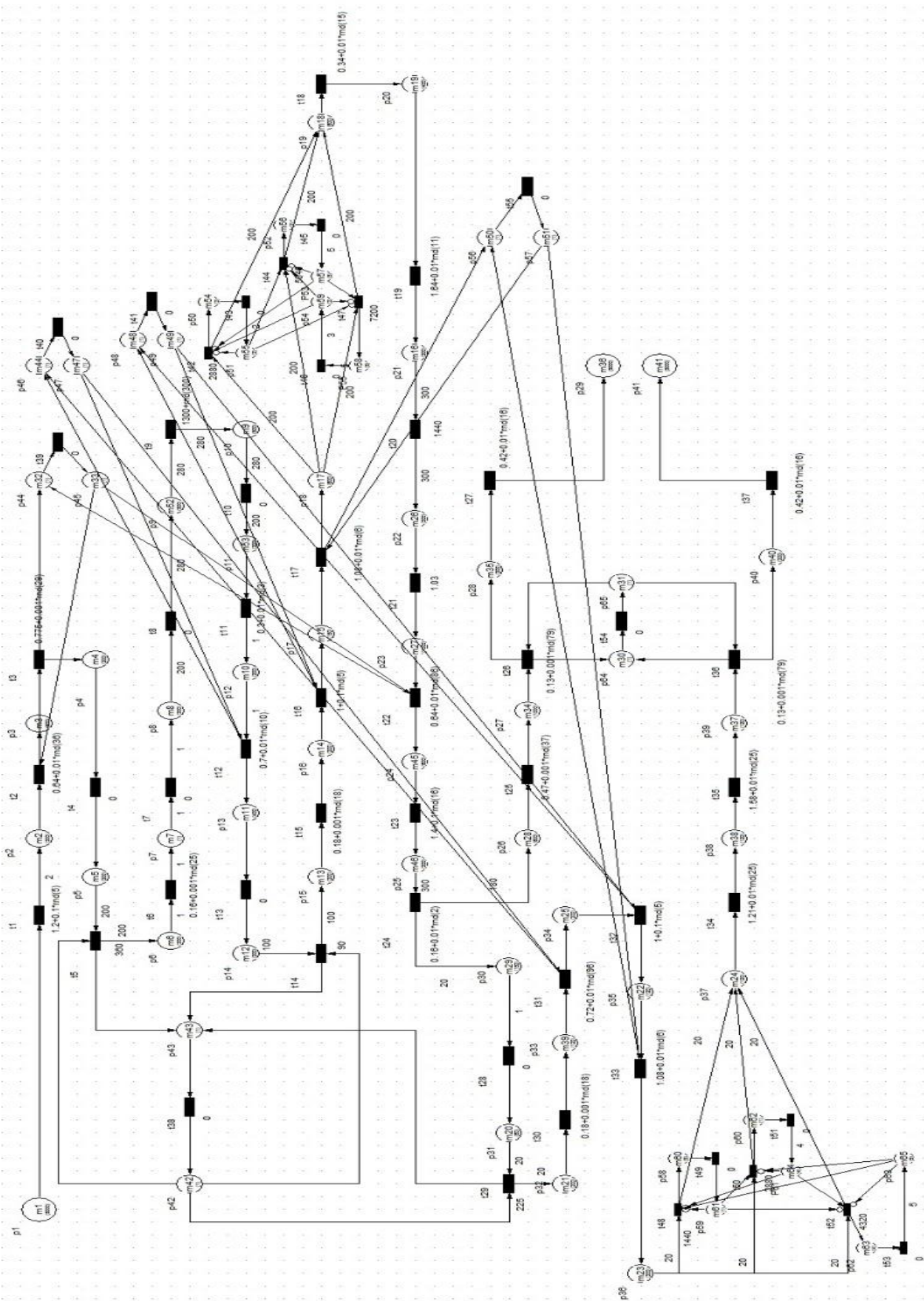
4.1.1.8 Πακετάρισμα



Εικόνα 46: Σολόδεγμα Βαμμένο, Στάδιο Πακεταρίσματος

Ομοίως με πριν, από την αποθήκη p_{42} , πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων, η οποία αναπαρίσταται από την μετάβαση t_{39} . Στη συνέχεια ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{43} και έπειτα η συσκευασία τους που παρουσιάζεται από την θέση t_{40} . Τέλος υπάρχει μία αποθήκη τελικού(συσκευασμένου) προϊόντος που παρουσιάζεται από την θέση p_{44} .

4.1.2 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένα



Εικόνα 47: Παρουσίαση Μοντέλου, Βακέτα και Βακέτα βαμμένη

Οι παρακάτω πίνακες επεξηγούν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του μοντέλου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri, για τα δέρματα τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη. Στην επόμενη στήλη παρουσιάζονται οι χωρητικότητες των θέσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την προσομοίωση των σεναρίων.

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (ΤΕΜΑΧΙΑ) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|
| P1 | Αποθήκη πρώτης ύλης | 5000 |
| P2 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 1 | 300 |
| P3 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 2 | 300 |
| P4 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 3 | 300 |
| P5 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 4 | 300 |
| P6 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 5 | 300 |
| P7 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 6 | 1 |
| P8 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 7 | 300 |
| P9 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 8 | 500 |
| P10 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 9 | 500 |
| P11 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 10 | 300 |
| P12 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 11 | 300 |
| P13 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 12 | 400 |
| P14 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 13 | 300 |
| P15 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 14 | 300 |
| P16 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 15 | 300 |

| | | |
|------------|--|------|
| P17 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 16 | 150 |
| P18 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 17 | 600 |
| P19 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 18 | 600 |
| P20 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 19 | 400 |
| P21 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 20 | 300 |
| P22 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 21 | 300 |
| P23 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 22 | 1000 |
| P24 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 23 | 600 |
| P25 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 24 | 300 |
| P26 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 25 | 600 |
| P27 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 26 | 1000 |
| P28 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 27 | 300 |
| P29 | Αποθήκη τελικού προϊόντος τύπου Βακέτα | 5000 |
| P30 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 28 | 150 |
| P31 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 29 | 60 |
| P32 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 30 | 300 |
| P33 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 31 | 120 |
| P34 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 32 | 300 |
| P35 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 33 | 120 |
| P36 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 34 | 300 |
| P37 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 35 | 120 |
| P38 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 36 | 120 |
| P39 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 37 | 120 |

| | | |
|------------|--|------|
| P40 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 38 | 300 |
| P41 | Αποθήκη τελικού προϊόντος τύπου Βακέτα Βαμμένη | 5000 |
| P42 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P43 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P44 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P45 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P46 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P47 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P48 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P49 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P50 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 3 |
| P51 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 2 |
| P52 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 2 |
| P53 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 5 |
| P54 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 3 |
| P55 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 5 |
| P56 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |

| | | |
|------------|--|---|
| P57 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P58 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 5 |
| P59 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 1 |
| P60 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 1 |
| P61 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 4 |
| P62 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 4 |
| P63 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 5 |
| P64 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P65 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |

Πίνακας 6: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) | ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) |
|-------------------------------|--------------------------|---|--|
| T1 | Διχοτόμηση πρώτης ύλης | 1.2 | 1.7 |
| T2 | Εκχόνδριση δερμάτων | 0.64 | 1 |
| T3 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.775 | 0.804 |
| T4 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T5 | Πρόδεψη | 360 | 360 |

| | | | |
|------------|--|------|-------|
| T6 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.16 | 0.185 |
| T7 | Εισαγωγή στο 2nd Drum | 0 | 0 |
| T8 | Μετάβαση μετατροπής τεμαχίων σε m ² | 0 | 0 |
| T9 | Δέψη | 1300 | 1600 |
| T10 | Μετάβαση μετατροπής m ² σε τεμάχια | 0 | 0 |
| T11 | Αφαίρεση από το 2nd Drum | 0.3 | 0.33 |
| T12 | Αφαίρεση υγρασίας | 0.7 | 0.8 |
| T13 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T14 | Ανάδευση | 90 | 90 |
| T15 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.18 | 0.198 |
| T16 | Διαπλάτυνση | 1 | 1.5 |
| T17 | Λεπτομερής διαπλάτυνση | 1.08 | 1.14 |
| T18 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 0.34 | 0.49 |
| T19 | Επικάλυψη με καζεΐνη | 1.64 | 1.75 |
| T20 | Στέγνωμα | 1440 | 1440 |
| T21 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 1.03 | 1.03 |

| | | | |
|------------|---|------|-------|
| T22 | Εκχόνδριση δερμάτων | 0.64 | 1.5 |
| T23 | Γυάλισμα επιφάνειας | 1.4 | 3 |
| T24 | Διαλογή | 0.16 | 0.18 |
| T25 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.47 | 0.507 |
| T26 | Μέτρηση επιφάνειας | 0.13 | 0.209 |
| T27 | Πακετάρισμα | 0.42 | 0.58 |
| T28 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T29 | Εσωτερική βαφή | 225 | 225 |
| T30 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.18 | 0.198 |
| T31 | Αφαίρεση υγρασίας | 0.72 | 1.68 |
| T32 | Διαπλάτυνση | 1 | 1.5 |
| T33 | Λεπτομερής διαπλάτυνση | 1.08 | 1.14 |
| T34 | Διαπλάτυνση- Γυάλισμα | 1.21 | 1.46 |
| T35 | Βάψιμο επιφάνειας | 1.58 | 1.83 |
| T36 | Μέτρηση επιφάνειας | 0.13 | 0.209 |
| T37 | Πακετάρισμα | 0.42 | 0.58 |
| T38 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |

| | | | |
|------------|---|------|------|
| T39 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T40 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T41 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T42 | Διαδικασία στεγνώματος, Καλοκαίρι | 2880 | 2880 |
| T43 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T44 | Διαδικασία στεγνώματος, Άνοιξη- Φθινόπωρο | 5040 | 5040 |
| T45 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T46 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T47 | Διαδικασία στεγνώματος, Χειμώνας | 7200 | 7200 |

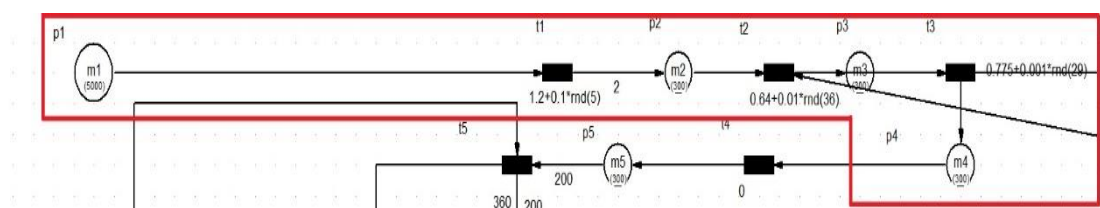
| | | | |
|------------|--|------|------|
| T48 | Διαδικασία στεγνώματος, Καλοκαίρι | 1440 | 1440 |
| T49 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T50 | Διαδικασία στεγνώματος, Άνοιξη-Φθινόπωρο | 2880 | 2880 |
| T51 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T52 | Διαδικασία στεγνώματος, Χειμώνας | 4320 | 4320 |
| T53 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T54 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T55 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |

Πίνακας 7: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη

Στο συγκεκριμένο σενάριο έχουν εισαχθεί οι ποσοτικές παράμετροι όπως έχουν καταγραφεί μέσα από μετρήσεις αλλά και από συνεντεύξεις που έγιναν με τους

εργαζόμενους της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Πρόκειται για το σενάριο βάσης, στο οποίο οι ποσοτικές παράμετροι έχουν τις πλέον συνηθισμένες τιμές και πιθανές διακυμάνσεις στην περίπτωση των τυχαίων μεταβλητών. Για την ευκολότερη επεξήγηση του, το βασικό μοντέλο θα χωριστεί σε στάδια, όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 3.5.

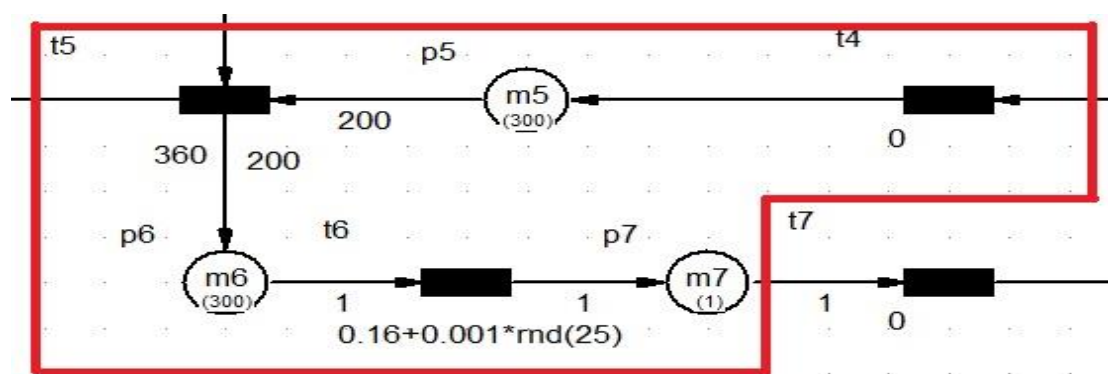
4.1.2.1 Προετοιμασία



Εικόνα 48: Βακέτα, Στάδιο Προετοιμασίας

Ξεκινώντας από την θέση p_1 όπου αποτελεί την αποθήκη πρώτης ύλης η οποία έχει χωρητικότητα πέντε χιλιάδες τεμάχια, τα δέρματα οδηγούνται διακριτά στην μετάβαση t_1 , ή αλλιώς «Κόψιμο» όπου και πραγματοποιείται η διχοτόμηση τους. Στη συνέχεια ακολουθεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, η p_2 , η οποία συνδέεται με βέλος πολλαπλότητας με τιμή δύο. Έπειτα ακολουθεί η μετάβαση «Παστρευτήρας» (η οποία αναπαρίσταται από την t_2) όπου και πραγματοποιείται η εκχόνδριση των δερμάτων τα οποία οδηγούνται στην θέση p_3 που αποτελεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος. Τέλος ακολουθεί η μετάβαση «Καθάρισμα», η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_3 , όπου πραγματοποιείται η αφαίρεση των υπολειμμάτων και τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_4 που αποτελεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

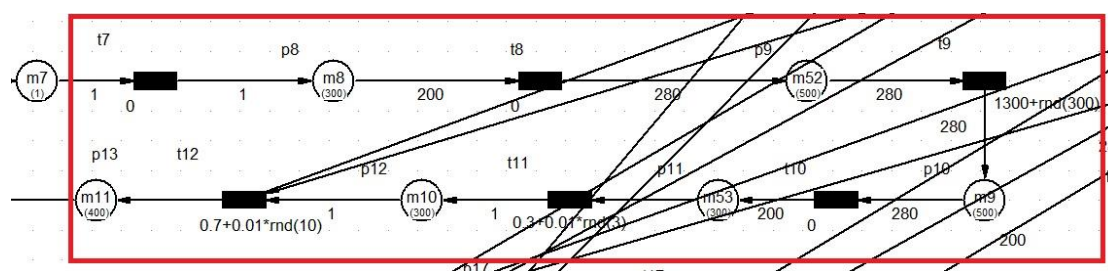
4.1.2.2 Πρόδεψη



Εικόνα 49: Βακέτα, Στάδιο Πρόδεψης

Μετά το πέρας του προηγούμενου σταδίου τα δέρματα οδηγούνται στην μετάβαση t_4 όπου και εισάγονται στο 1st Drum. Ακολουθεί η θέση p_5 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Επειδή η διαδικασία της πρόδεψης που ακολουθεί εκτελείται σε παρτίδες των 200 δερμάτων, στο σημείο αυτό γίνεται η συγκέντρωση των δερμάτων μέχρι τον αριθμό των 200 δερμάτων. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός αυτός Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός αυτός στην p_5 , μεταφέρονται στη μετάβαση «1st Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_5) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία πρόδεψης των δερμάτων η διάρκεια της όποιας είναι 360 λεπτά. Έπειτα, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_6 . Τέλος ακολουθεί η αφαίρεση των δερμάτων από το 1st Drum, η οποία συμβολίζεται με την μετάβαση t_6 και τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_7 που αποτελεί μια προσωρινή αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

4.1.2.3 Δέψη

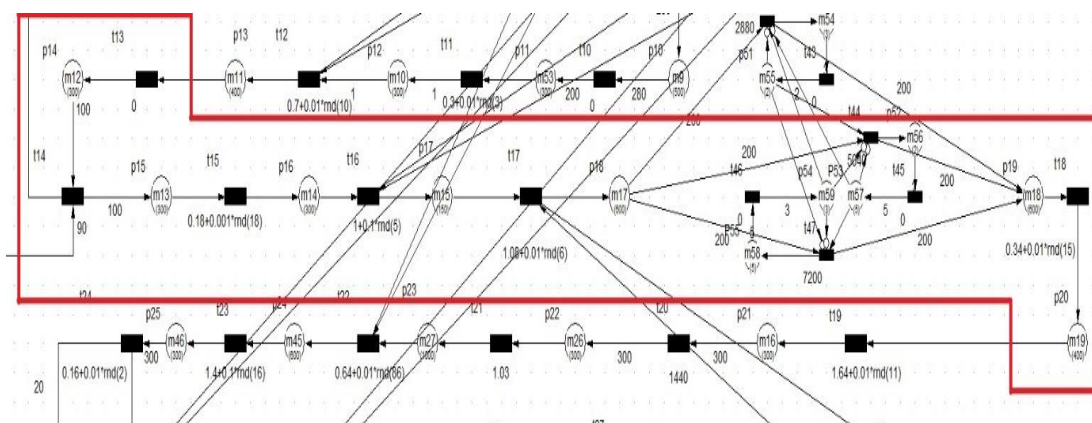


Εικόνα 50: Βακέτα, Στάδιο Δέψης

Τα δέρματα σε αυτό το στάδιο αρχικά εισάγονται στο «2nd Drum», που αναπαριστάτε στο μοντέλο με την διαδικασία t_7 που πραγματοποιείται σε πολύ μικρό διάστημα για πολύ μεγάλο αριθμό δερμάτων, επιτρέποντας να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα αμελητέος ο χρόνος της. Ακολουθεί η θέση p_8 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 200 δερμάτων στην p_8 , μεταφέρονται στη μετάβαση «2nd Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_9) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία δέψης των δερμάτων η διάρκεια της κυμαίνεται από 1300 έως 1600 λεπτά. Η μετάβαση που απεικονίζεται στο μοντέλο από την t_8 αποτελεί μία πλασματική μετάβαση μετατροπής των τεμαχίων δέρματος σε επιφάνεια μετρημένη σε m^2 και έχει σαν είσοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 200, ενώ στην έξοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 280 λόγω του ότι έπειτα από πειραματικές μετρήσεις, η μέση επιφάνεια του δέρματος υπολογίστηκε περίπου στα $1.40 m^2$. Η θέση p_9 είναι επίσης πλασματική και έχει σαν είσοδο την έξοδο της t_8 . Η μετατροπή των τεμαχίων σε m^2 κρίθηκε απαραίτητη αφού η

διακύμανση του χρόνου δέψης των δερμάτων επηρεάζεται από την συνολική επιφάνεια των δερμάτων και όχι από τον αριθμό τους. Ομοίως με τις t_8 και p_9 λειτουργούν και οι p_{10} και t_{10} , μετατρέποντας την ουσία την επιφάνεια (m^2) σε τεμάχια (αντίστροφα από τις προηγούμενες). Έπειτα, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{11} . Ακολουθεί η αφαίρεση των δερμάτων από το 2nd Drum, που συμβολίζεται με την t_{11} . Στη συνέχεια τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_{12} που αποτελεί μια προσωρινή αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος. Τέλος ακολουθεί η μετάβαση t_{12} που αναπαριστά την διαδικασία «Ξεζουμιστήρας» και τα δέρματα μεταφέρονται στην θέση p_{13} για την προσωρινή αποθήκευσή τους.

4.1.2.4 Διαπλάτυνση



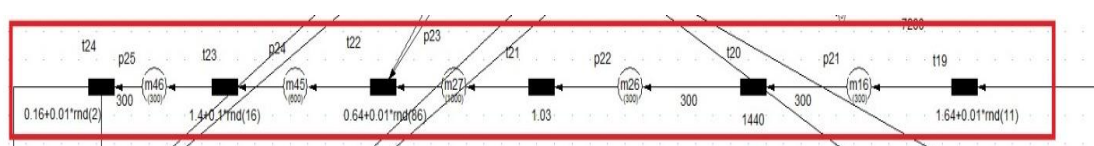
Εικόνα 51: Βακέτα, Στάδιο Διαπλάτυνσης

Τα δέρματα που βρίσκονται αποθηκευμένα στην θέση p_{13} , οδηγούνται στην άμεση μετάβαση «Βαρέλιασμα 1^η» η οποία απεικονίζεται από την t_{13} . Ακολουθεί η θέση p_{14} που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 100 δερμάτων στην p_{14} , μεταφέρονται στη μετάβαση «1st Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_{14}) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία ανάδευσης των δερμάτων μαζί με διάφορα υλικά, η διάρκεια της οποίας είναι 90 λεπτά. Έπειτα βρίσκεται μια προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{15} . Τα δέρματα στη συνέχεια οδηγούνται στην διαδικασία «Ξεβαρέλιασμα» η οποία παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{15} . Ακολουθεί η αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{16} , η οποία τροφοδοτεί την διαδικασία «Στρωτήρας», που παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{16} . Έπειτα βρίσκεται η ενδιάμεση αποθήκη p_{17} και τα δέρματα οδηγούνται στην διαδικασία «Τουναλέτα», που συμβολίζεται από την μετάβαση t_{17} .

Από εκεί οδηγούνται στη θέση p_{18} που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 200 δερμάτων στην p_{18} , μεταφέρονται στη διαδικασία «Στέγνωμα». Στη συνέχεια ακολουθεί μια συστοιχία θέσεων και μεταβάσεων που αναπαριστούν το στέγνωμα των δερμάτων ανά έτος ή περίοδο. Οι χρόνοι στεγνώματος των δερμάτων χωρίστηκαν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, λόγω διαφοράς στο χρόνο που απαιτείται για την περάτωση του. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το καλοκαίρι, στην δεύτερη αυτά που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το φθινόπωρο και την άνοιξη ενώ στην τρίτη αυτά που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται τον χειμώνα.

Αρχικά υπολογίστηκε ο αριθμός των παρτίδων (των 200 δερμάτων) που επεξεργάζονται σε κάθε κατηγορία σύμφωνα με τα δεδομένα του 2014. Έτσι βρέθηκαν 2 παρτίδες για το καλοκαίρι, 5 για την άνοιξη και το φθινόπωρο και 3 για τον χειμώνα. Οι χρόνοι περάτωσης της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι 2880 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται το καλοκαίρι, 5040 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται την άνοιξη και το φθινόπωρο και 7200 για τα δέρματα που η επεξεργασία τους πραγματοποιείται τον χειμώνα. Μετά το πέρας της διαδικασίας του στεγνώματος, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{19} . Τέλος ακολουθεί η διαδικασία «Κατέβασμα» (μετάβαση t_{18}) για να οδηγηθούν τα δέρματα στην αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{20} .

