



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

υπό

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΚΟΣΚΙΝΙΩΤΗ

Πτυχιούχου Οικονομικών Επιστημών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας 2014

Μεταπτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βόλος, 2021

© 2021 Βασίλειος Κοσκινιώτης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Κουκούμαλος Στυλιανός Καθηγητής, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Λυμπερόπουλος Γιώργος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Αθανάσιος Λόης Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Η ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΟΣΚΙΝΙΩΤΗΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2021

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Κουκούμιαλος Στυλιανός, Καθηγητής Επιχειρησιακής Έρευνας

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετάται η σημαντικότητα της προσομοίωσης στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον και μελετώντας και αναλύοντας τις γραμμές παραγωγής μίας σύγχρονης εταιρείας υλικών συσκευασίας, μπορούν να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για την υπάρχουσα κατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας. Μέσα από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης μπορούν να προταθούν λύσεις που θα βοηθήσουν την εταιρεία να βελτιώσει κάποιες συνθήκες έτσι ώστε να κερδίσει πολύτιμο έδαφος και να είναι πιο ανταγωνιστική στον κλάδο της.

Abstract

This postgraduate dissertation studies the significance of simulation in the modern industrial sector and by analyzing the assembly lines of a state-of-the-art printing and packaging company, useful conclusions can be drawn about the current state of the production process. Through the study of the results of the simulation, solutions can be suggested that will help the company improve some conditions so that it can be more competitive in its industry.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή	1
2. Προσομοίωση διακριτών γεγονότων	1
3. Εφαρμογές της μοντελοποίησης/προσομοίωσης	4
4. Ιστορική αναδρομή	6
4.1 Περίοδος πρωτοπορίας.....	6
4.2 Περίοδος καινοτομίας.....	7
4.3 Περίοδος επανάστασης.....	7
4.4 Περίοδος εξέλιξης	8
4.5 Ανάπτυξη μοντέλων	9
4.6 Χρήση των μοντέλων.....	10
4.7 Τομέας της εφαρμογής για προσομοίωση	12
4.8 Ενσωμάτωση σε άλλες τεχνικές προσομοίωσης.....	12
5. Η προσομοίωση στη Βιομηχανία	12
5.1 Χαρακτηριστικά παραγωγικής μοντελοποίησης για το σχεδιαστικό κομμάτι	15
5.2 Χαρακτηριστικά παραγωγικής μοντελοποίησης για τον προγραμματισμό	16
5.3 Γιατί να χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση για Προγραμματισμό Πεπερασμένης Χωρητικότητας	18
6. Σκοπός της παρούσας εργασίας και τρόπος λειτουργίας της ΥΣ	18
7. Εφαρμογή του λογισμικού ARENA	24
8. Δομή μοντέλου Arena	27
8.1 Κουτιά/Χαρτοθήκες.....	27
8.2 Odule/Welle	31
9. Μεθοδολογία	34
10. Σενάρια και συμπεράσματα	35
10.1 Κουτιά και χαρτοθήκες.....	35
10.1.1 Χρόνος λειτουργίας της παραγωγής	35
10.1.2 Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση	37
10.1.3 Χρόνος αναμονής πριν την στάντζα	39
10.1.4 Αλλαγή καλουπιών για εξάλειψη ξακρίσματος	41
10.2 Welle/Odule	47
10.2.1 Χρόνος αναμονής πριν την λαμιναριστική.....	48
10.2.2 Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση	49
11. Σύνοψη	52
Βιβλιογραφία	54
Παράρτημα	57

1. Εισαγωγή

Η βέλτιστη σχεδίαση και η βέλτιστη λειτουργία των τεχνολογικών συστημάτων βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, από την επίλυση των οποίων μπορεί κάποιος να εκτιμήσει τη συμπεριφορά και την απόδοση των συστημάτων πριν αυτά λειτουργήσουν. Όταν η επίλυση των εξισώσεων ενός μοντέλου δε μπορεί να γίνει αναλυτικά, με χαρτί ή με χρήση υπολογιστή, τότε εφαρμόζεται η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Οι δύο αυτές μέθοδοι είναι σχεδόν ταυτόσημες και βασίζονται στην εκτενή χρήση του υπολογιστή (Κουικόγλου, Κωνσταντάς, 2016).

Στην παρούσα μελέτη θα εξεταστεί η προσομοίωση σε συστήματα ροής στα οποία παρατηρείται η κυκλοφορία διακριτών οντοτήτων, όπως είναι μηχανές, πρόσωπα, πρώτες ύλες, πελάτες. Σε αυτά τα συστήματα ροής άνθρωποι, παραγγελίες, ημικατεργασμένα προϊόντα, πληροφορία κτλ. μετακινούνται διαδοχικά σε διάφορες θέσεις όπου συνωστίζονται από κάποιο φυσικό αίτιο ή αναμένουν τη σειρά τους προκειμένου να εξυπηρετηθούν ή να υποστούν κατεργασίες και τέλος αναχωρούν από το σύστημα. Ως μέτρα απόδοσης σε τέτοια συστήματα λαμβάνονται συνήθως ο ρυθμός παραγωγής, οι χρόνοι αναμονής, το μέσο απόθεμα, ο χρόνος απασχόλησης. Η απόδοση εξαρτάται από το σχεδιασμό, την οργάνωση και την πολιτική ελέγχου του κάθε συστήματος. Τα διάφορα μέτρα απόδοσης συνδέονται άμεσα με την κερδοφορία της επιχείρησης στην οποία ανήκει το σύστημα και με την ποιότητα των προϊόντων που προσφέρονται ή τις υπηρεσίες που παρέχονται στους πελάτες. Σκοπός της προσομοίωσης είναι η εκτίμηση τέτοιων μέτρων.

2. Προσομοίωση διακριτών γεγονότων

Πιο συγκεκριμένα, μια προσομοίωση διακριτών γεγονότων (ΠΔΓ ως συντομογραφία για το υπόλοιπο της εργασίας) διαμορφώνει τη λειτουργία ενός συστήματος ως διακριτή ακολουθία συμβάντων στο χρόνο. Κάθε συμβάν συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη στιγμή και σηματοδοτεί μια αλλαγή κατάστασης στο σύστημα (Stewart Robinson, 2004). Μεταξύ των διαδοχικών γεγονότων υποθέτουμε ότι δεν πραγματοποιείται καμία αλλαγή στο σύστημα. Έτσι, ο χρόνος προσομοίωσης μπορεί να μεταβεί απευθείας στον χρόνο εμφάνισης του επόμενου συμβάντος, το οποίο

ονομάζεται εξέλιξη χρόνου επόμενου συμβάντος. Εκτός από την εξέλιξη του χρόνου του επόμενου συμβάντος, υπάρχει επίσης μια εναλλακτική προσέγγιση, που ονομάζεται εξέλιξη χρόνου σταθερής αύξησης, όπου ο χρόνος χωρίζεται σε μικρά χρονικά διαστήματα και η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται σύμφωνα με το σύνολο των γεγονότων/δραστηριοτήτων που συμβαίνουν στο χρονικό διάστημα (Matloff Norm 2013). Επειδή ένα χρονικό διάστημα δεν πρέπει να προσομοιώνεται κάθε φορά, μία προσομοίωση χρόνου επόμενου συμβάντος μπορεί συνήθως να εκτελείται πολύ πιο γρήγορα από μια αντίστοιχη προσομοίωση χρόνου σταθερής αύξησης.

Η μοντελοποίηση ουσιαστικά σημαίνει τη δημιουργία ενός ψηφιακού πρωτοτύπου ενός πραγματικού συστήματος. Η προσομοίωση επιτρέπει τον πειραματισμό σε μία έγκυρη ψηφιακή αναπαράσταση ενός συστήματος για ανάλυση, βελτιστοποίηση και πρόβλεψη των εσωτερικών διαδικασιών. (Anylogic, DEVELOPING DISRUPTIVE BUSINESS STRATEGIES WITH SIMULATION).

Η προσομοίωση επιλύει πραγματικά προβλήματα με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Παρέχει μία σημαντική μέθοδο ανάλυσης που μπορεί εύκολα να επαληθευτεί και να κατανοηθεί. Σε πολλές βιομηχανίες και κλάδους, η προσομοίωση δίνει πολύτιμες λύσεις με σαφείς πληροφορίες για πολύπλοκα συστήματα. Οι χρήσεις της προσομοίωσης στις επιχειρήσεις ποικίλλουν και συχνά χρησιμοποιείται όταν η διεξαγωγή πειραμάτων σε ένα πραγματικό σύστημα είναι αδύνατη ή ανέφικτη, συχνά λόγω του κόστους και του χρόνου. Έτσι, η ικανότητα ανάλυσης του μοντέλου καθώς τρέχει, θέτει τη μοντελοποίηση προσομοίωσης σε θέση υπεροχής συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως για παράδειγμα το γραμμικό προγραμματισμό (AnyLogic, Why use simulation modeling?). Με την ικανότητα επίβλεψης των διαδικασιών αλλά και της αλληλεπίδρασης με το μοντέλο όσο η προσομοίωση είναι σε εξέλιξη, η κατανόηση του μοντέλου γίνεται αρκετά πιο γρήγορα.

Μερικά από τα πιο κατανοητά οφέλη που έχει η ΠΔΓ είναι τα παρακάτω (Anylogic, Why use simulation modelling?).

1. Περιβάλλον χωρίς κίνδυνο. Η μοντελοποίηση παρέχει έναν εντελώς ασφαλή τρόπο να εξετάσουμε και να εξερευνήσουμε διαφορετικά “what if” σενάρια. Το αποτέλεσμα της αλλαγής των επιπέδων στελέχωσης σε

ένα εργοστάσιο μπορεί να φανεί χωρίς να θέσουμε στον παραμικρό κίνδυνο την παραγωγή.

2. Εξοικονόμηση πόρων και χρόνου. Τα εικονικά πειράματα της προσομοίωσης κοστίζουν λιγότερο και απαιτούν λιγότερο χρόνο από πειράματα με πραγματικά στοιχεία. Οι καμπάνιες marketing μπορούν να εξεταστούν χωρίς να ειδοποιήσουν τους ανταγωνιστές ή χωρίς περιττή σπατάλη χρημάτων.

3. Οπτικοποίηση/απεικόνιση. Τα μοντέλα μπορούν να προβληθούν και σε γραφικά περιβάλλοντα δύο και τριών διαστάσεων, επιτρέποντας έτσι τις ιδέες να εφαρμοστούν και να κατανοηθούν ακόμη πιο εύκολα.

4. Διορατικότητα στη δυναμική. Σε αντίθεσή με τα υπολογιστικά φύλλα ή τις αναλύσεις που βασίζονται στην επίλυση, η προσομοίωση επιτρέπει την παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος με την πάροδο του χρόνου σε οποιοδήποτε επίπεδο λεπτομέρειας.

5. Αυξημένη ακρίβεια. Ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να συλλάβει περισσότερες λεπτομέρειες από ένα αναλυτικό μοντέλο, παρέχοντας έτσι αυξημένη ακρίβεια και πιο ακριβείς προβλέψεις.

6. Χειρισμός της αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα σε χρόνους λειτουργίας και στα αποτελέσματα μπορεί εύκολα να αναπαρασταθεί στα μοντέλα προσομοίωσης επιτρέποντας τον ποσοτικό προσδιορισμό του κινδύνου και για την εύρεση πιο ισχυρών και αποτελεσματικών λύσεων. Στον κλάδο των Logistics, μπορεί να δημιουργηθεί μία ρεαλιστική εικόνα με τη χρήση της προσομοίωσης συμπεριλαμβανομένων των απρόβλεπτων δεδομένων όπως οι χρόνοι παράδοσης.

Βεβαίως, όπως σε κάθε τομέα έτσι και εδώ, η προσομοίωση έχει κάποια σχετικά μειονεκτήματα που την καθιστούν δύσκολη και μη προτιμητέα. Τα κυριότερα της μειονεκτήματα είναι τα παρακάτω.

1. Απαιτείται ειδική εκπαίδευση για τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης. Πολύ συχνά, η προσπάθεια απόκτησης πληροφοριών μέσω της προσομοίωσης καθίσταται μάταιη λόγω διφορούμενων μοντέλων.

2. Δεδομένου ότι η τυχαιότητα σχετίζεται με την προσομοίωση (τυχαία εισαγόμενα δεδομένα), μπορεί να είναι δύσκολο να διακρίνουμε εάν μια παρατήρηση είναι αποτέλεσμα συσχετισμών του συστήματος ή τυχαιότητας.

3. Η μοντελοποίηση και η ανάλυση προσομοίωσης μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή. Βέβαια, δεν είναι σε καμία περίπτωση το ίδιο δαπανηρή όπως θα ήταν αν γινότουσαν τα πειράματα στην πραγματική ζωή, αλλά και πάλι έχει το κόστος της (Prateek Sharma, 2015).

Ένα απλό παράδειγμα για να κατανοήσουμε πως λειτουργεί μία προσομοίωση διακριτών γεγονότων είναι να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο ουράς αναμονής, όπως για παράδειγμα πελάτες που φτάνουν στην τράπεζα για να εξυπηρετηθούν από το ταμείο. Στο παράδειγμά μας, οι οντότητες είναι οι πελάτες και οι ταμίες. Τα συμβάντα/γεγονότα του συστήματός μας είναι η άφιξη και η αναχώρηση των πελατών. Η διαδικασία εξυπηρέτησης των πελατών από τους υπαλλήλους συμπεριλαμβάνεται στη λογική της άφιξης και της αναχώρησης των πελατών. Οι καταστάσεις του συστήματος αυτού είναι ο αριθμός πελατών στην ουρά αναμονής (ακέραιος αριθμός από 1 έως n) και η κατάσταση του ταμεία (απασχολημένος ή αδρανής). Οι μεταβλητές είναι η άφιξη των πελατών και ο χρόνος εξυπηρέτησης τους.

3. Εφαρμογές της μοντελοποίησης/προσομοίωσης

Η προσομοίωση έχει πολλαπλές χρήσεις και μπορεί κυριολεκτικά να εφαρμοστεί σε πάρα πολλούς κλάδους. Μερικοί εξ' αυτών είναι οι παρακάτω.

➤ Δίκτυα υπολογιστών: Προσομοίωση νέων πρωτοκόλλων για διαφορετικά σενάρια κυκλοφορίας δικτύου πριν την ανάπτυξη

- Επιχειρηματικές διαδικασίες: Μοντελοποίηση και προσομοίωση της απόδοσης του καταστήματος για εξατομικευμένη τιμολόγηση, προσομοιώσεις τηλεφωνικού κέντρου, προσομοιώσεις για τον κίνδυνο της ανθρώπινης κόπωσης σε συνεχείς λειτουργίες
- Εφαρμογές νοσοκομείου: Μοντελοποίηση υποδοχής και φροντίδας ασθενών σε περιπατητικές πρακτικές, εκτίμηση μέγιστης χωρητικότητας στις μονάδες εντατικής θεραπείας καθώς και τη μείωση της διάρκειας παραμονής των ασθενών σε αυτές
- Υλοποίηση σχεδιασμού: Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα εφαρμογής που συμβαίνουν σε τυπικές αξιολογήσεις προγραμμάτων όπως προβλήματα τριβής, σφάλματα κωδικοποίησης δεδομένων που υποβαθμίζουν τη θεωρητική ποιότητα αυτών των σχεδίων
- Κατασκευή οχημάτων: Μελέτη του αποτελέσματος των διάφορων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγική διαδικασία, όπως η απουσία εργατικού δυναμικού, οι υπονομευμένοι χρόνοι παραγωγής, οι βλάβες του εξοπλισμού ή το μπλοκάρισμα των μηχανών.
- Μέσα μεταφοράς: Προσομοίωση της καθυστέρησης των αεροσκαφών, προσδιορισμός χρονοδιαγράμματος με βελτιστοποίηση προσομοίωσης, μοντελοποίηση συγχώνευσης αυτοκινητοδρόμων.

Όλα αυτά είναι μερικοί από τους κλάδους που έχει εφαρμογή η προσομοίωση. Φυσικά, εκτείνεται η επίδρασή της και σε πολλούς άλλους τομείς αλλά δεν είναι του παρόντος να μελετήσουμε όλους τους τομείς που έχει αξία η ΠΔΓ (Prateek Sharma, 2015).

4. Ιστορική αναδρομή

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της ανάπτυξης της προσομοίωσης είναι ότι ακολούθησε στενά την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Pidd M, 1984). Καθώς το υλικό και το λογισμικό έχουν βελτιωθεί, το ίδιο έχουν αλλάξει και οι δυνατότητες της προσομοίωσης των υπολογιστών.

Περιγράφοντας την ιστορία της προσομοίωσης σε τέσσερις διαφορετικές περιόδους, μπορούμε να τις ονομάσουμε αυτές ως περιόδους πρωτοπορίας, καινοτομίας, επανάστασης και εξέλιξης. Κάθε περίοδος ισοδυναμεί περίπου σε μία δεκαετία, ξεκινώντας από τα τέλη του 1950 και καταλήγοντας μέχρι τη δεκαετία του 1990 (S. Robinson, 2004).

4.1 Περίοδος πρωτοπορίας

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και του 1960, οι πρωτοπόροι στον τομέα της προσομοίωσης έθεσαν τα θεμέλια για τις μελλοντικές εξελίξεις. Αξιοποιώντας την ευκαιρία που προσέφερε η πρώτη γενιά υπολογιστών, οι προσομοιώσεις της δεκαετίας του 1950 αναπτύχθηκαν σε κώδικα μηχανής. Εν τω μεταξύ, η εισαγωγή γλωσσών προγραμματισμού και πιο ισχυρών και αξιόπιστων υπολογιστών τη δεκαετία του 1960 αύξησε σημαντικά τις δυνατότητες ανάπτυξης προσομοιώσεων. Έγιναν πρόοδοι στη μεθοδολογία προσομοίωσης, για παράδειγμα, ο Tocher (Tocher KD, 1963) δημοσίευσε την τριφασική προσέγγιση προσομοίωσης που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται από έναν αριθμό λογισμικών προσομοιώσεων και σήμερα. Η δεκαετία του 1960 είδε επίσης την ανάπτυξη του πρώτου εξειδικευμένου λογισμικού προσομοίωσης, το GPSS14 το 1961 και το SIMSCRIPT το 1962. Η SIMULA, που αναπτύχθηκε στη Νορβηγία τη δεκαετία του 1960, ήταν πρωτοπόρος στις σύγχρονες αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού. Υπάρχουν επίσης και στοιχεία για την πρώιμη χρήση του animation.

4.2 Περίοδος καινοτομίας

Η δεκαετία του 1970 αντιπροσωπεύει μία περίοδο συνεχούς εξέλιξης και καινοτομίας. Η τεχνολογία των υπολογιστών συνέχιζε να βελτιώνεται και μαζί της και τα λογισμικά προσομοίωσης. Αυτό βοήθησε στη δημιουργία νέων γλωσσών προγραμματισμού, όπως για παράδειγμα η SLAM και η GPSS-H (Wolverine, 2004). Στα τέλη του 1970 έγινε η εισαγωγή των πρώτων μικρό-υπολογιστών. Πιο εκτεταμένα σε αυτό, ο Hurrion (Hurrion RD, 1976), δημοσίευσε στη διδακτορική του διατριβή περιγράφοντας τις απίθανες δυνατότητες για Οπτική Διαδραστική Προσομοίωση (VIS, Visual Interactive Simulation). Μέχρι αυτό το σημείο, οι προσομοιώσεις συμμετείχαν ελάχιστα στην απεικόνιση και τη διαδραστικότητα των εγκαταστάσεων. Με το τέλος της δεκαετίας του 1970, τα θεμέλια είχαν τεθεί για την επανάσταση που θα γινόταν τη δεκαετία του 1980.

