



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία
Ειδίκευση: Διοίκηση Logistics

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σεβαστίδου Αικατερίνη Φαίδρα
Α.Μ. 1619

Πειραιάς,
Ιούνιος 2018

Επιβλέποντες:

Εμίρης Δημήτρης

Μαρεντάκης Χαράλαμπος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, με κατεύθυνση Διοίκηση Logistics, του Πανεπιστημίου Πειραιά. Κύριο αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη των μεθόδων συντήρησης παραγωγικού εξοπλισμού και της επίδρασης που ασκούν στη δυναμικότητα του. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, σχεδιάστηκε ένα μοντέλο μελέτης των στρατηγικών συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού με τη χρήση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo. Επιπλέον, σχεδιάστηκε ένα πλάνο χρονοπρογραμματισμού εντολών παραγωγής και συντήρησης με εφαρμογή σε περιβάλλον ERP και συγκεκριμένα στο σύστημα SAP.

Στο σημείο αυτό αποδίδονται ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Μαρεντάκη Χ. για την συμβολή του στην συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας μέσω της γνώσης και της εμπειρίας του, καθώς, και στον κ. Εμίρη Δ. για την συνεχή στήριξη και καθοδήγηση κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Πειραιάς, Ιούνιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά το χρονικό διάστημα συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού διακόπτεται η παραγωγική διαδικασία που εκτελεί. Για να μην διακόπτεται η παραγωγική του διαδικασία μακροπρόθεσμα, λόγω απρόβλεπτων βλαβών, πρέπει να συντηρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έχει παρατηρηθεί ότι, η παραγωγική διαδικασία και η διαδικασία της συντήρησης είναι «αντίπαλες» διαδικασίες ως προς τη δέσμευση του χρόνου του παραγωγικού εξοπλισμού που απαιτούν. Για το λόγο αυτό, στα περισσότερα παραγωγικά συστήματα οι διαδικασίες παραγωγής και συντήρησης προγραμματίζονται και εκτελούνται ανεξάρτητα. Η απόδοση, όμως, ανεξάρτητων πολιτικών συντήρησης και παραγωγής έχει κριθεί ανεπαρκής [1].

Η πολιτική της ταυτόχρονης παρακολούθησης των διαδικασιών παραγωγής και συντήρησης και ο ταυτόχρονος προγραμματισμός παραγωγικών εντολών και αποφάσεων συντήρησης επιφέρουν βελτίωση της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας [2] και αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας. Συνολικά, η παρούσα εργασία μελετά την δέσμευση της δυναμικότητας του παραγωγικού εξοπλισμού για διαδικασίες παραγωγής και για διαδικασίες συντήρησης. Κύριος σκοπός της μελέτης των διαδικασιών αυτών είναι να δημιουργηθεί ένα μοντέλο βελτίωσης της αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος και κατ' επέκταση ένα μοντέλο βελτίωσης της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας, θεωρώντας ότι οι διαδικασίες της συντήρησης λειτουργούν «βοηθητικά» των παραγωγικών διαδικασιών.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε ένα νέο μοντέλο συντήρησης παραγωγικού εξοπλισμού με τη **μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo**, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή προσομοίωσης **@Risk**. Το στοχαστικό μοντέλο συντήρησης που προτείνεται προσομοιώνει μια σημαντική παράμετρο της συντήρησης, που δεν έχει προταθεί μέχρι στιγμής, η οποία αφορά στην εξάρτηση της πιθανότητας αστοχίας του εξοπλισμού από τη συχνότητα εφαρμογής προληπτικής συντήρησης επί του εξοπλισμού. Συνολικά, μέσω του **στοχαστικού μοντέλου** συντήρησης εκτιμάται η αξιοπιστία και η δυναμικότητα του παραγωγικού εξοπλισμού, καθώς και η ακριβής επίδραση των επιμέρους παραμέτρων του συστήματος στα δεδομένα αυτά. Με τη χρήση πρόσθετων διαδικασιών (όπως π.χ. η στοχοθεσία) το μοντέλο αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο λήψης αποφάσεων προγραμματισμού συντήρησης. Παρατηρείται ότι, παραδοχές που έγιναν, όπως το γεγονός ότι τα ανταλλακτικά και τα αναλώσιμα δεν αποτελούν παράμετρο του μοντέλου, αποτελούν σημεία ενδεχόμενης επέκτασης ή τροποποίησης του μοντέλου.

Επίσης, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, κατασκευάστηκε ένα πλάνο προγραμματισμού του παραγωγικού εξοπλισμού σε **περιβάλλον πληροφοριακού συστήματος (ERP)**. Μέσω του

πλάνου προγραμματισμού γίνεται η διαχείριση της δυναμικότητας του προσομοιωμένου παραγωγικού συστήματος, το οποίο έχει δεδομένο φόρτο παραγωγής και δεδομένες απαιτήσεις προληπτικής συντήρησης. Σκοπός της ανάπτυξης του πλάνου παραγωγής και συντήρησης είναι η ταυτόχρονη βελτίωση της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας και της διαδικασίας συντήρησης. Συνολικά, το πλάνο προγραμματισμού αποτελεί μια προσπάθεια υλοποίησης του στοχαστικού μοντέλου σε πραγματικό περιβάλλον εργασίας, παρά τις επιπλέον παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η συντήρηση παραγωγικού εξοπλισμού σε θεωρητική βάση. Συγκεκριμένα, δίνονται ορισμοί βασικών εννοιών (όπως δυναμικότητα, συντήρηση, αστοχία) και αναλύονται οι τυπικές στρατηγικές συντήρησης. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι έννοιες του χρόνου ζωής του εξοπλισμού, της αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος, του κόστους συντήρησης και του πλάνου συντήρησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το **στοχαστικό μοντέλο** συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού, υλοποιημένο σε πρόγραμμα @Risk, με τη χρήση της μεθόδου προσομοίωσης **Monte Carlo**. Αρχικά, δίνονται οι ορισμοί της προσομοίωσης και της στοχαστικής προσομοίωσης Monte Carlo. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά το στοχαστικό μοντέλο συντήρησης που προτείνεται, παραθέτοντας την ανάλυση του παραγωγικού περιβάλλοντος, τις παραμέτρους της προσομοίωσης, το σχεδιασμό σεναρίων μελέτης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο υλοποιείται το **πλάνο χρονοπρογραμματισμού** παραγωγής και συντήρησης σε περιβάλλον πληροφοριακού συστήματος. Συγκεκριμένα, αναλύεται το Πληροφοριακό Σύστημα ως μέρος της επιχειρησιακής δραστηριότητας. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ανάλυση του παραγωγικού περιβάλλοντος που προσομοιώνεται στο **σύστημα SAP**, οι παράμετροι της προσομοίωσης, τα δεδομένα φόρτου εργασίας και συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού και η ανάλυση πιθανών ενδεχόμενων προγραμμάτων.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και τα σημεία για περαιτέρω ανάπτυξη του προτεινόμενου στοχαστικού μοντέλου.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση, Δυναμικότητα, Προσομοίωση Monte Carlo, Ανάλυση αξιοπιστίας, Πλάνο παραγωγής, Πλάνο συντήρησης

ABSTRACT

Production scheduling and maintenance planning are two interdependent procedures that often are planned in isolation and perform independently in manufacturing. This thesis investigates the topic of integrating production and maintenance procedures in a failure-prone manufacturing system.