4.1.2.5 Φινίρισμα

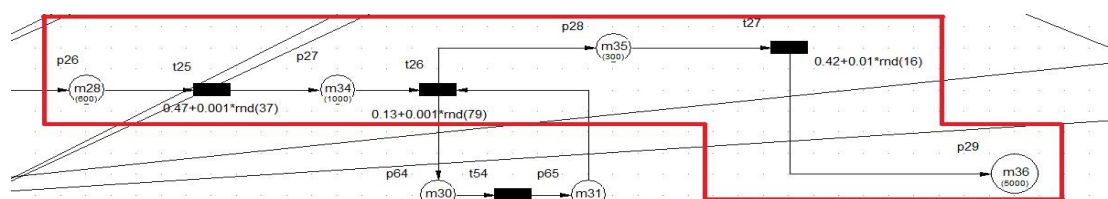


Εικόνα 52: Βακέτα, Στάδιο Φινιρίσματος

Στο συγκεκριμένο στάδιο, από την θέση p_{20} , τα δέρματα οδηγούνται στην μετάβαση t_{19} όπου πραγματοποιείται η επικάλυψη των δερμάτων με καζεΐνη. Μετά την ολοκλήρωση της t_{19} , ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η οποία παρουσιάζεται από την p_{21} . Τα δέρματα έπειτα στεγνώνουν με φυσικό τρόπο, σε παρτίδες των 300 τεμαχίων όπου και θα παραμείνουν για 1440 λεπτά (μετάβαση t_{20}). Ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{22} και τα δέρματα οδηγούνται στη μετάβαση t_{21} η οποία αναπαριστά το κατέβασμα των δερμάτων από τις ειδικές κατασκευές μετά το στέγνωμα τους. Έπειτα υπάρχει μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος (p_{23}) για να ακολουθήσει η

διαδικασία της εκχόνδρισης με σκοπό να αποκτήσουν το επιθυμητό πάχος που, παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{22} και η αποθήκευση των δερμάτων στην προσωρινή αποθήκη p_{24} . Τα δέρματα από την p_{24} οδηγούνται στην μετάβαση t_{23} που αναπαριστά το μηχάνημα «Γυαλιστική», αποθηκεύονται προσωρινά στην αποθήκη p_{25} όπου και στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαλογή για όσα δέρματα θα οδηγηθούν στο στάδιο του βαψίματος ή στο στάδιο του πακεταρίσματος, που παρουσιάζεται από τη μετάβαση t_{24} .

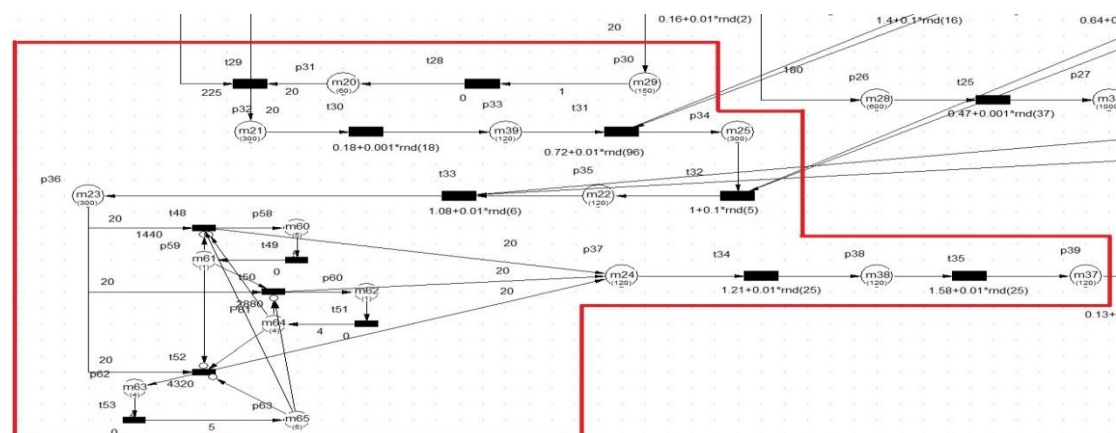
4.1.2.6 Πακετάρισμα



Εικόνα 53: Βακέτα, Στάδιο Πακεταρίσματος

Όσα δέρματα εγκαταλείπουν το τελευταίο στάδιο και δεν οδηγηθούν στο στάδιο «βάψιμο», αποθηκεύονται σε μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, την p_{26} και στη συνέχεια οδηγούνται στην μετάβαση t_{25} όπου πραγματοποιείται τελική αφαίρεση των υπολειμμάτων από την επιφάνεια του δέρματος. Ακολουθεί η θέση p_{27} και στη συνέχεια πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων, η οποία παρουσιάζεται από την μετάβαση t_{26} . Στη συνέχεια ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{28} και έπειτα η συσκευασία τους που παρουσιάζεται από την θέση t_{27} . Τέλος υπάρχει μία αποθήκη τελικού (συσκευασμένου) προϊόντος που παρουσιάζεται από την θέση p_{29} .

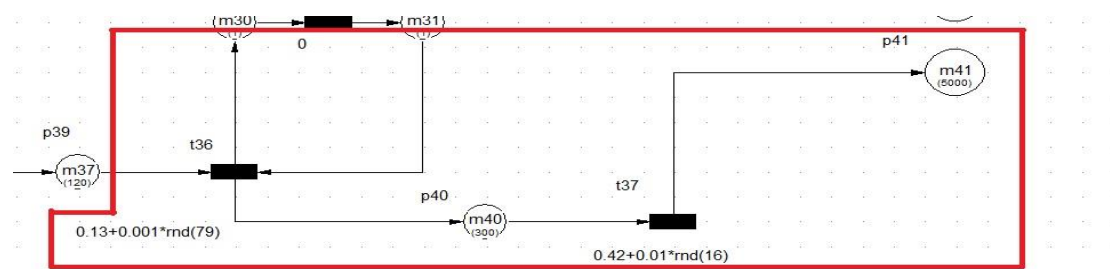
4.1.2.7 Βάψιμο



Εικόνα 54: Βακέτα, Στάδιο Βαψίματος

Η διαδικασία του βαψίματος, στην περίπτωση των δερμάτων βακέτα βαμμένη, δεν διαφέρει καθόλου από την αντίστοιχη διαδικασία που αναλύθηκε στην παράγραφο 4.1.1.7. Η αλληλουχία των κόμβων, οι καθυστερήσεις στις μεταβάσεις καθώς και η χωρητικότητα των αντίστοιχων θέσεων παραμένουν ίδιες. Η μόνη διαφορά είναι πως αντί για 30 τεμάχια δέρματος ανά παρτίδα (στην περίπτωση των δερμάτων τύπου σολόδερμα βαμμένο), σε αυτή την περίπτωση η εκάστοτε παρτίδα στο στάδιο του 1st Drum και του στεγνώματος, περιλαμβάνει 20 τεμάχια δέρματος.

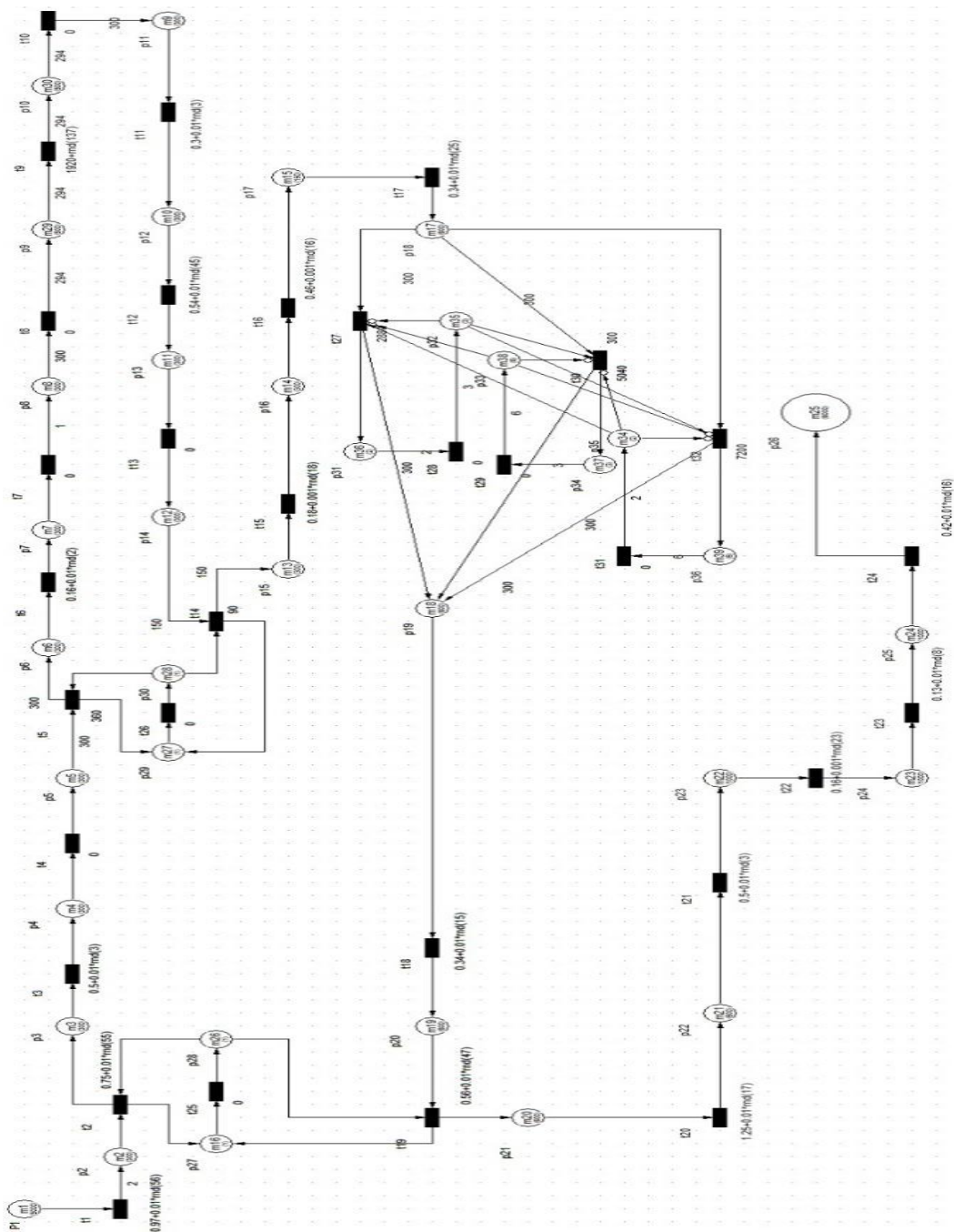
4.1.2.8 Πακετάρισμα



Εικόνα 55: Βακέτα Βαμμένη, Στάδιο Πακεταρίσματος

Ομοίως με πριν, από την αποθήκη p39, πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων, η οποία αναπαρίσταται από την μετάβαση t36. Στη συνέχεια ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p40 και έπειτα η συσκευασία τους που παρουσιάζεται από την θέση t37. Τέλος υπάρχει μία αποθήκη τελικού(συσκευασμένου) προϊόντος που παρουσιάζεται από την θέση p41.

4.1.3 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής δερμάτων τύπου Kudu



Εικόνα 56: Παρουσίαση Μοντέλου, Kudu

Οι παρακάτω πίνακες επεξηγούν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του μοντέλου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri, για τα δέρματα τύπου βακέτα και βακέτα βαμμένη. Στην επόμενη στήλη παρουσιάζονται οι χωρητικότητες των θέσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την προσομοίωση των σεναρίων.

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ | ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (ΤΕΜΑΧΙΑ) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|
| P1 | Αποθήκη πρώτης ύλης | 5000 |
| P2 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 1 | 300 |
| P3 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 2 | 300 |
| P4 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 3 | 300 |
| P5 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 4 | 300 |
| P6 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 5 | 300 |
| P7 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 6 | 300 |
| P8 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 7 | 300 |
| P9 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 8 | 500 |
| P10 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 9 | 500 |
| P11 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 10 | 300 |
| P12 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 11 | 300 |
| P13 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 12 | 300 |
| P14 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 13 | 300 |
| P15 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 14 | 300 |
| P16 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 15 | 300 |
| P17 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 16 | 150 |
| P18 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 17 | 600 |
| P19 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 18 | 600 |
| P20 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 19 | 600 |
| P21 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 20 | 600 |

| | | |
|------------|--|------|
| P22 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 21 | 600 |
| P23 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 22 | 1000 |
| P24 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 23 | 1000 |
| P25 | Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 24 | 1000 |
| P26 | Αποθήκη τελικού προϊόντος τύπου Kudu | 6000 |
| P27 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P28 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P29 | Θέση εισόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P30 | Θέση εξόδου για τον έλεγχο αμοιβαίων αποκλειώμενων εργασιών | 1 |
| P31 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 2 |
| P32 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 3 |
| P33 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 6 |
| P34 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 3 |
| P35 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 2 |
| P36 | Θέση ελέγχου της εποχιακής διαδικασίας στεγνώματος | 6 |

Πίνακας 8: Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου kudu

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) | ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (ΛΕΠΤΑ) |
|-------------------------------|--------------------------|---|--|
| T1 | Διχοτόμηση πρώτης ύλης | 0.97 | 1.53 |
| T2 | Εκχόνδριση δερμάτων | 0.75 | 1.3 |

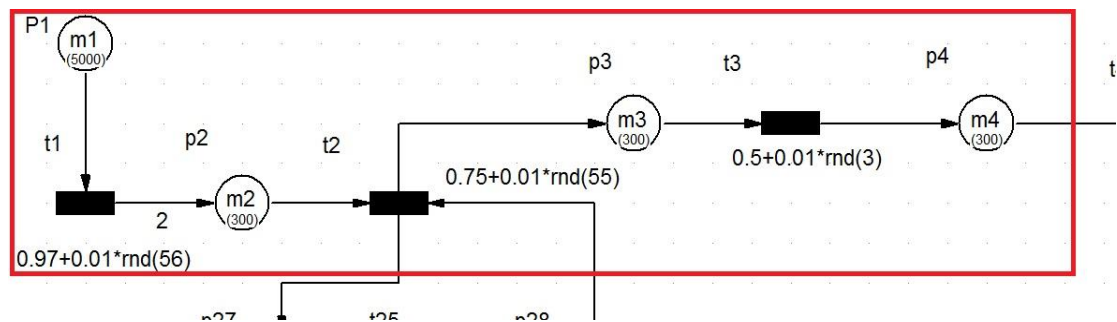
| | | | |
|------------|--|------|-------|
| T3 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.5 | 0.53 |
| T4 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T5 | Πρόδεψη | 360 | 360 |
| T6 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.16 | 0.18 |
| T7 | Εισαγωγή στο 2nd Drum | 0 | 0 |
| T8 | Μετάβαση μετατροπής τεμαχίων σε m ² | 0 | 0 |
| T9 | Δέψη | 1920 | 2057 |
| T10 | Μετάβαση μετατροπής m ² σε τεμάχια | 0 | 0 |
| T11 | Αφαίρεση από το 2nd Drum | 0.3 | 0.33 |
| T12 | Αφαίρεση υγρασίας | 0.54 | 0.99 |
| T13 | Εισαγωγή στο 1st Drum | 0 | 0 |
| T14 | Ανάδευση | 90 | 90 |
| T15 | Αφαίρεση από το 1st Drum | 0.18 | 0.198 |
| T16 | Διαπλάτυνση | 0.46 | 0.62 |
| T17 | Λεπτομερής διαπλάτυνση | 0.34 | 0.59 |
| T18 | Κατέβασμα μετά το στέγνωμα τους | 0.34 | 0.49 |
| T19 | Εκχόνδριση δερμάτων | 0.56 | 1.03 |
| T20 | Γυάλισμα επιφάνειας | 1.25 | 1.42 |
| T21 | Αφαίρεση υπολειμμάτων | 0.5 | 0.53 |
| T22 | Διαλογή | 0.16 | 0.183 |
| T23 | Μέτρημα επιφάνειας | 0.13 | 0.21 |
| T24 | Πακετάρισμα | 0.42 | 0.58 |

| | | | |
|------------|--|------|------|
| T25 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T26 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T27 | Διαδικασία στεγνώματος, Καλοκαίρι | 2880 | 2880 |
| T28 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T29 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T30 | Διαδικασία στεγνώματος, Άνοιξη-Φθινόπωρο | 5040 | 5040 |
| T31 | Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας | 0 | 0 |
| T32 | Διαδικασία στεγνώματος, Χειμώνας | 7200 | 7200 |

Πίνακας 9: Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση δερμάτων τύπου kudu

Στο συγκεκριμένο σενάριο έχουν εισαχθεί οι ποσοτικές παράμετροι όπως έχουν καταγραφεί μέσα από μετρήσεις αλλά και από συνεντεύξεις που έγιναν με τους εργαζόμενους της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Πρόκειται για το σενάριο βάσης, στο οποίο οι ποσοτικές παράμετροι έχουν τις πλέον συνηθισμένες τιμές και πιθανές διακυμάνσεις στην περίπτωση των τυχαίων μεταβλητών. Για την ευκολότερη επεξήγηση του, το βασικό μοντέλο θα χωριστεί σε στάδια, όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 3.5.

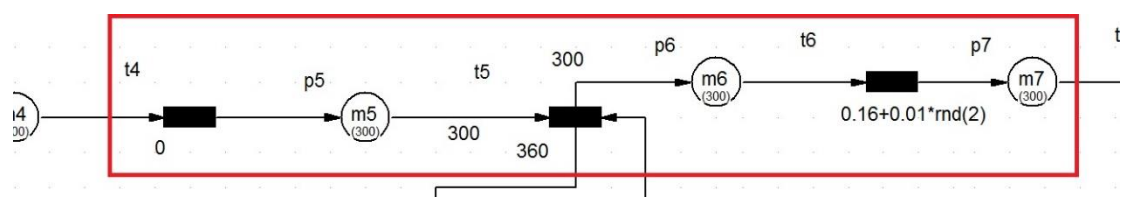
4.1.3.1 Προετοιμασία



Εικόνα 57: Kudu, Στάδιο Προετοιμασίας

Ξεκινώντας από την θέση p_1 όπου αποτελεί την αποθήκη πρώτης ύλης η οποία έχει χωρητικότητα πέντε χιλιάδες τεμάχια, τα δέρματα οδηγούνται διακριτά στην μετάβαση t_1 , ή αλλιώς «Κόψιμο» όπου και πραγματοποιείται η διχοτόμηση τους. Στη συνέχεια ακολουθεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, η p_2 , η οποία συνδέεται με βέλος πολλαπλότητας με τιμή δύο, λόγω του ότι μετά το πέρας της διαδικασίας της διχοτόμησης παράγονται δύο νέα προϊόντα. Έπειτα ακολουθεί η μετάβαση «Παστρευτήρας» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_2) όπου πραγματοποιείται η εκχόνδριση των δερμάτων τα οποία οδηγούνται στην θέση p_3 που αποτελεί μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος. Τέλος ακολουθεί η μετάβαση «Καθάρισμα», που παρουσιάζεται στο μοντέλο από την t_3 , όπου πραγματοποιείται η αφαίρεση των υπολειμμάτων και τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_4 που αποτελεί επίσης μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

4.1.3.2 Πρόδεψη

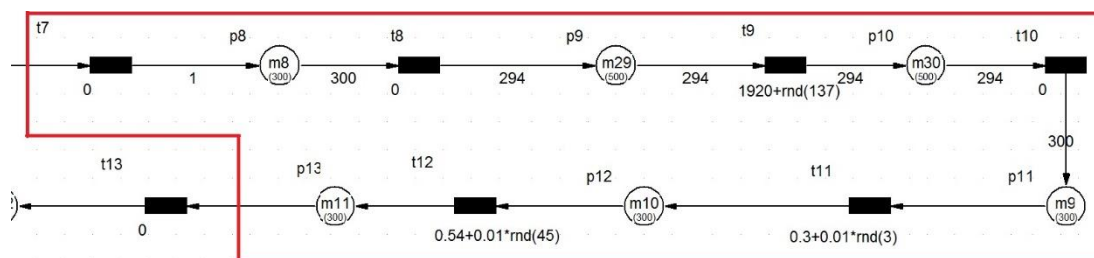


Εικόνα 58: Kudu, Στάδιο Πρόδεψης

Μετά το πέρας του προηγούμενου σταδίου τα δέρματα οδηγούνται στην μετάβαση t_4 όπου και εισάγονται στο 1st Drum. Ακολουθεί η θέση p_5 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Επειδή η διαδικασία της πρόδεψης που ακολουθεί εκτελείται σε παρτίδες των 150 δερμάτων, στο σημείο αυτό γίνεται η συγκέντρωση των δερμάτων μέχρι τον αριθμό των 150 δερμάτων. Όταν

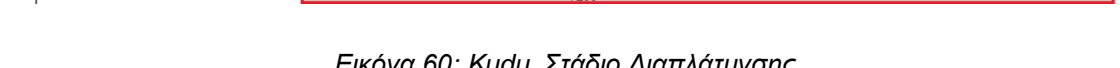
συγκεντρωθεί ο αριθμός αυτός. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός αυτός στην p_5 , μεταφέρονται στη μετάβαση «1st Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_5) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία πρόδεψης των δερμάτων η διάρκεια της οποίας έχει μετρηθεί 360 λεπτά. Έπειτα, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_6 . Τέλος ακολουθεί η αφαίρεση των δερμάτων από το 1st Drum, η οποία συμβολίζεται με την μετάβαση t_6 και τα δέρματα οδηγούνται στην θέση p_7 που αποτελεί μια προσωρινή αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος.

4.1.3.3 Δέψη



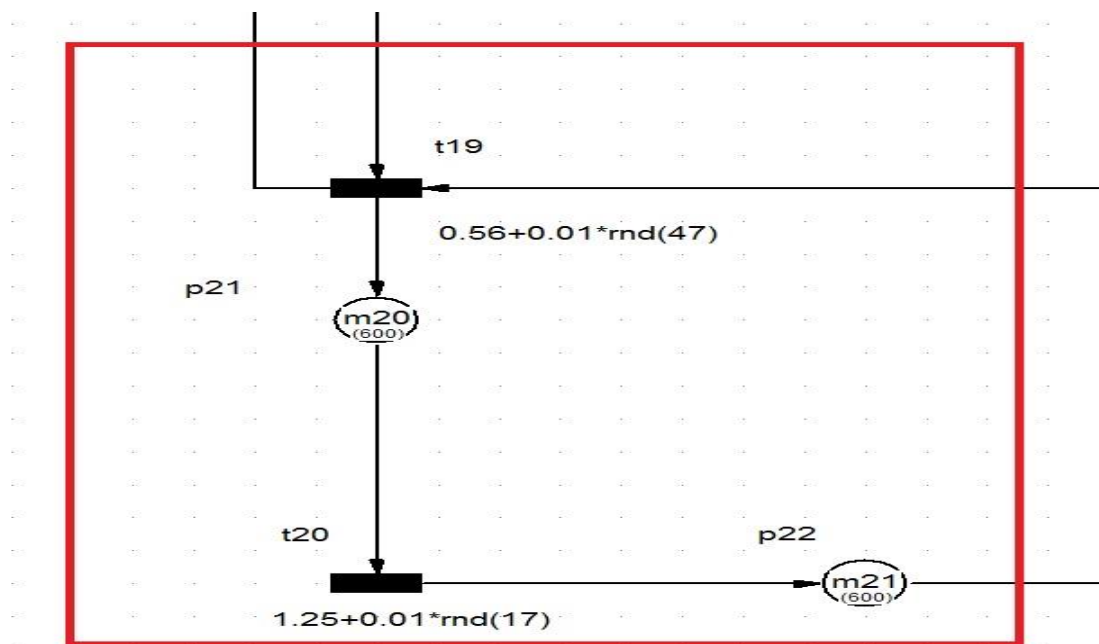
Εικόνα 59: Kudu, Στάδιο Δέψης

Τα δέρματα σε αυτό το στάδιο αρχικά εισάγονται στο «2nd Drum», όπως αναπαριστάτε με την διαδικασία t_7 που πραγματοποιείται σε πολύ μικρό διάστημα για πολύ μεγάλο αριθμό δερμάτων, επιτρέποντας να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα αμελητέος ο χρόνος της. Ακολουθεί η θέση p_8 που αναπαριστά τη συγκέντρωση δερμάτων μέχρι τον αριθμό συμπλήρωσης της παρτίδας που δηλώνεται κι από το βάρος πολλαπλότητας του τόξου. Όταν συγκεντρωθεί ο αριθμός των 300 δερμάτων στην p_8 , μεταφέρονται στη μετάβαση «2nd Drum» (η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο από την t_8) στην οποία πραγματοποιείται η διαδικασία δέψης των δερμάτων η διάρκεια της οποίας έχει μετρηθεί και κυμαίνεται από 1920 έως 2057 λεπτά. Η μετάβαση που απεικονίζεται στο μοντέλο από την t_8 αποτελεί μία πλασματική μετάβαση μετατροπής των τεμαχίων δέρματος σε επιφάνεια μετρημένη σε m^2 και έχει σαν είσοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 300, ενώ έξοδο τόξο με βάρος πολλαπλότητας 294 λόγω του ότι έπειτα από πειραματικές μετρήσεις, η μέση επιφάνεια του δέρματος υπολογίστηκε περίπου στα $0.98 m^2$. Η θέση p_9 είναι και αυτή επίσης πλασματική και έχει σαν είσοδο την έξοδο της t_8 . Η μετατροπή των δερμάτων σε m^2 κρίθηκε απαραίτητη αφού η διακύμανση του χρόνου δέψης των δερμάτων επηρεάζεται από την συνολική επιφάνεια των δερμάτων και όχι από τον αριθμό τους. Ομοίως με τις t_8 και p_9 λειτουργούν και οι p_{10} και t_{10} , μετατρέποντας την ουσία την επιφάνεια (m^2) σε τεμάχια (αντίστροφα από τις προηγούμενες). Έπειτα, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{11} . Ακολουθεί η αφαίρεση των



διαδικασία «Στέγνωμα». Στη συνέχεια ακολουθεί μια συστοιχία θέσεων και μεταβάσεων που αναπαριστούν το στέγνωμα των δερμάτων ανά έτος. Οι χρόνοι στεγνώματος των δερμάτων χωρίστηκαν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, λόγω διαφοράς στο χρόνο που απαιτείται για την περάτωση του. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα δέρματα που επεξεργάζονται το καλοκαίρι, στην δεύτερη αυτά που επεξεργάζονται το φθινόπωρο και την άνοιξη ενώ στην τρίτη αυτά που επεξεργάζονται τον χειμώνα. Αρχικά υπολογίστηκε ο αριθμός των παρτίδων (των 300 δερμάτων) που επεξεργάζονται σε κάθε κατηγορία σύμφωνα με τα δεδομένα του 2014. Έτσι βρέθηκαν 3 παρτίδες για το καλοκαίρι, 6 για την άνοιξη και το φθινόπωρο και 2 για τον χειμώνα. Οι χρόνοι περάτωσης της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι 2880 για τα δέρματα που επεξεργάζονται το καλοκαίρι, 5040 για τα δέρματα που επεξεργάζονται την άνοιξη και το φθινόπωρο και 7200 για τα δέρματα που επεξεργάζονται τον χειμώνα. Μετά το πέρας της διαδικασίας του στεγνώματος, ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη η οποία αναπαρίσταται από την θέση p_{19} . Τέλος ακολουθεί η διαδικασία «Κατέβασμα» (μετάβαση t_{18}) για να οδηγηθούν τα δέρματα στην αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος p_{20} .