4.3 Περίοδος επανάστασης

Μέχρι και το 1980, η καταναλωτική χρήση της προσομοίωσης ήταν περιορισμένη λόγω της ζήτησης ακριβού hardware αλλά και ειδικών ικανοτήτων στους υπολογιστές. Αυτά δεν ήταν ευρέως διαδεδομένα και διαθέσιμα στους περισσότερους οργανισμούς. Δύο πράγματα φέρεται να άλλαξαν όλο αυτό το τοπίο. Πρώτον, αρκετά δυνατοί μικρό-υπολογιστές άρχισαν να γίνονται πιο συχνοί στους οργανισμούς, κυρίως λόγω της εισόδου της IBM στην αγορά και δεύτερον, η ανάπτυξη των VIS λογισμικών, με πρώτο το SEE-WHY (Fiddy, 1981) το 1979. Παρόλο που τα VIS δεν έκαναν την ανάπτυξη τόσο εύκολη, βοήθησαν αρκετά τους χρήστες να εμπλακούν περισσότερο στην όλη διαδικασία της μοντελοποίησης και στο πως να χρησιμοποιούν αυτά τα εργαλεία για πειραματισμό.

Με το τέλος της δεκαετίας του 1980, ισχυρότατοι μικρό-υπολογιστές ήταν διαθέσιμοι στις περισσότερες εταιρείες (ακόμη και σε καταναλωτικό επίπεδο) και επίσης αρκετά καταναλωτικά VIS πακέτα ήταν διαθέσιμα, όπως το WITNESS, HOCUS, GENETIK, SIMAN/CINEMA και το ProModel. Αρκετές εταιρείες, ειδικότερα αυτές στον παραγωγικό τομέα, χρησιμοποιούσαν την προσομοίωση ως εργαλείο λήψης αποφάσεων, αν και η πλήρης υιοθέτηση ήταν ακόμη ανομοιογενής και όχι πλήρως διαδεδομένη (Hollocks B, 1992).

4.4 Περίοδος εξέλιξης

Όλα αυτά μας φέρνουν στις αρχές της δεκαετίας του 1990, μία περίοδο που είδε την άνθηση και την αύξηση της αποδοτικότητας των προσωπικών υπολογιστών, τη μείωση της τιμής τους, τη χρήση των Windows λειτουργικού περιβάλλοντος και κυριότερα το World Wide Web (www). Ο τομέας της προσομοίωσης «εκμεταλλεύτηκε» όλη αυτή την τεχνολογική εξέλιξη. Η δύναμη των υπολογιστών επέτρεψε τη δημιουργία μεγαλύτερων μοντέλων και να τρέχουν/ολοκληρώνονται σε ένα απολύτως λογικά χρονικό πλαίσιο. Η μείωση της τιμής τους όπως είπαμε, έκανε τους υπολογιστές να κυριαρχούν τόσο στο εργασιακό όσο και στο οικιακό περιβάλλον. Τα Windows έκαναν πιο προσιτή τη χρήση των υπολογιστών και έφερε πιο κοντά τον κόσμο με την τεχνολογία (S. Robinson, 2004).

Με το τέλος των περιόδων της επανάστασης και της εξέλιξης, εισερχόμαστε σε μία περίοδο συνεχούς ανάπτυξης σε σταθερή κλίμακα. Βασικοί τομείς που είδαν αλλαγές ήταν η ανάπτυξη της οπτικής διαδραστικότητας στο χώρο της προσομοίωσης, η βελτιστοποίηση, η εικονική πραγματικότητα και η εισαγωγή λογισμικού στον τομέα της παροχής υπηρεσιών. Όπως είπαμε και νωρίτερα, η ανάπτυξη αυτή οφείλεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ανάπτυξη των υπολογιστών (S Robinson, 2004).

Έχοντας ολοκληρώσει την περιγραφή της ιστορικής εξέλιξης στον τομέα της προσομοίωσης και της τεχνολογίας γενικότερα, φτάσαμε στο σημείο που η εξέλιξη σταμάτησε να είναι τόσο ραγδαία και τείνει να συνεχίσει με αργά αλλά σταθερά βήματα. Μία λογική ερώτηση είναι τι θα γίνει από εδώ και πέρα, ή καλύτερα τι πρόκειται να γίνει; Πότε θα γίνει η νέα σημαντική εξέλιξη/ανακάλυψη στον τομέα της μοντελοποίησης; Βεβαίως, είναι αδύνατο να προβλεφθεί πότε θα γίνουν οι επόμενες ανακαλύψεις, καθώς συνήθως έρχονται από την κανονικότητα που πορεύονται ανά τους καιρούς.

Όλες οι σκέψεις σχετικά με το μέλλον συμβαδίζουν με την πεποίθηση ότι όλες οι προβλέψεις είναι λάθος. Από την άλλη όμως, υπάρχει και μία αρχαία παροιμία που λέει «Όπου δεν υπάρχει όραμα, οι άνθρωποι χάνονται: αλλά αυτός που τηρεί τον νόμο, είναι χαρούμενος» (Solomon 700BC, Proverbs 29:18). Εμείς θα κρατήσουμε το πρώτο μέρος της παροιμίας, που έχει να κάνει με το όραμα, το οποίο είναι και η

κινητήρια δύναμη των απανταχού επιστημόνων που προσπαθούν πάντα για το καλύτερο, χωρίς να έχουν πάντα στο νου τους να φτάσουν σε μία τρομερά σημαντική ανακάλυψη.

Ένας καλός τρόπος να «δει» κάποιος το μέλλον είναι να συζητήσει ποια είναι η φύση των χρηστών της μοντελοποίησης. Οι τωρινοί χρήστες είναι κυρίως η γενιά των “Space Invaders” (από το ομώνυμο παιχνίδι). Αυτοί έχουν συνηθίσει και είναι χαρούμενοι με τον απλό γραφικό σχεδιασμό και του μικρού επιπέδου διαδραστικότητας. Η επόμενη γενιά είναι η Sims γενιά (επίσης από το ομώνυμο παιχνίδι), καθώς αυτοί έχουν συνηθίσει και θεωρούν δεδομένο τον άψογο γραφικό σχεδιασμό των εφαρμογών και την υψηλού επιπέδου διαδραστικότητας (S Robinson, 2004).

Μένοντας στην ανάπτυξη των λογισμικών προσομοίωσης, η τρέχουσα γενιά είναι θετική με μία πολύπλοκη δομή ανάπτυξης όπως επίσης και να γράψουν το δικό τους κώδικα. Αυτό μας οδηγεί στην ομαδοποίηση σε τέσσερις προοπτικές: Ανάπτυξη μοντέλων, Χρήση των μοντέλων, Τομέας της εφαρμογής για προσομοίωση και η Ενσωμάτωση σε άλλες τεχνικές προσομοίωσης.

4.5 Ανάπτυξη μοντέλων

Από την είσοδο των VIS (οπτικοποίηση προσομοίωσης) λογισμικών στην αγορά στα τέλη του 1980, δεν έχει υπάρξει καμία μεγάλη εξέλιξη στον τρόπο που χρησιμοποιούνται. Όπως αναφέρει και ο Henricken (Barton RR, 2003), υπάρχει μία πληθώρα πακέτων προσομοίωσης των οποίων ο κύριος κορμός δεν έχει αλλάξει καθόλου εδώ και μία δεκαετία. Το κοντινότερο που είδαμε σε ανακάλυψη είναι η εφαρμογή του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού που παρόλη τη σημαντικότητα του, δεν έχει εφαρμοστεί πλήρως στον τομέα της προσομοίωσης (Pidd M, 1992).

Μία εξέλιξη στα VIS προγράμματα είναι η ευκολία χρήσης τους, η οποία είναι μία συνεχής ανάγκη για βελτίωση. Όσο η τεχνολογία προχωράει και εξελίσσεται, τόσο πιο εύκολη γίνεται και η χρήση των επαγγελματικών προγραμμάτων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών της μοντελοποίησης. Βέβαια, αυτή η «ευχρηστία»

περιορίζεται από τη φύση των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται με αυτά τα προγράμματα.

Η προσομοίωση προτιμάται γιατί ένα σύστημα είναι αρκετά περίπλοκο να αποτυπωθεί με άλλο τρόπο. Εφόσον τα συστήματα που θα παρουσιαστούν είναι πολύπλοκα, έτσι και τα μοντέλα προσομοίωσής τους θα έχουν αυξημένη πολυπλοκότητα. Άρα, δεν είναι ότι τα λογισμικά είναι δύσκολα στο χειρισμό τους αλλά το όλο σύστημα είναι δύσκολο να αποτυπωθεί σωστά και απλά.

Ένας διαφορετικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος προσομοίωσης παρουσιάστηκε από τον Paul (Robinson, 2004) και τον ονόμασε G^2R^3 , grab-and-glue, run, reject, retry. Ο χρήστης παίρνει κομμάτια από τα στοιχεία και τα κολλάει μαζί. Στη συνέχεια τρέχει το μοντέλο να δει αν του παρέχει τις πληροφορίες που χρειάζεται για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα. Αν ναι, τότε αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσει την κατάσταση του προβλήματος. Αν πάλι όχι, τότε ο χρήστης απορρίπτει το μοντέλο και προσπαθεί ξανά επιστρέφοντας στο αρχικό στάδιο. Ένας άλλος τρόπος για την αλλαγή στην εξέλιξη της προσομοίωσης είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Ο χρήστης θα περιγράψει λεπτομερώς το πρόβλημα και ένας έμπειρος χειριστής θα το μετατρέψει σε κώδικα γλώσσας προγραμματισμού. Πιο πρόσφατα, αρκετοί ερευνητές έστρεψαν την προσοχή τους στη δημιουργία μίας ενοποιημένης γλώσσας προγραμματισμού πλέον κατάλληλη για μοντελοποίηση και προσομοίωση (Arief LB and Spreirs NA, 2000).

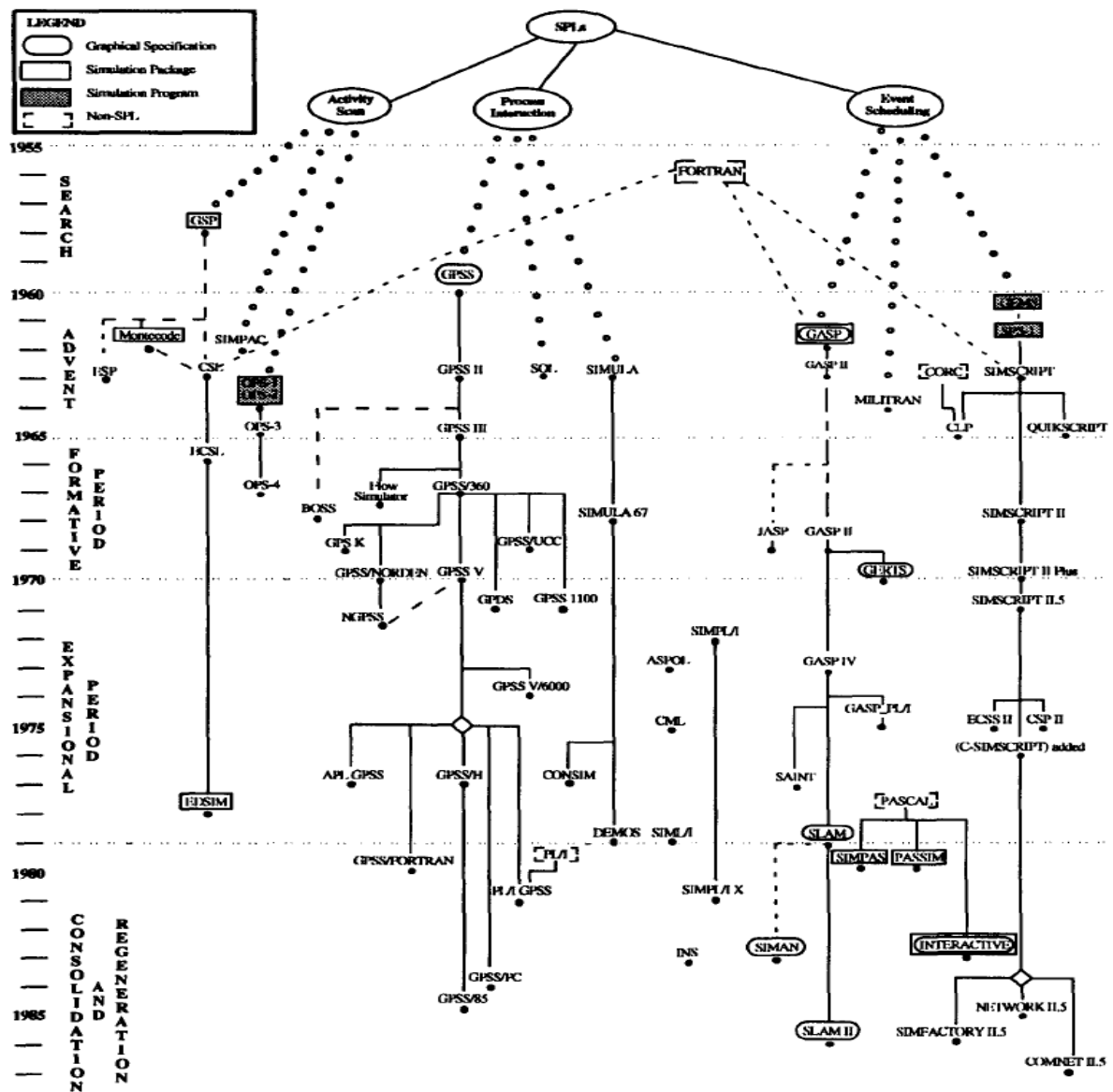
4.6 Χρήση των μοντέλων

Ο Hollock (Hollock BW, 2001) προσδιορίζει την ανάγκη για επιπλέον υποβοήθεια στο πειραματικό στάδιο της προσομοίωσης. Τα λογισμικά βελτιστοποίησης έχουν προσφέρει αμέτρητη βοήθεια και υποστήριξη σε αυτό το κομμάτι αλλά έχουν μείνει πολλές δύσκολες αποφάσεις στο χρήστη, όπως πόσο χρόνο να τρέξει την προσομοίωση, την περίοδο προθέρμανσης, τις αρχικές συνθήκες και τον αριθμό των επαναλήψεων. Η ανάλυση ευαισθησίας είναι χρήσιμη όταν υπάρχει αβεβαιότητα στα δεδομένα και πολλά σενάρια που πρέπει να λάβουμε υπόψη. Οι μέθοδοι που υπάρχουν και μπορούν να καθοδηγήσουν το χρήστη σε

αυτούς τους τομείς είναι δύσκολο να ενσωματωθούν σε ένα λογισμικό για καταναλωτική χρήση. Η μόνη εξαίρεση είναι το πακέτο AutoStat (μέρος του προγράμματος AutoMod) που παρέχει ανάλυση αποτελεσμάτων όπως προθέρμανση, ανάλυση ευαισθησίας, πειραματικά σχέδια και διαστήματα εμπιστοσύνης (Rohrer & McGregor, 2002).

Παρακάτω είναι μία εικόνα που δείχνει ένα γενεαλογικό δέντρο των γλωσσών και προγραμμάτων προσομοίωσης.

The Geneological Tree for Simulation Programming Languages.



Εικόνα 4.6.1 (Richard E. Nance, 1993)

4.7 Τομέας της εφαρμογής για προσομοίωση

Η μοντελοποίηση συνεχίζει να παραμένει ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως στο σχεδιαστικό κομμάτι ενός συστήματος, όπως και στις βιομηχανίες. Ένας ακόμα τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση είναι στην αναζήτηση νέων τομέων εφαρμογής σε ήδη υπάρχοντες κλάδους (Banks J et al,2003). Εκεί έγκειται η προοπτική της μοντελοποίησης να εφαρμοστεί ως εξής:

- Προσομοίωση για το σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου
- Προγραμματισμός/Δρομολόγηση
- Πρόβλεψη μελλοντικής συμπεριφοράς
- Έλεγχος σε πραγματική ώρα
- Εκπαίδευση

4.8 Ενσωμάτωση σε άλλες τεχνικές προσομοίωσης

Εκτός από την ΠΔΓ, υπάρχουν και άλλοι τρόποι πρόβλεψης συμπεριφορών όπως η δυναμική συστημάτων, η προσομοίωση οντοτήτων (agent based modelling) και η συνεχής προσομοίωση. Όλοι αυτοί οι τρόποι έχουν ακολουθήσει διαφορετικά μονοπάτια στον τομέα της έρευνας και της πρακτικής εφαρμογής (S. Robinson, 2001). Για παράδειγμα, η βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών βασίζεται αρκετά στην προσομοίωση και έχει μεταδώσει αυτή την τεχνολογία στην ευρύτερη αγορά. Υπάρχουν πιθανώς πολλά μαθήματα και τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν από τα βιντεοπαιχνίδια και αυτό βοηθάει και τη νεότερη γενιά να είναι πιο εξοικειωμένοι με την όλη έννοια της προσομοίωσης και γενικότερα της τεχνολογίας (η λεγόμενη γενιά Sims)

5. Η προσομοίωση στη Βιομηχανία

Η ΠΔΓ χρησιμοποιείται σε μεγάλο εύρος για να μοντελοποιήσει τις γραμμές παραγωγής. Συγκεκριμένα, στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια η προσομοίωση που με τη βοήθεια του γραφικού σχεδιασμού έχουν πρόσβαση στο αντίκτυπο που έχουν τα διαφορετικά σχέδια των γραμμών παραγωγής (Gujarathi, 2004). Για μεγάλο διάστημα, τα λογισμικά προσομοίωσης εστίαζαν στο μηχανικό κομμάτι των γραμμών παραγωγής και παραμελούσαν εντελώς τον

ανθρώπινο παράγοντα και το χειρισμό των μηχανών. Το πρόγραμμα Arena (αυτό που θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα εργασία) διαφοροποιεί το τυπικό μοντέλο της γραμμής παραγωγής ώστε να συμπεριλαμβάνει και τον ανθρώπινο χειρισμό (Baines et al, 2004). Αυτού του είδους τα καθήκοντα καταναλώνουν ένα σημαντικό ποσοστό από το διαθέσιμο χρόνο των χειριστών/υπαλλήλων και περιορίζουν τις δυνατότητες τους ώστε να επιχειρούν τις πρωτεύουσες λειτουργίες των μηχανών.