An **integrated decision model** that coordinates preventive maintenance decisions and production scheduling is proposed. In this model, performed maintenance affects the system's reliability level. The objective is to maximize the system's manufacturing capacity as a function of the overall operational reliability level of the system. Assumptions of available resources and no machine degradation have been made. The decision model is naturally formulated as a continuous time stochastic lot-sizing problem. The methodology is based on the use of **Monte Carlo simulation** which allows to consider various parameters of the system (e.g. failures) that cannot be deterministically defined. The numerical procedure has been validated using a set of arbitrary selected data. In this thesis, a case study is also presented to demonstrate the implementation of the proposed model in an ERP system. In the case study, a practical integrated production and preventive maintenance planning table is used to present the model results.

The integrated decision model can be easily generalized and be applied in any manufacturing system. Finally, the thesis demonstrates several research directions for future improvements and extensions.

Keywords: Preventive maintenance, Monte Carlo simulation, Reliability level, ERP integration, Production planning, Maintenance planning

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 2 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 3 -
ABSTRACT	- 5 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	- 10 -
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ	- 10 -
1.1 Εισαγωγικές έννοιες	- 10 -
1.2 Διοίκηση Συντήρησης	- 12 -
1.3 Μέθοδοι Συντήρησης	- 13 -
1.3.1 Μη Προγραμματισμένη Συντήρηση	- 14 -
1.3.2 Προγραμματισμένη Συντήρηση	- 14 -
1.3.3 Ευκαιριακή Συντήρηση	- 16 -
1.5 Αξιοπιστία Παραγωγικού Εξοπλισμού	- 19 -
1.5.1 Μέσος Χρόνος Μεταξύ Αστοχιών	- 19 -
1.5.2 Μέσος Ρυθμός Βλαβών	- 20 -
1.5.3 Μηχανική Αξιοπιστία	- 20 -
1.6 Κόστος Συντήρησης	- 22 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	- 26 -
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO	- 26 -
2.1 Προσομοίωση	- 27 -
2.2 Προσομοίωση Monte Carlo	- 28 -
2.3 Εφαρμογή @Risk	- 29 -
2.3.1 Μέθοδος Προσομοίωσης με τη χρήση του προγράμματος @Risk	- 29 -
2.4 Πειραματικό Μοντέλο Παραγωγικού Συστήματος	- 30 -
2.5 Βασικό Μοντέλο Προσομοίωσης	- 31 -
2.5.1 Στοχαστικές μεταβλητές	- 31 -
2.5.2 Μεταβλητές ελέγχου	- 32 -
2.6 Μοντέλο Προσομοίωσης Πιθανής τιμής αξιοπιστίας	- 33 -
2.6.1 Στοχαστικές μεταβλητές	- 33 -
2.6.2 Μεταβλητές ελέγχου	- 35 -
2.7 Παραδοχές	- 35 -
2.8 Αναλυτική παρουσίαση προσομοίωσης σεναρίου 1	- 36 -
2.8.1 Δεδομένα Εισόδου	- 36 -
2.8.2 Δεδομένα Εξόδου	- 37 -

2.8.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων	- 37 -
2.9 Αναλυτική παρουσίαση προσομοίωσης σεναρίου 2	- 40 -
2.9.1 Δεδομένα Εισόδου	- 40 -
2.9.2 Δεδομένα Εξόδου	- 41 -
2.9.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων	- 41 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	- 46 -
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ERP	- 46 -
3.1 Πληροφοριακά Συστήματα	- 46 -
3.2 Πληροφοριακό Σύστημα SAP	- 50 -
3.3. Παραγωγή και Συντήρηση στο Πληροφοριακό Σύστημα SAP	- 51 -
3.4 Μοντελοποίηση του παραγωγικού συστήματος	- 53 -
3.5 Προσομοίωση Μοντέλου στο σύστημα SAP	- 55 -
3.6 Παραδοχές	- 59 -
3.7 Σενάρια Προσομοίωσης και λειτουργίες προγραμματισμού	- 60 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	- 70 -
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	- 70 -
4.1 Συμπεράσματα	- 70 -
4.2 Επεκτάσεις	- 71 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 73 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	- 77 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	- 81 -

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.6. 1: Κριτήρια επιλογής μεθόδου συντήρησης [6].....	- 25 -
Πίνακας 2.1. 1: Κατηγορίες των αναλυτικών μοντέλων [23]	- 27 -
Πίνακας 2.8.1. 1: Δεδομένα εισόδου πρώτου σεναρίου.....	- 36 -
Πίνακας 2.8.2. 1: Δεδομένα εξόδου πρώτου σεναρίου	- 37 -
Πίνακας 2.9.1. 1: Δεδομένα εισόδου δεύτερου σεναρίου.....	- 41 -
Πίνακας 2.9.2. 1: Δεδομένα εξόδου δεύτερου σεναρίου.....	- 41 -

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.4. 1: Διαδικασία παραγωγής προϊόντος.....	- 31 -
Σχήμα 2.8.3. 1: Προτεινόμενη Διαδικασία παραγωγής προϊόντος.....	- 40 -
Σχήμα 3.4. 1: Πίνακας Υλικών (Bill of Material) τελικού προϊόντος.....	- 54 -
Σχήμα 3.4. 2: Φασειολόγια (Routings) τελικού προϊόντος.....	- 54 -

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1. 1: Κόστος Συντήρησης συναρτήσει της συχνότητας συντήρησης [3]	- 11 -
Διάγραμμα 1.2. 1: Εξωτερικοί και εσωτερικοί πόροι που υποστηρίζουν την Διοίκηση της Συντήρησης [5]	- 13 -
Διάγραμμα 1.3. 1: Μέθοδοι Συντήρησης [5]	- 13 -
Διάγραμμα 1.4. 1: Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve) [7]	- 17 -
Διάγραμμα 1.4. 2: Επιμήκυνση Χρήσιμης Ζωής [8].....	- 18 -
Διάγραμμα 1.4. 3: Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας συμπεριλαμβανομένου προληπτικές ενέργειες συντήρησης [3] .	- 19 -
Διάγραμμα 1.6. 1: Κόστος συντήρησης συναρτήσει της συχνότητας προληπτικής συντήρησης [9]	- 23 -

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.3. 1: Απεικόνιση της καρτέλας του προγράμματος @Risk.....	- 29 -
Εικόνα 2.8.3. 1: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), βασικό μοντέλο.....	- 38 -
Εικόνα 2.8.3. 2: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), μοντέλο πιο πιθανής αξιοπιστίας	- 38 -
Εικόνα 2.8.3. 3: Δήλωση Παραμέτρων Μελέτης Εύρεση Στόχου	- 39 -
Εικόνα 2.8.3. 4: Αποτελέσματα Μελέτης Εύρεσης Στόχου.....	- 40 -