4.1.3.5 Φινίρισμα

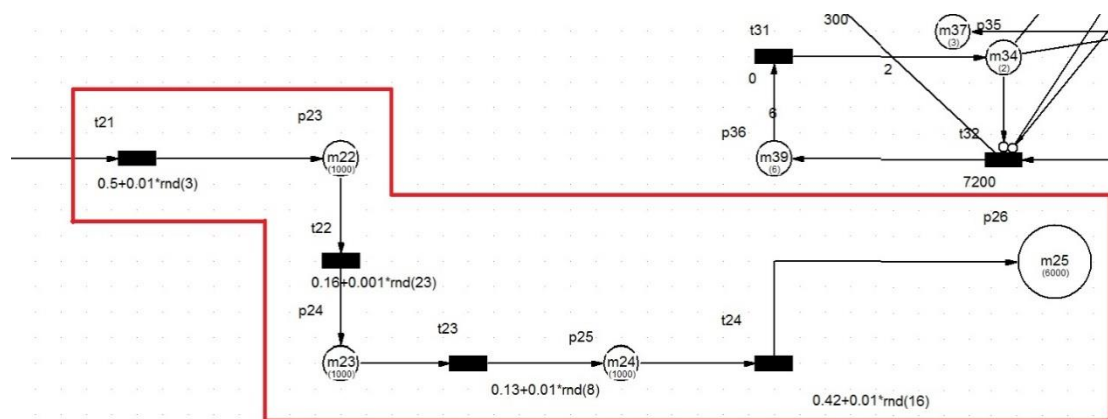


Εικόνα 61: Kudu, Στάδιο Φινιρίσματος

Στο συγκεκριμένο στάδιο, από την θέση p_{20} , τα δέρματα οδηγούνται στην μετάβαση t_{19} όπου πραγματοποιείται η εκχόνδριση τους με σκοπό να αποκτήσουν το επιθυμητό πάχος. Έπειτα υπάρχει μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος (p_{21}) για να

ακολουθήσει η διαδικασία του γυαλίσματος των δερμάτων (θέση t_{20}). Τέλος ακολουθεί μία αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, που παρουσιάζεται από την θέση p_{22} .

4.1.3.6 Πακετάρισμα



Εικόνα 62: Kudu, Στάδιο Πακεταρίσματος

Σε αυτό το στάδιο τα δέρματα τύπου «Kudu» οδηγούνται στην μετάβαση t_{21} όπου πραγματοποιείται η τελική αφαίρεση των υπολειμμάτων από την επιφάνεια του δέρματος. Στη συνέχεια υπάρχει μια αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος, η p_{23} που με την σειρά της τροφοδοτεί την μετάβαση t_{22} όπου πραγματοποιείται ο τελικός έλεγχος ποιότητας. Ακολουθεί η θέση p_{24} και στη συνέχεια πραγματοποιείται η μέτρηση της επιφάνειας των δερμάτων, η οποία αναπαρίσταται από την μετάβαση t_{23} . Στη συνέχεια ακολουθεί μία προσωρινή αποθήκη, η p_{25} και έπειτα η συσκευασία τους που παρουσιάζεται από τη θέση t_{24} . Τέλος υπάρχει μία αποθήκη τελικού (συσκευασμένου) προϊόντος που αναπαρίσταται από την θέση p_{26} .

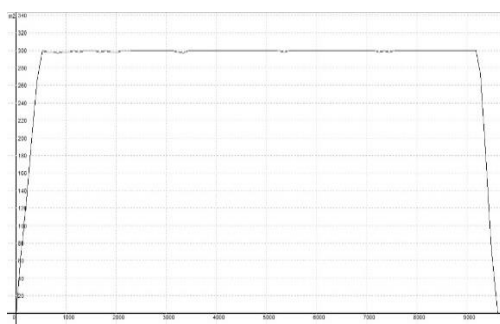
4.2 Αποτελέσματα και αξιολόγηση παραγωγικής διαδικασίας

Μετά την υλοποίηση των μοντέλων με δίκτυα Petri, σειρά είχε η προσομοίωση του σεναρίου βάσης για το κάθε μοντέλο. Προσομοιώθηκαν επιπλέον ρεαλιστικά εναλλακτικά σενάρια παραγωγής και μελετήθηκαν οι συνέπειες των αλλαγών σε κρίσιμες παραμέτρους της παραγωγικής διαδικασίας. Το κόστος των αλλαγών θα ληφθεί υπόψιν σε συνδυασμό με την βελτίωση της αποδοτικότητας που επιφέρει κατά την τελική αξιολόγηση. Παρατηρήθηκε ότι αν υπήρχε η δυνατότητα να χωριστούν οι διαδικασίες σε δύο κατηγορίες ως προς την συνολική τους διάρκεια, στην μία θα ανήκαν οι διεργασίες που αφορούν το στέγνωμα των δερμάτων και την άλλη όλες οι

υπόλοιπες εργασίες. Ως προς αυτή τη «διαλογή» αξιολογήθηκε η παραγωγική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα:

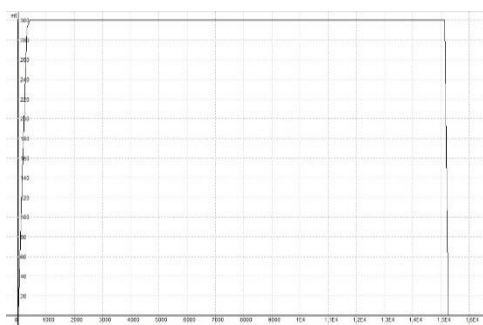
- Η διαδικασία του στεγνώματος σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας, καθυστερεί κατά πολύ την παραγωγική διαδικασία, περιορίζοντας ταυτόχρονα την δυναμικότητα του συστήματος. Ενδεικτικά, εμφανίζεται διαφορά έως και τρεις τάξεις μεγέθους συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαδικασίες. Γι' αυτό το λόγο και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ένα εναλλακτικό σενάριο λειτουργίας με την εισαγωγή σύγχρονου στεγνωτηρίου, κατάλληλου για τη συγκεκριμένη βιομηχανία και θα μελετηθεί ως προς την αποδοτικότητα του.
- Αντιθέτως, όπως παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων, οι υπόλοιπες εργασίες, που παρουσιάζουν παραπλήσιους χρόνους, δεν δημιουργούν μεγάλο ενδιάμεσο απόθεμα. Η μοναδική εργασία που μπορεί να θεωρηθεί ότι καθυστερεί την παραγωγή, είναι αυτή που εκτελείται στα Drums. Έπειτα από επικοινωνία με τους υπεύθυνους παραγωγής, έγινε σαφές ότι αυτή η καθυστέρηση δεν μπορεί να μειωθεί με κάποιο τρόπο, λόγω του ότι με τον τρέχοντα εξοπλισμό και παραγωγική διαδικασία δεν γίνεται σε μικρότερο χρόνο τα δέρματα να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες. Σε περίπτωση αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας απαιτούνται εκτεταμένες επενδύσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν ακόμα και αλλαγή κτιριακών εγκαταστάσεων αφού οι τρέχουσες κρίνονται ανεπαρκείς χωροταξικά αλλά και σε επίπεδο υποδομών, κάτι που με τις τρέχουσες οικονομικές συνθήκες είναι ασύμφορο.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή της στάθμης των πιο κρίσιμων αποθηκών για τα δέρματα τύπου Kudu κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Γίνεται σαφές, ότι το απόθεμα που δημιουργείται στις θέσεις που ακολουθούν μετά την διαδικασία του στεγνώματος, κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (p_{19} , p_{21} , p_{23} , p_{25}). Αντίθετα, στις θέσεις που προηγούνται της διαδικασίας του στεγνώματος, εμφανίζουν υψηλό ποσοστό, επί του συνολικού χρόνου, που το απόθεμα τους ισούται με την μέγιστη χωρητικότητα τους (p_2 , p_5 , p_6 , p_8 , p_{10} , p_{12} , p_{14} , p_{16}).



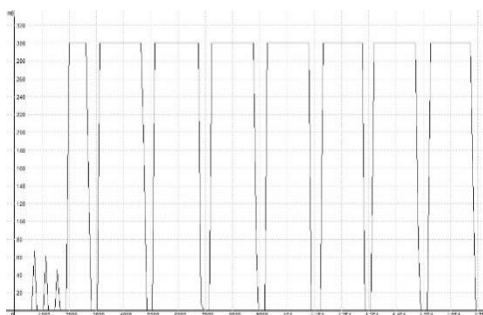
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₂ | 300 | 300 | 13.29% |

Πίνακας 10: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_2 , σεναρίου βάσης



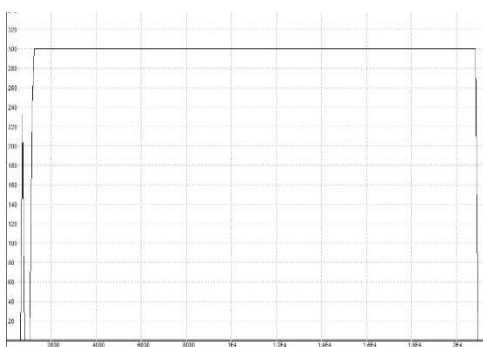
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₅ | 300 | 300 | 22.16% |

Πίνακας 11: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_5 , σεναρίου βάσης



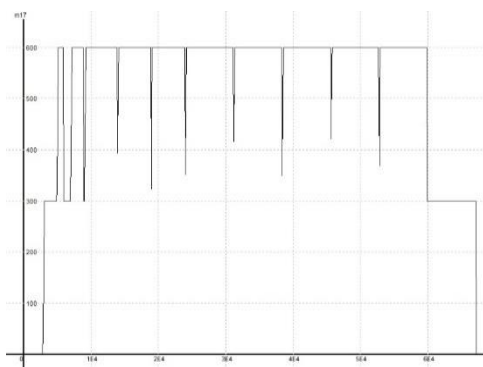
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₆ | 300 | 300 | 23.42% |

Πίνακας 12: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_6 , σεναρίου βάσης



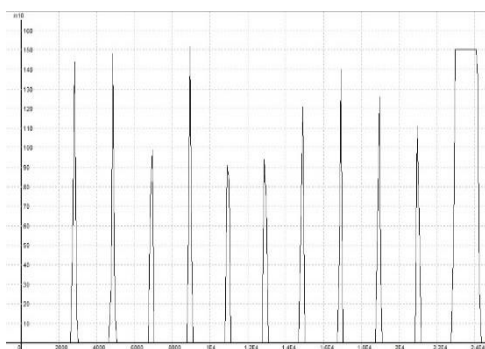
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₈ | 300 | 300 | 31.02% |

Πίνακας 13: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_8 , σεναρίου βάσης



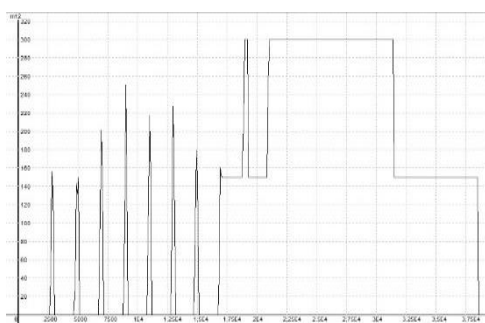
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₁₀ | 600 | 600 | 73.87% |

Πίνακας 14: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{10} , σεναρίου βάσης



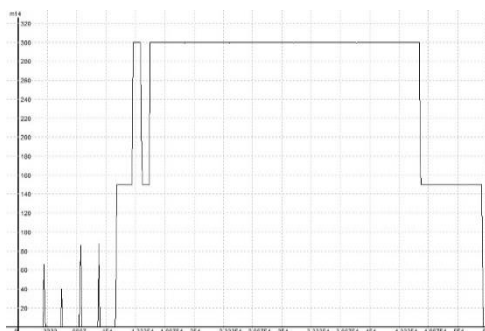
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|--------------------|---|
| P ₁₂ | 300 | 150 | 5.90% |

Πίνακας 15: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{12} , σεναρίου βάσης



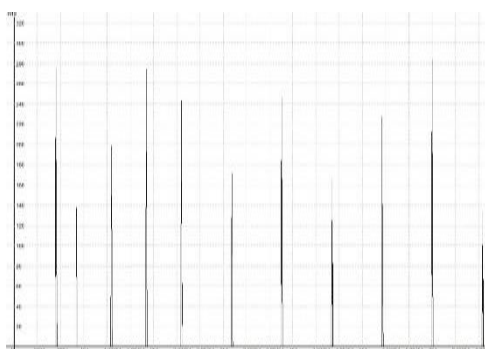
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|--------------------|---|
| P ₁₄ | 300 | 300 | 14.77% |

Πίνακας 16: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{14} , σεναρίου βάσης



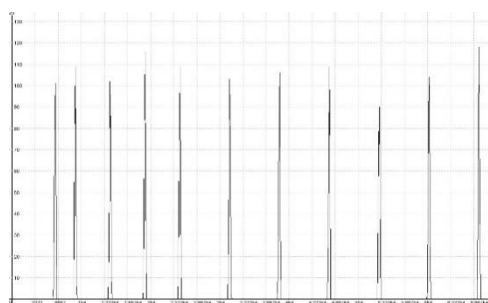
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|--------------------|---|
| P ₁₆ | 300 | 300 | 44.32% |

Πίνακας 17: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{16} , σεναρίου βάσης



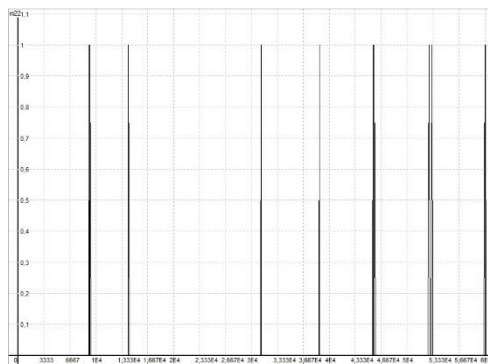
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|--------------------|---|
| P ₁₉ | 600 | 280 | 1% |

Πίνακας 18: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{19} , σεναρίου βάσης



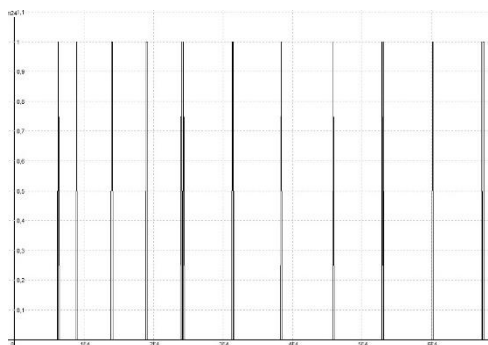
| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₂₁ | 600 | 118 | 0.5% |

Πίνακας 19: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{21} , σεναρίου βάσης



| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₂₃ | 1000 | 1 | 0.2% |

Πίνακας 20: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{23} , σεναρίου βάσης



| Ονομασία | Χωρητικότητα | Μέγιστο Απόθεμα | Ποσοστό χρόνου στο μέγιστο απόθεμα |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------------------------|
| P ₂₅ | 1000 | 1 | 0.6% |

Πίνακας 21: Διακύμανση αποθέματος θέσης p_{25} , σεναρίου βάσης

Για κάθε μοντέλο πραγματοποιήθηκαν σεντ (των οκτώ) προσομοιώσεων με τις ίδιες χρονικές και ποσοτικές παραμέτρους για την παραγωγή των δερμάτων για το έτος 2014, οι οποίες κατέληγαν σε αποκλίσεις στο χρόνο περάτωσης τους (λόγω τυχαιότητας χρόνων κατεργασίας). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ | ΤΥΠΟΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ | | | | |
|-------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------------|----------------------|
| | Kudu | Βακέτα | Σολόδερμα | Βακέτα Βαρμένη | Σολόδερμα Βαρμένο |
| ΤΕΜΑΧΙΑ | 3300 | 1800 | 7290 | 200 | 810 |
| 1 | 67753.7 | 59693 | 97408.3 | 64250.1 | 101127 |
| 2 | 67763.8 | 59420.3 | 96433.6 | 64029.3 | 99748 |
| 3 | 67621.6 | 59624.2 | 97169.2 | 64219 | 100829 |
| 4 | 67667.9 | 59673 | 96860.2 | 64113.5 | 100544 |
| 5 | 67663 | 59471.8 | 97698 | 64001.9 | 100908 |
| 6 | 67600.3 | 59497.7 | 97390.3 | 64043.4 | 100639 |
| 7 | 67686.6 | 59565.3 | 96157.4 | 64016.6 | 99494.5 |
| 8 | 67727.9 | 59663.3 | 96944.2 | 64242.4 | 100207 |
| 9 | | 59692.7 | 97463.5 | 64136.3 | 100838 |
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ | 67685.6 | 59589.03333 | 97058.3 | 64116.94444 | 100481.6111 |
| ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ | 59.44899374 | 103.9700197 | 508.9891035 | 100.4153264 | 554.8282267 |

Πίνακας 22: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου βάσης

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της επεξεργασίας κάθε τύπου δέρματος:

| Χρόνος Επεξεργασίας | Τεμάχια | Μέσος όρος σε λεπτά | Μέσος όρος σε ώρες | Μέσος όρος σε ώρες ανά τεμάχιο |
|--------------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Kudu | 3300 | 67685.6 | 1128.093333 | 0.341846465 |
| Βακέτα | 1800 | 59589.03333 | 993.1505556 | 0.551750309 |
| Σολόδερμα | 7290 | 97058.3 | 1617.638333 | 0.221898262 |
| Βακέτα Βαμμένη | 200 | 64116.94444 | 1068.615741 | 5.343078704 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 810 | 100481.6111 | 1674.693519 | 2.067522862 |

Πίνακας 23: Χρόνος επεξεργασίας σεναρίου βάσης

Σημειώνεται ότι η διεργασία του στεγνώματος και όσες εργασίες πραγματοποιούνται στα Drums, δεσμεύουν μόνο συγκεκριμένα μηχανήματα και δεν απαιτούν εργατικό δυναμικό. Κατά συνέπεια δεν αυξάνουν το μέσο κόστος εργατικών ανά τεμάχιο. Για να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών που πραγματοποιούνται με την παρουσία εργαζομένων, εκτελείται ένα σετ οκτώ προσομοιώσεων ενός ιδεατού σεναρίου, κατά το οποίο, οι διάρκειες εκτέλεσης των εργασιών αυτών μηδενίζονται. Η μέση τιμή εργατικού κόστους, ορίστηκε στα είκοσι ευρώ ανά ώρα, σύμφωνα με τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας και βάσει εργατικών συμβάσεων.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε το μέσο κόστος εργατικών ανά τύπο δέρματος το οποίο παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

| Κόστος Εργατικών | Τεμάχια | Μέσος όρος σε λεπτά | Μέσος όρος σε ώρες | Μέσος όρος σε ώρες ανά τεμάχιο | Μέσο κόστος εργατικών σε ευρώ ανά τεμάχιο |
|-------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| Kudu | 3300 | 4579.889 | 76.33148 | 0.023131 | 0.462615 |
| Βακέτα | 1800 | 4628.122 | 77.13537 | 0.042853 | 0.85706 |
| Σολόδερμα | 7290 | 13829.21 | 230.4869 | 0.031617 | 0.632337 |
| Βακέτα Βαμμένη | 200 | 4578.389 | 76.30648 | 0.381532 | 7.630648 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 810 | 12870.03 | 214.5006 | 0.264816 | 5.29631 |

Πίνακας 24: Κόστος εργατικών ανά τύπο δέρματος

Στην συνέχεια, εξετάστηκε ένα ρεαλιστικό σενάριο λειτουργίας της βιομηχανίας, με την εισαγωγή μιας νέας μονάδας στεγνώματος των δερμάτων. Τα χαρακτηριστικά της νέας μονάδας είναι τέτοια ώστε η διαδικασία του στεγνώματος να ολοκληρώνεται κάθε μήνα, στον ίδιο χρόνο όπως το καλοκαίρι, για κάθε τύπο δέρματος. Οι νέοι μέσοι χρόνοι επεξεργασίας, καθώς και η ποσοστιαία μείωση του χρόνου επεξεργασίας, συγκριτικά με το σενάριο βάσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 25.

| Χρόνος επεξεργασίας (Στεγνωτήριο) | Τεμάχια | Μέσος όρος σε λεπτά | Μέσος όρος σε ώρες | Μέσος όρος σε ώρες ανά τεμάχιο | Ποσοστό μείωσης χρόνου επεξεργασίας |
|-----------------------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Kudu | 3300 | 35374.73 | 589.5788 | 0.17866 | 47.73% |
| Βακέτα | 1800 | 33824.33 | 563.7388 | 0.313188 | 43.23% |
| Σολόδερμα | 7290 | 84130.26 | 1402.171 | 0.194746 | 12.23% |
| Βακέτα Βαμμένη | 200 | 35386.93 | 589.7821 | 2.94891 | 44.80% |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 810 | 84648.94 | 1410.816 | 1.741748 | 15.75% |

Πίνακας 25: Χρόνος επεξεργασίας 2^{ου} σεναρίου, με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου

Η μείωση του χρόνου επεξεργασίας συνεπάγεται αύξηση της δυναμικότητας της βιομηχανίας. Η συνολική αύξηση της δυναμικότητας της μονάδας λαμβάνοντας υπόψιν τα ποσοστά παραγωγής των επιμέρους προϊόντων υπολογίστηκε ότι φτάνει το 30%. Παρατηρείται πως η ποσοστιαία μείωση στους χρόνους επεξεργασίας δερμάτων βακέτα, βακέτα βαμμένα και kudu ξεπερνάει το 40%, ενώ για τα δέρματα σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο είναι λίγο πάνω από 10%. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη μονάδας στεγνώματος που ήδη χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τα δέρματα αυτών των τύπων.