Οι γραμμές παραγωγής συνήθως παρουσιάζονται με διαγράμματα ροής με μονάδες ή οντότητες να περνάνε από ένα στάδιο στο επόμενο. Ο σχεδιασμός ενός αποτελεσματικού χώρου εργασίας απαιτεί να λάβει υπόψη τόσο τη μελέτη όσο και την ανάλυση των μεθόδων αλλά και των εργονομικών ρίσκων. Ο σχεδιασμός της γραμμής παραγωγής και του εργοταξίου χαρακτηρίζεται από κάποιους αρκετά σημαντικούς παράγοντες, όπως η ανάθεση των εργασιών και η βελτιστοποίηση των σταθμών εργασίας. Αυτές οι πτυχές γίνονται ολοένα και πιο σημαντικές στην πρώιμη φάση του σχεδιασμού που η γραμμή ουσιαστικά δεν υπάρχει καθώς αυτό μπορεί να λύσει τυχόν προβλήματα λαμβάνοντας πληροφορίες από τη συμπεριφορά του συστήματος (Longo et al, 2005a). Η ανάθεση των εργασιών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον αριθμό των σταθμών εργασίας, το χρόνο διαδικασιών και set-up και το είδος των εργασιών που θα εκτελούνται (αυτοματοποιημένες ή χειρωνακτικές).

Ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους να επιτύχουμε την άριστη ανάθεση εργασιών είναι η μέτρηση της διαδικασίας (εργασίας), ή αλλιώς benchmark. Ο σκοπός της μέτρησης/παρατήρησης είναι η αξιολόγηση των χρόνων που απαιτούνται για να γίνουν οι απαραίτητες διαδικασίες. Ως χρόνος ορίζεται η χρονική διάρκεια που θα κάνει ένας μέσος εκπαιδευμένος υπάλληλος, δουλεύοντας σε ένα φυσιολογικό περιβάλλον κάνοντας μία συγκεκριμένη δουλειά με προκαθορισμένο τρόπο υπολογίζοντας βέβαια και τους ενδιάμεσους χρόνους για προσωπικές ανάγκες, κούραση και καθυστερήσεις (Zandin, 2001). Αυτά τα χρονικά πρότυπα όπως ονομάζονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάθεση των εργασιών, για την αξιολόγηση όλων των εργατών/υπαλλήλων, τον τύπο και τη χωρητικότητα των μηχανών σε ανθρώπινο δυναμικό, τη γενική αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας, το παραγωγικό κόστος κ.ο.κ (Longo, Mirabelli, 2008). Επομένως, η μέτρηση των εργασιών είναι παράγοντας μείζονος σημασίας για την αύξηση του

προσωπικού, τη χρήση των μηχανών και οτιδήποτε άλλα μέτρα απόδοσης μπορεί να εξετάζει ο κάθε οργανισμός.

Η προσομοίωση ως παράγοντας μέτρησης αλλά και μείωσης του κόστους παραγωγής είναι μία τεχνική που υπερτερεί από τις κλασσικές μεθόδους της λογιστικής, καθώς αρκετοί managers βρίσκουν τη λογιστική πλέον αρκετά ξεπερασμένη, συγκεντρωτική και χωρίς ξεκάθαρα αποτελέσματα (Johnson, Kaplan, 1987). Ιδανικά, ένα μοντέλο προσομοίωσης που έχει τη δυνατότητα εισαγωγής και επεξεργασίας των οικονομικών/παραγωγικών δεδομένων μπορεί να χαρίσει καλύτερα και πιο αληθή αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση.

Τα μοντέλα προσομοίωσης δημιουργούνται παρατηρώντας τον πραγματικό χρόνο επεξεργασίας όλων των διαδικασιών σε ένα σύστημα και στη συνέχεια τοποθετούνται οι μεταβλητές με τη βοήθεια των στατιστικών κατανομών. Καθώς η προσομοίωση τρέχει, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι χρονικών προόδων για τον προγραμματισμό των συμβάντων. Στη συνέχεια, δημιουργούνται τυχαίοι αριθμοί από τις παρατηρούμενες στατιστικές κατανομές για να αντιπροσωπεύουν τη χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων.

Στη συνέχεια θα εξεταστούν μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες και λόγους που χρησιμοποιείται η προσομοίωση στη βιομηχανία.

Η προσομοίωση στον κλάδο των μεταποιήσεων/κατασκευών συμπεριλαμβάνει τόσο το σχεδιασμό όσο και το γενικότερο κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το τυπικό μοντέλο χρησιμοποιείται είτε για να προβλέψουμε την επίδοση του συστήματος είτε για να γίνει σύγκριση με διαφορετικά πιθανά σενάρια. Οι εφαρμογές σχεδιασμού εγκαταστάσεων λαμβάνουν υπόψη τους διάφορες πτυχές της παραγωγικής διαδικασίας, όπως η επιλογή του εξοπλισμού ή η χωροθέτησή του, στρατηγική ελέγχου (push ή pull), χειρισμός υλικών, μέγεθος παρτίδων και ο γενικός προγραμματισμός των εργασιών. Αναλόγως με τους στόχους που θέτονται, ένα μοντέλο μπορεί να είναι από απλό έως αρκετά μεγάλο και πολύπλοκο.

Τα μοντέλα που εστιάζουν στις εφαρμογές της εφοδιαστικής αλυσίδας εξετάζουν διαδικασίες που συμπεριλαμβάνουν πολλαπλές εγκαταστάσεις παραγωγής, κέντρα διανομής, κέντρα και συστήματα μεταφοράς. Σε αυτά τα

μοντέλα, τα εργοστάσια παρουσιάζονται ως περιορισμοί χωρητικότητας σε μονάδες παραγωγής. Συνήθως, τέτοια μοντέλα είναι πολύ μεγάλα και με τεράστιο όγκο δεδομένων.

5.1 Χαρακτηριστικά παραγωγικής μοντελοποίησης για το σχεδιαστικό κομμάτι

Η προσομοίωση της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να αναπτυχθεί κάνοντας χρήση είτε γενικής χρήσης λογισμικών είτε καθαρά εργαλεία που εστιάζουν στην παραγωγή. Αυτό έχει να κάνει καθαρά με τη χρήση που επιλέγει ο κάθε οργανισμός και κατά πόσο θέλει να εμβαθύνει ή όχι στην μετέπειτα ανάλυση του μοντέλου. Υπάρχουν βεβαίως πολλά και διαφορετικά προγράμματα που κάνουν αυτή τη δουλειά και το καθένα έχει τα πλεονεκτήματά του. Εδώ θα γίνει αναφορά σε κάποιους παράγοντες που είναι κοινοί και εξετάζονται από την πλειοψηφία αυτών των πακέτων (Miller – Pegden, 2000).

1. Πόροι: Τα περισσότερα παραγωγικά συστήματα συμπεριλαμβάνουν πόρους όπως ο εξοπλισμός, η εργασία και τα υλικά. Η διαθεσιμότητα των πόρων εξαρτάται από τα μοτίβα αλλαγής της παραγωγής, της άφιξης και της κατανάλωσης των υλικών. Μερικές φορές επίσης, οι πόροι ομαδοποιούνται και επιλέγονται με βάση τις εργασίες που πρέπει να γίνουν. Με αυτόν τον τρόπο, οι ίδιοι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλές εργασίες.

2. Χειρισμός υλικών: Σε πολλές περιπτώσεις, τα μηχανήματα χειρισμού υλικών ενός συστήματος επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της όλης παραγωγικής διαδικασίας. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι τα AGV (Αυτοματοποιημένα Καθοδηγούμενα Οχήματα), ραουλόδρομοι, συστήματα στοίβαξης και παλετοποίησης και άλλα.

3. Λογική ελέγχου: Σε μία τυπική παραγωγική διαδικασία, μία εργασία μεταφέρεται από μία μηχανή στην επόμενη. Η λογική ελέγχου που χρησιμοποιεί το σύστημα μπορεί να βασίζεται σε μία λογική push ή pull, ή σε κάποιο συνδυασμό τους. Ειδικά χαρακτηριστικά μοντελοποίησης απαιτούνται για να φιλοξενήσει τέτοιου είδους λογική. Σε κάθε κλάση, επιπλέον ευέλικτες κατασκευές απαιτούνται για να παρουσιάσουν συγκεκριμένες λεπτομέρειες και εξαιρέσεις από μία λογική ελέγχου κατώτερου επιπέδου.

4. Λογική του σταθμού εργασίας: Η επεξεργασία μίας δουλειάς σε μία μηχανή/σταθμό εργασίας αποτελείται από διάφορα στάδια (πχ setup μηχανών, επεξεργασία, αποσυναρμολόγηση). Επιπλέον, κάθε στάδιο μπορεί να απαιτεί διαφορετικούς πόρους (β' ύλες). Επίσης, η λογική των σταθμών εργασίας μπορεί να συμπεριλαμβάνει και τη μεταφορά των παρτίδων μεταξύ των σταθμών εργασίας.

5. Ρυθμιστής: Σε πολλά παραγωγικά συστήματα, η θέση του ρυθμιστή είναι περιορισμένη και ζωτικής σημασίας. Ένας ρυθμιστής εξόδου μπορεί να μπλοκάρει το σταθμό εργασίας και ένας ρυθμιστής εισόδου μπορεί να μπλοκάρει αντίθετες εργασίες.

6. Παραγγελίες/Σχέδιο διαδικασιών: Κάθε κομμάτι έχει τη δική του ροή που πρέπει να ακολουθήσει μέσα σε ένα σύστημα. Αυτός ο σχεδιασμός προσδιορίζει τη ροή και τις σχετικές πληροφορίες που πρέπει να έχει για να περάσει τις απαραίτητες διαδικασίες. Ο σχεδιασμός διαδικασιών μπορεί να είναι από πολύ απλός και λιτός μέχρι και αρκετά πολύπλοκος με ολόκληρο δίκτυο που να περιέχει υποσυστήματα και παράλληλες διαδικασίες.

7. Εργασίες/Κέντρα δεδομένων: Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να προσδιορίσουμε την επεξεργασία των δεδομένων (χρόνοι επεξεργασίας, απαραίτητοι πόροι) σε ένα σύστημα. Σε ένα σύστημα ροής εργασιών, τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιούνται από διαφορετικούς σταθμούς εργασίας. Πολλά συστήματα συνδυάζουν τέτοιους σταθμούς εργασίας. Είναι πάρα πολύ σημαντικό για ένα πρόγραμμα προσομοίωσης να μπορεί να παρουσιάσει όλες αυτές τις διαφορετικές δομές δεδομένων που προκύπτουν.

8. Αναφορές: Η διαδικασία της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης από ένα παραγωγικό σύστημα είναι παρόμοια με κάθε είδους στοχαστικό μοντέλο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές διαφορετικές αναφορές ειδικά για την παραγωγική διαδικασία και αυτά έχουν να κάνουν με στοιχεία όπως χρόνοι επεξεργασίας και παραγωγικά κόστη.

5.2 Χαρακτηριστικά παραγωγικής μοντελοποίησης για τον προγραμματισμό

Η προσομοίωση ανά τα χρόνια είχε ταυτιστεί με τη χρήση της για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των λύσεων/προτάσεων στη λειτουργία των οργανισμών. Με το πέρασμα των χρόνων, άρχισε να χρησιμοποιείται όλο και

περισσότερο για την ορθή λειτουργία στις καθημερινές διαδικασίες της παραγωγής. Έτσι λειτουργεί ως FCS (Προγραμματισμός Πεπερασμένης Χωρητικότητας, Finite Capacity Scheduler) και συναγωνίζεται με άλλες μεθόδους FCS όπως οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και εργασίες ανά ακολουθία χρόνου (job at a time sequence). Η προσομοίωση FCS έχει σημαντικά πλεονεκτήματα που την καθιστούν ένα δυνατό εργαλείο σχεδιασμού των εφαρμογών (Miller, Pegden, 2000).

Η μοντελοποίηση παρέχει μία μεν απλή αλλά αρκετά ευέλικτη μέθοδο για να δημιουργεί χρονοδιάγραμμα χωρητικότητας για ένα εργοστάσιο. Η βασική αρχή της μοντελοποίησης είναι να τρέξει το πρόγραμμα από την αρχική κατάσταση του εργοστασίου και οι υπόλοιπες διαδικασίες να δημιουργηθούν με τη σειρά τους. Μεταβλητές απόφασης θα εισαχθούν στο μοντέλο για να εξαχθούν οι κατάλληλες αποφάσεις και οι επιλογές διαδρομής (Miller, Pegden, 2000). Η προσομοίωση θα φτιάξει ένα πρόγραμμα προσομοιώνοντας τη ροή των εργασιών στο εργοστάσιο κάνοντας έξυπνες αποφάσεις βασισμένη στους κανόνες που έχουν ήδη θεσπιστεί.

Στην προσομοίωση FCS, υπάρχουν δύο τύποι αποφάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε είδος εργασίας: κανόνες ελέγχου βάσει λειτουργιών και βάσει των πόρων. Αν ένας πόρος είναι διαθέσιμος και είναι διάφορες διαδικασίες που πρέπει να γίνουν από αυτόν τον πόρο, τότε το πρόγραμμα θα επιλέξει τη διαδικασία που θα πρέπει να γίνει αμέσως. Αν μία διαδικασία γίνει διαθέσιμη και μπορεί να ανατεθεί σε έναν ή παραπάνω πόρους, τότε ο έλεγχος πόρων θα αποφασίσει σε ποιον πόρο θα πάει η συγκεκριμένη διαδικασία. Αυτοί οι δύο κανόνες μαζί αποφασίζουν τη φύση και την ποιότητα του τελικού προγράμματος. Λόγω της πολυπλοκότητας και της δυσκολίας της παραγωγικής διαδικασίας, υπάρχει μεγάλος αριθμός κανόνων που μπορούν να εφαρμοστούν σε μία μοντελοποίηση ώστε να εξαγάγει τον πλέον κατάλληλο προγραμματισμό (Miller, Pegden, 2000). Κάποιοι τέτοιοι κανόνες εστιάζουν στη μεγιστοποίηση του παραγόμενου προϊόντος διατηρώντας υψηλή χρήση των μηχανών, στην ελαχιστοποίηση των διαδοχικών set up ή λαμβάνοντας υπόψη κάποιες τελεσίδικες ημερομηνίες (όπως πχ ημερομηνία παράδοσης του τελικού προϊόντος).

5.3 Γιατί να χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση για Προγραμματισμό Πεπερασμένης Χωρητικότητας

Η προσομοίωση έρχεται αντιμέτωπη με αρκετές εφαρμογές δημιουργίας FCS. Έχει μία πληθώρα πλεονεκτημάτων που την κάνουν να επικρατεί από τις υπόλοιπες τακτικές (Miller, Pegden, 2000).

Τα πλεονεκτήματά της είναι τα παρακάτω:

1. Εξαιρετικά γρήγορη εκτέλεση. Η μοντελοποίηση μπορεί να εξάγει έναν ορθό προγραμματισμό σε μερικά λεπτά ή δευτερόλεπτα. Αυτό από μόνο του είναι εξαιρετικά σημαντικό σε έκτακτα γεγονότα όπως έλλειψη υλικών ή βλάβες μηχανών.
2. Ευελιξία στην λογική των αποφάσεων. Η προσομοίωση μπορεί να λάβει υπόψη ένα μεγάλο εύρος αποφάσεων που να εστιάζουν σε κάθε στόχο ή να παρουσιάσουν κάθε τύπο μίας δύσκολης λήψης αποφάσεων.
3. Απλή εφαρμογή. Ο προγραμματισμός FCS είναι σχετικά απλός να δημιουργηθεί και να παρουσιαστεί, πάντα συγκριτικά με την πραγματικότητα. Αυτό μειώνει το κόστος και ελαχιστοποιεί το χρόνο εφαρμογής του προγράμματος.
4. Υψηλής ποιότητας προγραμματισμός. Συγκριτικά με εναλλακτικές μεθόδους που μπορούν να φορτώσουν μόλις μία εργασία κάθε φορά, η μοντελοποίηση μπορεί να «γεννά» χρονοδιαγράμματα υψηλού επιπέδου και μεγάλης ακρίβειας που πολλές φορές κάνουν καλύτερη δουλειά στη μεγιστοποίηση της χρήσης των διαθέσιμων πόρων.

6. Σκοπός της παρούσας εργασίας και τρόπος λειτουργίας της ΥΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσομοιώσει με επιτυχία την παραγωγική διαδικασία σε μία εταιρεία υλικών συσκευασίας που δραστηριοποιείται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στον τομέα των offset εκτυπώσεων.

Η εν λόγω εταιρεία, που για λόγους προστασίας δεδομένων και ανωνυμίας θα παρουσιάζεται ως ΥΣ (Υλικά Συσκευασίας), λόγω της ποικιλομορφίας του τομέα της αλλά και των προϊόντων που κατασκευάζει, διαθέτει τρεις γραμμές παραγωγής

που η κάθε μία εξάγει και διαφορετικό τελικό προϊόν και γι' αυτό θα τις μελετηθούν ως ξεχωριστές οντότητες.

Αρχικά, καλό θα ήταν να αποτυπωθεί ο τρόπος λειτουργίας της εταιρείας, δηλαδή τη στιγμή από την οποία εισέρχεται η παραγγελία στο σύστημά μέχρι να γίνει τελικό προϊόν και να δρομολογηθεί προς την παράδοσή της στον εκάστοτε πελάτη.

Στην παρακάτω εικόνα είναι ένα διάγραμμα με απλοποιημένη τη διαδικασία που ακολουθείται τη στιγμή που έρχεται μία νέα παραγγελία από έναν πελάτη.

Εικόνα 6.1 (Ροή εργασίας νέας παραγγελίας στο σύστημα)

Τμήμα πωλήσεων



Όταν ένας πελάτης (νέος ή υφιστάμενος) στέλνει μία παραγγελία, προωθείται άμεσα στο τμήμα γραφικού σχεδιασμού (ατελιέ) για να σημειώσει το μοναδικό αριθμό σχεδίου που αντιστοιχεί σε κάθε προϊόν. Εκεί το ατελιέ ελέγχει αν το προϊόν υπάρχει ήδη στη βάση δεδομένων του οπότε και αφού αναγράψει τον αριθμό σχεδίου, προωθεί την παραγγελία στο τμήμα Πωλήσεων για να την καταχωρήσει στο σύστημα. Σε περίπτωση που το προϊόν που παραγγέλλει ο πελάτης είναι νέο, δηλαδή δεν το έχει ξανά παραγγείλει, ακολουθείται μία τελείως διαφορετική διαδικασία. Κατόπιν συνεννόησης του πελάτη και του ατελιέ, δημιουργείται το νέο σχέδιο του πελάτη με όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές που θέλει μεν ο πελάτης αλλά προσαρμοσμένες στις δυνατότητες της ΥΣ ώστε το προϊόν να μπορεί να μπει στις

μηχανές της. Αφού τελειώσει όλη αυτή η διαδικασία, τότε δημιουργείται το μοναδικό σχέδιο και προωθείται στο τμήμα Πωλήσεων για την καταχώρηση της παραγγελίας. Μία σημαντική σημείωση εδώ είναι ότι ο χρόνος δημιουργίας/επεξεργασίας της νέας μακέτας εξαρτάται κυρίως από τον πελάτη καθώς αυτός ορίζει όλες τις προδιαγραφές και τις διαστάσεις του νέου προϊόντος.