<i>Εικόνα 2.9.3. 1: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), βασικό μοντέλο.....</i>	<i>- 42 -</i>
<i>Εικόνα 2.9.3. 2: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), μοντέλο πιο πιθανής αξιοπιστίας</i>	<i>- 42 -</i>
<i>Εικόνα 2.9.3. 3: Διάγραμμα Διασποράς στοχαστικών μεταβλητών</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Εικόνα 2.9.3. 4: Ανάλυση Ευαισθησίας της Αξιοπιστίας του Συστήματος (Contribution to Variance)</i>	<i>- 44 -</i>
<i>Εικόνα 2.9.3. 5: Δήλωση Παραμέτρων Μελέτης Εύρεση Στόχου</i>	<i>- 44 -</i>
<i>Εικόνα 2.9.3. 6: Αποτελέσματα Μελέτης Εύρεσης Στόχου.....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Εικόνα 3.1. 1: Η εξέλιξη των συστημάτων ERP [33].....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Εικόνα 3.1. 2: Το επιχειρηματικό πλαίσιο εφαρμογών του συστήματος SAP [33]</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Εικόνα 3.2. 1: Υποσυστήματα (modules) του SAP R/3 [34]</i>	<i>- 51 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 1: Φασειολόγια (Routings) του τελικού προϊόντος.....</i>	<i>- 55 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 2: Γράφημα Βασικού Φασειολογίου του τελικού προϊόντος.....</i>	<i>- 56 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 3: Γράφημα Εναλλακτικού Φασειολογίου του τελικού προϊόντος</i>	<i>- 56 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 4: Λίστες ενεργειών συντήρησης (Task Lists Group)</i>	<i>- 57 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 5: Λίστα ενεργειών συντήρησης ‘Task List 707 Small Repairs’</i>	<i>- 57 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 6: Λίστα ενεργειών συντήρησης ‘Task List 707 Full Repairs’</i>	<i>- 58 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 7: Πλάνο συντήρησης ‘Maintenance Plan 707 Small Repairs’</i>	<i>- 58 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 8: Πλάνο συντήρησης ‘Maintenance Plan 707 Full Repairs’</i>	<i>- 59 -</i>
<i>Εικόνα 3.5. 9: Λίστα Προγραμματισμένων Πλάνων Συντήρησης.....</i>	<i>- 59 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 1: Γραφική απόδοση της εντολής παραγωγής 60003797.....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 2: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC1_707’</i>	<i>- 62 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 3: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC2_707’</i>	<i>- 62 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 4: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC3_707’</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 5: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC1_707’</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 6: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC2_707’</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 7: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας ‘WC3_707’</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 8: Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table).....</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 9: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table)</i>	<i>- 66 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 10: Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table).....</i>	<i>- 68 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 11: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table).....</i>	<i>- 68 -</i>
<i>Εικόνα 3.7. 12: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table).....</i>	<i>- 69 -</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που αφορούν τη συντήρηση παραγωγικού εξοπλισμού. Αρχικά, δίνονται βασικοί ορισμοί δομικών στοιχείων, όπως της δυναμικότητας και της συντήρησης. Έπειτα, αναπτύσσονται οι μέθοδοι συντήρησης από τη πλευρά της διοίκησης και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η καμπύλη πιθανότητας αστοχίας παραγωγικού εξοπλισμού, καθώς, και η προσπάθεια επιμήκυνσής, μέσω της εφαρμογής συντήρησης. Επιπλέον, αναλύονται οι μέθοδοι αξιολόγησης παραγωγικού εξοπλισμού δίνοντας έμφαση στη μέθοδο της μηχανικής αξιοπιστίας. Τέλος, παρατίθεται ανάλυση του κόστους συντήρησης και παρουσιάζεται η έννοια του πλάνου συντήρησης, καθώς και τα κριτήρια βάσει των οποίων αυτό καθορίζεται.

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Δυναμικότητα Παραγωγικού Εξοπλισμού, ή παραγωγική ικανότητα εξοπλισμού, ορίζεται ως η οριακή ικανότητα του παραγωγικού εξοπλισμού να παράγει προϊόντα ή υπηρεσίες σε δεδομένη χρονική περίοδο. Η δυναμικότητα του παραγωγικού εξοπλισμού δεν έχει καθολική μονάδα μέτρησης. Συνηθέστερες μονάδες μέτρησης είναι ο διαθέσιμος χρόνος λειτουργίας σε συγκεκριμένη περίοδο (π.χ. ημέρα, βάρδια), η παραγόμενη ποσότητα προϊόντος ή οι φυσικές μονάδες μέτρησης του παραγόμενου προϊόντος σε συγκεκριμένη περίοδο (π.χ. τόνοι παραγόμενου προϊόντος), η μονάδα μέτρησης του κρίσιμου πόρου του παραγωγικού εξοπλισμού σε συγκεκριμένη περίοδο (π.χ. ανθρωπόωρες, μηχανοώρες). Επικρατέστερη μονάδα μέτρησης είναι η τελευταία, καθώς ο κρίσιμος πόρος του παραγωγικού εξοπλισμού καθορίζει το μέγεθος της παραγωγικής διαδικασίας. Για τον λόγο αυτό, η δυναμικότητα του παραγωγικού εξοπλισμού ορίζεται στη βιβλιογραφία ως η οριακή ικανότητα του κρίσιμου πόρου του παραγωγικού εξοπλισμού να παράγει σε δεδομένη χρονική περίοδο.

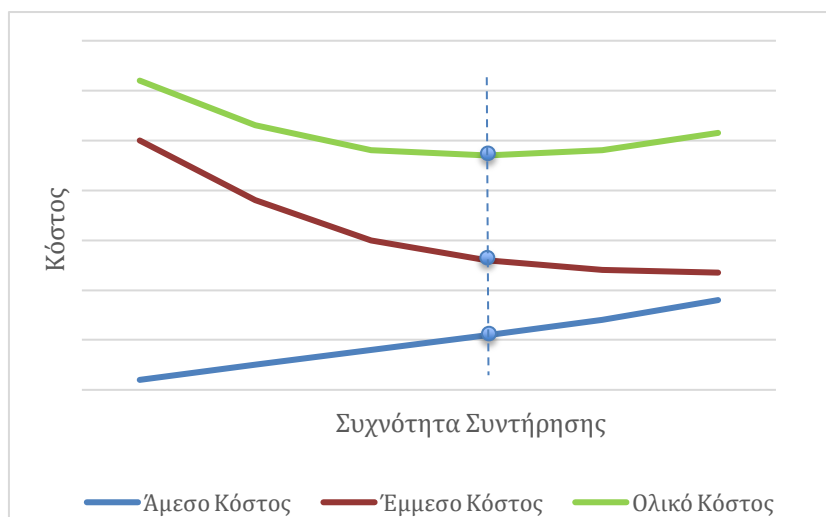
Συντήρηση Παραγωγικού Εξοπλισμού ορίζεται ως το σύνολο των ενεργειών που πραγματοποιούνται επί του εξοπλισμού ούτως ώστε να λειτουργεί βέλτιστα και χωρίς κανένα πρόβλημα για το σύνολο της ζωής του. Κάποιες από τις σημαντικότερες ενέργειες συντήρησης είναι η επιθεώρηση, η επιδιόρθωση, η αναβάθμιση και η αντικατάσταση. Τυπικά, η βέλτιστη ποιοτική λειτουργία του εξοπλισμού ορίζεται ρητά από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού. Ο βασικός, λοιπόν, **στόχος** της Συντήρηση Παραγωγικού Εξοπλισμού είναι η διατήρηση ή επαναφορά της λειτουργίας του εξοπλισμού στη ποιοτικά βέλτιστη κατάσταση του, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος που επωμίζεται η εταιρία κατά την διαδικασία αυτή.