5^ο Κεφάλαιο

Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων για το έτος 2015

5.1 Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της συγκεκριμένης βιομηχανίας

Για την πρόβλεψη της ζήτησης της υπό μελέτη βιομηχανίας επιλέχθηκαν ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης. Η επιλογή αυτή έγινε με δεδομένη την ικανοποιητική παροχή παρατηρήσεων, που παραχωρήθηκαν από τα στελέχη της βιομηχανίας, που θα οδηγούσε σε αντικειμενικότερα και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, μειώνοντας ταυτόχρονα την υψηλή τυχαιότητα που εντοπίζεται στις ποιοτικές μεθόδους. Επιπλέον οι προβλέψεις που θα πραγματοποιούνταν θα αφορούσαν το άμεσο μέλλον, τον επόμενο χρόνο (2015). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τις μηνιαίες πωλήσεις κάθε ξεχωριστού είδους τελικού προϊόντος για τα τέσσερα τελευταία χρόνια. Οι ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο απλός κινητός μέσος, ο διπλός κινητός μέσος, η μέθοδος Brown και η μέθοδος Winters και θα αναλυθούν στη συνέχεια [37].

5.1.1 Απλός κινητός μέσος (simple moving Average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των m πιο πρόσφατων παρατηρήσεων της υπό εξέταση χρονοσειράς. Ο μέσος αυτός αποκαλείται «κινητός» γιατί κάθε φορά που γίνεται διαθέσιμη μια νέα παρατήρηση, μπορεί να υπολογιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη ένας νέος αριθμητικός μέσος. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς Y_t όπου $t=1,2,\dots,m$ χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του απλού κινητού μέσου, δίνονται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\hat{Y}_{t+1} = M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

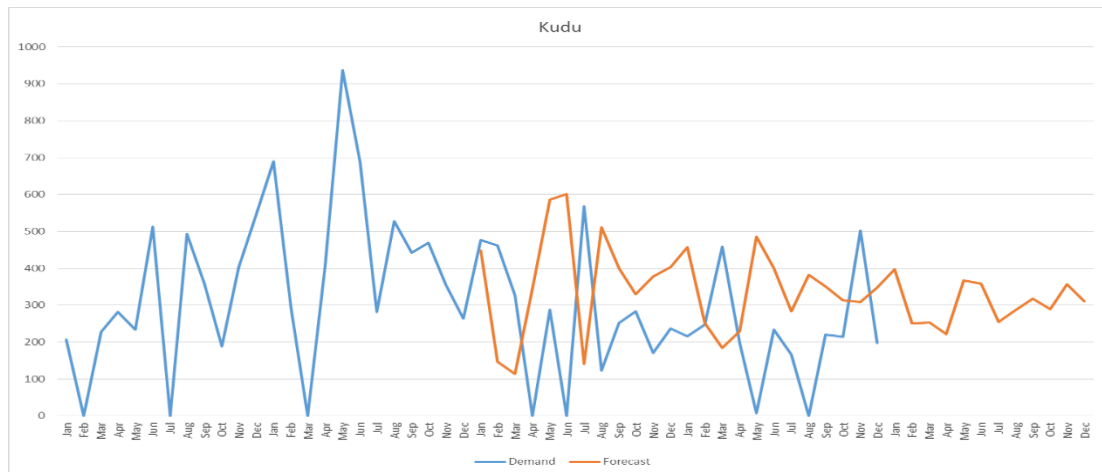
Όπου:

\hat{Y}_{t+1} = η πρόβλεψη για την περίοδο $(t+1)$

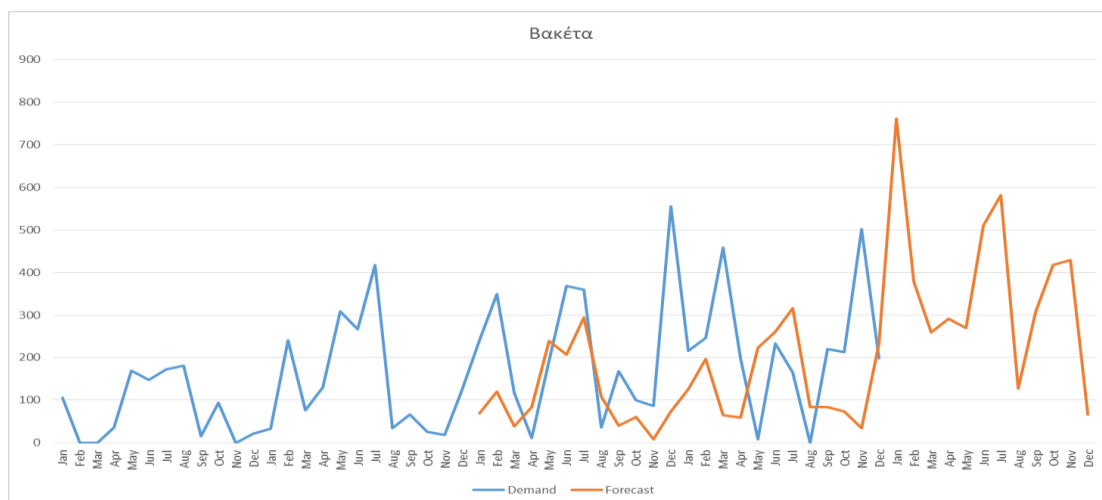
M_{t+1} = ο απλός κινητός μέσος για την περίοδο $(t+1)$ και

m = ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του απλού κινητού μέσου

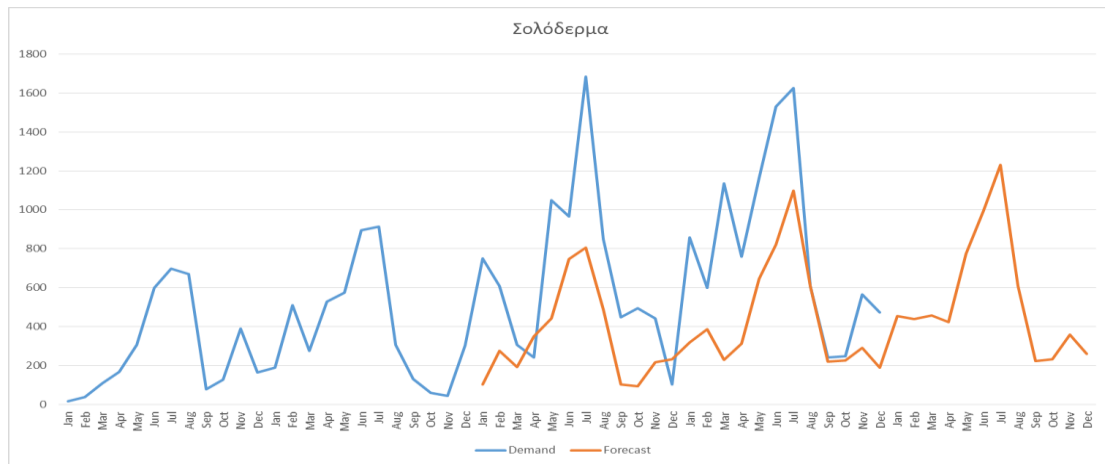
Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε ανά μήνα δηλαδή για την πρόβλεψη της ζήτησης του Ιανουαρίου του 2015, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία για τον Ιανουάριο του 2011, τον Ιανουάριο του 2012, τον Ιανουάριο του 2013 και τον Ιανουάριο του 2014. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο δέρματος, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



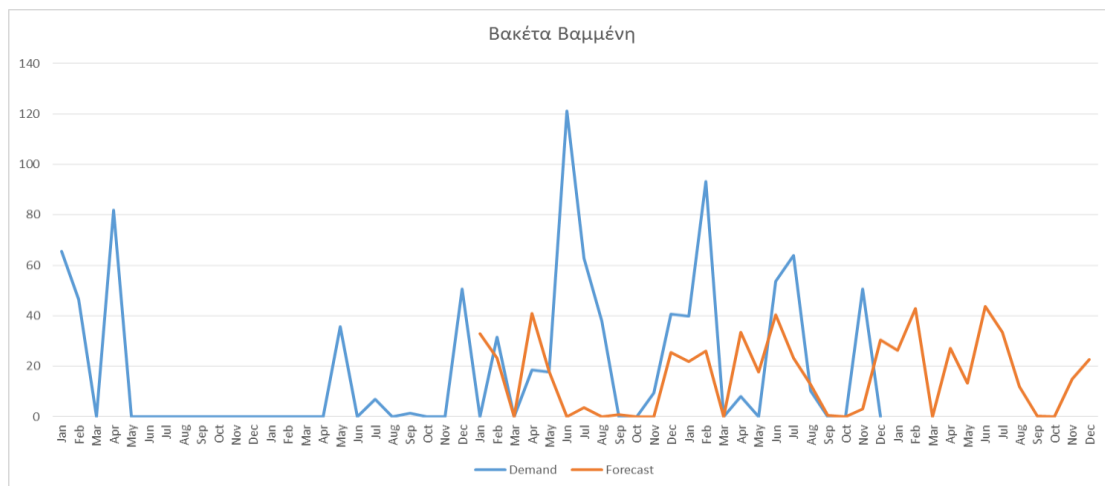
Εικόνα 63: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου



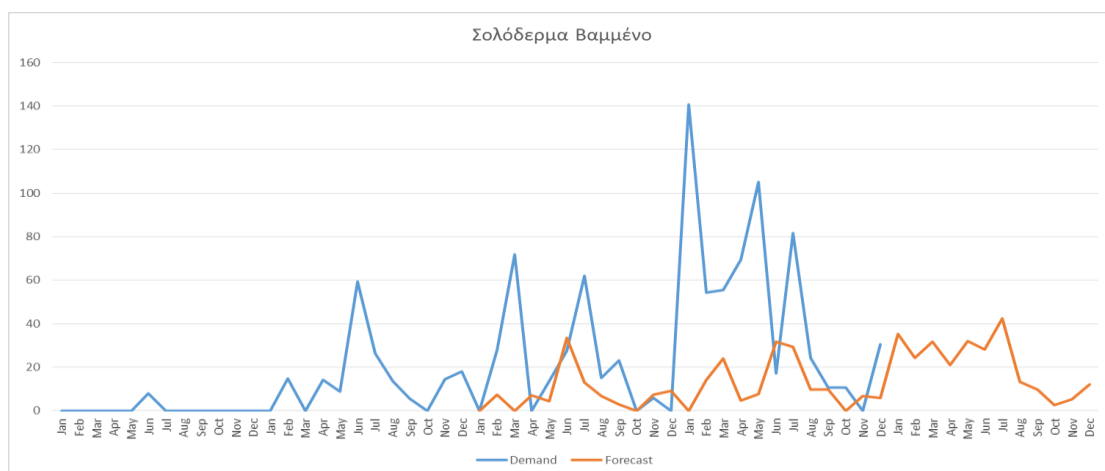
Εικόνα 64: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου



Εικόνα 65: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου



Εικόνα 66: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου



Εικόνα 67: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο του απλού κινητού μέσου

Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αν και η πιο «απλή» στην εφαρμογή της, παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα, προβλέποντας με ικανοποιητική ακρίβεια την εποχικότητα αλλά και την τάση.

5.1.2 Διπλός κινητός μέσος (Double moving average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς που εξετάζουμε παρουσιάζουν μια ανοδική ή πτωτική εξελικτική πορεία που εκφράζεται από κάποια γραμμική τάση, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση. Βάσει αυτής της μεθόδου, ο απλός κινητός μέσος εφαρμόζεται δύο φορές. Ο δεύτερος κινητός υπολογίζεται από τους πρώτους κινητούς μέσους. Παράλληλα κατά την διαδικασία της διαμόρφωσης προβλέψεων λαμβάνεται υπόψιν και η γραμμική τάση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Η διαδικασία διαμόρφωσης προβλέψεων με τον διπλό μέσο όρο πραγματοποιείται σε πέντε στάδια:

1^ο Στάδιο: Υπολογισμός του απλού κινητού μέσου m -περιόδων, M_t . Δηλαδή:

$$M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

2^ο Στάδιο: Υπολογισμός του διπλού κινητού μέσου m -περιόδων, M'_t . Δηλαδή:

$$M'_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j M_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

3^ο Στάδιο: Υπολογισμός της διαφοράς a_t . Ως:

$$a_t = 2 * M_t - M'_t$$

4^ο Στάδιο: Υπολογισμός του παράγοντα προσαρμογής για την τάση, b_t . Ως:

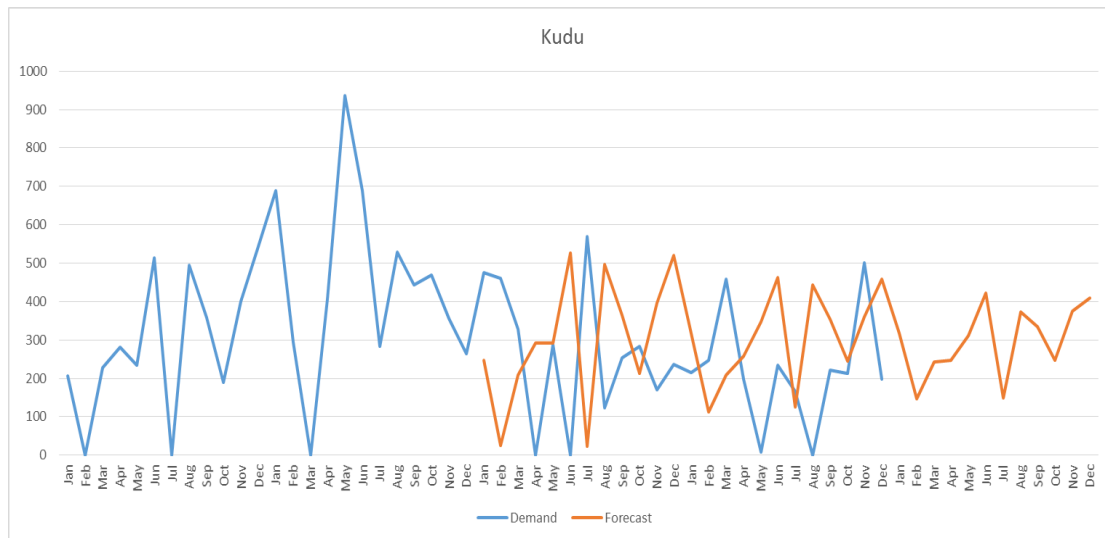
$$b_t = \frac{2}{(m-1)} * (M_t - M'_t)$$

5^ο Στάδιο: Υπολογισμός της πρόβλεψης \hat{Y}_{t+h} για την h μελλοντική περίοδο. Ως:

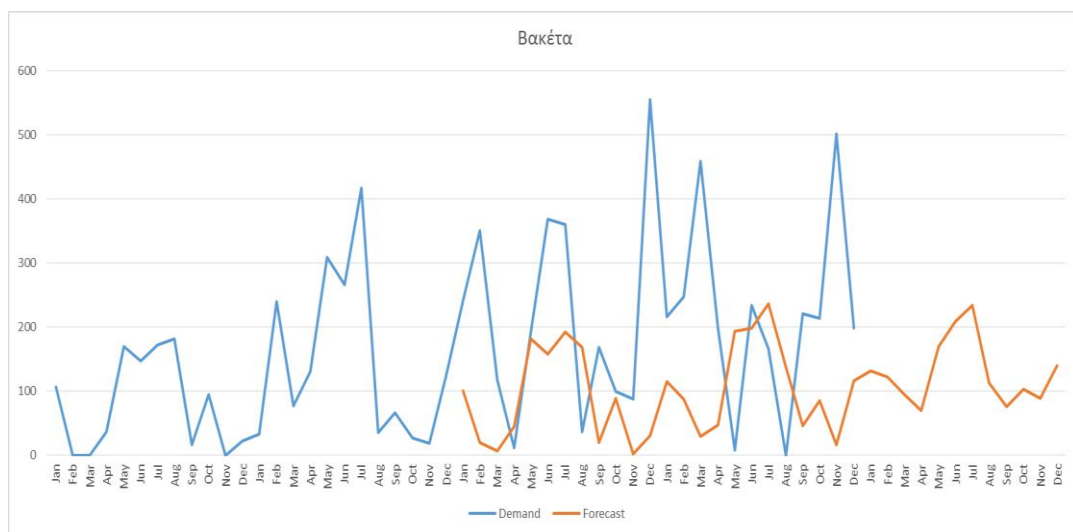
$$\hat{Y}_{t+h} = a_t + h * b_t$$

Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε επίσης ανά μήνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο δέρματος, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να

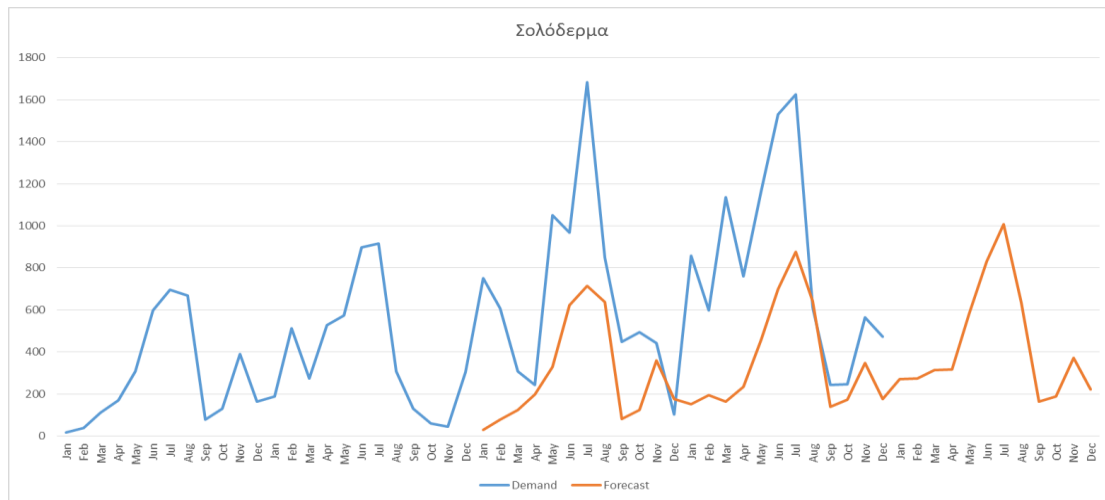
σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



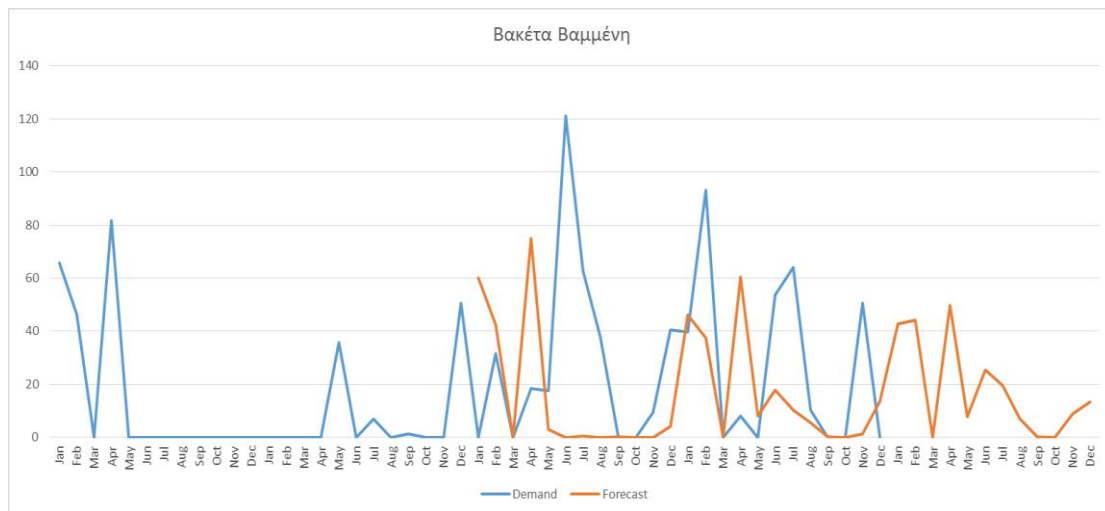
Εικόνα 68: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου



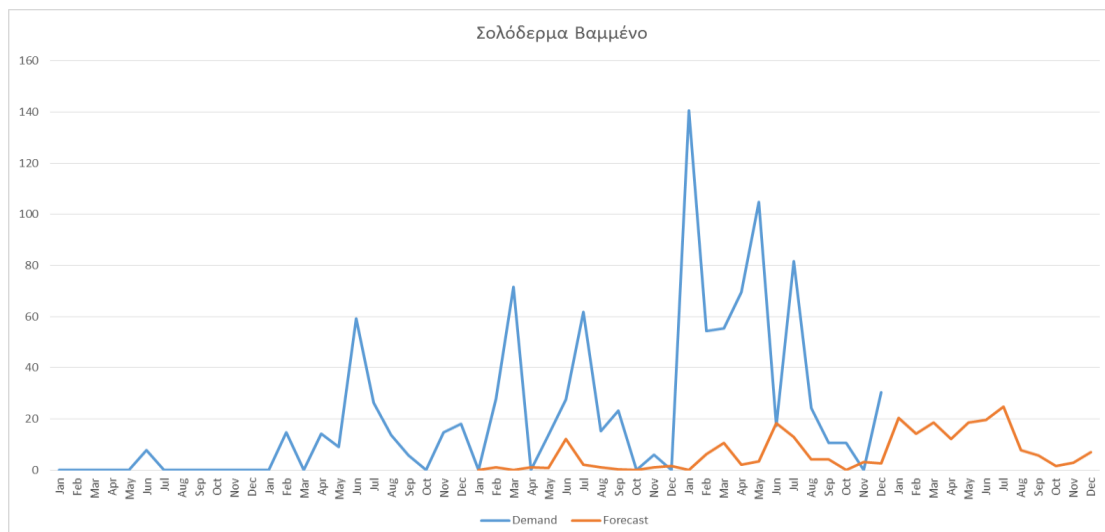
Εικόνα 69: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου



Εικόνα 70: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου



Εικόνα 71: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου



Εικόνα 72: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο του διπλού κινητού μέσου

Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει μία αρκετά καλή προσαρμογή στην εποχικότητα. Παρόλα αυτά, υστερεί στη πρόβλεψη της τάσης αλλά και κάποιων ακραίων τιμών κυρίως στους τύπους βακέτα και σολόδεσμα βαμμένο. Συγκριτικά με την πρώτη μέθοδο που εφαρμόστηκε (απλός κινητός μέσος), τα αποτελέσματα της δεν είναι τόσο ικανοποιητικά, αφού υστερεί σημαντικά στην πρόβλεψη κάποιων ακραίων τιμών.