Στη συνέχεια, αφού γίνει η καταχώρηση της παραγγελίας στο σύστημα, παίρνει έναν αύξοντα αριθμό, ονομαζόμενο ως ΦΔ (Φύλλο Διακίνησης) το οποίο έχει προκαθορισμένα όλα τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει η παραγγελία από τη στιγμή που καταχωρήθηκε στο σύστημα μέχρι να βγει το τελικό προϊόν. Την ιδέα αυτή την εμπνεύστηκαν από το σύστημα προγραμματισμού KANBAN, που χρησιμοποιεί κάρτες για να καταγράφει την πρόοδο της παραγωγικής διαδικασίας (Ohno Taiichi, 1988). Το ΦΔ πηγαίνει ξανά πίσω στο ατελιέ για να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις ώστε να προσαρμοστούν όλες οι δουλειές στις μηχανές της εταιρείας. Όταν τελειώσουν οι εργασίες του ατελιέ, στέλνουν μήνυμα στον πελάτη και αφού πάρουν την γραπτή επιβεβαίωσή του, τότε και μόνο τότε προχωράει η παραγγελία προς την παραγωγή. Εφόσον είναι ήδη υπάρχον σχέδιο, όλη αυτή η διαδικασία δεν κρατάει πάνω από δύο ημέρες. Να σημειωθεί επίσης εδώ, ότι η επιβεβαίωση εξαρτάται καθαρά από τον πελάτη, οπότε δεν προχωράει καμία παραγγελία αν δεν υπάρξει η γραπτή επιβεβαίωσή του.

Αφού όλα είναι έτοιμα, πλέον μπορεί να το προγραμματίσει η παραγωγή. Ουσιαστικά, από εδώ ξεκινάει να υπολογίζεται το επίσημο lead time που έχει δώσει η ΥΣ στους πελάτες της στις προσφορές που τους έχει στείλει. Από τη στιγμή της επιβεβαίωσης, η παραγωγή έχει έξι μέρες περιθώριο ώστε να το προγραμματίσει για εκτύπωση. Η εκτύπωση είναι καθολικό στάδιο και από εκεί περνάνε όλα τα προϊόντα ανεξαρτήτως, γι' αυτό και υπάρχει μεγάλο κενό ώστε να γίνει ο απαραίτητος σχεδιασμός πάντα με γνώμονα την ημερομηνία παράδοσης που πιθανό να έχει ορίσει ο πελάτης. Οι περισσότεροι πελάτες όμως θέλουν τα προϊόντα τους άμεσα οπότε η παραγωγή ορίζεται με το σύστημα FIFO.

Πριν την εκτύπωση και στο διάστημα των έξι ημερών, το ΦΔ πηγαίνει στο τμήμα CTP για να γίνουν οι τσίγκοι. Αφού τελειώσουν και οι τσίγκοι, το μόνο που μένει είναι να έρθει η σειρά της κάθε παραγγελίας να μπει για εκτύπωση.

Αναλόγως με το είδος της κάθε παραγγελίας και τη μετέπειτα επεξεργασία που χρειάζεται, γίνεται η εκτύπωση ώστε να μην τεθεί το ΦΔ εκτός συμφωνημένου lead time. Αφού ολοκληρωθεί και η εκτύπωση, τότε η παραγγελία περιμένει πριν πάει στις επόμενες μηχανές ώστε να κρυσώσουν τα φύλλα και να φύγει ο αέρας από μέσα τους. Αυτό γίνεται, γιατί όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, αν μία παραγγελία προχωρήσει αμέσως μετά την εκτύπωση στις επόμενες μηχανές τότε λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, πιέσεων και χημικών από την εκτύπωση, θα υπάρξει απώλεια στα φύλλα που θα επεξεργαστούν και θα χαλάσει το τελικό προϊόν.

Για την ευκολία της προσομοίωσης θα θεωρηθούν κάποιοι παράγοντες ως δεδομένοι και εκτός μελέτης καθώς είναι αστάθμητοι και μπορούν να επηρεάσουν την κανονική ροή της λειτουργίας από την είσοδο της παραγγελίας έως την ολοκλήρωσή της από την παραγωγή.

Αρχικά θα θεωρηθεί δεδομένο ότι πάντοτε υπάρχει αρκετή διαθέσιμη α' ύλη για να καλύψει όλες τις εισερχόμενες παραγγελίες. Η ΥΣ είναι μία make-to-order εταιρεία και λειτουργεί με βάση τις προβλέψεις των πελατών της και παραγγέλνει την α' ύλη που έχει ορίσει ο πελάτης ότι θα χρειαστεί για το κάθε ορισμένο χρονικό διάστημα (τρίμηνο, εξάμηνο ή διαφορετικές περιπτώσεις ανά πελάτη). Μία σημείωση επίσης εδώ είναι ότι ο κάθε πελάτης έχει το δικό του χαρτόνι και δε χρησιμοποιείται σε κανέναν άλλον πελάτη, παρά μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις και υπό συνθήκες.

Ανά τακτά διαστήματα, το τμήμα προμηθειών επικοινωνεί με τους πελάτες και ζητάει τη συνολική τους πρόβλεψη σε τεμάχια για όλους τους κωδικούς τους που επεξεργάζεται η ΥΣ. Στη συνέχεια, τα συνολικά τεμάχια μεταφράζονται σε φύλλα χαρτονιού και αφού δώσει την τελική επιβεβαίωση ο πελάτης τότε η ΥΣ προχωράει σε παραγγελία της α' ύλης. Ο χρόνος παραλαβής της από τον προμηθευτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, για παράδειγμα την ποιότητα του χαρτονιού, την ποσότητα, τον κύκλο παραγωγής. Τον τελευταίο χρόνο βεβαίως, λόγω της κατάστασης της πανδημίας και της εξαιρετικά αυξημένης ζήτησης, έχει συμβάλει και αυτό στην αύξηση του χρόνου παράδοσης. Για παράδειγμα, σε κανονικές συνθήκες το μέγιστο διάστημα που μπορεί να παραληφθεί το χαρτόνι είναι από τριάντα έως σαράντα-πέντε ημέρες και πλέον είναι από σαράντα-πέντε έως και εξήντα ημέρες.

Επίσης, αναλόγως και την ποιότητα του χαρτονιού αυξάνεται και ο χρόνος σε τρεις μήνες (π.χ. για καθαρό ξυλοπολτό). Αυτό βέβαια γίνεται πάντα σε συνεννόηση με τον πελάτη και υπάρχει η πλήρη συμφωνία του στους χρόνους αυτούς.

Επίσης, υπάρχουν και περιπτώσεις που κάποιος πελάτης έχει αναλώσει το χαρτόνι που του αναλογεί και η παραγγελία του κάνει χρήση παραπάνω ποσότητας α' ύλης. Εδώ υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι να προβεί εκ νέου σε παραγγελία της α' ύλης που απαιτείται και η δεύτερη να χρησιμοποιηθεί χαρτόνι από άλλον πελάτη. Το διαφορετικό χαρτόνι που θα χρησιμοποιηθεί έχει κάποιο έξτρα κόστος καθώς θα πρέπει να γίνουν κάποιες προεργασίες ώστε να προσαρμοστεί για τις δουλειές του πελάτη που θα μπει εκτάκτως. Το κόστος που προκύπτει από αυτές τις εργασίες (π.χ. κοπή, καλούπι) θα το επωμιστεί ο πελάτης εν γνώση του.

Τώρα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όταν έρχεται μία παραγγελία αυτή πρέπει να δουλευτεί από το τμήμα γραφικού σχεδιασμού (ατελιέ), να προσαρμόσει τη μακέτα της εκάστοτε παραγγελίας στις μηχανές μας και μετά να στείλει το τελικό σχέδιο για επιβεβαίωση από τον πελάτη. Μόνο και μόνο όταν υπάρχει η γραπτή επιβεβαίωση του πελάτη θα προχωρήσει η εκτύπωση της παραγγελίας του. Διαφορετικά, αν ο πελάτης έχει κάποια ένσταση για το τελικό σχέδιο εκτύπωσης τότε θα ακολουθήσουν συζητήσεις για τις διορθωτικές ενέργειες που πρέπει να γίνουν. Αφού πάλι επιβεβαιώσει ο πελάτης το τελικό σχέδιο, τότε θα μπορέσει να προχωρήσει στην εκτύπωση που είναι και το πρώτο παραγωγικό στάδιο. Αυτό το στάδιο είναι εκτός της προσομοίωσης μας καθώς όλες οι προσφορές και τα συμβόλαια που συνάπτονται με τους πελάτες (νέους και υφιστάμενους), ως χρόνο παράδοσης (lead time) αναφέρουν από τη στιγμή που υπάρξει γραπτή επιβεβαίωση του σχεδίου.

Οι παραπάνω παράγοντες αφορούν ενέργειες και αποφάσεις καθαρά του πελάτη και η εταιρεία μας δε μπορεί να επέμβει καθόλου. Για αυτούς τους λόγους θα θεωρηθεί δεδομένο ότι ανά πάσα στιγμή η α' ύλη είναι διαθέσιμη ανεξαρτήτως της ποσότητας παραγγελίας και ότι η επιβεβαίωση έχει δοθεί από τον πελάτη. Από την επιβεβαίωση του πελάτη, η παραγωγή έχει περιθώριο έξι ημέρες ώστε να προγραμματίσει την εκτύπωση της κάθε παραγγελίας. Αυτό συμπεριλαμβάνει την προετοιμασία των τσίγκων, καλουπιών και φυσικά με βάση το πρόγραμμα παραγωγής με τις ήδη υπάρχουσες δουλειές. Αυτό το περιθώριο των έξι ημερών

συμπεριλαμβάνεται στο lead time της κάθε παραγγελίας και είναι παράγοντας που ενδιαφέρει την ΥΣ και θα εξεταστεί.

Επίσης, άλλος ένας παράγοντας που δε θα εξεταστεί καθώς δεν επηρεάζει καθόλου στο συνολικό χρόνο παραγωγής είναι η μεταφορά της α' ύλης και των εργασιών από τη μία μηχανή στην άλλη, μίας και τα δύο γίνονται από τους υπαλλήλους της αποθήκης. Η μεταφορά της α' ύλης γίνεται από την αποθήκη προς την εκτυπωτική μηχανή το πρωί και μία μέρα πριν γίνουν οι νέες εκτυπώσεις, οπότε δε διατρέχει ποτέ ο κίνδυνος η εκτύπωση να καθυστερήσει λόγω της α' ύλης. Επίσης, όταν τελειώσει η εκτύπωση, οι αποθηκάριοι παίρνουν τα εκτυπωμένα φύλλα και τα πάνε στο χώρο αναμονής ώστε να «ξεκουραστούν» τα φύλλα.

Μία επιπλέον σημείωση είναι ότι σε κάθε στάδιο γίνεται έλεγχος και από τους χειριστές για τυχόν αποκλίσεις στο τελικό αποτέλεσμα είτε αυτό έχει να κάνει με τα χρώματα της εκτύπωσης, είτε με διάφορα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως επαρκής ποσότητα κόλλας, σωστή τσάκιση, σωστό κόψιμο και γενικά οτιδήποτε μπορεί να χαλάσει την εικόνα του τελικού προϊόντος. Αν εντοπιστεί οποιαδήποτε τέτοια απόκλιση, σταματάει η παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος, επιβλέπει ο Ποιοτικός Έλεγχος την κατάσταση και εφόσον επιλυθεί το πρόβλημα μόνο τότε συνεχίζει η παραγωγή. Αν αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα και ενδέχεται να επηρεάσει το συμφωνημένο lead time, τότε ειδοποιούμε τον πελάτη για το γεγονός αυτό. Σε κάθε τέτοια περίπτωση, μέσω του ΦΔ μπορούμε να δούμε σε ποιο σημείο σταμάτησε η δουλειά ώστε να διερευνηθούν οι λόγοι που έγινε και να γίνουν οι απαραίτητες διορθωτικές κινήσεις.

Τα προϊόντα που επεξεργάζεται η ΥΣ είναι φύλλα χαρτιού και χαρτονιού και τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες και τα στάδια που τη διέπουν είναι τα παρακάτω:

- i. Ετικέτες: Εκτύπωση, Γωνία, Κοπτική
- ii. Χαρτοθήκες (και γενικότερα θήκες): Εκτύπωση, στάντζα (κόψιμο), ξάκρισμα, κολλητική
- iii. Κυτία: Εκτύπωση, στάντζα, ξάκρισμα, κολλητική, παραθυροκολλητική
- iv. Χαρτόδισκοι (τελάρα): Εκτύπωση, δημιουργία ρολών, κόψιμο, κολλητική

Τα προϊόντα αυτά δεν περνάνε απαραίτητα από όλα τα στάδια που αναφέρονται πιο πάνω, καθώς αυτό εξαρτάται από το καλούπι που υπάρχει για το κάθε προϊόν, από τις διαστάσεις του προϊόντος και των τεμαχίων.

Επίσης, στην παρούσα εργασία δε θα γίνει αναφορά καθόλου στις ετικέτες καθώς η παραγωγική τους διαδικασία είναι αρκετά απλή και σε κανονική ροή μία παραγγελία ετικετών ανεξαρτήτου ποσότητας μπορεί να παραδοθεί μέσα σε τρεις ημέρες από τη στιγμή της Εκτύπωσης (π.χ. εκτύπωση την Τρίτη με παράδοση στον πελάτη την Παρασκευή). Γι' αυτό το λόγο δε θα γίνει ανάλυση και προσομοίωση της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής μιας και δεν επιδέχεται περαιτέρω βελτίωση.

7. Εφαρμογή του λογισμικού ARENA

Όπως είπαμε παραπάνω, υπάρχουν δεκάδες προγράμματα προσομοίωσης/μοντελοποίησης διακριτών γεγονότων που μπορούν να χαρίσουν πολύτιμες αναλύσεις και χρήσιμα συμπεράσματα σε μία παραγωγική διαδικασία.

Παρακάτω είναι και ένας πίνακας με διάφορα Προγράμματα Προσομοίωσης και μερικά κύρια χαρακτηριστικά τους.

Εικόνα 7.1.1 (Paulista et al, 2019)

Simulation programs and their capacities.

Simulation tools	Open source	Degree of energy analysis			Connection between layers
		Machine	Process	Plant	
AnyLogic	N	Y	Y	Y	N
Arena	N	Y	Y	Y	N
Autodesk Green Building Studio	N	N	N	Y	Y
Autodesk Revit	N	N	N	Y	Y
BuildOpt-VIE	N	N	Y	Y	Y
DELMIA	N	Y	Y	Y	N
DesignBuilder	N	N	N	N	N
ecoinvent	Y	N	N	N	N
EnergyPlus Simulation Engine	Y	N	Y	Y	Y
ESP-r	Y	N	Y	Y	Y
eQUEST	Y	N	Y	Y	Y
FlexSim	N	Y	Y	Y	N
HKSim	N	N	N	Y	N
IBPT	Y	N	Y	Y	Y
IDA ICE	Y	N	N	Y	Y
IES VE	N	N	Y	Y	Y
Microsoft Excel	N	Y	Y	Y	Y
Modelica Buildings Library	Y	Y	Y	Y	N
Plant Simulation	N	Y	Y	Y	N
Sefaira	N	N	N	Y	Y
SIMFLEX/3D	N	Y	Y	N	N
Simio LLC	N	Y	Y	Y	N
SIMUL8	N	Y	Y	Y	N
Simulink e MATLAB	N	Y	Y	Y	N
TRACE 700	N	N	N	Y	N
TRNSYS	N	N	N	Y	Y
WITNESS	N	Y	Y	N	Y

Ένα εξ' αυτών είναι και το λογισμικό Arena της εταιρείας Rockwell Automation, με έδρα το Μιλγουόκι.

Το Arena είναι ένα πλήρες λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που δημιουργήθηκε το 2000. Βασίζεται στη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού SIMAN, που είναι καθαρά μία γλώσσα για προσομοίωση.

Είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα εμπορικά προγράμματα προσομοίωσης με μεγάλο αριθμό εφαρμογών σε πολλούς και διαφορετικούς τύπους συστημάτων. Από τη στιγμή που δημιουργήθηκε έχει υποστεί πολλές βελτιώσεις και χρησιμοποιείται από επιχειρήσεις, ερευνητές και φοιτητές που μελετούν τη λειτουργία, τη βέλτιστη σχεδίαση και τον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων.

Στο περιβάλλον Arena ο χρήστης μπορεί να εισάγει διάφορα σχέδια σε σχήματα που αντιπροσωπεύουν μία λογική ή μία διαδικασία. Αυτά τα σχέδια ενώνονται μεταξύ τους με γραμμές για να δείξουν την πορεία που ακολουθεί η όλη διαδικασία της μοντελοποίησης. Εισάγονται οι οντότητες και μέσω των σχεδίων μπορούν να παρουσιαστούν οι στόχοι και οι εργασίες που θέλει να αναλύσει ο κάθε χρήστης. Το Arena μπορεί να εξαγει στατιστικά δεδομένα όπως χρόνος κύκλου εργασιών, WIP, ακόμη μπορεί να βγάλει τα αποτελέσματα σαν αναφορές.

Έχει την ευκολία ότι μπορεί να ενσωματωθεί σε υπηρεσίες της Microsoft καθώς έχει πλήρη υποστήριξη για εφαρμογές που βασίζονται στη Visual Basic

γλώσσα. Επίσης, μπορεί να «διαβάζει» αρχεία Excel, Access και text και να εισαχθούν τα δεδομένα απ' ευθείας από αυτές τις εφαρμογές.

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα του Arena είναι τα παρακάτω

- ✓ Βελτίωση της οπτικής εμπειρίας σε ένα σύστημα ή μία αλλαγή
- ✓ Εξερεύνηση νέων ευκαιριών για νέες διαδικασίες ή μεθόδους χωρίς να

διακόψουμε το τρέχων σύστημα

- ✓ Διάγνωση και επιδιόρθωση σφαλμάτων
- ✓ Μείωση ή και εξαφάνιση κωλυμάτων (bottlenecks)
- ✓ Μείωση λειτουργικών εξόδων
- ✓ Βελτίωση χρηματοοικονομικών προβλέψεων
- ✓ Μείωση χρόνου παράδοσης
- ✓ Καλύτερη επίβλεψη του αποθέματος, του προσωπικού και του

εξοπλισμού (<https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>).

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε την δωρεάν έκδοση για φοιτητές/μαθητές και είναι η έκδοση 16.00.00002 για λειτουργικό σύστημα Windows. Ο χρόνος που θα τρέξει η προσομοίωση μας είναι οι 50.000 ώρες και ως προκαθορισμένη ρύθμιση είναι οι 24 ώρες λειτουργίας ανά ημέρα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε είναι εμπειρικά έπειτα από συνεχή παρατήρηση που ίσως να μην απέχουν πολύ από την πραγματικότητα. Επίσης, τα σενάρια που θα αναλύσουμε καθώς και τα μέτρα απόδοσης είναι κοινώς αποδεκτά από την ΥΣ, και είναι κινήσεις που την ενδιαφέρουν άμεσα να μελετήσει και να εφαρμόσει.

Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση είναι τα εξής:

- Επεξεργαστής: AMD Ryzen 7 3700x 3.6 GHz
- Εγκατεστημένη μνήμη: 32 GB, 3200MHz
- Λογισμικό: Windows 10 Pro 64-bit

8. Δομή μοντέλου Arena

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τη δομή του μοντέλου εξηγώντας κάποιες από τις σημαντικότερες εντολές και τη λογική πίσω από αυτές. Στην ΥΣ, όπως αναφέραμε προηγουμένως, υπάρχουν τα τελικά προϊόντα κουτιά/χαρτοθήκες και οι χαρτόδισκοι (welle). Αυτά αποτελούν δύο ξεχωριστές γραμμές παραγωγής και θα μελετηθούν ως ξεχωριστά συστήματα καθώς δεν επηρεάζει η μία την άλλη σε καμία περίπτωση.