Το **Ολικό Κόστος Συντήρησης** αποτελείται από το κόστος της εφαρμογής της συντήρησης (άμεσο κόστος), καθώς, και από το κόστος που προκύπτει ως συνέπεια της εφαρμογής της συντήρησης (έμμεσο κόστος).

Το άμεσο κόστος της Συντήρησης αποτελεί το σύνολο των δαπανών που απαιτούνται για την εφαρμογή της συντήρησης και περιλαμβάνει κυρίως τα εργατικά, τη κτήση των ανταλλακτικών και την αποθήκευση των ανταλλακτικών.

Το έμμεσο κόστος της Συντήρησης ορίζεται ως το κόστος των παραγωγικών απωλειών κατά τη χρονική διάρκεια εφαρμογής της συντήρησης. Οι πτυχές του έμμεσου κόστους αφορούν στη διαθεσιμότητα και στη ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, στην υγιεινή και στην ασφάλεια των εμπλεκομένων, στις περιβαλλοντολογικές επιβαρύνσεις, καθώς, και στην ενεργειακή κατανάλωση [3]. Το έμμεσο κόστος, λόγω του ότι δεν μπορεί εύκολα να αναγνωριστεί και να εκτιμηθεί, ορίζεται εναλλακτικά ως κρυφό κόστος.

Η επίδραση της συχνότητας εφαρμογής συντήρησης στο άμεσο, έμμεσο και, κατ' επέκταση, ολικό κόστος αυτής παρουσιάζεται στο διάγραμμα 1.1.1.



Διάγραμμα 1.1.1: Κόστος Συντήρησης συναρτήσει της συχνότητας συντήρησης [3]

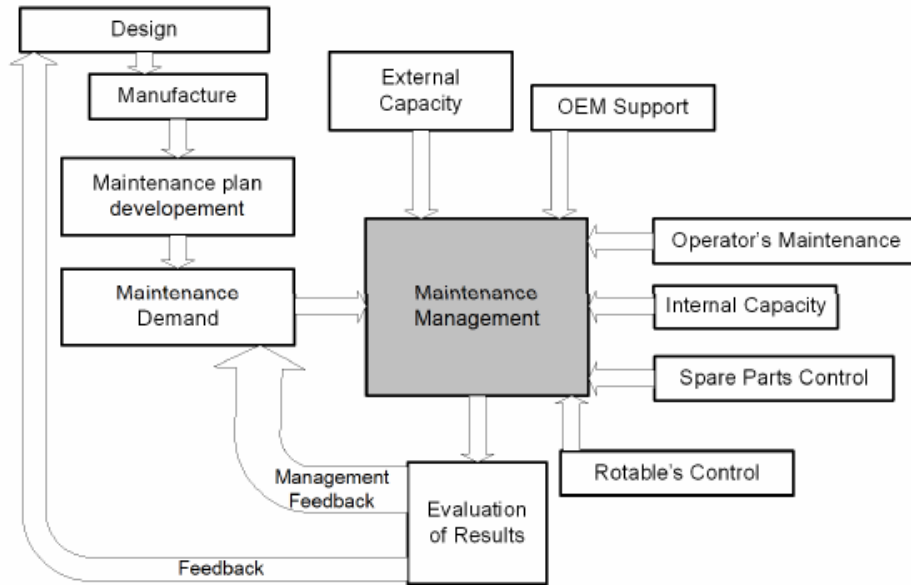
Στο διάγραμμα 1.1.1 παρατηρείται ότι, επιτυγχάνεται **οριακό ολικό κόστος**, δηλαδή οικονομικά βέλτιστο σημείο κόστους, όταν η συντήρηση εφαρμόζεται με **οριακή συχνότητα** (διακεκομμένη γραμμή). Στις περιπτώσεις όπου η συντήρηση εφαρμόζεται με μεγαλύτερη ή μικρότερη συχνότητα από την οριακή, παρατηρείται αύξηση του ολικού κόστους συντήρησης. Συνεπώς, τόσο η πολιτική ελλιπούς συντήρησης όσο και η πολιτική υπερσυντήρησης επιφέρουν

οικονομική επιβάρυνση, με το φαινόμενο της υπερσυντήρησης να επιφέρει μικρότερη οικονομική επιβάρυνση από το φαινόμενο της ελλιπούς συντήρησης [3, 4].

1.2 Διοίκηση Συντήρησης

Η Οργάνωση και Διοίκηση της Συντήρησης εναρμονίζεται πλήρως με τη στρατηγική της επιχείρησης, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο μέρος αυτής. Ο ρόλος της είναι να **καθορίζει τη στρατηγική** για την επίτευξη των αντικειμενικών στόχων της συντήρησης. Επί της ουσίας, η Διοίκηση της Συντήρησης εκχωρεί τις αντίστοιχες αρμοδιότητες στα στελέχη του οργανισμού που είναι υπεύθυνα για την επιτυχή ολοκλήρωση των στόχων της. Εξασφαλίζεται ταυτόχρονα, ότι ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις της συντήρησης, όπως προκύπτουν από το σύνολο των πόρων της, (Διάγραμμα 1.2.1). Συγκεκριμένα, η Διοίκηση της Συντήρησης πρέπει να ελέγχει τους εξωτερικούς συνεργάτες της εταιρίας, οι οποίοι υποστηρίζουν εργασίες συντήρησης, όπως είναι οι σύμβουλοι συντήρησης και οι κατασκευαστές του εξοπλισμού (Original Equipment Manufacturers), αλλά, και τους εσωτερικούς πόρους της εταιρίας, όπως τους διάφορους υπαλλήλους που εμπλέκονται στο πρόγραμμα της συντήρησης, τους χειριστές του εξοπλισμού, τα αναλώσιμα ανταλλακτικά που απαιτούνται, τα εξαρτήματα που επισκευάζονται με σκοπό να επαναχρησιμοποιηθούν, την αποδοτικότητα του συστήματος παρακολούθησης του εξοπλισμού κ.α.

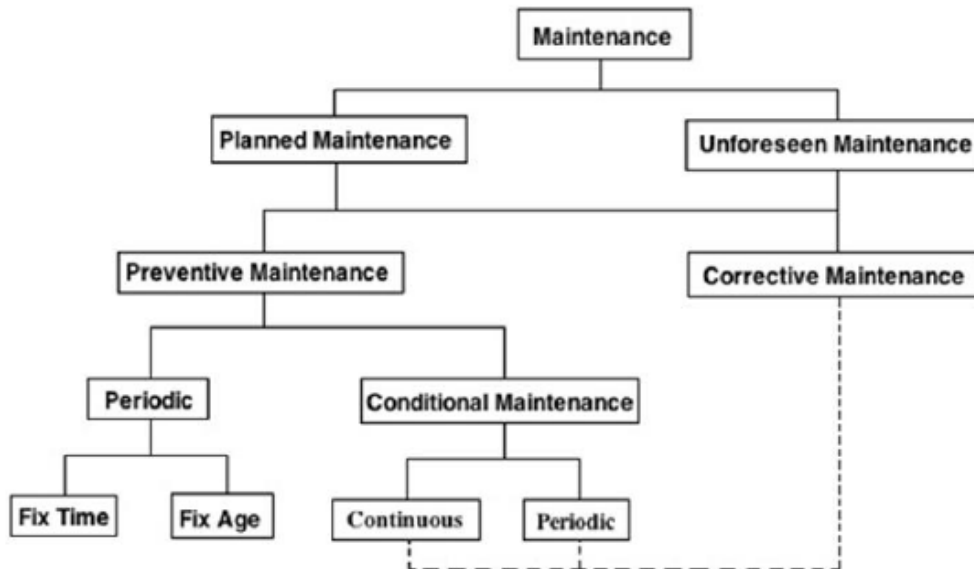
Κατά συνέπεια, η Διοίκηση Συντήρησης ως επιχειρησιακή λειτουργία, είναι άμεσα συνδεδεμένη σε επίπεδο διαχείρισης πληροφορίας με άλλες επιχειρησιακές λειτουργίες (π.χ. προγραμματισμός παραγωγής, προμήθειες, ανθρώπινο δυναμικό, λογιστήριο κ.α.)