5.1.3 Μέθοδος Brown

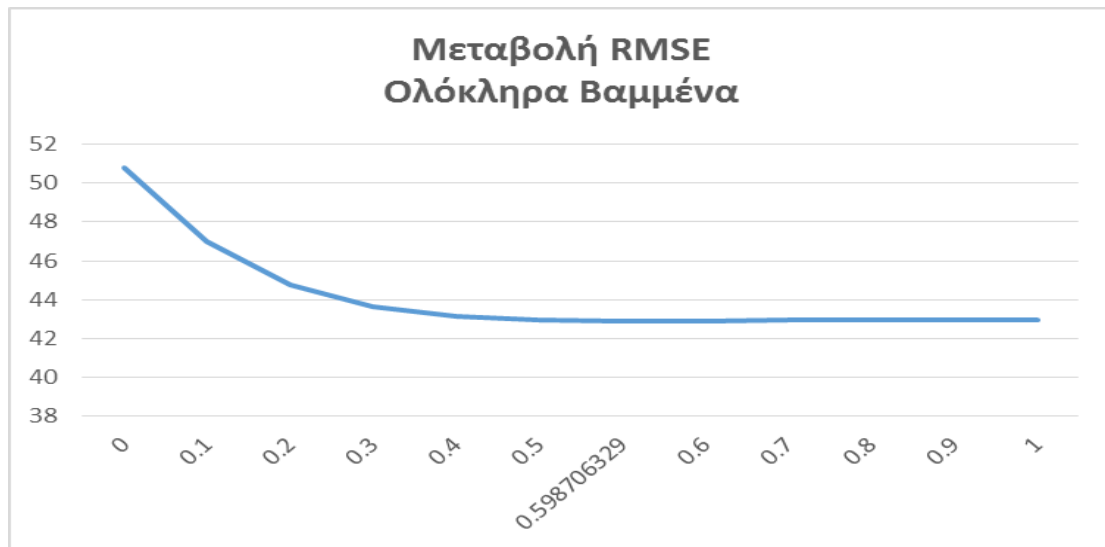
Σύμφωνα με τη μέθοδο Brown οι προβλέψεις δημιουργούνται βάσει κάποιου σταθμικού μέσου όρου, έτσι ώστε να δίνεται διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις, σε σχέση πάντοτε με την προβλεπόμενη περίοδο, από αυτή που δίνεται στις πιο απομακρυσμένες. Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου, θα θεωρηθούν ότι οι προβλέψεις της χρονοσειράς που εξετάζεται δημιουργούνται ως εξής:

$$\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + a * (1 - a) * Y_{t-1} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-2} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-n}$$

Η παράμετρος a της παραπάνω σχέσης ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης (smoothing constant) και λαμβάνει τιμές από μηδέν έως ένα, δηλαδή $0 \leq a \leq 1$. Βάσει της προηγούμενης σχέσης, η πρόβλεψη \hat{Y}_t για την περίοδο t , που γίνεται στην αρχή της περιόδου αυτής θα είναι: $\hat{Y}_t = a * Y_{t-1} + a * (1 - a) * Y_{t-2} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-3} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-1-n}$

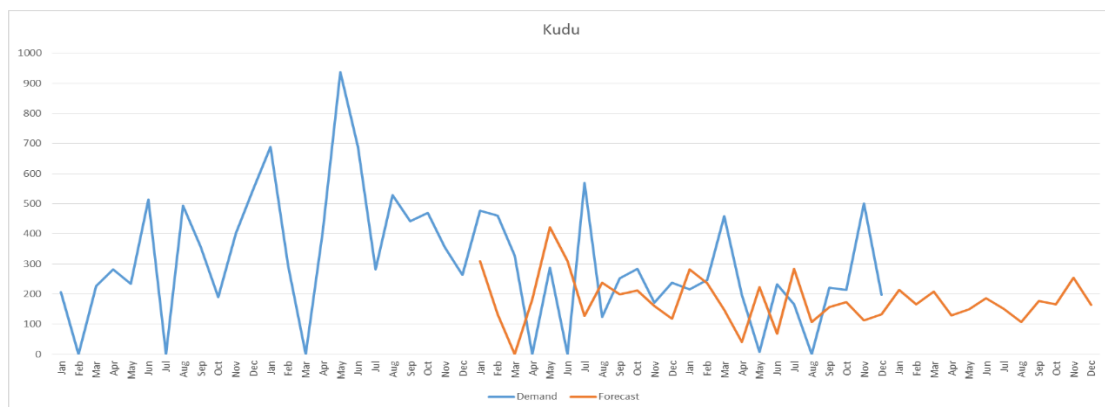
Σύμφωνα με τις δύο παραπάνω σχέσεις, προκύπτει η μαθηματική έκφραση της μεθόδου Brown: $\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + (1 - a) * \hat{Y}_t$, όπου $t=2,3,\dots,n$ και με αρχική συνθήκη $\hat{Y}_2 = Y_1$.

Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές τιμές της παραμέτρου a , επηρέαζαν κατά πολύ την πρόβλεψη αλλά και το σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο, με τη βοήθεια του Microsoft Excel, πραγματοποιήθηκε επίλυση σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του σφάλματος (σύμφωνα με τους δείκτες που υπολογίζονται στην παράγραφο 5.2), με μοναδικό άγνωστο την παράμετρο a . Στο επόμενο γράφημα παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη τετραγωνική ρίζα μέσου σφάλματος (παράγραφος 5.2.3) για τις διάφορες τιμές της παραμέτρου a .

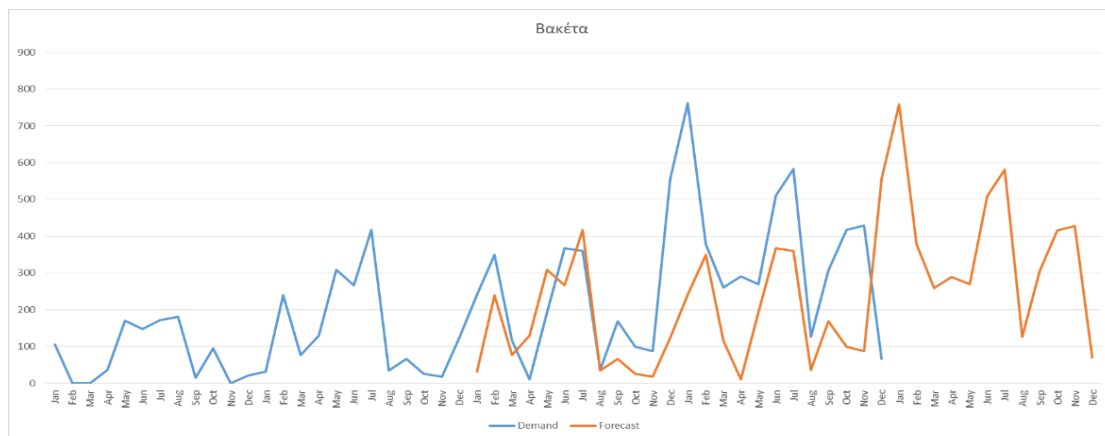


Εικόνα 73: Μεταβολή δείκτη RMSE για τις διάφορες τιμές της παραμέτρου α

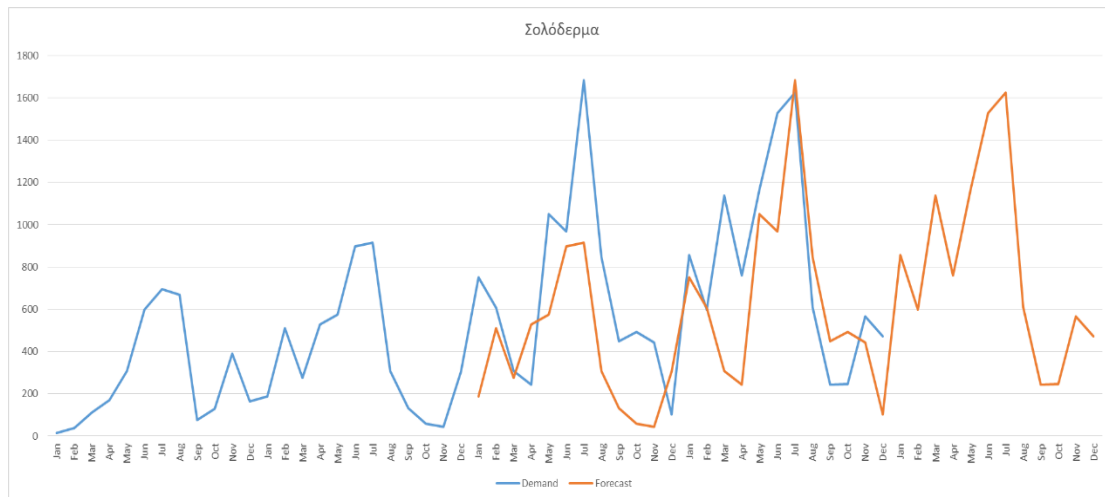
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο δέρματος, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



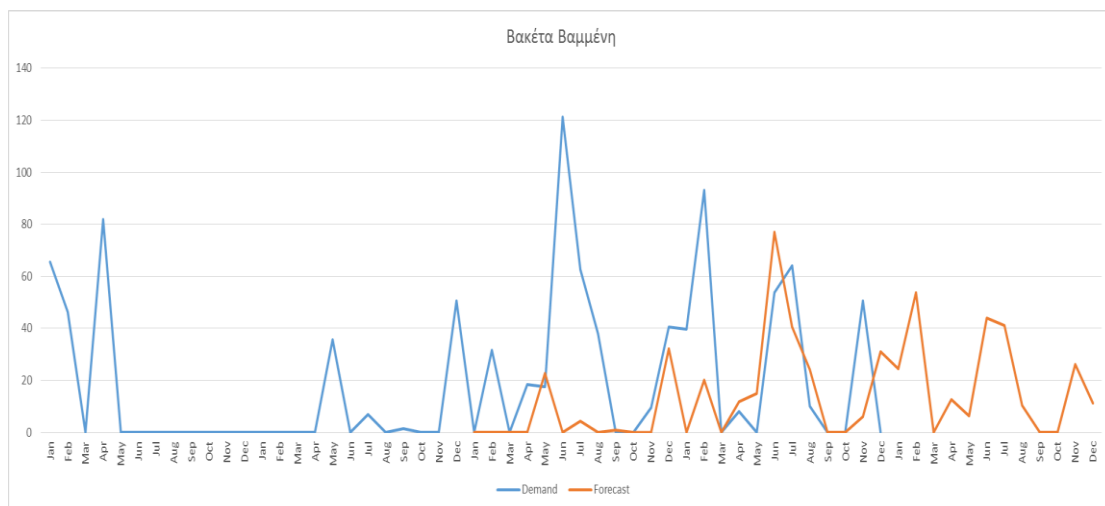
Εικόνα 74: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο Brown



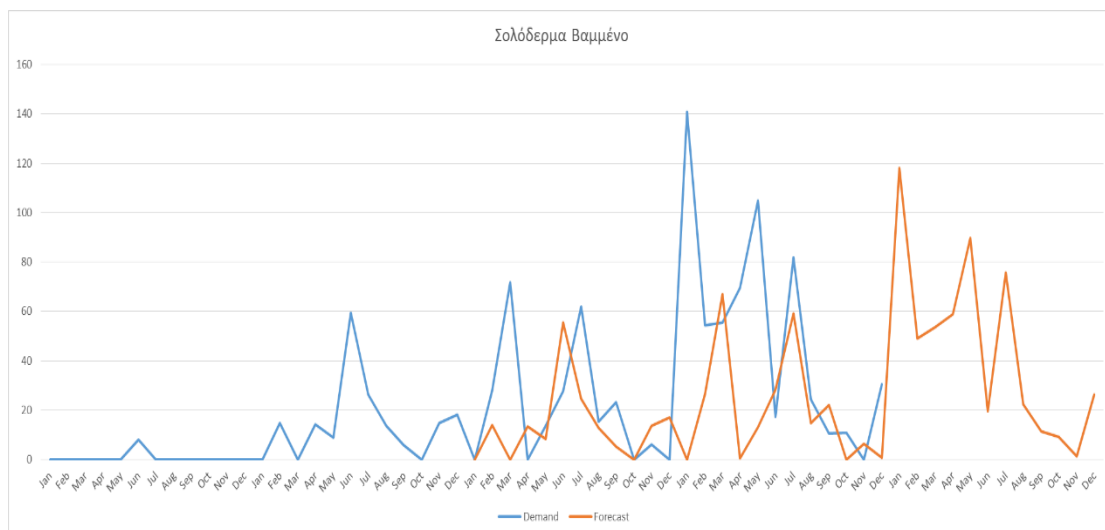
Εικόνα 75: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο Brown



Εικόνα 76: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο Brown



Εικόνα 77: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο Brown



Εικόνα 78: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο Brown

Η μέθοδος Brown παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα, προβλέποντας με μεγάλη ακρίβεια την εποχικότητα. Επιπλέον εντοπίζει πολύ σωστά κάποιες ακραίες τιμές που εμφανίζονται κατά περιόδους σε όλους τους τύπους δέρματος, σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενες μεθόδους που εφαρμόστηκαν.

5.1.4 Μέθοδος Winters

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται στην περίπτωση που οι παρατηρήσεις μιας χρονοσειράς παρουσιάζουν τόσο τάση (ανοδική ή καθοδική) όσο και κάποια εποχικότητα, δηλαδή να παρατηρούνται κάποιες εποχικές διακυμάνσεις οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε έτος με την ίδια ή σχεδόν την ίδια μορφή. Τόσο η τάση όσο και η εποχικότητα παρατηρείται έντονα στα δεδομένα πωλήσεων της υπό μελέτη βιομηχανίας. Η μέθοδος αυτή έχει τρεις παραμέτρους εξομάλυνσης. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει μία παράμετρος α για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς, μία παράμετρο β για την εξομάλυνση της τάσης και μία παράμετρο γ για την εξομάλυνση της εποχικότητας.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη διαμόρφωση προβλέψεων με τη μέθοδο Winters, ή αλλιώς μέθοδο εκθετικής εξομάλυνσης με προσαρμογή στην τάση και στην εποχικότητα, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1ο Στάδιο: Εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς. Η εξομάλυνση γίνεται με την σχέση:

$$A_t = \alpha * \left(\frac{Y_t}{S_{t-L}} \right) + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1}) , \text{ για } 0 \leq \alpha \leq 1$$

Όπου:

A_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς

S_t : Ο εποχικός συντελεστής της περιόδου t

L : Η περιοδικότητα ($L=12$ για μηνιαία δεδομένα όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση)

α : Σταθερά εξομάλυνσης της χρονοσειράς

2ο Στάδιο: Εξομάλυνση της τάσης. Η εξομάλυνση της τάσης γίνεται με την σχέση:

$$T_t = \beta * (A_t + A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} , \text{ για } 0 \leq \beta \leq 1$$

Όπου:

T_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της τάσης

β : Σταθερά εξομάλυνσης της τάσης

3ο Στάδιο: Εξομάλυνση της εποχικότητας. Η εξομάλυνση της εποχικότητας γίνεται με την σχέση:

$$S_t = \gamma * \left(\frac{Y_t}{A_t} \right) + (1 - \gamma) * S_{t-L}, \text{ για } 0 \leq \gamma \leq 1$$

Όπου:

S_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της εποχικότητας

γ : Σταθερά εξομάλυνσης της εποχικότητας

4ο Στάδιο: Πρόβλεψη του \hat{Y}_{t+h} για τις h μελλοντικές περιόδους του πρώτου έτους, βάσει της σχέσης:

$$\hat{Y}_{t+h} = (A_t + h * T_t) * S_{t+h-L}, \text{ για } h=1,2,\dots,L$$

Ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών πραγματοποιείται σύμφωνα με τον τρόπο που πρότεινε ο Chatfield, όπου χρησιμοποιεί τις παρατηρήσεις της χρονοσειράς του πρώτου έτους για να προσδιορίσει τις αρχικές τιμές των A_t , T_t και S_t που αφορούν το πρώτο έτος. Πιο συγκεκριμένα:

- Για $t=1,2,\dots,L-1$ δεν προσδιορίζονται οι τιμές A_t , ενώ για $t=L$ το A_L ορίζεται ως:

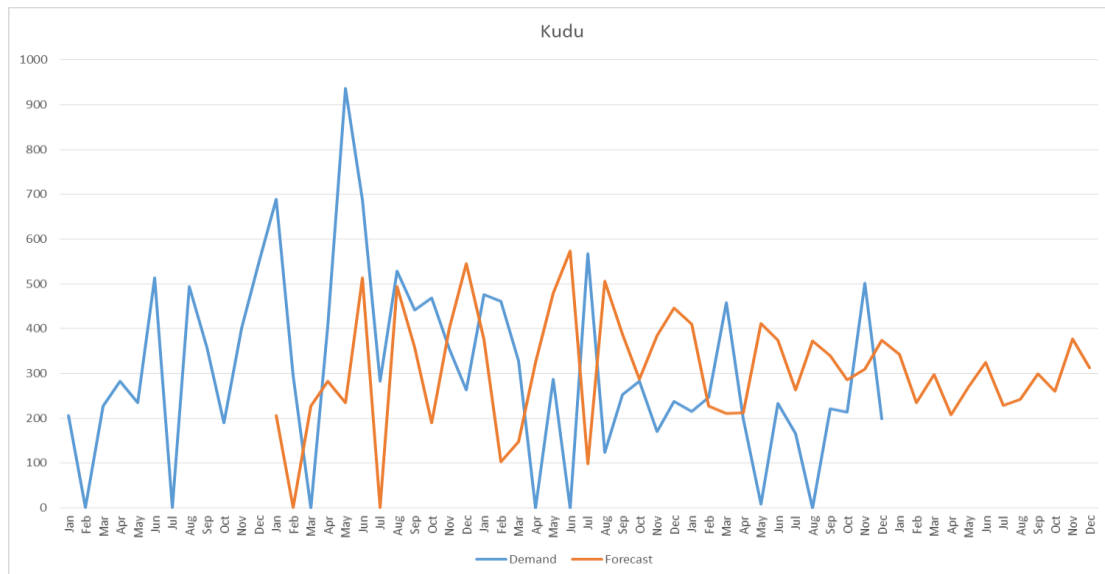
$$A_L = \frac{(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_L)}{L}$$

- Για $t=1,2,\dots,L-1$ δεν προσδιορίζονται οι τιμές T_t , ενώ για $t=L$ τίθεται $T_L = 0$.
- Για $t=1,2,\dots,L$ οι τιμές των εποχικών συντελεστών S_t υπολογίζονται ως εξής:

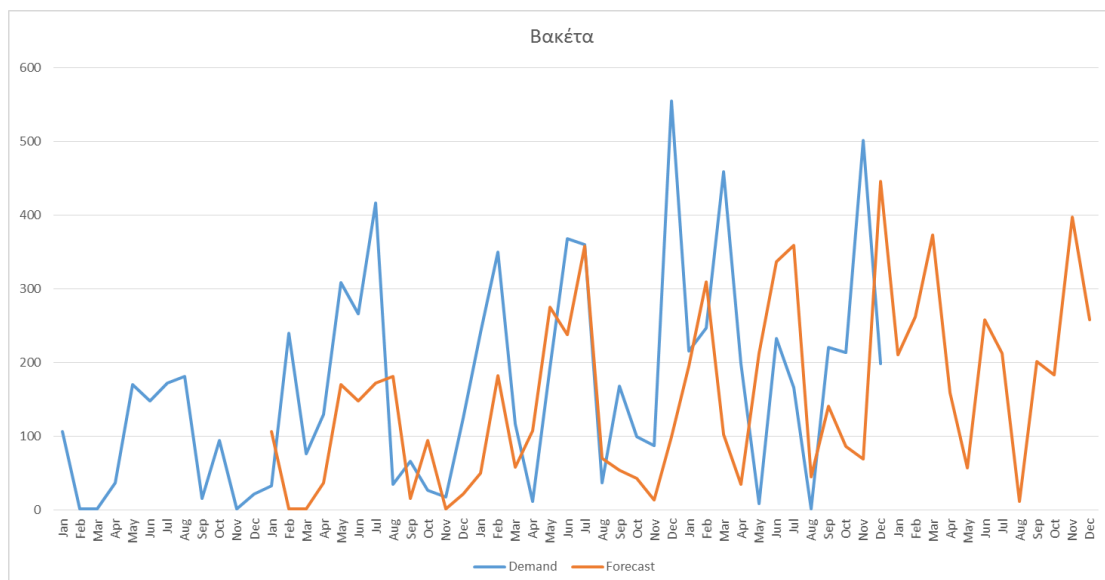
$$S_t = \frac{Y_t}{A_L}$$

Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές τιμές των παραμέτρων α , β και γ , επηρέαζαν κατά πολύ την πρόβλεψη αλλά και το σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο, με τη βοήθεια του Microsoft Excel, έγινε επίλυση σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του σφάλματος, όπως και κατά την εφαρμογή της μεθόδου Brown (παράγραφος 5.1.3), με άγνωστους τις τρεις αυτές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο δέρματος, παρουσιάζονται

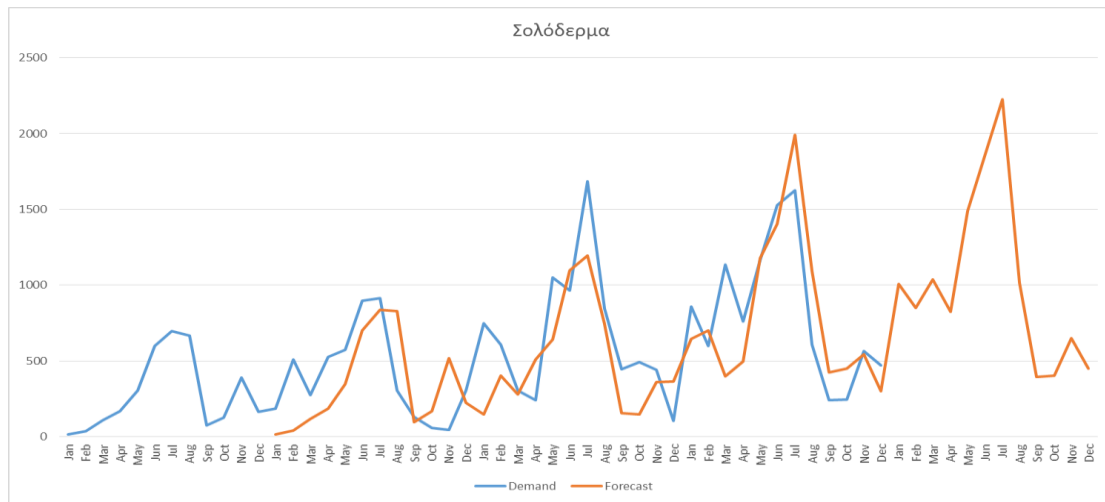
στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



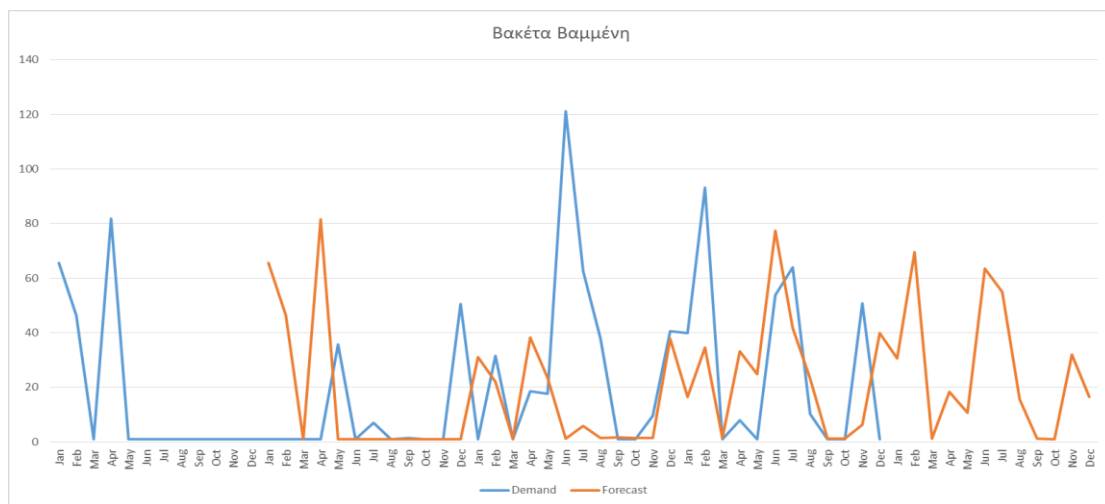
Εικόνα 79: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου kudu με την μέθοδο Winters



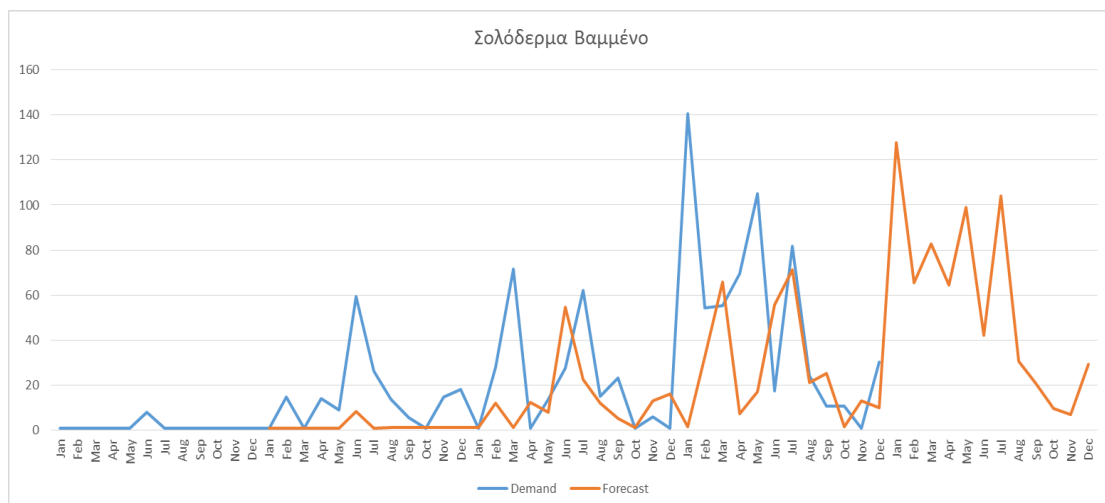
Εικόνα 80: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα με την μέθοδο Winters



Εικόνα 81: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα με την μέθοδο Winters



Εικόνα 82: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου βακέτα βαμμένη με την μέθοδο Winters



Εικόνα 83: Πρόβλεψη ζήτησης δερμάτων τύπου σολόδεσμα βαμμένο με την μέθοδο Winters

Η μέθοδος Winters παρουσιάζει πολύ ακριβής προσαρμογή στην τάση αλλά και στην εποχικότητα. Κάποιες από τις ακραίες τιμές δεν εντοπίζονται, συγκριτικά με την μέθοδο Brown, παρόλα αυτά δίνει μια πολύ καλή «εικόνα» για την μελλοντική ζήτηση.