8.1 Κουτιά/Χαρτοθήκες

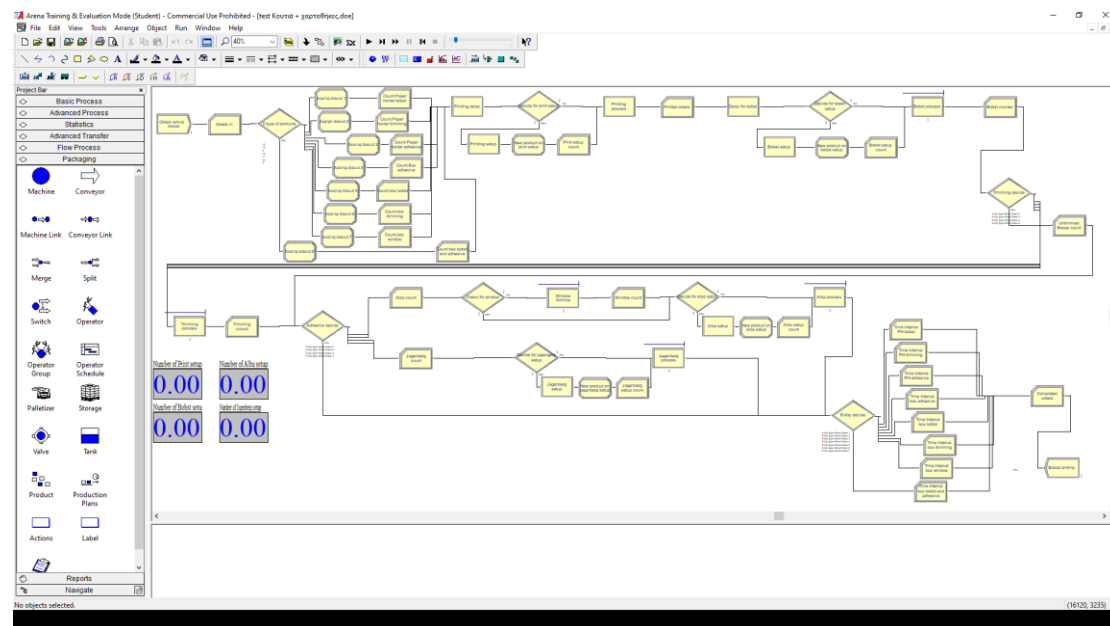
Τα κουτιά και οι χαρτοθήκες είναι δύο διαφορετικά τελικά προϊόντα αλλά οι γραμμές παραγωγής τους επηρεάζουν η μία την άλλη και γι' αυτό το λόγο θα μελετηθούν ως ενιαίο σύστημα καθώς κάνουν χρήση των ίδιων μηχανών.

Με τη χρήση εικόνων θα εξηγήσουμε ορισμένες σημαντικές εντολές, όχι όλες. Τις υπόλοιπες θα τις αναλύσουμε στο περιβάλλον του προγράμματος.

Γενική εικόνα του μοντέλου προσομοίωσης

Παρακάτω παρατηρούμε τη γενική εικόνα του μοντέλου, που αντικατοπτρίζει την πλήρη λειτουργία της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής.

Εικόνα 8.1.1 (γενική εικόνα του μοντέλου προσομοίωσης)

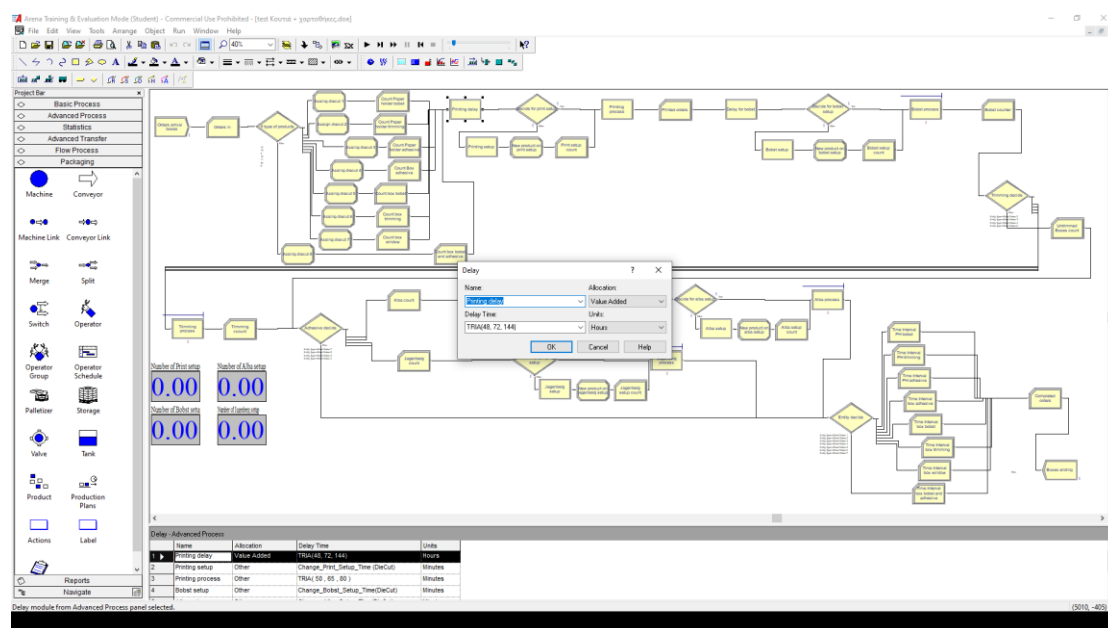


Όταν εισέρχονται οι παραγγελίες στο σύστημα, διαχωρίζονται σε 8 κατηγορίες που είναι τα διαφορετικά καλούπια των χαρτοθηκών και των κουτιών. Ως καλούπι, αναφέρουμε μία συγκεκριμένη δομή που έχει το εκάστοτε σχέδιο και βάσει αυτής περνάει και από στα προκαθορισμένα στάδια παραγωγής. Για παράδειγμα, το Die Cut 1 είναι οι χαρτοθήκες που περνάνε μόνο από τη μηχανή bobst, το Die Cut 2 είναι οι χαρτοθήκες που έχουν και επιπλέον ξάκρισμα ως στάδιο παραγωγής.

Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση

Σε κάθε καλούπι δίνουμε δύο χαρακτηριστικά (sheet orders 1->8, DieCut 1->8) ώστε να μπορούμε μετέπειτα να ελέγχουμε τη ροή τους και να γίνονται οι λογικοί έλεγχοι στα επόμενα στάδια. Η εντολή Printing Delay είναι οι έξι ημέρες που έχει περιθώριο η παραγωγή να προγραμματίσει την παραγγελία για εκτύπωση από τη στιγμή που πήρε την επιβεβαίωση του πελάτη.

Εικόνα 8.1.2 (χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση για κουτιά/χαρτοθήκες)

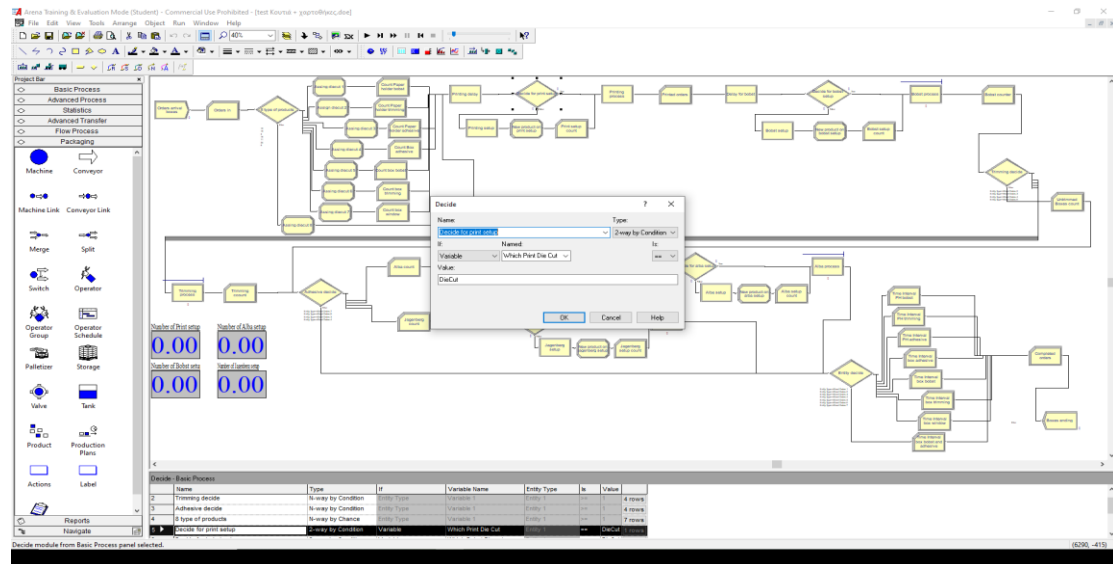


Λογική ελέγχου για setup των μηχανών

Στη συνέχεια συναντάμε τη λογική στον έλεγχο του set up των μηχανών. Εδώ θα κάνουμε χρήση του χαρακτηριστικού “die cut” που αναφέραμε νωρίτερα. Με αυτόν τον έλεγχο, το πρόγραμμα βλέπει τι καλούπι έχει σειρά να περάσει από τη μηχανή. Αν το καλούπι που είναι στη ουρά αναμονής είναι διαφορετικό από το προηγούμενο, τότε η μηχανή θα πρέπει να κάνει set up για να εισάγει τις

διαφορετικές παραμετροποιήσεις της παραγγελίας. Αν το καλούπι είναι το ίδιο με το ακριβώς προηγούμενό του, τότε δε θα γίνει set up και θα προχωρήσει αμέσως σε εκτύπωση. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται αυτή η λογική.

Εικόνα 8.1.3 (λογική διαδικασίας *changeover*)



Ο ίδιος ακριβώς έλεγχος γίνεται σε κάθε μηχανή που χρειάζεται set up, οπότε δε θα ξανά αναφερθούμε σε αυτή την εντολή.

Διαδικασία ξάκριματος

Η ίδια διαδικασία για το setup ακολουθείται και για τη μηχανή bobst και σειρά έχει το ξάκρισμα. Το ξάκρισμα είναι χειροκίνητη εργασία και ουσιαστικά είναι το πέταμα/σκίσιμο των αποκομμάτων των φύλλων χαρτονιού που δεν αποκολλήθηκαν σωστά από τη μηχανή bobst. Παρακάτω είναι ένας σύνδεσμος από το YouTube για την καλύτερη κατανόηση αυτής της χειρωνακτικής διαδικασίας (https://www.youtube.com/watch?v=F7f52AaSjOA&ab_channel=BOBST).

Η διαφορά των χαρτοθηκών και των κουτιών που έχουν και που δεν έχουν ξάκρισμα έγκειται στο καλούπι τους. Αυτά που δεν έχουν ξάκρισμα, μαζί με το καλούπι τους έχουν και ενσωματωμένα καθαριστικά τα οποία καθαρίζουν πλήρως τα περιττά αποκόμματα και δε χρειάζεται περαιτέρω χειροκίνητη εργασία. Αυτά τα καθαριστικά είναι αρκετά ακριβά και αυξάνουν το χρόνο set up της μηχανής, αλλά το

αποτέλεσμα του τελικού προϊόντος είναι σαφώς καλύτερο μιας και δεν υπάρχει το ενδεχόμενο του ανθρώπινου σφάλματος να μη γίνει σωστά το ξάκρισμα ή ακόμη και να ξεχαστεί να γίνει μία πλευρά, για παράδειγμα.

Στην περίπτωση μας, τέσσερα συνολικά είδη καλουπιών έχουν αυτή τη δυνατότητα να καθαρίζονται μέσα στη μηχανή, δύο των χαρτοθηκών και δύο των κουτιών. Αυτό θα φανεί και στα αποτελέσματά στη συνέχεια, καθώς οι χαρτοθήκες και τα κουτιά χωρίς ξάκρισμα έχουν σημαντικά χαμηλότερους χρόνους παραγωγής.

Με την ίδια λογική προχωράμε στον έλεγχο για το στάδιο της κολλητικής μηχανής. Η ιδιαιτερότητα εδώ είναι ότι η ΥΣ έχει δύο κολλητικές μηχανές (alba και jagenberg). Η alba χρησιμοποιείται για τις παραγγελίες που έχουν και δημιουργία παραθύρου καθώς η είσοδος της βρίσκεται στην έξοδο της μηχανής που κόβει το πλαίσιο του παραθύρου. Επίσης, η alba έχει το πλεονέκτημα ότι έχει έλεγχο στάθμης της κόλλας και αυτό την κάνει πιο αξιόπιστη για τα κουτιά που είναι πιο βαρύ το χαρτόνι (η μέτρηση του βάρους γίνεται σε g/m^2). Η jagenberg είναι πιο γρήγορη μηχανή από την alba και επωφελείται από το πιο ελαφρύ χαρτόνι που χρησιμοποιείται στις χαρτοθήκες.

Στο σημείο που γίνεται η διαμόρφωση του παραθύρου δεν έχει μπει εντολή για set up. Τα προϊόντα της ΥΣ που έχουν παράθυρο είναι κυριολεκτικά μετρημένα στα δάχτυλα και η ρύθμιση γίνεται σχεδόν αμέσως, μέσα από το λογισμικό της μηχανής. Αυτό γίνεται από τη στιγμή που η παραγωγή βλέπει ότι έχει μία τέτοια παραγγελία και δεν επηρεάζει επ' ουδενί το χρόνο παραγωγής τους.

Μετά από κάθε εντολή/επεξεργασία έχουμε βάλει record για να καταγράψουμε τα στοιχεία που θέλουμε και να τα βγάλει στην αναφορά αποτελεσμάτων. Αριστερά έχουμε βάλει πλαίσια για την καταγραφή των set up των μηχανών. Αυτό το κάναμε για να βλέπουμε στην πράξη ότι λειτουργούν όλοι οι λογικοί έλεγχοι που έχουμε κάνει. Σε αργό ρυθμό φαίνεται και ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου μας και έχει και νόημα η χρήση των πλαισίων αυτών.

8.2 Odule/Welle

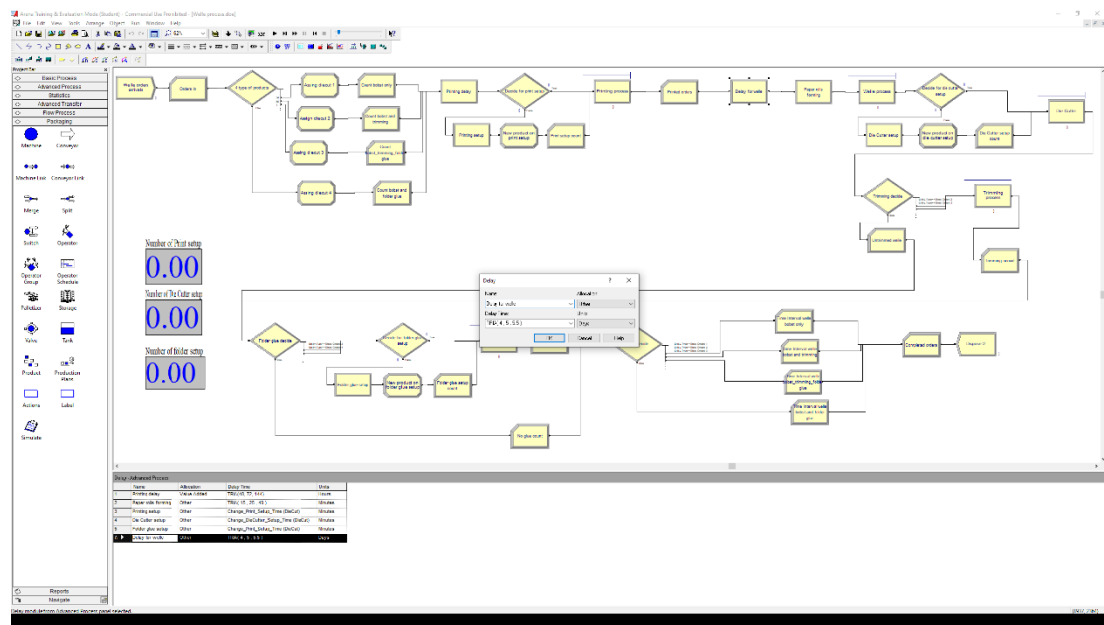
Το welle ή odule είναι η επεξεργασία των ρολών χαρτονιού με τέτοιο τρόπο ώστε η μεσαία στρώση να έχει κυματοειδή μορφή (εξού και το welle, το κύμα στα γερμανικά).

Μετά την εκτύπωση, οι αποθηκάριοι πηγαίνουν τα εκτυπωμένα φύλλα στο χώρο της μηχανής και τα αφήνουν εκεί μέχρι να έρθει η σειρά τους για παραγωγή. Η λογική με τα καλούπια είναι πανομοιότυπη και εδώ. Υπάρχουν καλούπια που έχουν και καλούπια που δεν έχουν ξάκρισμα. Ο λόγος είναι ακριβώς ο ίδιος με παραπάνω. Επίσης, η λογική ελέγχου για τα set up των μηχανών είναι ακριβώς η ίδια.

Μετά την εντολή της εκτύπωσης, υπάρχει το πλαίσιο Delay for welle που είναι οι μέρες που περιμένει το χαρτόνι για να στεγνώσει και να φύγει ο αέρας προτού μπει στη μηχανή για επεξεργασία.

Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση

Εικόνα 8.2.1 (χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση welle)



Λόγω της ιδιαιτερότητας του χαρτονιού που χρησιμοποιείται για τα welle, θέλει παραπάνω μέρες αναμονή σε σχέση με τις χαρτοθήκες και τα κουτιά. Αφού δημιουργηθεί το 3φύλλο, μετά ελέγχουμε αν χρειάζεται ξάκρισμα ή όχι και αν χρειάζεται και κόλληση ή όχι. Η ΥΣ έχει στη διάθεσή της μία μηχανή κολλητικής την οποία τη χρησιμοποιεί μόνο για τις welle παραγγελίες της. Αυτό γίνεται γιατί έχει τη

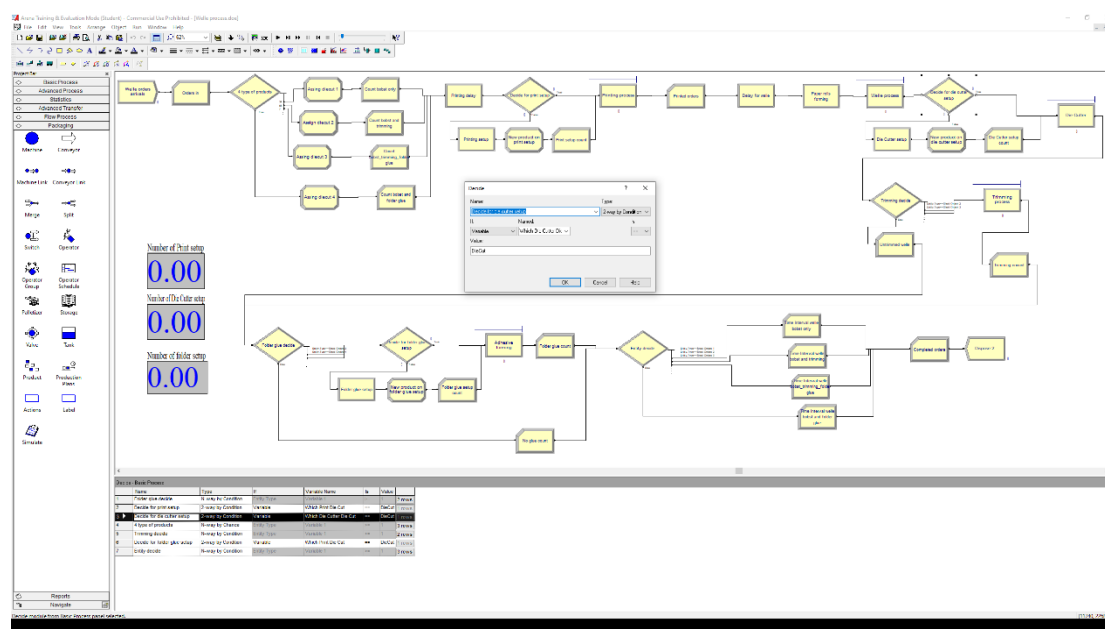
δυνατότητα να κολλάει και γενικά να αντέχει το αρκετά πιο βαρύ χαρτόνι που βγαίνει όντας 3φυλλο και μπορεί να «τσακίζει» πιο αποτελεσματικά το χαρτόνι χωρίς να το χαλάει. Οι άλλες δύο μηχανές δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα και γι' αυτό δε χρησιμοποιούνται. Βέβαια η folder glue μηχανή είναι αρκετά αργή στη λειτουργία της.