Διάγραμμα 1.2. 1: Εξωτερικοί και εσωτερικοί πόροι που υποστηρίζουν την Διοίκηση της Συντήρησης [5]

1.3 Μέθοδοι Συντήρησης

Η συντήρηση ταξινομείται αρχικά σε δύο βασικές κατηγορίες, στην **προγραμματισμένη** συντήρηση και στη **μη προγραμματισμένη** συντήρηση, (Διάγραμμα 1.3.1).



Διάγραμμα 1.3. 1: Μέθοδοι Συντήρησης [5]

1.3.1 Μη Προγραμματισμένη Συντήρηση

Η κατηγορία της Μη Προγραμματισμένης Συντήρησης (Unforeseen /Unplanned Maintenance) σχετίζεται με τη μέθοδο της Επιδιορθωτικής Συντήρησης (BreakDown/ Corrective Maintenance), (Διάγραμμα 1.3.1).

Επιδιορθωτική Συντήρηση

Κατά την Επιδιορθωτική Συντήρηση (BreakDown Maintenance) επισκευάζεται ο εξοπλισμός μονάχα αφού έχει αστοχήσει εντελώς ή μερικώς. Η εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης δεν χρονοπρογραμματίζεται, καθώς η στιγμή αστοχίας του εξοπλισμού θεωρείται αβέβαιη. Τα στάδια της Διορθωτικής συντήρησης είναι τα παρακάτω.

1. Αστοχία εξοπλισμού
2. Ανεύρεση του/των ατόμου/ων που θα την επισκευάσουν
3. Διάγνωση της αιτίας της αστοχίας/βλάβης
4. Ανεύρεση των ανταλλακτικών που απαιτούνται για την επισκευή
5. Επισκευή της αστοχίας/βλάβης
6. Καταγραφή της ολοκλήρωσης της επισκευής και παράδοση της μηχανής

Ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή της αστοχίας της μηχανής μέχρι την επιδιόρθωση και τη παράδοσή της, ονομάζεται **χρόνος εκτός λειτουργίας** (downtime). Ο χρόνος εκτός λειτουργίας είναι δύσκολο να εκτιμηθεί εκ των προτέρων, λόγω της αβεβαιότητας των παραμέτρων που τον ορίζουν, που είναι η διάγνωση της βλάβης, η ανεύρεση των ανταλλακτικών όταν αυτά δεν είναι άμεσα διαθέσιμα και η διάρκεια επισκευής της βλάβης. Συνολικά, έπειτα από την επιδιόρθωση της βλάβης, ο εξοπλισμός επανέρχεται στο ίδιο ή σε χαμηλότερο λειτουργικό επίπεδο από αυτό που βρισκόταν πριν αστοχήσει.

1.3.2 Προγραμματισμένη Συντήρηση

Η Προγραμματισμένη Συντήρηση (Planned Maintenance) αποτελεί μέρος της στρατηγικής της επιχείρησης. Οι επιμέρους βασικές μέθοδοι της Προγραμματισμένης Συντήρησης είναι η Προληπτική και η Επιδιορθωτική συντήρηση, συγκεκριμένα, η Προληπτική συντήρηση επιμερίζεται σε Περιοδική και Προβλεπτική συντήρηση. Ο προγραμματισμός μεθόδων συντήρησης επί του παραγωγικού εξοπλισμού διασφαλίζει κατάσταση του εξοπλισμού σε λειτουργική ή πλήρως λειτουργική. Συνολικά, ένα ορισμένο πλάνο συντήρησης καθορίζει για κάθε μέρος του παραγωγικού εξοπλισμού μια προγραμματισμένη μέθοδο συντήρησης.

Προληπτική Συντήρηση

Η Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance) εφαρμόζεται στον εξοπλισμό με σκοπό να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά του στα πλαίσια των προδιαγραφών του, να διατηρηθεί δηλαδή η ποιοτική απόδοση του, και να επιμηκυνθεί ο παραγωγικός χρόνος ζωής του [6].

A. Περιοδική Συντήρηση

Κατά τη Περιοδική Συντήρηση (Periodic Maintenance) συντηρείται ο εξοπλισμός βάσει ορισμένης περιόδου. Η περίοδος αυτή ορίζεται είτε ημερολογιακά (ενδεικτικά, κάθε πρώτη του μήνα) είτε χρονικά (ενδεικτικά, κάθε 90 μέρες) είτε βάσει άλλης παραμέτρου, όπως η παραγόμενη ποσότητα της μηχανής, ο χρόνος λειτουργίας του εξοπλισμού (ενδεικτικά, κάθε 2.000 παραγόμενα τεμάχια, κάθε 1.000 ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού). Τα διαστήματα αυτά ορίζονται ρητά από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού και ικανοποιούν ταυτόχρονα δύο αντικρουόμενες συνθήκες. Η πρώτη αφορά στην μείωση της πιθανότητας εμφάνισης βλάβης του εξοπλισμού και η δεύτερη στη μείωση του κόστους συντήρησης, άμεσου και έμμεσου.

Το κύριο χαρακτηριστικό της Περιοδικής Συντήρησης είναι ότι καθίσταται εφικτός ο ταυτόχρονος χρονοπρογραμματισμός της διαδικασίας της συντήρησης και της παραγωγικής διαδικασίας, λόγω της προκαθορισμένης χρονικής στιγμής συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της Περιοδικής Συντήρησης είναι ότι ενδέχεται τα μέρη του εξοπλισμού να συντηρούνται (αντικαθίστανται) ενώ είναι ακόμα λειτουργικά.

B. Προβλεπτική Συντήρηση

Κατά τη Προβλεπτική Συντήρηση (Condition-Based Maintenance) συντηρείται ο εξοπλισμός βάσει της υφιστάμενης κατάστασής του. Αναλυτικότερα, πραγματοποιούνται έλεγχοι ώστε να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργική κατάσταση του εξοπλισμού. Οι έλεγχοι αυτοί εκτελούνται είτε περιοδικά είτε συνεχώς, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, τη διαθεσιμότητα σε τεχνολογικό επίπεδο και το βαθμό αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά τους ελέγχους έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό το να εκτιμούν τη κατάσταση του εξοπλισμού χωρίς να επεμβαίνει ο ανθρώπινος παράγοντας άμεσα στον εξοπλισμό. Ενδεικτικές μέθοδοι είναι η μέτρηση των κραδασμών και η θερμογραφία. Εάν κατά τον έλεγχο διαπιστωθεί ότι η κατάσταση του εξοπλισμού είναι μη αποδεκτή, βρίσκεται δηλαδή κάτω από το προεπιλεγμένο ποιοτικό όριο λειτουργίας του, τότε πραγματοποιούνται οι αντίστοιχες ενέργειες συντήρησης που θα επαναφέρουν την κατάσταση του εξοπλισμού σε αποδεκτή κατάσταση λειτουργίας.