5.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων

Σκοπός της εφαρμογής των κριτηρίων για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων, είναι η επιλογή της πιο κατάλληλης και αξιόπιστης μεθόδου πρόβλεψης [38]. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στην απόκλιση που παρουσιάζουν οι προβλεπόμενες σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της χρονοσειράς. Η απόκλιση αυτή καλείται «Σφάλμα Πρόβλεψης» και ορίζεται ως:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όπου:

Y_t : Η πραγματική τιμή της περιόδου t

\hat{Y}_t : Η προβλεπόμενη τιμή της περιόδου t

Όσο μικρότερες είναι οι αποκλίσεις αυτές, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Τα κριτήρια που θα εξεταστούν στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν κυρίως για την επιλογή της καλύτερης μεθόδου πρόβλεψης από αυτές που εφαρμόστηκαν.

5.2.1 Μέσο σφάλμα (Mean error-ME)

Το μέσο σφάλμα είναι το πιο απλό μέτρο για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης. Ορίζεται ως το άθροισμα των τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n -περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και επηρεάζεται σημαντικά από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$ME = \frac{1}{n} * \sum_t e_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν

για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

| ΜΕ | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | -106.3565972 | -60.61491127 | 61.23259502 | -4.359065022 |
| Βακέτα | 89.45908333 | 122.0320926 | 110.982926 | 59.78278979 |
| Σολόδερμα | 348.0753472 | 417.77799 | 211.3266667 | 75.43240098 |
| Βακέτα Βαμμένη | 12.72104167 | 11.35744213 | 15.55148295 | 2.791602616 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 25.498125 | 31.55859954 | 18.53575036 | 14.67495356 |

Πίνακας 26: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Winters εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για όλους τους τύπους δέρματος.

5.2.2 Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean absolute deviation-MAD)

Η μέση απόλυτη απόκλιση εκφράζει την μέση τιμή των απόλυτων αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των απόλυτων τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και δεν επηρεάζεται από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$MAD = \frac{1}{n} * \sum_t |e_t|, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

| MAD | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | 227.0945139 | 224.4231211 | 165.3412552 | 227.8970516 |
| Βακέτα | 147.9924167 | 168.6680957 | 175.8756593 | 135.0708769 |
| Σολόδεσμα | 367.7540972 | 426.4953819 | 315.3233333 | 248.7355047 |
| Βακέτα Βαμμένη | 23.78145833 | 28.70369985 | 23.3065017 | 23.51688548 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 29.22798611 | 32.13279707 | 27.36096317 | 22.28292471 |

Πίνακας 27: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέση Απόλυτη Απόκλιση

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Winters εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης στους τρεις από τους πέντε τύπους δέρματος (βακέτα, σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο) ενώ στους υπόλοιπους δύο υπερτερεί η μέθοδος Brown.

5.2.3 Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean squared error-MSE)

Το μέσο σφάλμα τετραγώνου είναι η μέση τιμή των τετραγώνων των αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις. Πιο συγκεκριμένα:

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Αντίστοιχα προκύπτει και η τετραγωνική ρίζα μέσου σφάλματος τετραγώνου (Root mean squared error-RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2}, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των προαναφερθέντων κριτηρίων στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης

που εφαρμόστηκαν για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

| MSE | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | 74053.04292 | 73897.39113 | 41944.08271 | 77563.8023 |
| Βακέτα | 37795.71243 | 47094.28241 | 51510.47666 | 29472.28788 |
| Σολόδερμα | 199365.7713 | 272369.042 | 151027.3727 | 92970.80745 |
| Βακέτα Βαμμένη | 1350.976682 | 1720.464499 | 1352.075472 | 1301.396083 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 2029.175087 | 2317.379994 | 1841.163217 | 1294.25789 |

Πίνακας 28: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα Τετραγώνου

| RMSE | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | 272.1268875 | 271.8407459 | 204.8025457 | 278.5027869 |
| Βακέτα | 194.4111942 | 217.0121711 | 226.959196 | 171.6749483 |
| Σολόδερμα | 446.5039432 | 521.8898753 | 388.6224037 | 304.9111468 |
| Βακέτα Βαμμένη | 36.75563469 | 41.47848236 | 36.7705789 | 36.07486775 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 45.04636597 | 48.13917318 | 42.90877786 | 35.9757959 |

Πίνακας 29: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Τετραγωνική Ρίζα Μέσου Σφάλματος Τετραγώνου

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Winters εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης στους τέσσερις από τους πέντε τύπους δέρματος (βακέτα, σολόδερμα, βακέτα βαμμένη και σολόδερμα βαμμένο) ενώ στα δέρματα τύπου kudu υπερτερεί η μέθοδος Brown.

5.2.4 Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean percentage error-MPE)

Το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κατά πόσο η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε είναι αμερόληπτη ή όχι και ορίζεται ως το άθροισμα των σφαλμάτων των χρονοσειρών προς τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές της χρονοσειράς διαιρούμενο με τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Πιο συγκεκριμένα:

$$MPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left(\frac{e_t}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όταν οι τιμές που λαμβάνει αυτό το κριτήριο είναι κοντά στο μηδέν, τότε η μέθοδος πρόβλεψης θεωρείται αμερόληπτη. Μεγάλες τιμές του κριτηρίου, σημαίνουν πως η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει μεγάλη μεροληψία. Όταν το κριτήριο παρουσιάζει αρνητική τιμή, συνεπάγεται ότι η μέθοδος πρόβλεψης παρέχει υπερεκτιμημένες προβλεπόμενες τιμές, σε σχέση με τις πραγματικές. Αντιθέτως όταν η τιμή είναι θετική, οι τιμές της χρονοσειράς είναι υποεκτιμημένες. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

| MPE | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | -0.00672255 | 1.566104503 | 30.90104938 | 16.21580442 |
| Βακέτα | 2.016931988 | 7.261297369 | 2.365447555 | 10.37744985 |
| Σολόδερμα | 1.323777705 | 2.752611362 | 1.350990045 | 0.997626066 |
| Βακέτα Βαμμένη | 0.122328253 | -0.035417223 | 0.275390792 | -7.837411472 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 0.444655714 | 0.66100648 | 0.219714878 | -0.798033619 |

Πίνακας 30: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου, τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα δέρματα τύπου σολόδερμα εμφανίζει η μέθοδος

Winters, για τα δέρματα τύπου σολόδεσμα βαμμένο η μέθοδος Brown, για τα δέρματα τύπου βακέτα βαμμένη ο διπλός κινητός μέσος, ενώ για τα δέρματα τύπου kudu και βακέτα ο απλός κινητός μέσος.

5.2.5 Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean absolute percentage error-MAPE)

Το συγκεκριμένο κριτήριο εξετάζει το πόσο μεγάλο είναι το σφάλμα της πρόβλεψης σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων των χρονοσειρών προς τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές της χρονοσειράς διαιρούμενο με τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Πιο συγκεκριμένα:

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left(\frac{|e_t|}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συγκεκριμένου κριτηρίου, τόσο πιο καλή θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους πέντε διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

| MAPE | Απλός κινητός μέσος | Διπλός κινητός μέσος | Μέθοδος Brown | Μέθοδος Winters |
|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Kudu | 0.773309235 | 2.257160771 | 31.35248083 | 16.79983979 |
| Βακέτα | 2.384906305 | 7.576518714 | 2.557260436 | 10.79084047 |
| Σολόδεσμα | 1.395563825 | 2.790944705 | 1.558860415 | 1.287637551 |
| Βακέτα Βαμμένη | 0.509164495 | 0.805540723 | 0.488686783 | 8.36942954 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 0.549405484 | 0.666402817 | 0.567392558 | 1.720201287 |

Πίνακας 31: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου, τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα δέρματα τύπου kudu, βακέτα και σολόδεσμα βαμμένο εμφανίζει ο απλός κινητός μέσος, για τα δέρματα τύπου βακέτα βαμμένη η μέθοδος Brown ενώ για τα δέρματα τύπου σολόδεσμα η μέθοδος Winters.

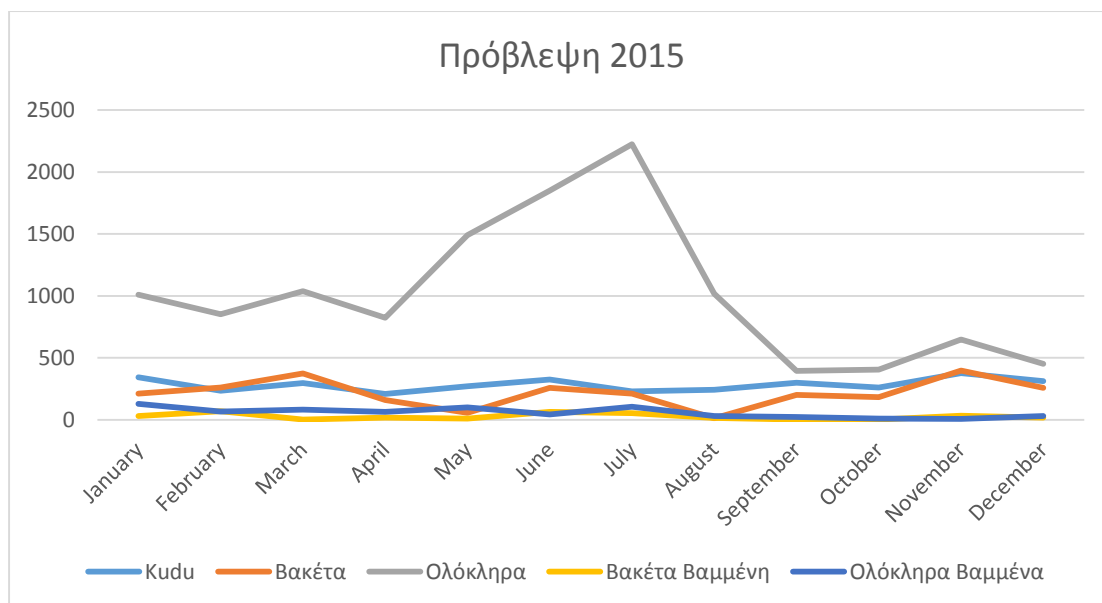
5.3 Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή των κριτηρίων, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η μέθοδος Winters εμφανίζει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα (μικρότερες αποκλίσεις) από τις υπόλοιπες τρεις μεθόδους, υπερτερώντας στα πέντε από τα έξι κριτήρια, σχεδόν για όλους τους τύπους δέρματος. Παρόλα αυτά δείχνει να υστερεί εκεί όπου υπάρχουν ακραίες τιμές, είτε πολύ υψηλές είτε μηδενικές, γεγονός που την καθιστά σε ένα βαθμό ανακριβή.

Παρόλα αυτά η μέθοδος Winters επιλέχθηκε και από τα κύρια στελέχη της υπό μελέτη βιομηχανίας, θεωρώντας ότι παρά αυτή την ατέλεια που παρουσιάζει, δίνει μία πολύ καλή εικόνα της μελλοντικής ζήτησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της για την πρόβλεψη της ζήτησης του έτους 2015 παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα αντίστοιχα:

| Πρόβλεψη 2015 | January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
|------------------------------|---------|----------|-------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| Kudu | 342 | 234 | 297 | 207 | 271 | 324 | 228 | 242 | 298 | 260 | 376 | 312 |
| Βακέτα | 210 | 261 | 373 | 158 | 57 | 258 | 212 | 11 | 201 | 182 | 397 | 257 |
| Σολόδεσμα | 1008 | 851 | 1038 | 823 | 1490 | 1849 | 2224 | 1017 | 394 | 405 | 648 | 451 |
| Βακέτα Βαμμένη | 30 | 69 | 1 | 18 | 10 | 63 | 54 | 15 | 1 | 1 | 32 | 16 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 127 | 65 | 82 | 64 | 99 | 42 | 104 | 30 | 21 | 9 | 7 | 29 |

Πίνακας 32: Αναλυτική πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2015, ανά μήνα



Εικόνα 84: Πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2015, για όλους τους τύπους δέρματος

Παρατηρείται ότι η ζήτηση δερμάτων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Αυτό συμβαίνει λόγω της αύξησης του τουρισμού (που φτάνει έως και τα είκοσι έξι εκατομμύρια το 2015) και είναι ένα κλασσικό φαινόμενο. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητος ένας σωστός προγραμματισμός παραγωγής και αποθεματοποίησης μιας και η ζήτηση την συγκεκριμένη περίοδο ξεπερνάει κατά πολύ την παραγωγική δυναμικότητα της βιομηχανίας.

6^ο Κεφάλαιο

Μοντελοποίηση Γραμμικού Προβλήματος και Αριθμητικά Αποτελέσματα

6.1 Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο υλοποιήθηκε η μοντελοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής, σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλες εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν το τελικό κέρδος της συγκεκριμένης βιομηχανίας κάτω από τους περιορισμούς (φυσικούς και τεχνολογικούς) που πρέπει να ισχύουν.

Συμβολισμοί:

- Δείκτης j : Μήνες του έτους
 $j=1$: Ιανουάριος
 $j=2$: Φεβρουάριος
 $j=3$: Μάρτιος
 $j=4$: Απρίλιος
 $j=5$: Μάιος
 $j=6$: Ιούνιος
 $j=7$: Ιούλιος
 $j=8$: Αύγουστος
 $j=9$: Σεπτέμβριος
 $j=10$: Οκτώβριος
 $j=11$: Νοέμβριος
 $j=12$: Δεκέμβριος
- Δείκτης k : Είδος τελικού προϊόντος
 $k=1$: Kudu
 $k=2$: Βακέτα
 $k=3$: Σολόδερμα
 $k=4$: Βακέτα Βαμμένη
 $k=5$: Σολόδερμα Βαμμένο
- Πίνακας $c_{k,j}$: Περιλαμβάνει την τιμή πώλησης ανά είδος και παρτίδα τελικού προϊόντος. Η τιμή πώλησης εξαρτάται από την ποιότητα των δερμάτων, γι' αυτό και ορίστηκε μία μέση τιμή πώλησης ανά είδος δέρματος, βάση στατιστικών και θεωρώντας αναπροσαρμογή των τιμών πωλήσεων της

βιομηχανίας βάσει των γενικών συνθηκών που επικρατούν στην οικονομίας και την αγοράς (τιμάρημος, τρόπος αποπληρωμής-πίστωση).

| $C_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 | 8820 |
| Βακέτα | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 | 8120 |
| Σολόδεσμα | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 | 5880 |
| Βακέτα Βαμμένη | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 |

Πίνακας 33: Πίνακας $c_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $z_{k,j}$: Περιλαμβάνει την ζήτηση σε παρτίδες τελικών προϊόντων ανά είδος και ανά μήνα του έτους, όπως αυτή έχει προκύψει από τα δεδομένα της πρόβλεψης για το έτος 2015, διαιρεμένα με τον αριθμό τεμαχίων ανά παρτίδα για κάθε τύπο δέρματος.

| $z_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 1.14 | 0.78 | 0.99 | 0.69 | 0.90333333 | 1.08 | 0.76 | 0.80666667 | 0.99333333 | 0.86666667 | 1.25333333 | 1.04 |
| Βακέτα | 1.05 | 1.305 | 1.865 | 0.79 | 0.285 | 1.29 | 1.06 | 0.055 | 1.005 | 0.91 | 1.985 | 1.285 |
| Σολόδεσμα | 6.72 | 5.67333333 | 6.92 | 5.48666667 | 9.93333333 | 12.32666667 | 14.82666667 | 6.78 | 2.62666667 | 2.7 | 4.32 | 3.00666667 |
| Βακέτα Βαμμένη | 1.5 | 3.45 | 0.05 | 0.9 | 0.5 | 3.15 | 2.7 | 0.75 | 0.05 | 0.05 | 1.6 | 0.8 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 4.23333333 | 2.16666667 | 2.73333333 | 2.13333333 | 3.3 | 1.4 | 3.46666667 | 1 | 0.7 | 0.3 | 0.23333333 | 0.96666667 |

Πίνακας 34: Πίνακας $z_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $x_{k,j}$: Περιλαμβάνει την τιμή αγοράς πρώτης ύλης. Οι πρώτες ύλες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα kudu που προορίζονται για δέρματα τύπου kudu και στα βοδινά που προορίζονται για τους υπόλοιπους τύπους δέρματος.

| $x_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|--------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 | 3450 |
| Βακέτα | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 | 3250 |
| Σολόδεσμα | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 | 2437.5 |
| Βακέτα Βαμμένη | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 | 487.5 |

Πίνακας 35: Πίνακας $x_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $\eta_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος εργατικών ανά παρτίδα, ανά είδος τελικού προϊόντος. Το κόστος εργατικών υπολογίστηκε από τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 4.2 για τον κάθε τύπο προϊόντος, κατά τις οποίες θεωρείται άμεση η εκτέλεση των εργασιών που δεν απαιτούν εργατικό δυναμικό (Στέγνωμα και εργασίες στα Drums). Τα αποτελέσματα αυτά πολλαπλασιάστηκαν με το μέσο κόστος εργατοώρας και έτσι προέκυψαν οι τιμές της συγκεκριμένης μεταβλητής.

| $n_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 | 138.7845117 |
| Βακέτα | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 | 171.4119342 |
| Σολόδεσμα | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 | 96.03618825 |
| Βακέτα Βαμμένη | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 | 152.612963 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 | 158.8893004 |

Πίνακας 36: Πίνακας $n_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $m_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος δευτερευουσών πρώτων υλών ανά παρτίδα, ανά είδος τελικού προϊόντος. Το κόστος αυτό προέκυψε πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα των εκάστοτε δευτερευουσών πρώτων υλών (ανά παρτίδα) που χρησιμοποιούνται ανά τύπο δέρματος με την τιμή τους.

| $m_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 | 767.871 |
| Βακέτα | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 | 666.97 |
| Σολόδεσμα | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 | 551.2305 |
| Βακέτα Βαμμένη | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 | 106.697 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 | 165.246 |

Πίνακας 37: Πίνακας $m_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $D_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος καυσίμου(Diesel) που χρησιμοποιείται για την διαδικασία του στεγνώματος στο υπάρχον στεγνωτήριο των δερμάτων, ανά παρτίδα, ανά μήνα του έτους. Στο στεγνωτήριο εισάγονται μονάχα τα δέρματα τύπου σολόδεσμα και σολόδεσμα βαμμένο, για αυτό και δεν ορίζεται κόστος για τους υπόλοιπους τύπους δέρματος. Η χρήση του στεγνωτηρίου περιορίζεται τους καλοκαιρινούς μήνες.

| $D_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Βακέτα | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σολόδεσμα | 84.143886 | 128.680413 | 26.0499042 | 26.0499042 | 26.0499042 | 26.0499042 | 31.035318 | 31.035318 | 31.035318 | 31.035318 | 98.3127657 | 98.3127657 |
| Βακέτα Βαμμένη | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 16.8287772 | 25.7360826 | 5.20998084 | 5.20998084 | 5.20998084 | 5.20998084 | 6.2070636 | 6.2070636 | 6.2070636 | 6.2070636 | 19.66255314 | 19.66255314 |

Πίνακας 38: Πίνακας $D_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $r_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, ανά παρτίδα και μήνα του έτους. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε διαιρώντας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά το έτος 2014 με την συνολική παραγωγή των δερμάτων το ίδιο έτος.

| $r_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 186.6531 | 186.6531 | 196.9023 | 196.9023 | 126.1923 | 126.1923 | 206.9373 | 206.9373 | 179.9658 | 179.9658 | 141.5253 | 141.5253 |
| Βακέτα | 124.4354 | 124.4354 | 131.2682 | 131.2682 | 84.1282 | 84.1282 | 137.9582 | 137.9582 | 119.9772 | 119.9772 | 94.3502 | 94.3502 |
| Σολόδεσμα | 93.32655 | 93.32655 | 98.45115 | 98.45115 | 63.09615 | 63.09615 | 103.46865 | 103.46865 | 89.9829 | 89.9829 | 70.76265 | 70.76265 |
| Βακέτα Βαμμένη | 12.44354 | 12.44354 | 13.12682 | 13.12682 | 8.41282 | 8.41282 | 13.79582 | 13.79582 | 11.99772 | 11.99772 | 9.43502 | 9.43502 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 18.66531 | 18.66531 | 19.69023 | 19.69023 | 12.61923 | 12.61923 | 20.69373 | 20.69373 | 17.99658 | 17.99658 | 14.15253 | 14.15253 |

Πίνακας 39: Πίνακας $r_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $ca_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος αποθεματοποίησης ανά παρτίδα, ανά μήνα του έτους. Το κόστος αυτό αναφέρεται στην ενοικίαση αποθήκης για την αποθήκευση τελικού προϊόντος. Το κόστος αυτό διαφέρει ανά τύπο δέρματος διότι εφαρμόζεται διαφορετικός τρόπος αποθήκευσης τους, με αποτέλεσμα κάποια είδη δέρματος να καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια από κάποια άλλα. Για το λόγο αυτό έχει πραγματοποιηθεί σχετική αναγωγή βάσει της επιφάνειας.

| $ca_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 |
| Βακέτα | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 | 19.36 |
| Σολόδεσμα | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 |
| Βακέτα Βαμμένη | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 | 1.936 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |

Πίνακας 40: Πίνακας $ca_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Πίνακας $cf_{k,j}$: Περιλαμβάνει το κόστος επενδυσόμενου κεφαλαίου (επιτόκιο) ανά κόστος αγοράς πρώτης ύλης, ανά μήνα. Το κόστος αυτό αναφέρεται στο επιτόκιο δανεισμού το οποίο μειώνεται σταθερά με την πάροδο των μηνών του έτους.

| $cf_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|----------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 0.0765 | 0.070125 | 0.06375 | 0.057375 | 0.051 | 0.044625 | 0.03825 | 0.031875 | 0.0255 | 0.019125 | 0.01275 | 0.006375 |
| Βακέτα | 0.0765 | 0.070125 | 0.06375 | 0.057375 | 0.051 | 0.044625 | 0.03825 | 0.031875 | 0.0255 | 0.019125 | 0.01275 | 0.006375 |
| Σολόδεσμα | 0.0765 | 0.070125 | 0.06375 | 0.057375 | 0.051 | 0.044625 | 0.03825 | 0.031875 | 0.0255 | 0.019125 | 0.01275 | 0.006375 |
| Βακέτα Βαμμένη | 0.0765 | 0.070125 | 0.06375 | 0.057375 | 0.051 | 0.044625 | 0.03825 | 0.031875 | 0.0255 | 0.019125 | 0.01275 | 0.006375 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 0.0765 | 0.070125 | 0.06375 | 0.057375 | 0.051 | 0.044625 | 0.03825 | 0.031875 | 0.0255 | 0.019125 | 0.01275 | 0.006375 |

Πίνακας 41: Πίνακας $cf_{k,j}$, σεναρίου βάσης

- Fixed_Costs :
 - Κόστος βλαβών και συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος
 - Ενοίκιο ανά έτος
 - Καύσιμα(εκτός από το πετρέλαιο για την λειτουργία του στεγνωτηρίου) ανά έτος
 - Λοιπά έξοδα ανά έτος(π.χ. έξοδα αποχέτευσης, ύδρευσης κ.α.)