Η μηχανή Die Cutter είναι μία τελευταίας τεχνολογίας καθετοποιημένη αυτόνομη γραμμή παραγωγής. Στην ίδια μηχανή μπαίνουν τα ρολά χαρτί και γίνονται κυματοειδή και στη συνέχεια πάλι στην ίδια μηχανή/γραμμή παραγωγής κολλάει το κυματοειδές δίφυλλο χαρτί με το χαρτόνι για να σχηματιστεί και να κοπεί το τελικό προϊόν. Σαν διαδικασία ακούγεται πολύπλοκη και χρονοβόρα, αλλά στην πραγματικότητα ο χρόνος που κάνει να παραχθεί ένα έτοιμο τελικό προϊόν δεν είναι παρά μερικά λεπτά.

Για να επιτευχθεί αυτό το γρήγορο αποτέλεσμα, το setup είναι αρκετά χρονοβόρο για όλες τις δουλειές.

Λογική ελέγχου για setup των μηχανών

Εικόνα 8.2.2 (λογική διαδικασίας changeover)



Διαδικασία ξακρίσματος

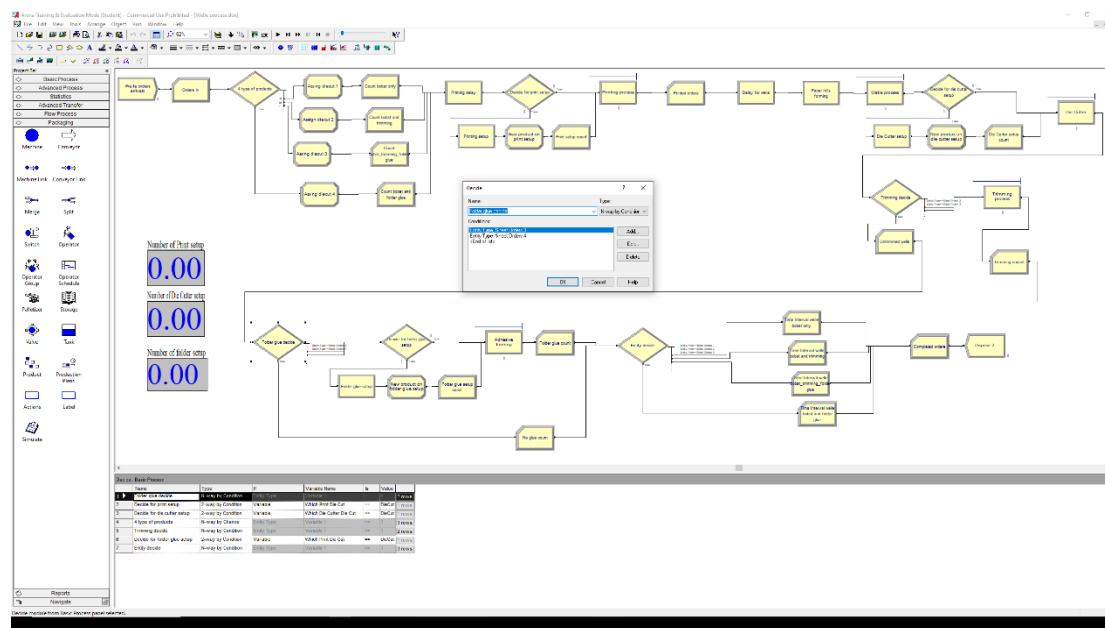
Το ξάκρισμα, όταν έχει, γίνεται και στο welle με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και παραπάνω, δηλαδή χειροκίνητα. Όταν τελειώσει η επεξεργασία της παραγγελίας, μεταφέρονται οι παλέτες στο χώρο του ξακρίσματος για να το αναλάβουν οι υπάλληλοι εκεί.

Τα υπόλοιπα καλούπια καθαρίζονται μέσα στη μηχανή οπότε δεν έχουν και διαδικασία χειροκίνητου ξακρίσματος.

Στη συνέχεια γίνεται ο έλεγχος για την κολλητική μηχανή και εφόσον περνάει, γίνεται ο έλεγχος για αν θα χρειαστεί setup ή όχι.

Λογική ελέγχου για επεξεργασία κολλητικής μηχανής

Εικόνα 8.2.3 (λογική ελέγχου για επεξεργασία κολλητικής στο welle)



Ουσιαστικά, η όλη επεξεργασία του welle είναι πιο απλή και σαν λογική και σαν επεξεργασία καθώς τα πράγματα εδώ είναι πιο στάνταρ από ότι στα απλά κουτιά ή στις χαρτοθήκες.

Η περισσότερη διαδικασία βρίσκεται στο να αποφασιστεί το είδος του χαρτονιού και των ρολών που θα χρησιμοποιηθούν κάθε φορά για κάθε δουλειά. Επειδή αυτή η γραμμή παραγωγής είναι σχετικά καινούργια, η ΥΣ είναι στην προσπάθεια να δημιουργήσει κάποια στάνταρ στις διαστάσεις των προϊόντων των

πελατών ώστε να γίνεται αυτόματα ο υπολογισμός των α' υλών από το σύστημα και να επιλέγεται βέλτιστα το σωστό χαρτόνι και το σωστό ρολό.

Βεβαίως, αυτό είναι αντικείμενο που δε θα το εξεταστεί στην παρούσα εργασία.

Σε κάθε από τα μοντέλα έχουμε εισάγει αρκετά στοιχεία assign και count τα οποία κάνουν τις μετρήσεις με βάση τις οποίες θα εξάγουμε τα αποτελέσματά. Για παράδειγμα, το record "Time Interval PH bobst" μετράει τον κύκλο παραγωγής των χαρτοθηκών με μόνο bobst ως στάδιο παραγωγής. Αυτό γίνεται βάζοντας ένα σημάδι όταν πρωτοέρχεται μία παραγγελία που αντιστοιχεί σε αυτό το καλούπι και μετράει το χρόνο που κάνει μέχρι να περάσει από το record που είναι και το τέλος της παραγωγής του. Αυτός είναι ένας κύκλος παραγωγής της κάθε παραγγελίας.

Έχουμε βάλει σε αρκετά σημεία counters και records για να έχουμε όσα περισσότερα στατιστικά/αποτελέσματα μπορούμε και με βάση αυτά θα περάσουμε παρακάτω στα σενάρια και στα συμπεράσματά μας.

9. Μεθοδολογία

Για τη μεθοδολογία της εργασίας, χρειάστηκε η καθημερινή παρατήρηση της παραγωγικής διαδικασίας για να εξεταστεί η λειτουργία της σε κανονικές συνθήκες. Στη συνέχεια υπήρξε επικοινωνία με όλα τα εμπλεκόμενα άτομα σε κάθε διαδικασία, να αναλύσουν ακριβώς τις διαδικασίες που απαιτούνται για όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

Έπειτα από την ανάλυση των στοιχείων, εξεταζόταν αν αυτά που είπαν οι υπάλληλοι εφαρμόζονται όντως στην πράξη και τι απόκλιση υπάρχει από τα καταστατικά.

Στη συνέχεια έγινε η καταγραφή των στοιχείων και έγινε η αποτύπωση τους στο μοντέλο προσομοίωσης. Εδώ, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του μοντέλου παρατηρούνταν τι στοιχεία ακόμα χρειάζονται για να γίνει πλήρης απεικόνιση της πραγματικότητας. Επίσης, χρειάστηκε να γίνει εκ νέου καταγραφή της διαδικασίας ώστε να καταχωρηθούν τα στοιχεία για να προσαρμοστεί η πραγματικότητα στο υπολογιστικό κομμάτι της εργασίας.

Τα δεδομένα, έπειτα από τη συνεχή παρατήρηση, εισήχθησαν στο μοντέλο με τη χρήση της τριγωνικής κατανομής (TRIA θα εμφανίζεται στους πίνακες με τα αποτελέσματα). Η τριγωνική κατανομή βοηθάει στην προκειμένη περίπτωση διότι μέσα από την καθημερινή παρατήρηση βγήκαν κάποιες μετρήσεις με κάποιες μέγιστες και ελάχιστες τιμές και κάποιες μέσες τιμές. Η τριγωνική κατανομή είναι αυτή που εξυπηρετεί καλύτερα αυτή τη σειρά των μετρήσεων. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, τα δεδομένα είναι εμπειρικά έπειτα από συνεχή παρατήρηση όλων των διαδικασιών της παραγωγικής διαδικασίας και ίσως να μην απέχουν πολύ από την πραγματικότητα.

Καθώς δημιουργούταν το μοντέλο, αρχικά έγινε το στήσιμο των μηχανών με τη σωστή σειρά και στη συνέχεια έγιναν όλες οι απαραίτητες λογικές διαδικασίες ελέγχου ώστε να πραγματοποιείται η σωστή σειρά που προχωράει μία δουλειά με τον αντίστοιχο πραγματικό τρόπο (πχ λογική ελέγχου του setup). Αφού εξασφαλίστηκε η σωστή λογική με το μοντέλο να τρέχει, έπειτα εισήχθησαν τα εμπειρικά δεδομένα για να βγουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

10. Σενάρια και συμπεράσματα

10.1 Κουτιά και χαρτοθήκες

10.1.1 Χρόνος λειτουργίας της παραγωγής

Αφού στήθηκε το μοντέλο και τρέχει σωστά, ήρθε η ώρα να γίνουν οι πρώτες μετρήσεις και να τρέξουν τα πρώτα σενάρια για να βγουν τα συμπεράσματά. Όλα τα σενάρια είναι σκέψεις που έχει στο μυαλό του ο κάθε ιδιοκτήτης/διευθυντής εργοστασίου και με την προσομοίωση μπορεί να τα εφαρμόσει άμεσα και χωρίς κανένα επιπλέον κόστος.

Το πρώτο σενάριο που θα εξεταστεί είναι οι ώρες λειτουργίας ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό έχει να κάνει αν η ΥΣ θα λειτουργεί πέντε, έξι ή επτά ημέρες την εβδομάδα και από πόσες ώρες την κάθε μέρα. Η παραγωγή είναι συνεχόμενη και δε σταματάει ποτέ, οπότε το μόνο σενάριο σε αυτή την περίπτωση είναι αν θα λειτουργεί 16 ώρες την ημέρα (ουσιαστικά χωρίς τη βραδινή βάρδια) ή αν θα είναι 24ωρη η λειτουργία της.

Πίνακας 10.1.1.1 (χρόνος λειτουργίας της παραγωγής)

Tally Variables	Standard (24 working hours)	16 working hours
Production time box trimming	229,73	197,3
Production time ph bobst	221	188,79
Production time box_trimming_adhesive	235,85	203,83
Production time box bobst and adhesive	229,73	197,44
Production time ph trimming	229,07	197,17
Production time box bobst	222,13	187,5
Production time ph adhesive	236,62	204,42
Production time box window	233,6	201,17

Ως standard έχει θεσπιστεί η 24ωρη λειτουργία, καθώς αυτή είναι η αρχική λειτουργία της ΥΣ. Αρχικά έπρεπε να εξεταστεί αν η λειτουργία με 16ωρες βάρδιες θα είχε μικρή ή καθόλου επίπτωση στους παραγωγικούς χρόνους με βάση τους οποίους ορίζονται τα lead times της εταιρείας και γίνονται οι προσφορές προς τους πελάτες.

Στον πίνακα παραπάνω βλέπουμε τον κύκλο παραγωγής μίας παραγγελίας για το κάθε καλούπι για 24 και 16 ώρες λειτουργίας αντίστοιχα. Αρχικά, φαίνεται ότι η 16ωρη βάρδια έχει σημαντικά χαμηλότερους χρόνους παραγωγής αλλά δεν έχουμε κάνει αναγωγή των ωρών σε ημέρες.

Πίνακας 10.1.1.2

Εργάσιμες ημέρες (24h)	Εργάσιμες ημέρες (16h)	Διαφορά
9,57	12,33	-22,375%
9,21	11,80	-21,959%
9,83	12,74	-22,860%
9,57	12,34	-22,430%
9,54	12,32	-22,547%
9,26	11,72	-21,020%
9,86	12,78	-22,832%
9,73	12,57	-22,586%

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η μετατροπή των ωρών σε ημέρες. Καταλαβαίνουμε αμέσως ότι η αύξηση στους χρόνους παραγωγής είναι πολύ σημαντική καθώς όλες οι αυξήσεις κυμαίνονται από 21% έως και 22,9%, το οποίο μεταφράζεται σε τρεις ημέρες. Στις τρεις αυτές ημέρες, η ΥΣ σίγουρα θα μείωνε τα λειτουργικά της κόστη από τη μείωση της χρήσης των μηχανών τις νυχτερινές ώρες, τις έξτρα ώρες χρήσης που θα επιφέρουν παραπάνω βλάβες στις μηχανές αλλά και στην εξάλειψη της βραδινής βάρδιας που επιβαρύνεται παραπάνω στη μισθοδοσία των υπαλλήλων της, αλλά θα έχανε τρεις πολύτιμες ημέρες στην παράδοση του πελάτη, μία κίνηση που θα έχανε στρατηγικό πλεονέκτημα έναντι του ανταγωνισμού. Στον κλάδο των FMCG, η κάθε μέρα είναι πολύτιμη και οι πελάτες θέλουν τα υλικά συσκευασίας τους πάντα όσο πιο γρήγορα γίνεται. Επομένως, οι τρεις παραπάνω ημέρες στην παραγωγή θα ήταν μία καταστροφική κίνηση για την ΥΣ καθώς θα έπρεπε να αλλάξει όλα τα συμβόλαια και τις προσφορές με τους πελάτες της και να ορίσει νέο lead time στις 13 ημέρες, αλλά και οι πελάτες δε θα δεχόντουσαν αυτές τις έξτρα μέρες στην παράδοση των προϊόντων τους οπότε θα κατέφευγαν σε άλλους προμηθευτές. Αυτό με τη σειρά του θα έφερνε αλλαγή και στην τιμολογιακή πολιτική, καθώς για να είναι η ΥΣ ανταγωνιστική και να έχει πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών της θα πρέπει να εκμεταλλευτεί τους πόρους (τα μηχανήματα) που κατέχει. Οι τιμές και όλες οι προσφορές είναι αποτέλεσμα ελέγχου των οικονομικών στοιχείων της παραγωγής και γι' αυτό το λόγο η ΥΣ κατέχει την πρωτιά στον τομέα της στον Ελλαδικό βιομηχανικό χώρο και πρωτεύοντα ρόλο στα Βαλκάνια.

Οπότε, από την πρώτη μικρή σύγκριση συμπεραίνουμε ότι συνεχίζει να μένει η 24ωρη λειτουργία της ΥΣ ως θεσπισμένη λειτουργία της παραγωγής.

10.1.2 Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση

Η ΥΣ είναι σε συνεχή αναζήτηση τρόπων ώστε να μειώσει τους χρόνους παραγωγής -lead time προς τους πελάτες της. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, όταν μία παραγγελία πάρει επιβεβαίωση από τον πελάτη, έχει ένα περιθώριο έξι ημερών για να μπει για εκτύπωση και να ξεκινήσει την παραγωγική της διαδικασία. Αυτό σαν διάστημα είναι αρκετά μεγάλο και ουσιαστικά είναι το 1/3 του lead time

που ορίζει η ΥΣ στους πελάτες της. Σε αυτό το διάστημα γίνονται όλες οι απαραίτητες διαδικασίες και έλεγχοι που εξασφαλίζουν την ομαλή ροή της παραγγελίας. Δοκιμάσαμε να μειώσουμε το χρόνο αναμονής της παραγγελίας από έξι ημέρες που είναι αρχικά, σε πέντε ημέρες το μέγιστο και σε τέσσερις ημέρες αντίστοιχα. Να σημειώσουμε εδώ, ότι σε κάθε σενάριο εφαρμόστηκε ο κανόνας ceteris paribus, δηλαδή ότι όλοι οι άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα παραμένουν σταθεροί.

Πίνακας 10.1.2.1 (χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση)

<u>Tally Variables</u>	<u>Standard (TRIA)</u> <u>(72,94,144)</u>	<u>TRIA</u> <u>(60,72,120)</u>	<u>TRIA</u> <u>(48,72,96)</u>
Production time box trimming	229,73	210,84	199,3
Production time ph bobst	221	201,05	191,63
Production time box_trimming_adhesive	235,85	217,68	207,65
Production time box bobst and adhesive	229,73	209,61	200,25
Production time ph trimming	229,07	209,3	199,49
Production time box bobst	222,13	202	191,52
Production time ph adhesive	236,62	214,09	206,12
Production time box window	233,6	214,49	204,44

Ως standard θεωρούμε το χρόνο αναμονής στις έξι ημέρες. Όπως παρατηρούμε και εδώ, οι διαφορές είναι αρκετά αισθητές. Πάλι όμως θα χρειαστεί να κάνουμε την αναγωγή σε ημέρες για να έχουμε πιο χειροπιαστό αποτέλεσμα των μετρήσεων μας, όπως φαίνεται και στο πινακάκι παρακάτω. Κάθε στήλη του πίνακα 10.1.2.2 αντιστοιχεί στην αντίστοιχη στήλη από τον πίνακα 10.1.2.1. Για παράδειγμα, η πρώτη στήλη του 10.1.2.2 αντιστοιχεί στη στήλη Standard του πίνακα 10.1.2.1.

Πίνακας 10.1.2.2

<u>Εργάσιμες ημέρες</u> (24h)	<u>Εργάσιμες ημέρες</u> (24h)	<u>Εργάσιμες ημέρες</u> (24h)
9,57	8,79	8,30
9,21	8,38	7,98
9,83	9,07	8,65
9,57	8,73	8,34
9,54	8,72	8,31
9,26	8,42	7,98
9,86	8,92	8,59
9,73	8,94	8,52

Πάλι βλέπουμε ότι «κερδίζουμε» δύο μέρες από τον τελικό χρόνο παραγωγής αν απλά επισπεύσουμε τις διαδικασίες που γίνονται πριν ξεκινήσει η παραγωγή. Είναι βέβαιο ότι αυτή η επίσπευση δε θα επιφέρει καμία αλλαγή στην παραγωγική διαδικασία καθώς όλες οι διαδικασίες θα συνεχίζουν να τηρούνται όπως μέχρι τώρα, απλά θα δε υπάρχει τόσο μεγάλο κενό ενδιάμεσά τους.