Για την εφαρμογή της Προβλεπτικής Συντήρησης απαιτείται η αγορά και η εγκατάσταση του τεχνολογικού εξοπλισμού καταγραφής στοιχείων ελέγχου (π.χ. θερμική κάμερα). Συνολικά, μέσω της Προβλεπτικής Συντήρησης αποτρέπονται τυχόν αστοχίες του εξοπλισμού, καθώς εντοπίζονται και επιδιορθώνονται πριν συμβούν [6], και ελαχιστοποιείται το κόστος φύρας της συντήρησης, καθώς δεν απορρίπτονται λειτουργικά μέρη του εξοπλισμού.

Επιδιορθωτική Συντήρηση

Η Επιδιορθωτική Συντήρηση ανήκει στην κατηγορία της Προγραμματισμένης Συντήρησης, δεδομένου ότι αποτελεί μια συνειδητή επιλογή της Διοίκησης να παρακολουθεί την πορεία του εξοπλισμού, μέχρις ότου αυτός καταστεί μη λειτουργικός. Πιο συγκεκριμένα, για τα μέρη του εξοπλισμού που έχει αποφασιστεί να συντηρούνται με τη μέθοδο της Προγραμματισμένης Επιδιόρθωσης έχουν πραγματοποιηθεί όλες οι απαιτούμενες ενέργειες ούτως ώστε ο χρόνος που θα βρίσκονται εκτός λειτουργίας σε ενδεχόμενη αστοχία να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Οι εν λόγω απαιτούμενες ενέργειες είναι, μεταξύ άλλων, η διατήρηση και η άμεση πρόσβαση στα εγχειρίδια και στα ιστορικά αρχεία του εξοπλισμού, η διατήρηση αποθεμάτων των ανταλλακτικών που ενδέχεται να χρειαστούν, η απασχόληση ή άμεση προσέλευση των χειριστών που απαιτούνται. Οι παραπάνω ενέργειες αποτελούν τη βασική διαφορά της Προγραμματισμένης Επιδιορθωτικής Συντήρησης με την Μη Προγραμματισμένη Επιδιορθωτική Συντήρηση.

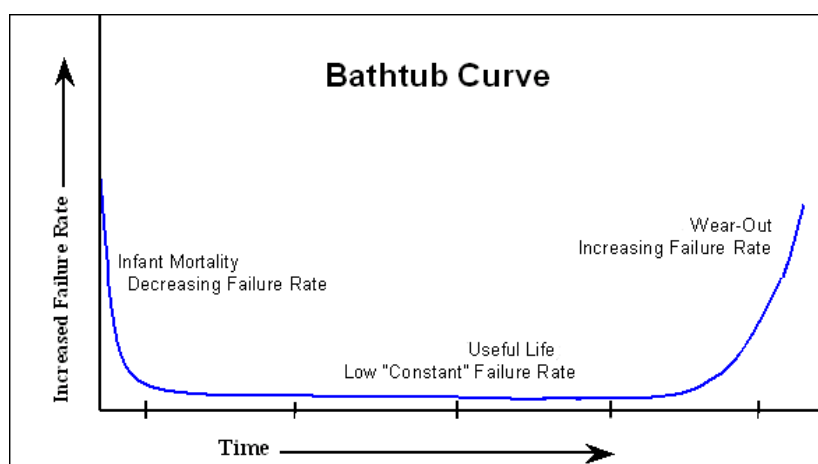
1.3.3 Ευκαιριακή Συντήρηση

Η Ευκαιριακή Συντήρηση δεν είναι μια μέθοδος συντήρησης, αλλά μια στρατηγική συντήρησης, αποτελεί, δηλαδή, μια συνειδητή επιλογή της Διοίκησης. Ορίζει την ταυτόχρονη εφαρμογή προληπτικής και επιδιορθωτικής συντήρησης επί του εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, με δεδομένο ότι εφαρμόζεται επιδιορθωτική συντήρηση λόγω αστοχίας, εκτελούνται και ενέργειες προληπτικής συντήρησης. Συνολικά, η Ευκαιριακή Συντήρηση αποτελεί μια προσπάθεια εκμετάλλευσης του χρόνου εκτός λειτουργίας λόγω αστοχιών, αποσκοπώντας στην μείωση του συνολικού χρόνου εκτός λειτουργίας (downtime).

1.4 Πιθανότητα Αστοχίας Παραγωγικού Εξοπλισμού

Ο κατασκευαστής ορίζει τον **χρόνο ζωής** του παραγωγικού εξοπλισμού, δηλαδή, τον χρόνο κατά τον οποίο θα λειτουργεί ποιοτικά με δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον και με δεδομένο ποιοτικό χειρισμό. Ο συνολικός χρόνος ζωής επιμερίζεται σε τρεις περιόδους, στην *βρεφική περίοδο* (*early life*), στην *χρήσιμη περίοδο* (*usefull life*) και στη περίοδο φθοράς ή *γηρατειά* (*wear-out life*), όπου η χρήσιμη περίοδος είναι πάντα η μεγαλύτερη σε διάρκεια.

Αστοχία εξοπλισμού ορίζεται η περίπτωση κατά την οποία ο εξοπλισμός εμφανίζει βλάβη, ενώ λειτουργεί εντός του χρόνου ζωής του. Η **Πιθανότητα Αστοχίας** (Failure Probability) ενός εξαρτήματος συναρτηθεί του χρόνου ορίζεται ως $F(t)$. Η γραφική απεικόνιση της Πιθανότητας Αστοχίας, $F(t)$, ονομάζεται **Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας** (Bathtub Curve), (Διάγραμμα 1.4.1).



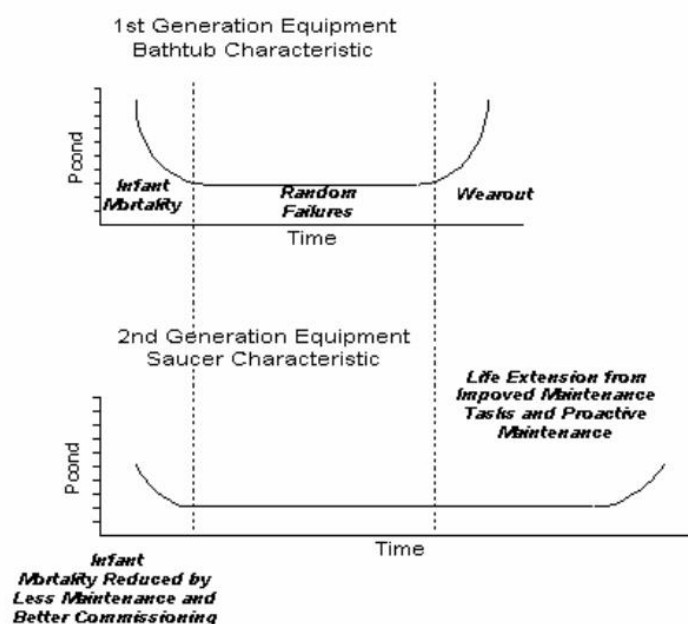
Διάγραμμα 1.4. 1: Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve) [7]

Κατά τη *βρεφική περίοδο* (*early life*), (αλλιώς *περίοδος παιδικής θνησιμότητας*), ο εξοπλισμός εμφανίζει μεγάλη πιθανότητα αστοχίας, η οποία μειώνεται απότομα με το πάροδο του χρόνου. Η αυξημένη πιθανότητα αστοχίας στη περίοδο αυτή οφείλεται στον κατασκευαστή και μπορεί να είναι κακή σχεδίαση, κακή συναρμολόγηση/ εγκατάσταση, αστοχία υλικού, ανθρώπινο λάθος κατά τη παραγωγική διαδικασία. Τυπικά, η περίοδος αυτή ξεκινάει με την κτήση του εξοπλισμού και είναι πολύ σύντομη σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του.