Μεταβλητές Απόφασης:

- Πίνακας $e_{k,j}$: Περιλαμβάνει τον αριθμό των επεξεργαζόμενων παρτίδων ανά είδος τελικού προϊόντος, ανά μήνα του έτους
- Πίνακας $inv_{k,j}$: Περιλαμβάνει το απόθεμα τελικού προϊόντος, ανά μήνα του έτους.

Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\max \left[\sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^{12} [c_{k,j} * z_{k,j} - e_{k,j} * (n_{k,j} + m_{k,j} + D_{k,j} + r_{k,j} + (1 + cf_{k,j}) * x_{k,j})] - inv_{k,j} * ca_{k,j} - Fixed_Costs \right]$$

Η προς μεγιστοποίηση αντικειμενική συνάρτηση, αναφέρεται στο ετήσιο κέρδος της βιομηχανίας. Δηλαδή από τα συνολικά έσοδα (ανά έτος) αφαιρούνται τα ετήσια έξοδα. Πιο συγκεκριμένα:

Έσοδα:

- $c_{k,j} * z_{k,j}$: Έσοδα από την πώληση δερμάτων. Πολλαπλασιάζεται η συνολική ζήτηση ανά είδος με την μοναδιαία τιμή πώλησης του εκάστοτε τύπου δέρματος.

Έξοδα:

- $e_{k,j} * (n_{k,j} + m_{k,j} + D_{k,j} + r_{k,j} + (1 + cf_{k,j}) * x_{k,j})$: Κόστος παραγωγής δερμάτων. Πολλαπλασιάζεται η συνολική παραγωγή ανά είδος, με τα μοναδιαία κόστη παραγωγής.
- $inv_{k,j} * ca_{k,j}$: Κόστος αποθεματοποίησης δερμάτων. Πολλαπλασιάζεται η συνολική αποθεματοποίηση ανά είδος με το αντίστοιχο μοναδιαίο κόστος αποθεματοποίησης.
- $Fixed_Costs$: Αναφέρεται στα συνολικά σταθερά ετήσια έξοδα της βιομηχανίας.

Περιορισμοί

- Δυναμικότητα ανά είδος τελικού προϊόντος
Στους παρακάτω περιορισμούς ορίζεται η δυναμικότητα της υπό μελέτη βιομηχανίας αν είδος προϊόντος, ανά μήνα. Οι τιμές υπολογίστηκαν έπειτα από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με δεδομένα λειτουργίας που αντλήθηκαν από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα:

$$e_{1,j} \leq 2 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{2,j} \leq 2 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{3,j} \leq 10 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{4,j} \leq 3 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{5,j} \leq 5 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

- Δυναμικότητας ανά μήνα
Στον παρακάτω περιορισμό ορίζεται ο μέγιστος αριθμός επεξεργαζόμενων παρτίδων (αθροιστικά για όλα τα είδη) ανά μήνα.

$$\sum_{k=1}^5 e_{k,j} \leq 18 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

- Περιορισμοί μη αρνητικότητας αποθέματος
Αναφέρονται στην μεταβλητή απόφασης $inv_{k,j}$.

$$inv_{k,j} \geq 0 \quad \forall k = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

- Εξίσωση μεταβολής αποθέματος
Στην ουσία αυτός ο περιορισμός περιγράφει ότι ο αριθμός των δερμάτων που επεξεργάζονται κάποιο μήνα μαζί με το απόθεμα τελικού προϊόντος του προηγούμενου μήνα, ισούται με την ζήτηση μαζί με το απόθεμα τελικού προϊόντος τον ίδιο μήνα. Επίσης έγινε η παραδοχή ότι κάθε μήνα, η βιομηχανία ξεκινάει με μηδενικό απόθεμα τελικού προϊόντος και ότι δεν υπάρχουν ημικατεργασμένα προϊόντα.

$$\sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^{12} (inv_{k,j} - inv_{k,j-1} - e_{k,j} + z_{k,j}) = 0$$

- Ορισμός διακριτή μεταβλητής
Επειδή το μέγεθος της εκάστοτε παρτίδας για κάθε προϊόν είναι σταθερό και η παραγωγική διαδικασία δεν ξεκινάει εάν δεν έχει συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός, όλο το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε με άγνωστο τον αριθμό των παρτίδων και όχι των τεμαχίων. Γι' αυτό και κρίθηκε αναγκαίο να οριστεί ότι ο αριθμός των επεξεργαζόμενων τεμαχίων είναι ακέραιος αριθμός.

$$e_{k,j} \in \mathbb{Z}_+ \quad \forall k = 1, 2, \dots, 5, n \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

6.1.1 Επίλυση του προβλήματος

Το συγκεκριμένο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μικτού ακεραίου. Η επίλυση του πραγματοποιήθηκε στο in MathworksMatlab 2013a®

σε συνδυασμό με το αλγεβρικό σύστημα μοντελοποίησης (GAMS solver) GurobiOptimization® [39].

6.1.2 Αποτελέσματα σεναρίου βάσης

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η κατανομή των παρτίδων δέρματος (προς επεξεργασία) στους μήνες η οποία μεγιστοποιεί το κέρδος, καθώς και το σχετικό απόθεμα τελικού προϊόντος (σε τεμάχια) κάθε μήνα. Το συνολικό κέρδος που προκύπτει από την επίλυση της αντικειμενικής υπολογίστηκε στα 114,715.95 €.

| Επεξεργαζόμενα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Κυύ | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Βακέτα | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Σολόδεσμα | 7 | 6 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 7 | 3 | 7 | 0 | 3 |
| Βακέτα Βαμμένη | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

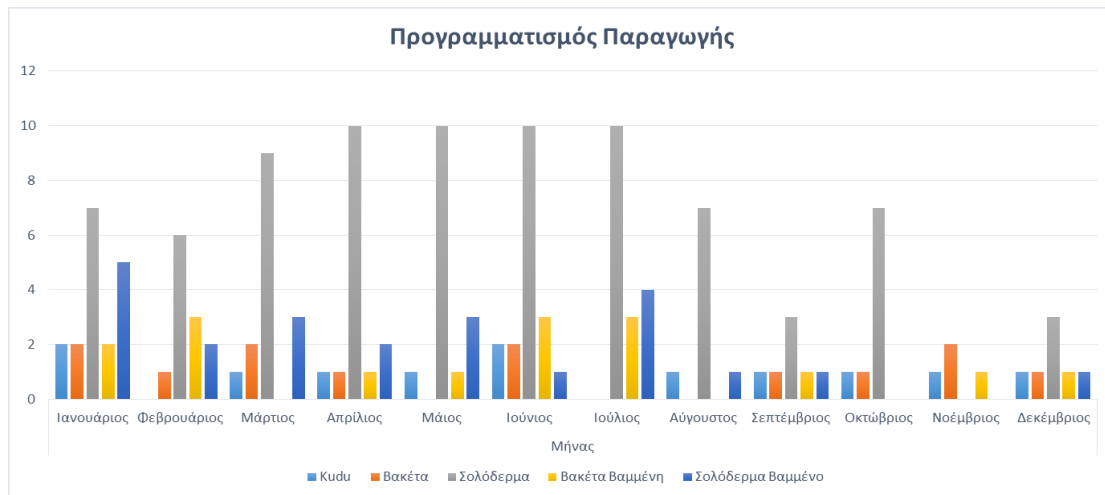
Πίνακας 42: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων, ανά μήνα, σεναρίου βάσης

| Απόθεμα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Κυύ | 258 | 24 | 27 | 120 | 149 | 425 | 197 | 255 | 257 | 297 | 221 | 209 |
| Βακέτα | 190 | 129 | 156 | 198 | 141 | 283 | 71 | 60 | 59 | 77 | 80 | 23 |
| Σολόδεσμα | 42 | 91 | 403 | 1080 | 1090 | 741 | 17 | 50 | 106 | 751 | 103 | 102 |
| Βακέτα Βαμμένη | 10 | 1 | 0 | 2 | 12 | 9 | 15 | 0 | 19 | 18 | 6 | 10 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 23 | 18 | 26 | 22 | 13 | 1 | 17 | 17 | 26 | 17 | 10 | 11 |

Πίνακας 43: Αριθμός αποθέματος δερμάτων, ανά μήνα, σεναρίου βάσης

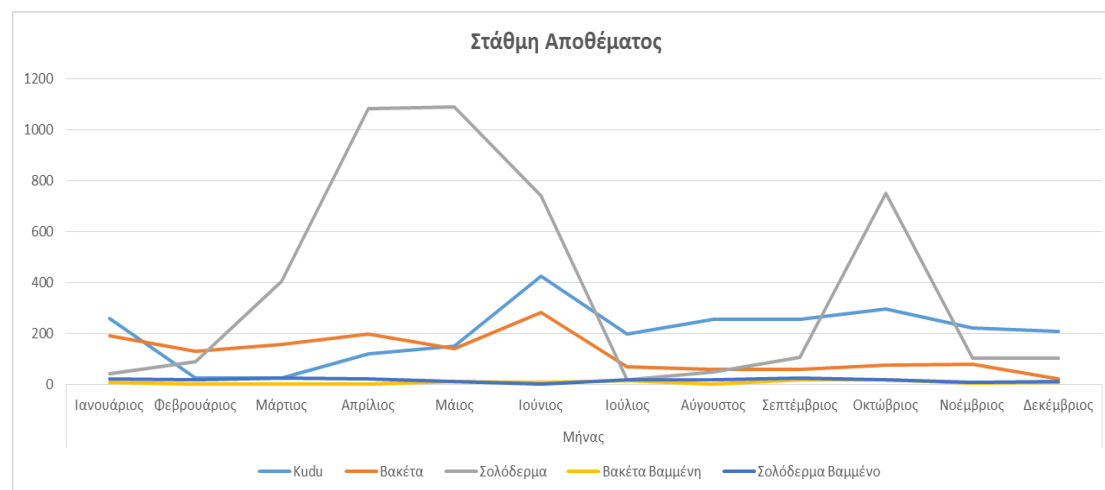
6.1.3 Προγραμματισμός παραγωγής σεναρίου βάσης

Ο προγραμματισμός παραγωγής που προτείνεται στην παράγραφο αυτή αναφέρεται στο σενάριο βάσης και παρουσιάζεται στην εικόνα 85. Δηλαδή στο σενάριο εκείνο που όλες οι ποσοτικές παράμετροι καθώς και η αλληλουχία των διαδικασιών παραμένουν στην αρχική μορφή τους.



Εικόνα 85: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου βάσης

Βάσει του προγραμματισμού που προηγήθηκε, προκύπτει και η διακύμανση της στάθμης του αποθέματος τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 86.



Εικόνα 86: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου βάσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος αλλά και συνολικά.

| Τελικό Προϊόν | Τύπος δέρματος | | | | | |
|------------------------|----------------|--------|-----------|----------------|-------------------|----------|
| | Kudu | Βακέτα | Σολόδεσμα | Βακέτα Βαμμένη | Σολόδεσμα Βαμμένο | Συνολικά |
| Μέσο απόθεμα | 203 | 122 | 381 | 9 | 17 | 732 |
| Μέγιστο απόθεμα | 425 | 283 | 1090 | 19 | 26 | 1459 |

Πίνακας 44: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου βάσης

6.2 Προσαρμογή του προβλήματος για την χρήση νέας εγκατάστασης στεγνωτηρίου

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2 πραγματοποιήθηκαν μία σειρά προσομοιώσεων, για κάθε ένα από τους τύπους δέρματος, οι οποίες περιλάμβαναν την εγκατάσταση μιας σύγχρονης μονάδας στεγνώματος των δερμάτων. Επειδή η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε «νεκρό» χρόνο (δεν απαιτεί εργατικό δυναμικό), δεν αλλάζουν τα δεδομένα που αφορούν το μέσο κόστος των εργατικών ανά τεμάχιο. Αντιθέτως επηρεάζουν την δυναμικότητα της βιομηχανίας, όπου αυξάνεται με την μείωση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας των δερμάτων κάθε είδους, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Ένα άλλο στοιχείο που μεταβάλλεται είναι ο πίνακας $D_{k,j}$. Αυτό συμβαίνει επειδή η νέα εγκατάσταση στεγνωτηρίου χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους δερμάτων κατά τους χειμερινούς μήνες.

| Δυναμικότητα | Αρχική Δυναμικότητα | Ποσοστό μείωσης χρόνου επεξεργασίας | Δυναμικότητα μετά την εγκατάσταση νέου στεγνωτηρίου |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------|---|
| Kudu | 2 | 47.73% | 3 |
| Βακέτα | 2 | 43.23% | 3 |
| Σολόδερμα | 10 | 12.23% | 12 |
| Βακέτα Βαμμένη | 3 | 44.80% | 5 |
| Σολόδερμα Βαμμένο | 5 | 15.75% | 6 |
| Μηνιαία δυναμικότητα | 18 | 32.75% (Μέσο) | 24 |

Πίνακας 45: Μεταβολή δυναμικότητας για το σενάριο με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου

Σύμφωνα με τα παραπάνω στο νέο γραμμικό πρόβλημα αλλάζουν οι περιορισμοί εκείνοι που αφορούν την συνολική δυναμικότητα ανά μήνα και την δυναμικότητα ανά είδος τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα στην νέα μοντελοποίηση:

$$\sum_{k=1}^5 e_{k,j} \leq 24 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{1,j} \leq 3 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{2,j} \leq 3 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{3,j} \leq 12 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{4,j} \leq 5 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{5,j} \leq 6 \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

Και η νέες τιμές του $D_{k,j}$ παρουσιάζονται παρακάτω:

| $D_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 168.287772 | 257.360826 | 52.0998084 | 52.0998084 | 52.0998084 | 0 | 0 | 0 | 62.070636 | 62.070636 | 196.6255314 | 196.6255314 |
| Βακέτα | 112.191848 | 171.573884 | 34.7332056 | 34.7332056 | 34.7332056 | 0 | 0 | 0 | 41.380424 | 41.380424 | 131.0836876 | 131.0836876 |
| Σολόδεσμα | 84.143896 | 128.680413 | 26.0499042 | 26.0499042 | 26.0499042 | 26.0499042 | 31.035318 | 31.035318 | 31.035318 | 31.035318 | 98.3127657 | 98.3127657 |
| Βακέτα Βαμμένη | 393.2510628 | 11.2191848 | 17.1573884 | 3.47332056 | 3.47332056 | 0 | 0 | 0 | 4.1380424 | 4.1380424 | 4.1380424 | 13.10836876 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 16.8287772 | 25.7360826 | 5.20998084 | 5.20998084 | 5.20998084 | 5.20998084 | 6.2070636 | 6.2070636 | 6.2070636 | 6.2070636 | 19.66255314 | 19.66255314 |

Πίνακας 46: Πίνακας $D_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου

6.2.1 Αποτελέσματα με τη χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η κατανομή των παρτίδων δέρματος (προς επεξεργασία) στους μήνες η οποία μεγιστοποιεί το κέρδος, καθώς και το σχετικό απόθεμα τελικού προϊόντος (σε τεμάχια) κάθε μήνα. Το συνολικό κέρδος που προκύπτει από την επίλυση της αντικειμενικής υπολογίστηκε στα 112,624.79 €.

| Επεξεργαζόμενα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Κυύ | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Βακέτα | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| Σολόδεσμα | 12 | 1 | 7 | 6 | 12 | 12 | 12 | 7 | 3 | 7 | 0 | 3 |
| Βακέτα Βαμμένη | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Πίνακας 47: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου, ανά μήνα

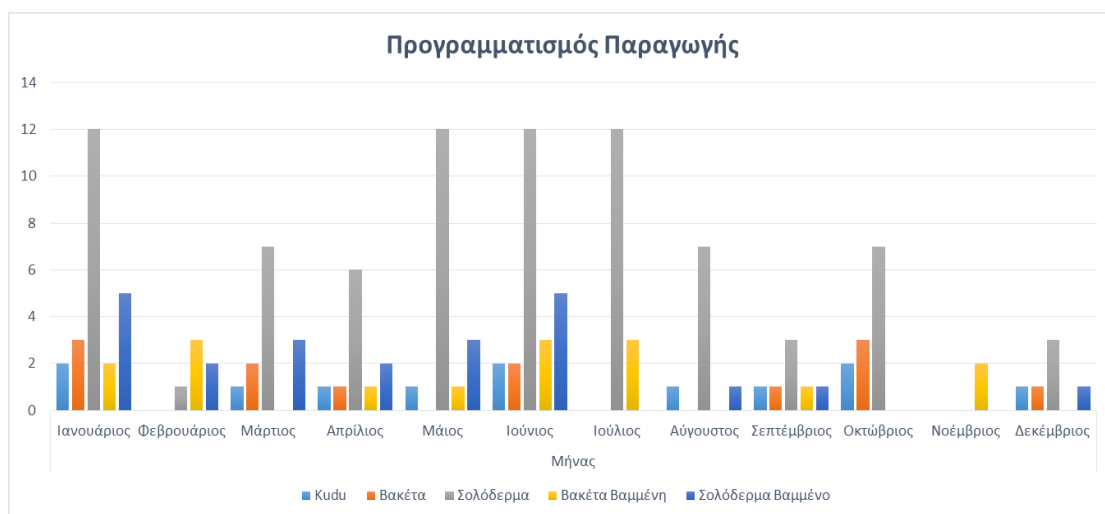
| Απόθεμα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 258 | 24 | 27 | 120 | 149 | 425 | 197 | 255 | 257 | 597 | 221 | 209 |
| Βακέτα | 390 | 129 | 156 | 198 | 141 | 283 | 71 | 60 | 59 | 477 | 80 | 23 |
| Σολόδεσμα | 792 | 91 | 103 | 180 | 490 | 441 | 17 | 50 | 106 | 751 | 103 | 102 |
| Βακέτα Βαμμένη | 10 | 1 | 0 | 2 | 12 | 9 | 15 | 0 | 19 | 18 | 26 | 10 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 23 | 18 | 26 | 22 | 13 | 121 | 17 | 17 | 26 | 17 | 10 | 11 |

Πίνακας 48: Αριθμός αποθέματος δερμάτων με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου, ανά μήνα

Η μείωση του κέρδους οφείλεται στην μεγάλη κατανάλωση της νέας μονάδας. Μια τέτοια επένδυση θα παρουσίαζε μεγάλο κέρδος για την βιομηχανία μόνο αν αυξανόταν ο αριθμός δερμάτων ανά παρτίδα. Αυτό όμως προϋποθέτει στην αντικατάσταση ενός μεγάλου μέρους του τεχνολογικού εξοπλισμού και κυρίως των Drums και ταυτόχρονα είναι πρακτικά αδύνατο λόγω φυσικών περιορισμών (χωροθέτηση, οικονομική ευελιξία, κ.λπ.).

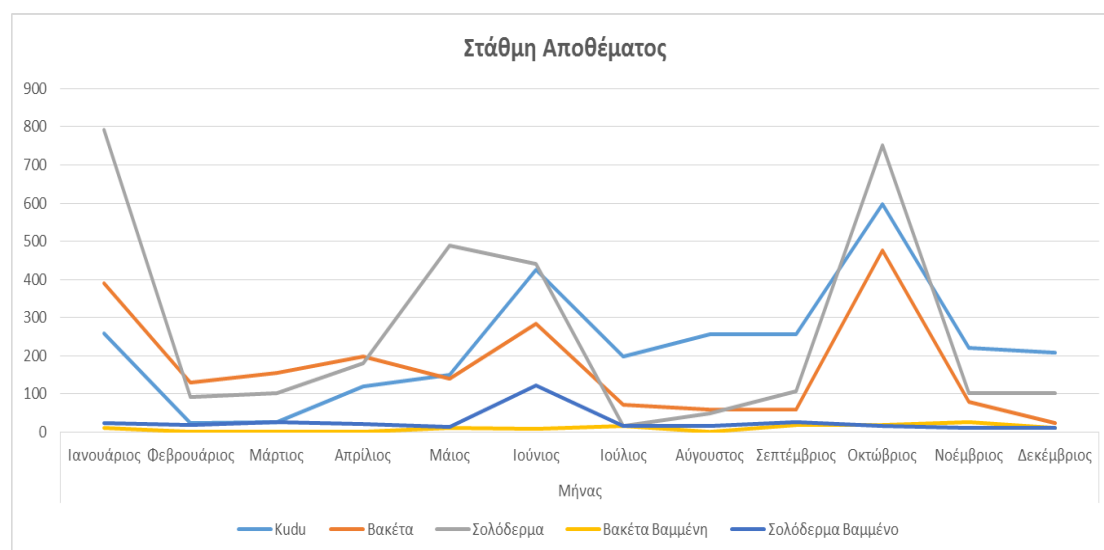
6.2.2 Προγραμματισμός παραγωγής με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου

Ο προγραμματισμός παραγωγής που προτείνεται στην παράγραφο αυτή αναφέρεται στο σενάριο που μελετήθηκε με χρήση σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου και παρουσιάζεται στην εικόνα 87. Στο ρεαλιστικό αυτό σενάριο, έχει αντικατασταθεί η μονάδα στεγνώματος που χρησιμοποιείται με νέα και ταυτόχρονα πιο σύγχρονη. Οι αλλαγές που επιφέρει η συγκεκριμένη μελέτη αφορούν κυρίως την αύξηση της δυναμικότητας.



Εικόνα 87: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου

Βάσει του προγραμματισμού που προηγήθηκε, προκύπτει και η διακύμανση της στάθμης του αποθέματος τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 88.



Εικόνα 88: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος αλλά και συνολικά.

| Τελικό Προϊόν | Τύπος δέρματος | | | | | |
|------------------------|----------------|--------|-----------|----------------|-------------------|----------|
| | Kudu | Βακέτα | Σολόδεσμα | Βακέτα Βαμμένη | Σολόδεσμα Βαμμένο | Συνολικά |
| Μέσο απόθεμα | 228 | 172 | 269 | 10 | 27 | 706 |
| Μέγιστο απόθεμα | 597 | 477 | 792 | 26 | 121 | 1860 |

Πίνακας 49: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση νέας μονάδας στεγνωτηρίου

Παρατηρείται ότι στο συγκεκριμένο σενάριο το μέσο απόθεμα μειώνεται κατά 3.5% ενώ παράλληλα η μέγιστη στάθμη αποθέματος αυξάνεται κατά 27% σε σχέση με το σενάριο βάσης. Ενώ η μείωση του μέσου αποθέματος επηρεάζει θετικά την λειτουργία της μονάδας, η αύξηση της μέγιστης στάθμης (που είναι αρκετά σημαντική), δρα αρνητικά επειδή θα πρέπει να έχει προβλεφθεί η δημιουργία κατάλληλων χώρων αποθήκευσης και συντήρησης του τελικού προϊόντος.