Για τις επόμενες μετρήσεις θα συνεχίσουμε να κρατάμε το χρόνο αναμονής όπως ήταν αρχικά για να τηρήσουμε το *ceteris paribus* που είπαμε νωρίτερα καθώς θέλουμε να εξετάζουμε κάθε φορά την επίδραση της συγκεκριμένης αλλαγής στην κανονική μέχρι τώρα ροή της παραγωγής.

10.1.3 Χρόνος αναμονής πριν την στάντζα

Η αναμονή πριν την στάντζα είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζει η ΥΣ. Η στάντζα είναι ένα καθολικό στάδιο και είναι το αμέσως επόμενο μετά την εκτύπωση σε όλες τις περιπτώσεις. Όπως αναφέραμε παραπάνω, μετά την εκτύπωση και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των χημικών από τα μελάνια, το φύλλο χαρτί έχει υποστεί μία αλλοίωση στην αντοχή του από την αρχική του κατάσταση. Με βάση τις προδιαγραφές από τις χαρτοβιομηχανίες που προμηθεύεται την α' ύλη αλλά και με βάση τις προδιαγραφές της εκτυπωτικής μηχανής, τα φύλλα πρέπει να «ξεκουραστούν», όπως λένε χαρακτηριστικά στην ΥΣ, για να φύγει η

επίδραση από όλες αυτές τις πιέσεις, να φύγει και ο αέρας που έχουν ανάμεσά τους και να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση και αντοχή. Αυτό απαιτεί χρόνο, με την παραγγελία να κάθεται και να περιμένει τη σειρά της.

Η ΥΣ σκέφτεται να επενδύσει ένα μεγάλο κεφάλαιο και να διαμορφώσει ένα χώρο ειδικά έτσι ώστε να μειώσει αισθητά αυτόν το χρόνο αναμονής. Ο χώρος αυτός θα έχει ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας ώστε να είναι σε βέλτιστες συνθήκες το εκτυπωμένο χαρτόνι και να στεγνώσει γρηγορότερα από ό,τι τώρα.

Σύμφωνα με προσφορές που έχει πάρει η ΥΣ από εταιρείες που αναλαμβάνουν τέτοιες εργασίες, εισάγαμε τα δεδομένα στο μοντέλο ώστε να δούμε τι επίδραση θα έχει στην παραγωγική διαδικασία.

Πίνακας 10.1.3.1 (χρόνος αναμονής πριν τη στάντζα)

Tally Variables	Standard (TRIA (3,4,5))	TRIA(2,3,4)	TRIA(1,2,3)
Production time box trimming	229,73	205,75	181,81
Production time ph bobst	221	196,33	171,88
Production time box trimming adhesive	235,85	212,14	190,08
Production time box bobst and adhesive	229,73	206,12	181,83
Production time ph trimming	229,07	205,47	181,5
Production time box bobst	222,13	196,73	173,17
Production time ph adhesive	236,62	213,84	189,47
Production time box window	233,6	209,12	184,78

Όπως παρατηρούμε, τα αποτελέσματα είναι παραπάνω από εντυπωσιακά. Η τελευταία στήλη δεξιά είναι αρκετά ιδανική περίπτωση αλλά για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα έχει κόστος την πραγματικά τεράστια κατανάλωση ενέργειας όπως επίσης ότι αυτές οι συνθήκες δεν είναι 100% σταθερές, πράγμα που αλλάζει τα δεδομένα. Οπότε θα κρατήσουμε τη μεσαία στήλη (TRIA (2,3,4)) ως επιλογή για τις μετέπειτα συγκριτικές αναλύσεις.

Πίνακας 10.1.3.2

<u>Διαφορά (standard - TRIA (2,3,4)</u>	<u>Εργάσιμες ημέρες (24h)</u>	<u>Εργάσιμες ημέρες (24h)</u>
-10,43834%	9,57	8,57
-11,16290%	9,21	8,18
-10,05300%	9,83	8,84
-10,27728%	9,57	8,59
-10,30253%	9,54	8,56
-11,43475%	9,26	8,20
-9,62725%	9,86	8,91
-10,47945%	9,73	8,71

Στις δύο τελευταίες συγκρίσεις είδαμε ότι η μείωση του χρόνου αναμονής πριν τη στάντζα έχει πιο σημαντικές επιπτώσεις στο χρόνο παραγωγής από ότι η αναμονή πριν την εκτύπωση.

Παρακάτω θα γίνει και μία σύγκριση και των δύο αυτών περιπτώσεων μαζί, αλλά αφού τελειώσουμε πρώτα την κάθε αλλαγή ξεχωριστά.

10.1.4 Αλλαγή καλουπιών για εξάλειψη ξακρίσματος

Ένας άλλος παράγοντας που εξετάζει η ΥΣ αλλά το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης αυξάνονται κατά πολύ, είναι η δημιουργία νέων καλουπιών ώστε να έχουν ενσωματωμένα καθαριστικά με σκοπό να καθαρίζονται τα τεμάχια μέσα στις μηχανές μόνα τους. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να εξαιρεθεί εντελώς η διαδικασία του χειροκίνητου ξακρίσματος.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τους χρόνους παραγωγής με χειροκίνητο ξάκρισμα και χωρίς αυτό.

Πίνακας 10.1.4.1 (εξάλειψη ξακρίσματος)

<u>Tally Variables</u>	<u>Standard (with trimming)</u>	<u>No trimming</u>
Production time box trimming	229,73	N/A
Production time ph bobst	221	220,34
Production time box_trimming_adhesive	235,85	N/A
Production time box bobst and adhesive	229,73	231,62
Production time ph trimming	229,07	N/A
Production time box bobst	222,13	221,74
Production time ph adhesive	236,62	224,82
Production time box window	233,6	233,49

Όπως μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε εδώ, η ενέργεια αυτή δεν έχει το παραμικρό θετικό αποτέλεσμα στην όλη παραγωγική διαδικασία. Η διαφορά των χρόνων παραγωγής είναι αμελητέα. Επίσης, πρέπει να υπολογίσουμε μέσα σε όλα για το ασύμφορο της κίνησης αυτής, το κόστος των καλουπιών. Για να δημιουργηθεί ένα καλούπι και να έρθει στην εταιρεία χρειάζεται περίπου τρεις εβδομάδες. Το κόστος κάθε καλουπιού, αναλόγως την ιδιαιτερότητά του, κυμαίνεται από 800€ - 1000€. Επίσης, για να έρθει και να προσαρμοστεί το καλούπι στη μηχανή χρειάζονται κάποιες αρχικές ρυθμίσεις προσαρμογής του εκτός από τα setup πριν την παραγωγή, χρόνοι setup που θα αυξηθούν λόγω των καθαριστικών. Επιπλέον, τα παλιά καλούπια θα πεταχτούν καθώς δεν υπάρχει κάποιος τρόπος εκμετάλλευσής τους, πχ ανακύκλωση ή μεταπώληση. Ουσιαστικά, είναι μία ασύμφορη κίνηση από όλες τις πλευρές. Ο μόνος τρόπος που αξίζει ή συμφέρει την ΥΣ να σκεφτεί την αγορά καλουπιού με καθαριστικά είναι για μεμονωμένα καλούπια που έχουν πολλή μεγάλη κίνηση από τους πελάτες της και τότε αξίζει να γίνει η αγορά ώστε να μειωθεί μεμονωμένα πάντα ο χρόνος παραγωγής των προϊόντων αυτών. Σε κάθε άλλη περίπτωση, δεν αξίζει.

Από τις μέχρι τώρα συγκρίσεις και αναλύσεις καταλήξαμε σε μερικά χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά, σημειώνουμε πως παραμένει η 24ωρη λειτουργία της όλης παραγωγικής διαδικασίας με τρεις βάρδιες ανά ημέρα. Επίσης, ότι η μείωση του

χρόνου πριν την εκτύπωση και πριν τη στάντζα είχε σημαντικά αποτελέσματα στην ολοκλήρωση του κύκλου παραγωγής. Θα κρατήσουμε και αυτές τις δύο προοπτικές ως εναλλακτικές αλλαγές στο νέο σχεδιασμό της παραγωγής της ΥΣ. Από την άλλη, μία ιδέα που φαινόταν ως η πιο σίγουρη λύση και αυτή που θα έφερνε τα καλύτερα αποτελέσματα, δεν είχε τα επιθυμητά νούμερα. Η αγορά νέων καλουπιών είχε αμελητέα επίδραση στο συνολικό κύκλο παραγωγής. Συνυπολογίζοντας και το υψηλό κόστος της δημιουργίας και την προσαρμογής τους στις υπάρχουσες μηχανές, είναι μία κίνηση αυτομάτως απορρίπτεται.

Αφού καταλήξαμε σε δύο βασικές αλλαγές, θα περάσουμε τα νέα δεδομένα στο μοντέλο για να κάνουμε την τελευταία και πιο ουσιαστική σύγκριση και ανάλυση του αποτελέσματος. Εδώ δε θα κάνουμε χρήση του *ceteris paribus* που αναφέραμε προηγουμένως, καθώς θα αλλάξουμε ταυτόχρονα και τη μείωση του χρόνου αναμονής πριν την εκτύπωση και πριν τη στάντζα.

Πίνακας 10.1.4.2 (συγκριτική ανάλυση χρόνου αναμονής πριν την εκτύπωση και πριν τη στάντζα)

<u>Tally Variables</u>	<u>Standard</u>	<u>TRIA(2,3,4) και TRIA (48,72,96)</u>	<u>Εργάσιμες ημέρες (24h)</u>	<u>Εργάσιμες ημέρες (24h)</u>
Production time box trimming	229,73	175,5	9,57	7,31
Production time ph bobst	221	167,34	9,21	6,97
Production time box_trimming_adhesive	235,85	181,75	9,83	7,57
Production time box bobst and adhesive	229,73	174,9	9,57	7,29
Production time ph trimming	229,07	175,08	9,54	7,30
Production time box bobst	222,13	167,71	9,26	6,99
Production time ph adhesive	236,62	180,98	9,86	7,54
Production time box window	233,6	179,92	9,73	7,50

Όπως βλέπουμε στον πίνακα παραπάνω, τα αποτελέσματα από τη συνδυαστική αλλαγή είναι εντυπωσιακά. Σε όλους τους κύκλους παραγωγής, οι ημέρες ολοκλήρωσης είναι κάτω από τις 8, ενώ σε μία περίπτωση είναι οριακά στις

7. Οι 7 ημέρες για ολοκλήρωση παραγωγής δεν είναι απλά ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα, είναι game changer, όπως χρησιμοποιούν και στο εξωτερικό. Οι ανταγωνιστές στον κλάδο για αυτά τα είδη προϊόντων δίνουν lead time περίπου τρεις εβδομάδες, δηλαδή 15 μέρες το μέγιστο με ένα μέσο όρο τις 12 ημέρες. Οι 2 ημέρες παραπάνω σε συνδυασμό με την πολύ φθηνή τιμή που παρέχουν οι ανταγωνιστές ώστε να πάρουν μερίδιο στην αγορά κάνουν τον πελάτη να σκεφτεί αυτή την προοπτική, χωρίς να σκεφτεί καθόλου το τελικό ποιοτικό αποτέλεσμα, την after sales υποστήριξη και την ευελιξία της κάθε εταιρείας. Τώρα όμως, με την πιθανή εφαρμογή αυτών των αλλαγών και το lead time να μειώνεται στις 8 μέρες το μέγιστο, ήτοι τα 2/3 από τους ανταγωνιστές, ο πελάτης δε θα σκεφτεί την εναλλακτική του φθηνού προμηθευτή γιατί όπως πάντα, χρειάζεται το προϊόν όσο γρηγορότερα γίνεται. Επίσης, αυτό που κάνουν αρκετοί πελάτες για να είναι και αυτοί καλυμμένοι, είναι να έχουν ένα βασικό προμηθευτή για τα υλικά τους και έναν δεύτερο να καλύπτει κάποιες πολύ έκτακτες ανάγκες που τυχόν δε μπορεί να καλύψει ο πρώτος. Με τη μείωση της παραγωγής σε 8 ημέρες, εξαλείφεται η ανάγκη του πελάτη να έχει πολλαπλά συμβόλαια με διάφορους προμηθευτές και προχωράει σε αποκλειστική συνεργασία και έτσι η ΥΣ μετατρέπεται σε μοναδικό προμηθευτή.

Εδώ έχει σημασία να αναφέρουμε και άλλα αποτελέσματα που είναι χρήσιμα για τα συμπεράσματά μας, καθώς φαίνεται η αύξηση στις τελικές ποσότητες της παραγωγής σε ακριβή νούμερα και όχι σε ποσοστά. Έχουμε τονίσει στον πίνακα παρακάτω τέσσερα στατιστικά που είναι τα πιο σημαντικά.

Πίνακας 10.1.4.3 (ποσοτικές μετρήσεις συγκριτικής ανάλυσης)

Counters	Standard	TRIA(2,3,4) και TRIA (48,72,96)
Paper holder bobst counter	569	640
Orders in	6079	6285
Total orders bobst	6055	6263
Bobst setup counter	5079	5242
box bobst and adhesive completed	966	1002
Jagenberg counter	1105	1117

Trimmed boxes	3476	3608
Alba counter	1356	1359
Box bobst counter	656	657
Box_trimming_adhesive completed	967	987
PH bobst completed	568	640
box window	393	357
Total orders printed	6069	6272
Orders completed	6055	6259
box bobst and adhesive	970	1006
Box bobst completed	655	653
Box trimming completed	1431	1523
Untrimmed boxes	2579	2652
Paper holder trimming counter	943	975
Box adhesive counter	970	992
box trimming	1439	1528
Alba setup counter	895	916
Jagenberg setup counter	722	733
Printing setup counter	5087	5294
Paper holder adhesive counter	139	130
Window formed count	390	356
PH adhesive completed	138	130
PH trimming completed	940	968
Box window completed	390	356

Βλέπουμε ότι οι συνολικές παραγγελίες που ήρθαν σε αυτό το διάστημα αυξήθηκαν κατά 3,38% και αυτές που ολοκληρώθηκαν αυξήθηκαν κατά 3,36%. Επίσης βλέπουμε την ομαλή ροή της παραγωγικής διαδικασίας καθώς από το σύνολο των παραγγελιών, μόνο το 0,23% δεν πέρασε στο επόμενο στάδιο της στάντζας και ότι από το σύνολο των παραγγελιών, το 0,39% δεν ολοκληρώθηκε παραγωγικά. Αυτό βέβαια έχει να κάνει καθαρά με το χρονικό όριο που έχουμε θεσπίσει να τρέξει η προσομοίωσή μας. Ό, τι νούμερο και να βάζαμε στο χρόνο της προσομοίωσης, πάντα

θα είχε ανολοκλήρωτες παραγωγές γιατί όταν θα έφτανε το τέλος κάποιες παραγωγές θα ήταν στη μέση και δε θα είχαν τελειώσει.

Με την ολοκλήρωση αυτών των μετρήσεων και την μαρτυρία των εξαιρετικών αυτών αποτελεσμάτων, η ΥΣ ζήτησε να εξετάσουμε την επίπτωση της προσθήκης δεύτερης μηχανής στάντζας. Με τη λογική ότι θα διαχωρίζονται οι δουλειές που θέλουν ξάκρισμα ή όχι σε κάθε στάντζα και έτσι θα γλιτώνουμε περισσότερο ενδιαμέσο χρόνο.

Πίνακας 10.1.4.4 (προσθήκη 2^{ης} μηχανής στάντζας)

Tally Variables	Standard (μία bobst)	2η bobst μηχανή
Production time box trimming	229,73	221,88
Production time ph bobst	221	203,3
Production time box_trimming_adhesive	235,85	228,35
Production time box bobst and adhesive	229,73	214,86
Production time ph trimming	229,07	221,01
Production time box bobst	222,13	204,25
Production time ph adhesive	236,62	230,33
Production time box window	233,6	217,51

Στο πινακάκι παρατηρούμε ότι όντως υπάρχει μείωση του χρόνου παραγωγής, ήταν αναμενόμενο άλλωστε. Επίσης, η μείωση που βλέπουμε δεν είναι αμελητέα, αλλά αν υπολογίσουμε το κόστος που απαιτείται για τη μελέτη, τη μεταφορά, την εγκατάσταση, τη ρύθμιση της νέας μηχανής στα δεδομένα της ΥΣ, την εκπαίδευση του προσωπικού για τη νέα μηχανή, την πρόσληψη νέου προσωπικού για την κάλυψη των θέσεων που θα προκύψουν τότε θα καταλάβουμε ότι όλα αυτά τα κόστη δεν αξίζουν να ληφθούν υπόψη ώστε να προστεθεί δεύτερη μηχανή. Τα

κόστη είναι υπέρογκα και οι 19 ώρες που μειώνεται η παραγωγή στην καλύτερη των περιπτώσεων δε δικαιολογεί την αγορά νέας μηχανής.

Μία σημαντική παρατήρηση που οφείλουμε να κάνουμε σε αυτό το σημείο είναι ότι αυτοί οι χρόνοι είναι καθαρά χρόνοι παραγωγής (lead time). Η μεταφορά των υλικών προς τον πελάτη είναι μία τελείως ξεχωριστή διαδικασία και εξαρτάται από άλλους παράγοντες όπως πχ αν έχει ορίσει ο πελάτης συγκεκριμένη ημερομηνία παραλαβής. Ο τρόπος συσκευασίας των παλετών και ο χώρος αποθήκευσης εξασφαλίζουν στον πελάτη ότι το προϊόν μπορεί να «κάθεται» μέχρι και 3 μήνες. Μετά από αυτό το διάστημα, η ΥΣ δεν έχει καμία ευθύνη για πιθανή αλλοίωση του τελικού προϊόντος. Αυτός είναι και ο λόγος που σε κάθε συμβόλαιο/προσφορά προς τον πελάτη ορίζεται ως μέγιστος χρόνος αποθήκευσης στους χώρους της ΥΣ οι δύο μήνες. Έχοντας ορίσει ως δύο μήνες αποθήκευσης, η ΥΣ διαχωρίζει τη θέση της προς τους πελάτες ξεκαθαρίζοντας ότι είναι εταιρεία παραγωγής και όχι εταιρεία logistics και με αμοιβαία συνεργασία αποδεσμεύεται ό,τι απόθεμα τυχόν έχει ξεμείνει παραπάνω από δύο μήνες.

10.2 Welle/Odule

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα σενάρια μας που προέκυψαν από την παρατήρηση των δεδομένων καθώς και την πρόταση μέτρων για τη μείωση του χρόνου παραγωγής στη γραμμή παραγωγή για τα odule.

Σε αυτή την περίπτωση, επειδή η γραμμή παραγωγής είναι συνεχόμενη και ενιαία, οι προτάσεις μας είναι πιο περιορισμένες σε σχέση με τη γραμμή παραγωγής για τα κουτιά και τις χαρτοθήκες. Βέβαια, ένα μέτρο είναι και εδώ κοινό, καθώς είναι αυτό που είχε και τη μεγαλύτερη επιρροή και αυτό είναι η δημιουργία ενός ειδικά διαμορφωμένου χώρου για τη «ξεκούραση» του χαρτονιού όπως αναφέραμε και παραπάνω.