Κατά τη *χρήσιμη περίοδο* (*usefull life*), ο εξοπλισμός εμφανίζει σταθερή και χαμηλή πιθανότητα αστοχίας. Ενδεχόμενη αστοχία σε αυτή την περίοδο οφείλεται σε κάποιο τυχαίο γεγονός.

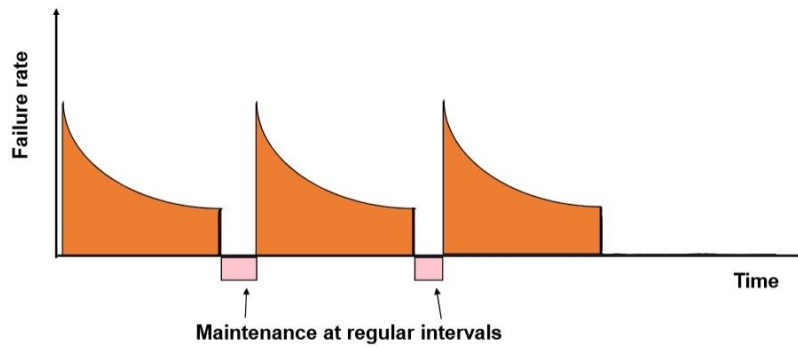
Κατά τη *περίοδο φθοράς* (*wear-out life*), η πιθανότητα αστοχίας αυξάνεται εκθετικά όσο περνά ο χρόνος. Οι αστοχίες που εμφανίζονται σε αυτό το διάστημα οφείλονται στη φυσιολογική φθορά των υλικών.

Η **Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας** (Bath Tub Curve) τροποποιείται σε περίπτωση εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης με τη συχνότητα που απαιτείται. Αναλυτικότερα, η προσεκτική και σύμφωνα με τις προδιαγραφές χρήση του παραγωγικού εξοπλισμού συνδυαστικά με προληπτικές ενέργειες συντήρησης, που εφαρμόζονται είτε περιοδικά είτε προβλεπτικά, επιφέρουν την επιμήκυνση της *χρήσιμης ζωής* του εξοπλισμού, (Διάγραμμα 1.4.2).



Διάγραμμα 1.4. 2: Επιμήκυνση Χρήσιμης Ζωής [8]

Η Προληπτική Συντήρηση δεν επιφέρει σε κάθε περίπτωση θετικά αποτελέσματα στη **Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας** (Bath Tub Curve). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου έχει σαν αποτέλεσμα προσωρινή αύξηση της πιθανότητας αστοχίας [4]. Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν σύνθετες προληπτικές διαδικασίες συντήρησης που περιλαμβάνουν αποσυναρμολόγηση, προσαρμογή/επιδιόρθωση/αντικατάσταση και επανασυναρμολόγηση [4]. Οι ενέργειες αυτές επιφέρουν στιγμιαία την κατάσταση του εξοπλισμού στην *βρεφική περίοδο*, όπου αιτίες πιθανής αστοχίας είναι η κακή επανασυναρμολόγηση, ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους κατά τη συνολική διαδικασία, η αστοχία νέου υλικού (δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση υλικού εξοπλισμού). Συνολικά, η πιθανότητα αστοχίας ενός εξοπλισμού, που έχει συντηρηθεί σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, αυξάνεται απότομα κατά την επαναλειτουργία του και επανέρχεται στο προηγούμενο επίπεδο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του, (Διάγραμμα 1.4.3).



Διάγραμμα 1.4. 3: Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας συμπεριλαμβανομένου προληπτικές ενέργειες συντήρησης [3]

1.5 Αξιοπιστία Παραγωγικού Εξοπλισμού

Αξιόπιστος ορίζεται ο παραγωγικός εξοπλισμός που λειτουργεί με τον βέλτιστο ποιοτικό τρόπο, σύμφωνα δηλαδή με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του, και χωρίς καμία αστοχία για ορισμένο χρονικό διάστημα με δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον και με δεδομένο ποιοτικό χειρισμό. Οι κύριοι **μέθοδοι αξιολόγησης αξιοπιστίας** παρατίθενται στην συνέχεια.

1.5.1 Μέσος Χρόνος Μεταξύ Αστοχιών

Τα επισκευάσιμα μέρη του εξοπλισμού σε περίπτωση αστοχίας επισκευάζονται ώστε να επανέλθει συνολικά το σύστημα σε κατάσταση λειτουργίας. Το σύνολο του χρόνου που λειτουργούν (unit-hours) διαιρούμενο με το σύνολο των αστοχιών που εμφανίζουν ορίζεται ως **Μέσος Χρόνος Μεταξύ Αστοχιών** (Mean Time Between Failures, MTBF). Ο μέσος χρόνος μεταξύ αστοχιών αποτελεί έναν εύκολα υπολογίσιμο συντελεστή αξιοπιστίας εξαρτημάτων.

$$MTBF = \frac{\text{unit hours}}{\text{failures}}$$

Το σύνολο του χρόνου που λειτουργούν μέχρι να αστοχήσουν ορίζεται ως **Μέσος Χρόνος Μέχρι Την Αστοχία** (Mean Time To Failure, MTTF). Ο μέσος χρόνος μέχρι την αστοχία ισοδυναμεί με τον συνολικό χρόνο ζωής των αναλώσιμων εξαρτημάτων. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση αστοχίας αναλώσιμων μερών του εξοπλισμού, αυτά απορρίπτονται.

1.5.2 Μέσος Ρυθμός Βλαβών

Ο **Μέσος Ρυθμός Βλαβών** (Normal Failure Rate, NFR) εκφράζει τις αστοχίες ενός εξαρτήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Συνήθως, συμβολίζεται με το γράμμα λ και εκφράζεται ως ποσοστό. Συγκεκριμένα, είναι ο λόγος του συνόλου των αστοχιών (failures) προς το σύνολο του λειτουργικού χρόνου (unit hours). Αποτελεί τον αντίστροφο λόγο του Μέσου Χρόνου Μεταξύ Αστοχιών (MTBF) [3].

$$NFR = \lambda = \frac{\text{failures}}{\text{unit hours}}$$

Ο **Μέσος Ρυθμός Βλαβών** μπορεί να αποδοθεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, Δt , αποτελώντας τη δεσμευμένη πιθανότητα ενός εξαρτήματος να έχει επιζήσει μέχρι τον χρόνο t και να αποτύχει μεταξύ του χρόνου t και $t+\Delta t$. Ο Μέσος Ρυθμός Βλαβών ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος t έως $t+\Delta t$, συμβολίζεται ως $\lambda(t)$ και αποτελεί το λόγο του συνόλου των αστοχιών που εμφανίζονται εντός του χρονικού διαστήματος Δt (*number of failures*) προς το γινόμενο του συνόλου των λειτουργικών εξαρτημάτων την χρονική στιγμή t (*number of items*) με το χρονικό διάστημα Δt [3].