6.3 Προσαρμογή του προβλήματος για την χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Σε αυτό το στάδιο έγινε μοντελοποίηση του προβλήματος για την εισαγωγή πιο σύγχρονου τεχνολογικού εξοπλισμού στο στάδιο της διαπλάτυνση. Κατά την μελέτη αυτή, τη θέση του μηχανήματος «Στρωτήρας», πήρε ένα πιο σύγχρονο μηχάνημα, με δυνατότητα πραγματοποίησης καλύτερης διαπλάτυνσης. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο κατά την διαπλάτυνση αυξάνεται η επιφάνεια του δέρματος στο μέγιστο δυνατό του υπάρχοντος τεχνολογικού εξοπλισμού. Με την εισαγωγή νεότερου εξοπλισμού, η αύξηση της επιφάνειας του τελικού προϊόντος μπορεί να φτάσει μέχρι και 10% παραπάνω από την αρχική. Η αύξηση αυτή αντικατοπτρίζεται μόνο στο τελικό προϊόν μιας και μονάχα οι εργασίες που πραγματοποιούνται στα Drums επηρεάζονται από την επιφάνεια του δέρματος. Πρακτικά η καθυστέρηση του σύγχρονου μηχανήματος είναι ίση με την αντίστοιχη του παλαιού, με αποτέλεσμα η αρχική μοντελοποίηση (σενάριο βάσης) να μην μεταβάλλεται και κατά συνέπεια, η αλλαγή αυτή να μην επηρεάζει ούτε την δυναμικότητα της βιομηχανίας αλλά ούτε το κόστος των εργατικών ανά παρτίδα δέρματος. Τα μοναδικά μεγέθη που μεταβάλλονται είναι το $z_{k,j}$, που λόγω της αύξησης της επιφάνειας, τα τεμάχια ανά παρτίδα τελικού προϊόντος θα είναι περισσότερα και το $c_{k,j}$, που επίσης επηρεάζεται από την αύξηση της επιφάνειας των δερμάτων, μιας και το μοναδιαίο κόστος ανά παρτίδα αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της επιφάνειας τους. Οι νέες τιμές των $z_{k,j}$ και $c_{k,j}$ παρουσιάζονται στην συνέχεια.

| $z_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 1.036363636 | 0.709090909 | 0.9 | 0.627272727 | 0.821212121 | 0.981818182 | 0.690909091 | 0.733333333 | 0.903030303 | 0.787878788 | 1.139393939 | 0.945454545 |
| Βακέτα | 0.954545455 | 1.186363636 | 1.695454545 | 0.718181818 | 0.259090909 | 1.172727273 | 0.963636364 | 0.05 | 0.913636364 | 0.827272727 | 1.804545455 | 1.168181818 |
| Σολόδεσμα | 6.109090909 | 5.157575758 | 6.290909091 | 4.987878788 | 9.03030303 | 11.20606061 | 13.47878788 | 6.163636364 | 2.387878788 | 2.454545455 | 3.927272727 | 2.733333333 |
| Βακέτα Βαμμένη | 1.363636364 | 3.136363636 | 0.045454545 | 0.818181818 | 0.454545455 | 2.863636364 | 2.454545455 | 0.681818182 | 0.045454545 | 0.045454545 | 1.454545455 | 0.727272727 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 3.848484848 | 1.96969697 | 2.484848485 | 1.939393939 | 3 | 1.272727273 | 3.151515152 | 0.909090909 | 0.636363636 | 0.272727273 | 0.212121212 | 0.878787879 |

Πίνακας 50: Πίνακας $z_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

| $c_{k,j}$ | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Kudu | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 | 9702 |
| Βακέτα | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 | 8932 |
| Σολόδεσμα | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 | 6468 |
| Βακέτα Βαμμένη | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 | 1078 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 | 1617 |

Πίνακας 51: Πίνακας $c_{k,j}$, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

6.3.1 Αποτελέσματα με την χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η κατανομή των παρτίδων δέρματος (προς επεξεργασία) στους μήνες η οποία μεγιστοποιεί το κέρδος, καθώς και σχετικό απόθεμα τελικού προϊόντος (σε τεμάχια) κάθε μήνα. Το συνολικό κέρδος που προκύπτει από την επίλυση της αντικειμενικής υπολογίστηκε στα 153,111.64€.

| Επεξεργαζόμενα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Κυύ | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Βακέτα | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Σολόδεσμα | 9 | 3 | 6 | 9 | 10 | 10 | 10 | 6 | 2 | 8 | 0 | 1 |
| Βακέτα Βαμμένη | 2 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Πίνακας 52: Αριθμός επεξεργαζόμενων δερμάτων με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης, ανά μήνα

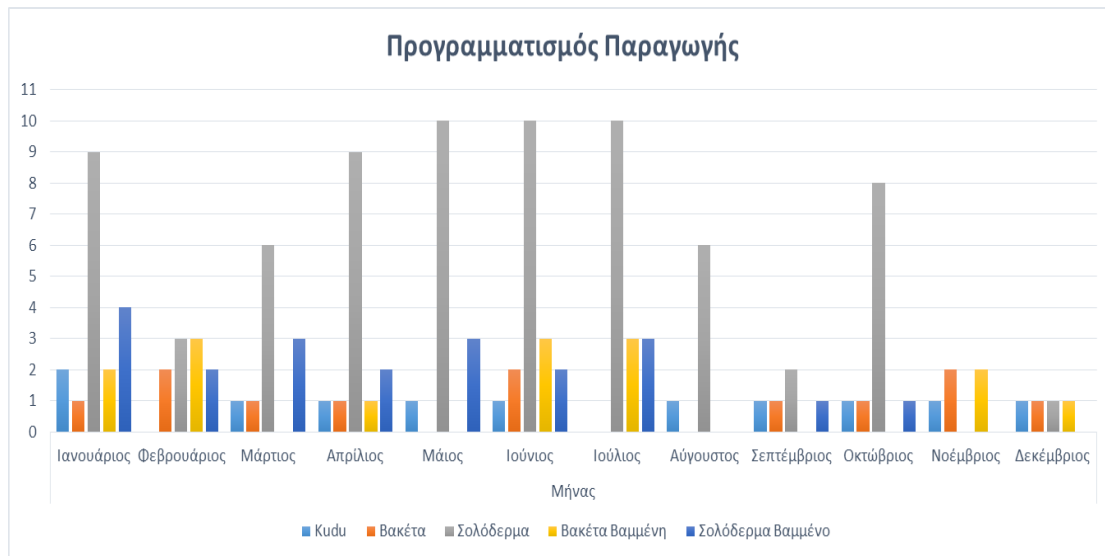
| Απόθεμα | Μήνας | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Κυύ | 289 | 76 | 106 | 218 | 272 | 277 | 70 | 150 | 179 | 243 | 201 | 217 |
| Βακέτα | 9 | 172 | 33 | 89 | 37 | 203 | 10 | 0 | 17 | 52 | 91 | 57 |
| Σολόδεσμα | 434 | 110 | 66 | 668 | 814 | 633 | 111 | 86 | 28 | 860 | 271 | 11 |
| Βακέτα Βαμμένη | 13 | 10 | 9 | 13 | 4 | 6 | 17 | 4 | 3 | 2 | 13 | 18 |
| Σολόδεσμα Βαμμένο | 5 | 5 | 21 | 23 | 23 | 45 | 40 | 13 | 24 | 45 | 39 | 13 |

Πίνακας 53: Αριθμός αποθέματος δερμάτων με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης, ανά μήνα

Όπως παρατηρείται σε αυτή την περίπτωση η αύξηση του κέρδους (που ξεπερνάει το 12%) είναι αρκετά σημαντική ώστε να καλύψει μέσα σε ένα έτος την επένδυση σε αυτόν τον τεχνολογικό εξοπλισμό. Πιο συγκεκριμένα η τιμή ενός σύγχρονου μηχανήματος «Στρωτήρας», τύπου CM model PR 2200mm, δεν ξεπερνάει τα 41.000 ευρώ (μεταχειρισμένο). Άρα η απόσβεση του μπορεί να γίνει σε ενάμιση περίπου χρόνο.

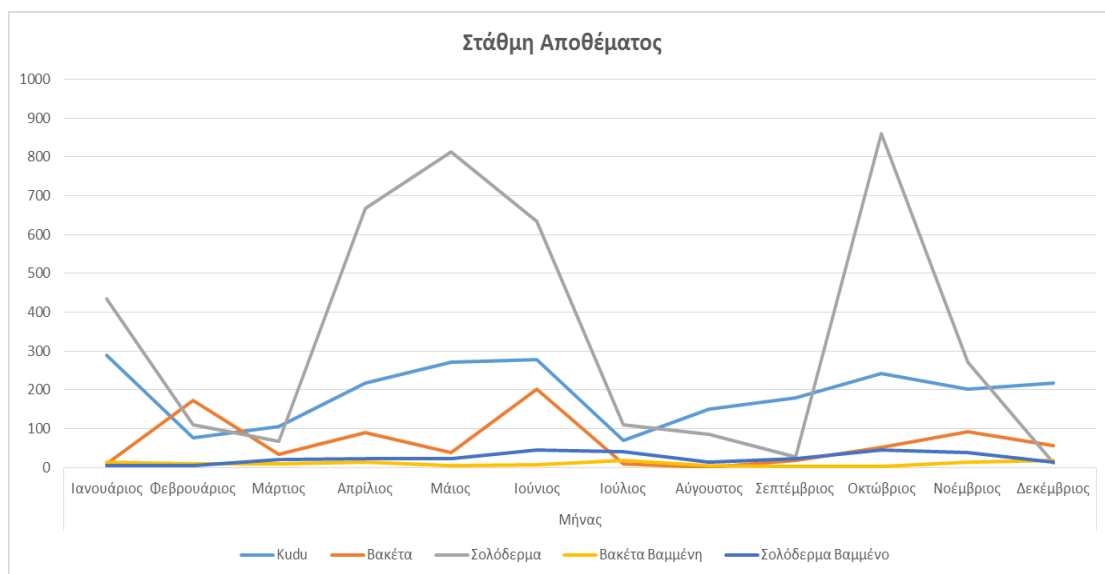
6.3.2 Προγραμματισμός παραγωγής με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Ο προγραμματισμός παραγωγής που προτείνεται στην παράγραφο αυτή αναφέρεται στο σενάριο που μελετήθηκε με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης (Στρωτήρας) και παρουσιάζεται στην εικόνα 89. Στο ρεαλιστικό αυτό σενάριο, έχει αντικατασταθεί του μηχανήματος διαπλάτυνσης που χρησιμοποιείται με πιο σύγχρονο. Οι αλλαγές που επιφέρει η συγκεκριμένη μελέτη αφορούν κυρίως την αύξηση της επιφάνειας των δερμάτων και κατά συνέπεια των τελικών προϊόντων.



Εικόνα 89: Προγραμματισμός παραγωγής, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Βάσει του προγραμματισμού που προηγήθηκε, προκύπτει και η διακύμανση της στάθμης του αποθέματος τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 90.



Εικόνα 90: Στάθμη αποθέματος τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, ανά τύπο δέρματος αλλά και συνολικά.

| Τελικό Προϊόν | Τύπος δέρματος | | | | | |
|----------------------------|----------------|--------|-----------|-------------------|----------------------|----------|
| | Kudu | Βακέτα | Σολόδερμα | Βακέτα Βαμμένη | Σολόδερμα Βαμμένο | Συνολικά |
| Μέσο απόθεμα | 192 | 64 | 341 | 9 | 25 | 631 |
| Μέγιστο απόθεμα | 289 | 203 | 860 | 18 | 45 | 1202 |

Πίνακας 54: Μέσο και μέγιστο απόθεμα τελικού προϊόντος, σεναρίου με χρήση σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης

Παρατηρείται ότι στο συγκεκριμένο σενάριο το μέσο απόθεμα μειώνεται κατά 13.8% ενώ παράλληλα η μέγιστη στάθμη αποθέματος μειώνεται κατά 17.6% σε σχέση με το σενάριο βάσης. Η μείωση που παρατηρείται τόσο στο μέσο απόθεμα, όσο και στην μέγιστη στάθμη αποθέματος, συνεπάγεται μείωση της αποθήκης τελικού προϊόντος, μειώνοντας κατά συνέπεια το κόστος αποθεματοποίησης.

7^ο Κεφάλαιο

Συμπεράσματα και προτάσεις

7.1 Ανακεφαλαίωση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η λειτουργία παραγωγής της βιομηχανίας επεξεργασίας δερμάτων ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜ.&ΣΙΑ Ο.Ε. Αρχικά παρουσιάζεται η εταιρία, η ιστορία της και η γκάμα προϊόντων που παράγει μαζί με οικονομικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη αγορά καθώς και την εξέλιξη της με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση των σταδίων παραγωγής των δερμάτων, των συνθηκών εκτέλεσης καθενός από τα στάδια αυτά, των πρώτων υλών (πρωτεύουσες και δευτερεύουσες), των χρόνων και των αναλογιών με τις οποίες εκτελούνται, μέσα από διαγράμματα ροής αλλά και με αναλυτική περιγραφή. Τόσο η παραγωγική διαδικασία όσο και τα υπόλοιπα μέρη της συγκεκριμένης μελέτης, έχουν χωριστεί βάσει των (πέντε) διαφορετικών τύπων τελικού προϊόντος που παράγονται.

Βάσει των διαγραμμάτων αλλά και των μετρήσεων που συλλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με χρονικά δίκτυα Petri. Στη συνέχεια προσομοιώνεται η λειτουργία του κάθε μοντέλου και καταγράφεται ο χρόνος περάτωσης για κάθε μία παρτίδα συγκεκριμένου τύπου δέρματος. Ο χρόνος αυτός, πέρα από την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της βιομηχανίας, φάνηκε χρήσιμος και για τον υπολογισμό της μέγιστης δυναμικότητας, δεδομένο που θα χρειαστεί στην συνέχεια. Έπειτα, πραγματοποιείται προσομοίωση σεναρίου με αφαίρεση των χρόνων εκείνων των διεργασιών που δεν απαιτούν εργατικό δυναμικό. Μέσω αυτής, καθίσταται ικανός ο υπολογισμός των εργατωρών ανά παρτίδα συγκεκριμένου τύπου δέρματος. Επιπλέον προσομοιώσεις σεναρίων πραγματοποιούνται για την αντικατάσταση της υφιστάμενης μονάδας στεγνώματος των δερμάτων, με νέο πιο σύγχρονο και μεγαλύτερης δυναμικότητας και καταγράφονται τα στοιχεία που αφορούν την αύξηση της συνολικής παραγωγικής δυνατότητας της γραμμής παραγωγής.

Βάσει των στοιχείων ζήτησης των τεσσάρων τελευταίων ετών, πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ανά τύπο δέρματος με χρήση εναλλακτικών μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με χρήση κατάλληλων δεικτών και επιλέχθηκε το βέλτιστο έπειτα και από έγκριση των υπευθύνων της βιομηχανίας. Τα αποτελέσματα για την ζήτηση δερμάτων το έτος 2015 χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια της μελέτης για τον προγραμματισμό παραγωγής.

Τα παραπάνω αποτελέσματα σε συνδυασμό με επιπλέον στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της εταιρίας, χρησιμοποιήθηκαν για την βελτιστοποίηση του ετήσιου κέρδους λειτουργίας της μονάδας. Το πρόβλημα λόγω του περιορισμού του συγκεκριμένου μεγέθους που θα πρέπει να έχει κάθε παρτίδα, επιλύθηκε σαν ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού με τη βοήθεια του Matlab σε συνδυασμό με τον αλγεβρικό επιλύτη Gurobi. Έπειτα δημιουργήθηκε το γραμμικό μοντέλο και για το σενάριο χρήσης της σύγχρονης μονάδας στεγνωτηρίου αλλά και για την αντικατάσταση ενός μηχανήματος κατά το στάδιο της διαπλάτυνσης με ένα πιο σύγχρονο του αλλά και αποδοτικότερο κατά 10% όσον αφορά την αύξηση της επιφάνειας του δέρματος. Από την επίλυση των παραπάνω γραμμικών προγραμμάτων, προκύπτει η κατανομή της παραγωγής δερμάτων ανά μήνα, καθώς και η διακύμανση του μηνιαίου αποθέματος δερμάτων ώστε να μεγιστοποιείται το κέρδος της βιομηχανίας. Βάσει αυτών καταστρώθηκε το μηνιαίο πρόγραμμα παραγωγής για κάθε περίπτωση, ανά τύπο τελικού προϊόντος.

7.2 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν τρία εναλλακτικά σενάρια για την βιομηχανία. Το πρώτο είναι η γραμμή παραγωγής να μην αλλάξει καθόλου (σενάριο βάσης), το δεύτερο να αντικατασταθεί ο εξοπλισμός στεγνώματος των δερμάτων με πιο σύγχρονο του και το τρίτο να αντικατασταθεί το κύριο μηχάνημα κατά το στάδιο της διαπλάτυνσης, επίσης με πιο σύγχρονο του. Η δεύτερη εναλλακτική ήταν η πλέον ασύμφορη, εφόσον όχι μόνο δεν αύξανε το κέρδος, αλλά το μείωνε σε μικρό βαθμό. Αυτό συμβαίνει επειδή μία νεότερη μονάδα στεγνωτηρίου γίνεται πιο αποδοτική σε μεγαλύτερο αριθμό τεμαχίων ανά παρτίδα, κάτι που για να επιτευχθεί στην συγκεκριμένη βιομηχανία, θα πρέπει να γίνει εκτεταμένη τεχνολογική αναβάθμιση και εκσυγχρονισμός γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με οικονομικούς περιορισμούς. Το τρίτο ρεαλιστικό σενάριο που εξετάστηκε, με την εισαγωγή σύγχρονου μηχανήματος διαπλάτυνσης, αποφέρει αρκετά μεγάλο κέρδος (που ξεπερνάει το 33%) σε σχέση με την υπάρχουσα μορφή της γραμμή παραγωγής.

7.3 Προτάσεις

Όπως αποδείχτηκε από τα αποτελέσματα του γραμμικού προβλήματος για την εγκατάσταση ενός νέου μηχανήματος λεπτομερούς διαπλάτυνσης το κέρδος αυξάνεται κατά 33.47% και πιο συγκεκριμένα κατά 38,395.6822 ευρώ. Το ποσό αυτό είναι ιδιαίτερα υψηλό και ταυτόχρονα αρκετό για να καλύψει σε λογικό χρονικό διάστημα τη

δαπάνη για την αγορά του νέου εξοπλισμού, ο οποίος δεν ξεπερνάει τα 41,000 ευρώ (CM model PR 2200-μεταχειρισμένο).

7.4 Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μία πολύ καλή «βάση» για την επέκταση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, εισάγοντας περισσότερα (ρεαλιστικά) στοιχεία που μπορούν να παραχωρηθούν από την βιομηχανία ΒΡΟΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ & ΣΙΑ Ο.Ε. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πιθανά επόμενα βήματα τα της συγκεκριμένης μελέτης:

- Μελέτη αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας με την εισαγωγή νεότερων τεχνολογιών και μηχανημάτων,
- Εναλλακτικά (ρεαλιστικά) σενάρια λειτουργίας με τον υπάρχων εξοπλισμό,
- Μελέτη και αξιολόγηση της χρήσης χημικών ουσιών κατά την επεξεργασία του δέρματος (αντί φυτικών ουσιών που χρησιμοποιείται),
- Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, και
- Ανάπτυξη λογισμικού υπολογισμού του βέλτιστου πλάνου παραγωγής, λαμβάνοντας δεδομένα (απόθεμα πρώτης ύλης, ζήτησης), σε πραγματικό χρόνο,
- Μελέτη ανάθεσης εργασιών σε υπεργολάβους.

Βιβλιογραφία

- [1] Γεώργιος Τσινάρκης – Διδακτορική διατριβή, *Μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής τυχαίας τοπολογίας με δίκτυα Petri, μία προσέγγιση ιεραρχικού ελέγχου*, Χανιά 2007
- [2] Zhou M.C. and DiCesare F., *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [3] Peterson J. “Petri nets”, *Computing Surveys*, vol. 9, no. 3, pp. 223-252, September 1977
- [4] Desel J. and Juhas G., “What is a Petri Net? Informal Answers for the Informed Reader”, *Unifying Petri Nets*, Ehrig H., Juhas G., Padberg J. and Rozenberg G., Eds., Springer, pp. 1-27, 2001.
- [5] Zimmerman A., διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://pdv.cs.tu-berlin.de/~azi/petri.html>.
- [6] Murata T., “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”, in Proc. *IEEE*, vol. 77, no. 4, pp. 541 – 580, April 1989.
- [7] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [8] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [9] Hofestadt R., “A petri net application to model metabolic processes”, *Systems Analysis Modelling Simulation*, vol. 2, pp. 113 – 122, 1994.
- [10] Will J. and Heiner M., *Petri nets in Biology, Chemistry and Medicine –Bibliography-*, Τεχνική Έκθεση, Brandenburg University of Technology at Cottbus, 2002.
- [11] Desrochers A. and Al – Jaar R., *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems – Modeling, Control and Performance Analysis*, IEEE Press, 1995.
- [12] Levis A., *Discrete Event Systems*, Διαφάνειες, 2000.
- [13] Marsan A. M., Balbo G., Conte G., Donatelli S. and Franceschinis G., *Modeling with Generalized Stochastic Petri Nets*, Wiley, Series in Parallel Computing, 1995.
- [14] Petri C. A., *Kommunikationen mit Automaten*, Ph.D. Thesis, Institut fur Instrumentalle Mathematik, Bonn, 1962. Also English Translation, *Communication with Automata*, Griffiss Air Force Base, New York, Tech. Rep. RADC-TR-65-377, vol. 1, Suppl. 1, 1966.
- [15] Mellado E. L. “Analysis of discrete event systems by simulation of timed Petri net models”, *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 61, pp. 53-59, 2002.
- [16] Venkatesh K. and Ilyas M. “Real-time Petri nets for modelling, controlling and simulation of Local Area Networks in Flexible Manufacturing Systems”, *Computers in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 147-162, 1995.

- [17] Zuberek W. "Timed Petri Nets in Modeling and Analysis of Cluster Tools", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 5, October 2001.
- [18] Peterson J., *Petri Net Theory And The Modeling of Systems*, Prentice Hall Inc., 1981.
- [19] Drath R., Engmann U. and Schwuchow, "Hybrid Aspects of Modeling Manufacturing Systems using Modified Petri nets", in *Proc. 5th Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Granado, Brazil, 1999.
- [20] Busi N., "Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs", *Theoretical Computer Science*, vol. 275, no. 1, pp. 127 – 177, 2002.
- [21] Ramaswamy S. and Valavanis K., "Hierarchical Time – Extended Petri Nets (HEPN's) Based Error Identification and Recovery for Multilevel Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 26, no. 1, pp. 164 – 175, February 1996.
- [22] David R. and Alla H., *Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets*, Springer - Verlag, 2005.
- [23] Girault C. and Valk R., *Petri Nets for System Engineering*, Springer, 2002.
- [24] Valavanis K., "On the hierarchical Modeling, Analysis and Simulation of Flexible Manufacturing Systems with Extended Petri Nets", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 1, pp. 94 – 110, 1990.
- [25] Jeng M. D. and DiCesare F., "A review of synthesis techniques for Petri nets with applications to Automated Manufacturing Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 1, pp. 301-312, 1993.
- [26] Βασίλης Κουϊκόγλου – Σημειώσεις μαθήματος: Προσομοίωση, Χανιά 2002 http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf
- [27] Γεώργιος Παναγιώτου-Διπλωματική εργασία: Προβλέψεις πωλήσεων των Ι.Χ. Αυτοκινήτων σε δεκαπέντε χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2005 <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/878/1/Panagiotou.pdf>
- [28] Γεωργία Μαργιά – Διπλωματική εργασία: Ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009 <http://invenio.lib.auth.gr/record/112902/files/MAPΓIA.pdf?version=1>
- [29] Μιχάλης Βαϊδάνης-Σημειώσεις μαθήματος: Αρχές διοίκησης και οργάνωση παραγωγής, Πρόβλεψη, Αθήνα 2005 <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3469/447/forecasting.pdf>
- [30] Μαυρογιαννάκης Άρης - Διπλωματική εργασία: Χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου εκτροπής του ποταμού Αναποδάρη. Μελέτη της επίδρασης χρονικών παραμέτρων στη διάρκεια και στο κόστος εκτέλεσης του έργου, Χανιά 2014
- [31] Hartmut Stadtler, Christoph Kilger, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 4th Edition, 2008
- [32] Hartmut Stadtler, *Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing*, *European Journal of Operational Research*, vol. 94, 1995

- [33] Γιάννης Σίσκος, *Γραμμικός Προγραμματισμός*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2000
- [34] Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit, European IPPC Bureau, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skin*, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control JOINT RESEARCH CENTRE, 2013
- [35] Market and Policy Analyses of Raw Materials, Horticulture and Tropical Products Team, *World Statistical Compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear 1993-2012*, Trade and Market Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013
- [36] US-EPA Report, *Wells G & H Site Remedial Investigation report Part 1*, Woburn Massachusetts, Vol 2, p. B-34
- [37] Pradeep Kumar Sahu, Rajesh Kumar, *Demand Forecasting For Sales of Milk Product (Paneer) In Chhattisgarh*, International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES), vol. 1, Issue-9, 2013
- [38] Rob J. Hyndrman, Anne B. Koehler, *Another Look at Measures of Forecast Accuracy*, Department of Economics and Business Statistics, Monash University, 2005
- [39] Gurobi Optimization, Inc, *Gurobi Optimizer Reference Manual*, 2015, <http://www.gurobi.com>
- [40] Drath R., Visual Object Net software package, v.2.07 a, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.ParamSoft.de/>, 2002.