10.2.1 Χρόνος αναμονής πριν την λαμιναριστική

Τα οφέλη από τη δημιουργία του ειδικού χώρου τα καλύψαμε παραπάνω, οπότε θα παρουσιάσουμε απ' ευθείας τα δεδομένα με τις νέες μετρήσεις στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10.2.1.1 (χρόνος αναμονής πριν τη λαμιναριστική)

Tally variables	Standard (TRIA (4,5,5.5)	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,3)	Εργάσιμες ημέρες	Εργάσιμες ημέρες	Εργάσιμες ημέρες
Production time bobst_trimming_folder glue	256,09	213,71	204,86	10,67	8,90	8,53
Production time bobst and folder glue	232,32	187,09	179,2	9,68	7,79	7,46
Production time bobst only	226,91	182,79	174,96	9,45	7,61	7,29
Production time bobst and trimming	252,56	207,97	197,44	10,52	8,66	8,22

Όπως παρατηρούμε και εδώ, τα αποτελέσματα είναι και εδώ εντυπωσιακά, όπως περιμέναμε άλλωστε καθώς η αναμονή αυτή μετά την εκτύπωση είναι το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου παραγωγής ενός προϊόντος.

Στην καλύτερη περίπτωση η ΥΣ κερδίζει δυόμιση ημέρες από την παραγωγή ενός προϊόντος. Αυτό από μόνο του είναι τεράστια διαφορά συγκριτικά με την υπάρχουσα κατάσταση αλλά ειδικά με τον ανταγωνισμό. Όταν στον ανταγωνισμό, για την offset εκτύπωση ενός οδύλε κουτιού απαιτούνται τουλάχιστον τρεις εβδομάδες (15 εργάσιμες μέρες) και αυτό μάλιστα να θεωρείται ως άμεση παράδοση, είναι άμεσα κατανοητό το πλεονέκτημα που θα έχει η ΥΣ με τη σταθεροποίηση της παραγωγής της στις 8 ημέρες το μέγιστο.

10.2.2 Χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι με αυτό το αποτέλεσμα μόνο, η ΥΣ δε χρειάζεται να ψάξει να βελτιώσει περαιτέρω την παραγωγή της, αλλά ο σκοπός είναι να φτάσουμε στο σημείο που να μην επιδέχεται περαιτέρω βελτίωση.

Γι' αυτό θα προχωρήσουμε στο επόμενο σενάριο το οποίο είναι και εδώ η μείωση του χρόνου προς εκτύπωση. Αναφέραμε πιο πάνω ότι η εκτύπωση έχει στη διάθεσή της από έως και έξι ημέρες για να εκτυπωθεί μία νέα παραγγελία. Στις πρώτες τρεις ημέρες γίνονται οι επανέλεγχοι για τυχόν λάθη που δεν έγιναν αντιληπτά την πρώτη στιγμή. Με την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δημιουργίας και εύρεσης της α' ύλης καθώς και της άμεσης δημιουργίας των τσίγκων, μπορούμε να μειώσουμε το χρόνο πριν την εκτύπωση έως και δύο ημέρες και έτσι να έχει περιθώριο από δύο έως τέσσερις ημέρες για να εκτυπωθεί η νέα παραγγελία.

Στο παρακάτω πινακάκι βλέπουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Πίνακας 10.2.2.1 (χρόνος αναμονής πριν την εκτύπωση)

<u>Tally variables</u>	Standard (TRIA (72,96,144)	<u>TRIA</u> (60,72,120)	<u>TRIA</u> (48,72,96)	<u>Εργάσιμες</u> <u>ημέρες</u>	<u>Εργάσιμες</u> <u>ημέρες</u>	<u>Εργάσιμες</u> <u>ημέρες</u>
Production time bobst trimming folder glue	256,09	238,99	224,23	10,67	9,95	9,34
Production time bobst and folder glue	232,32	211,81	200,32	9,68	8,82	8,34
Production time bobst only	226,91	206,93	194,9	9,45	8,62	8,12
Production time bobst and trimming	252,56	233,31	219,49	10,52	9,72	8,14

Με τη συγκεκριμένη μείωση, παρατηρούμε ότι το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι τόσο συναρπαστικό αλλά οι δύο μέρες νωρίτερης εκτύπωσης και η μία μέρα

που κερδίζουμε είναι ένα μικρό κέρδος με πραγματικά μηδενικό κόστος. Ειδικά, σε συνδυασμό με το μειωμένο χρόνο μετά την εκτύπωση, όπως θα δούμε στη συνέχεια, είναι μία κίνηση που μόνο θετικά μπορεί να έχει στην όλη παραγωγική διαδικασία.

Όπως και πριν, έτσι και εδώ αφήσαμε για τελευταίο σενάριο το συνδυασμό της μείωσης του χρόνου πριν και μετά την εκτύπωση, του οποίου τα αποτελέσματα είναι και εδώ εξαιρετικά και μας δείχνουν τη σημαντικότητα της προσομοίωσης σαν μέθοδος ανάλυσης.

Πίνακας 10.2.2.2 (συγκριτική ανάλυση χρόνου αναμονής πριν την εκτύπωση και πριν τη λαμιναριστική)

Tally variables	Standard	Μείωση printing delay και delay welle	Εργάσιμες ημέρες	Εργάσιμες ημέρες
Production time bobst trimming folder glue	256,09	171	10,67	7,12
Production time bobst and folder glue	232,32	148,96	9,68	6,20
Production time bobst only	226,91	142,84	9,45	5,95
Production time bobst and trimming	252,56	164,93	10,52	6,87

Πλέον με μόνο αυτές τις δύο αλλαγές, έχουμε φτάσει αισίως να παράγει η ΥΣ μία παραγγελία για κουτί welle (τρίφυλλο) σε λιγότερο από 8 ημέρες. Να σημειώσουμε ότι μιλάμε πάντα για σταθεροποιημένες καταστάσεις της παραγωγής όπου η μείωση αυτή δε θα επιφέρει ουδεμία αλλαγή στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Με αυτή την παράδοση, οι πελάτες της ΥΣ που κατά κύριο λόγο προμηθεύουν τα σούπερ μάρκετ αλλά κάνουν και εξαγωγές στο εξωτερικό θα στραφούν σχεδόν αποκλειστικά στην ΥΣ για τη συνεργασία τους. Οι συγκεκριμένοι

πελάτες, λόγω της ιδιαιτερότητας των χαρτόδισκων σαν παραγωγή, είχαν πάντα δύο προμηθευτές για να είναι καλυμμένοι με της ημερομηνίες παράδοσης που επιθυμούν. Με αυτή τη δραματική μείωση στους χρόνους, μπορεί και η ΥΣ να προσφέρει ακόμη πιο ανταγωνιστικές τιμές και να πάρει μερίδιο αγοράς, ακόμη και από εταιρείες που έχουν flexo εκτυπώσεις, που εξ' ορισμού είναι πιο γρήγορες και γι' αυτό το λόγο πιο φθηνές από τις offset. Έτσι, η ΥΣ εδραιώνει τη θέση της όχι μόνο ανάμεσα στους ανταγωνιστές της (offset) αλλά και στην ευρύτερη αγορά των εκτυπώσεων.

Αναλύοντας τις σημαντικότερες βλέψεις που έχει η ΥΣ και μελετώντας τα σενάρια, υπάρχουν και κάποια σενάρια τα οποία δε χρειάστηκε να τα παρουσιάσουμε καθώς διαπιστώθηκε από τα κουτιά και τις χαρτοθήκες ότι δε συμφέρουν καθόλου. Ένα εξ' αυτών είναι και η αγορά καλούπιών ώστε να εξαλειφθεί το ξάκρισμα. Στην προκειμένη περίπτωση, τα καλούπια είναι λίγο πιο ακριβά, με μέγιστο ποσό τα 1.200€ ανά καλούπι και επιπλέον η εγκατάστασή τους είναι πιο χρονοβόρα. Δεδομένου επίσης ότι οι περισσότερες welle παραγγελίες είναι με ξάκρισμα (στη standard αναφορά μας, η Trimming Utilization είναι της τάξης του 87,212%), αυτομάτως αντιλαμβανόμαστε ότι το κόστος και εδώ θα είναι τεράστιο, μαζί με το χρόνο που θα χρειαστεί για να φτιαχτούν όλα τα καλούπια και να έρθουν. Στον ίδιο χρόνο, θα μπορέσει να δημιουργηθεί ο ειδικός χώρος που θα πηγαίνει το εκτυπωμένο χαρτόνι αλλά και οι πρώτες ύλες για να ξεκουράζονται και να αποθηκεύονται σε ιδανικές ελεγχόμενες συνθήκες.

Επίσης, η ΥΣ σκέφτηκε την πρόσληψη επιπλέον προσωπικού μόνο για το στάδιο του ξακρίσματος στα welle κουτιά αλλά έπειτα από μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι κερδίζει μόλις μία μέρα τελικής παραγωγής αλλά αυτό έρχεται με σημαντική αύξηση του κόστους παραγωγής καθώς εκτός από τους επιπλέον μισθούς του προσωπικού, θα χρειαστεί και επιπλέον εξοπλισμό για το χειροκίνητο ξάκρισμα.

11. Σύνοψη

Με την ολοκλήρωση της μελέτης μας είδαμε και στην πράξη τη σημαντικότητα της προσομοίωσης στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον. Ακόμα και μία σύγχρονη και ανταγωνιστική βιομηχανική μονάδα, όπως η ΥΣ, έχει την ανάγκη της προσομοίωσης ως μέτρο για τη λήψη σημαντικών αποφάσεων που αφορούν άμεσα τη λειτουργία της. Οι αποφάσεις που μελετήσαμε, χωρίς την προσομοίωση θα βασιζόντουσαν μόνο σε αρχικές μελέτες και θα είχαν πάντα το ρίσκο της αποτυχίας ή του να μην είχαν λάβει υπόψη κάποιους παράγοντες. Με την προσομοίωση αυτό το ρίσκο εξαλείφεται εντελώς καθώς στιδήποτε και να προκύψει μπορούμε να το προσαρμόσουμε στο υπάρχον μοντέλο και να το τρέξουμε ξανά από την αρχή.

Η έρευνα μας θέτει τα θεμέλια ώστε ακόμη περισσότερες εταιρείες της ελληνικής βιομηχανίας να στρέψουν την προσοχή τους στα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα διαχείρισης λήψης αποφάσεων. Αυτό δεν περιορίζεται μόνο για εταιρείες του ίδιου κλάδου, αλλά γενικά για τη βιομηχανία.

Η παρούσα εργασία αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μετέπειτα μελέτη της ΥΣ καθώς πάνω σε αυτό το μοντέλο μπορεί να εισάγει διάφορες παραμετροποιήσεις για μελλοντικά σχέδια που αφορούν τις γραμμές παραγωγής της. Αυτό έχει να κάνει με εισαγωγή νέων σταθμών εργασίας ανάμεσα στις μηχανές για καλύτερο έλεγχο του τελικού αποτελέσματος, ή καλύτερα υλικά στις υπάρχουσες μηχανές ώστε να βελτιώσουν την απόδοσή τους (πχ πιο ποιοτικά μαχαίρια κοπτικής, καλύτερη ταινία κόλλας, πιο γρήγορα ρουλεμάν για γρηγορότερη και πιο σταθερή κίνηση των προϊόντων στις κολλητικές μηχανές) και άλλα.

Βέβαια, η παρούσα μελέτη περίπτωσης περιορίζει τη χρήση της μόνο στην ΥΣ καθώς οποιαδήποτε άλλη εταιρεία, ακόμη και από τον ίδιο κλάδο, έχει διαφορετικό τρόπο λειτουργίας, πόρων ή προγράμματος παραγωγής που την καθιστά ξεχωριστή περίπτωση εντελώς.

Επίσης, η παρούσα έρευνα περιορίζεται και στην ίδια ΥΣ καθώς η χρήση της αφορά μόνο την παραγωγική διαδικασία. Έχουν μείνει εκτός άλλοι παράγοντες της λειτουργίας της που δεν τους λάβαμε υπόψη, όπως η λειτουργία της αποθήκης, η λειτουργία του καθαρισμού και της συντήρησης των μηχανών, της εποπτείας του τελικού αποτελέσματος (ποιοτικός έλεγχος).

Η προσωπική μου άποψη με όλα αυτά τα σενάρια που εξετάσαμε και που ενδιαφέρουν την ΥΣ να εφαρμόσει, είναι αρχικά να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για να εκτυπωθεί μία παραγγελία. Είναι μία κίνηση που δεν έχει το παραμικρό επιπλέον κόστος για την ΥΣ και μπορεί από μόνο του να χαρίσει μερικά πολύ καλά αποτελέσματα στους χρόνους παραγωγής-παράδοσης. Πάντα με την προϋπόθεση ότι όλες οι διαδικασίες που είναι να γίνουν, θα έχουν αυτοματοποιηθεί και δεν ελλοχεύει πουθενά ο κίνδυνος μία παραγγελία να εκτυπωθεί λάθος. Σαν δεύτερη κίνηση, θα πρέπει να προχωρήσει στην κατασκευή του ειδικού χώρου ώστε να πηγαίνει η α' ύλη αλλά και το εκτυπωμένο χαρτόνι ώστε να περιμένει τον ελάχιστο δυνατό χρόνο μέχρι να προχωρήσει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Ως τρίτο και τελευταίο μέτρο, που δε θα βελτιώσει τους συνολικούς χρόνους παραγωγής, αλλά μεμονωμένα περιστατικά είναι η μελέτη των καλουπιών που έχουν την περισσότερη κίνηση και να αγοράσει νέα καλούπια με καθαριστικά για να εξαλειφθεί εντελώς το χειροκίνητο ξάκρυσμα.

Βιβλιογραφία

Arief LB and Speirs NA (2000). A UML tool for an automatic generation of simulation programs. In: Proceedings of the second International Workshop on Software and Performance (WOSP 2000) ACM Press: New York, pp 71–76.

Baines, T., L. Hadfield, S. Mason, and J. Ladbroke. 2003. Using empirical evidence of variations in worker performance to extend the capabilities of discrete event simulations in manufacturing. In Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, ed. S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice. 1210-1216. Piscataway, New Jersey: IEEE.

Banks J et al (2003). The future of the simulation industry. In: Chick S, Sanchez PJ, Ferrin D and Morrice DJ (eds). Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. IEEE, Picataway, NJ, pp 2033–2043.

Barton RR et al (2003). Panel: simulation — past, present and future. In: Chick S, Sanchez PJ, Ferrin D and Morrice DJ (eds). Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. IEEE, Picataway, NJ, pp 2044–2050.

Cassio Rangel Paulista, Túlio Almeida Peixoto, Joao Jose de Assis Rangel (2019). Modeling and discrete event simulation in industrial systems considering consumption and electrical energy generation

Fiddy E, Bright JG and Hurrion RD (1981). SEE-WHY: interactive simulation on the screen. Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers C293/81, I. Mech. E., London, pp 167–72.

Gujarathi, N. S., R. M. Ogale, and T. Gupta. 2004. Production capacity analysis of a shock absorber assembly line using simulation. In Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, ed. R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, 1213-1217. Piscataway, New Jersey: IEEE.

Hollocks B (1992). A well-kept secret? Simulation in Manufacturing Industry Reviewed. OR Insight 5(4): 12–17.

Hollocks BW (2001). Discrete-event simulation: an inquiry into user practice. Simulation Practice and Theory 8: 451–471.

Hurrion RD (1976). The design, use and required facilities of an interactive visual computer simulation language to explore production planning problems. PhD thesis, University of London.

Longo F, Mirabelli G (2009), Effective design of an assembly line using modelling and simulation, Journal of Simulation 2009

Longo F, Mirabelli G and Papoff E (2005a). Material flow analysis and plant lay-out optimization of a manufacturing system. In: Proceedings of Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, September 5–7, IEEE: Sofia (Bulgaria), pp 727–731.

Matloff, Norm (2013). "Introduction to Discrete-Event Simulation and the SimPy Language"

Ohno, Taiichi (June 1988). Toyota Production System - beyond large-scale production. Productivity Press. p. 29.

Pidd M (1984). Computer simulation for operational research in 1984. In: Eglese R and Rand G (eds). Developments in Operational Research. Pergammon Press: Oxford, UK, pp 19–30.

Pidd M (1992). Object orientation and three phase simulation. In: Swain JJ, Goldsman D, Crain RC and Wilson JR (eds). Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference. IEEE, Piscataway, NJ, pp 689–693.

Richard E. Nance (1993), A history of discrete event simulation programming languages, Chapter VIII, p. 373

Robinson S (2001). Soft with a hard centre: discrete-event simulation in facilitation. *J Opl Res Soc* 52(8): 905–915.

Robinson S (2004). Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?

Robinson S et al (2004). Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles. *Simul Modell Proact Theory*, Forthcoming.

Rohrer MW and McGregor IW (2002). Simulating reality using AutoMod. In: Yucesan E, Chen C-H, Snowden SL and Charnes JM (eds). Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. IEEE, Piscataway, NJ, pp 173–181.

Scott Miller, Dennis Pegden. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference (2000). Introduction to manufacturing simulation (2000), p. 63-66

Solomon (700BC). Proverbs Chapter 29, Verse 18. In: The Bible, Authorized King James Version. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stewart Robinson (2004). Simulation – The practice of model development and use.

T. Johnson, R.S. Kaplan, *Relevance Lost*, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1987.

Tocher KD (1963). *The Art of Simulation*. The English Universities Press: London.

Wolverine. www.wolverinesoftware.com/wolverin.htm, accessed March 2004.

Zandin KB (2001). Maynard's Industrial Engineering Handbook, 5th edition, McGraw-Hill: New York

Βασίλης Κουικόγλου, Δημήτρης Κωνσταντάς (2016). Προσομοίωση Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων, Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ

<https://www.anylogic.com/use-of-simulation>

<https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Arena_\(software\)#cite_note-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Arena_(software)#cite_note-2)

https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete-event_simulation

Παράρτημα

Counters	Standard	TRIA(2,3,4) και TRIA (48,72,96)
Paper holder bobst counter	569	640
Orders in	6079	6285
Total orders bobst	6055	6263
Bobst setup counter	5079	5242
box bobst and adhesive completed	966	1002
Jagenberg counter	1105	1117
Trimmed boxes	3476	3608
Alba counter	1356	1359
Box bobst counter	656	657
Box_trimming_adhesive completed	967	987
PH bobst completed	568	640
box window	393	357
Total orders printed	6069	6272
Orders completed	6055	6259
box bobst and adhesive	970	1006
Box bobst completed	655	653
Box trimming completed	1431	1523
Untrimmed boxes	2579	2652
Paper holder trimming counter	943	975
Box adhesive counter	970	992
box trimming	1439	1528
Alba setup counter	895	916
Jagenberg setup counter	722	733
Printing setup counter	5087	5294
Paper holder adhesive counter	139	130
Window formed count	390	356
PH adhesive completed	138	130
PH trimming completed	940	968
Box window completed	390	356

Πίνακας 10.1.4.3 (σελίδα 44) (ποσοτικές μετρήσεις συγκριτικής ανάλυσης χρόνου αναμονής πριν την εκτύπωση και πριν τη στάντζα)