$$\lambda(t) = \frac{n_f(\Delta t)}{n_s(t) * \Delta t}$$

Εναλλακτικά, εκφράζεται ως λόγος της πιθανότητας αστοχίας κατά το χρονικό διάστημα t έως $t+\Delta t$, εναλλακτικά το διάστημα αυτό καταγράφεται ως T , προς τη μηχανική αξιοπιστία κατά το χρόνο t .

$$\lambda(t) = \frac{f_T(t)}{R(t)} \Rightarrow$$

$$\lambda(t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)}$$

1.5.3 Μηχανική Αξιοπιστία

Μηχανική αξιοπιστία, $R(t)$, ορίζεται ως η **πιθανότητα μηδενικής αστοχίας** ενός εξαρτήματος κατά την εκτέλεση της προδιαγεγραμμένης εργασίας του, για καθορισμένο χρονικό διάστημα, με δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον και με δεδομένο ποιοτικό χειρισμό. Η Μηχανική Αξιοπιστία

$R(t)$ είναι το συμπληρωματικό ενδεχόμενο της Πιθανότητας Αστοχίας $F(t)$, όπως αποδεικνύει η παρακάτω σχέση.

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) + F(t) = 1$$

Ο γενικός τύπος της αξιοπιστίας ονομάζεται **Εκθετικό Μοντέλο Αξιοπιστίας** και δίνεται παρακάτω.

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Το Εκθετικό Μοντέλο Αξιοπιστίας με σταθερό Ρυθμό Βλαβών, $\lambda(t)$, ορίζεται ως **Μοντέλο Σταθερού Ρυθμού Βλαβών** (Constant Failure Rate Model) και βρίσκει εφαρμογή κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής ενός εξαρτήματος. Το μοντέλο του σταθερού ρυθμού βλαβών χρησιμοποιείται στις εφαρμογές της αξιοπιστίας, λόγω της απλής μαθηματικής μορφής του, η οποία δίνεται παρακάτω [3].

$$R(t) = e^{-t\lambda} = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι, η μέθοδος αξιολόγησης της **Μηχανικής Αξιοπιστίας** αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο αξιολόγησης και σύγκρισης ποιοτικών χαρακτηριστικών μεταξύ εξαρτημάτων.

Στοχαστική Μέθοδος Εκτίμησης Αξιοπιστίας

Η πιθανότητα ένα ενδεχόμενο να πραγματοποιηθεί x φορές σε ένα χρονικό διάστημα t , δίνεται από τη σχέση:

$$P(x) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^x}{x!}$$

Ως λ εκφράζεται η μέση συχνότητα πραγματοποίησης του ενδεχόμενου στη μονάδα του χρόνου και θεωρείται σταθερή παράμετρος. Ως t ορίζεται το χρονικό διάστημα εντός του οποίου πραγματοποιείται το ενδεχόμενο.

Έστω το ενδεχόμενο να εμφανιστεί μηδενική αστοχία, δηλαδή καμία βλάβη, στο χρονικό διάστημα t , τότε $x=0$. Η σχέση, τελικά, που δίνει τη πιθανότητα μηδενικής αστοχίας στο χρονικό διάστημα t (χρόνος t μετά τη τελευταία αστοχία) διαμορφώνεται ως:

$$P(0) = R(t) = e^{-t\lambda}$$

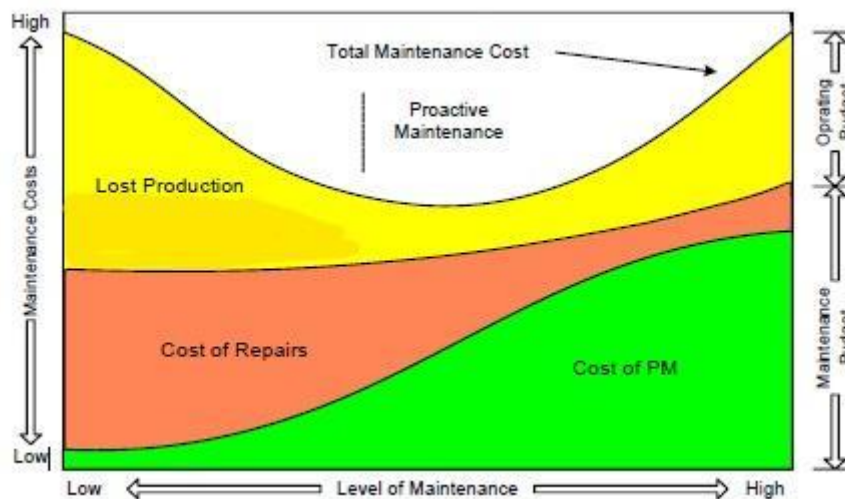
Σε περίπτωση που το γινόμενο $t\lambda$ είναι στατιστικά ασήμαντο, δηλαδή πολύ μικρό, και ο Μέσος Ρυθμός Βλαβών εκφράζεται ως $\lambda = 1/MTBF$, τότε η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - \lambda t \\ R(t) &= (1 - t \div MTBF) \\ MTBF &= t \div (1 - R(t)) \end{aligned}$$

Το σύνολο των **μεθόδων αξιολόγησης της αξιοπιστίας** εξαρτημάτων, δηλαδή το σύνολο των παραπάνω τύπων, συναρτήσεων, δεικτών και μοντέλων, εκφράζει ποσοτικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων και χρησιμοποιείται στην καταγραφή και ανάλυση της προόδου της Συντήρησης σε ένα Μηχανολογικό Σύστημα Εξαρτημάτων. Οποιαδήποτε προσαρμογή των παραπάνω στο εκάστοτε Σύστημα Συντήρησης, που εξασφαλίζει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων, είναι επιτρεπτή και τις περισσότερες φορές απαραίτητη [3].

1.6 Κόστος Συντήρησης

Το άμεσο και έμμεσο κόστος της προληπτικής συντήρησης και το κόστος της επιδιορθωτικής συντήρησης συναρτήσει της συχνότητας εφαρμογής προληπτικών ενεργειών συντήρησης εμφανίζεται στο διάγραμμα 1.6.1.



Διάγραμμα 1.6. 1: Κόστος συντήρησης συναρτήσει της συχνότητας προληπτικής συντήρησης [9]

Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα 1.6.1 παρουσιάζεται το άμεσο κόστος της προληπτικής συντήρησης με την ονομασία «Cost of PM», το άμεσο κόστος της επιδιορθωτικής συντήρησης με την ονομασία «Cost of Repairs» και, τέλος, το έμμεσο κόστος των συντηρήσεων με την ονομασία «Lost Production». Υπάρχει οικονομικό βέλτιστο σημείο σχετικά με την συχνότητα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης είτε είναι περιοδική συντήρηση είτε είναι προβλεπτική συντήρηση. Το βέλτιστο αυτό σημείο με έμμεσο τρόπο προσδιορίζει τη βέλτιστη συχνότητα εφαρμογής της επιδιορθωτικής συντήρησης. Εν κατακλείδι, κατά την συντήρηση του παραγωγικού εξοπλισμού είναι οικονομικά ωφελιμότερο να προγραμματίζονται τόσο προληπτικές ενέργειες συντήρησης όσο και επιδιορθωτικές ενέργειες συντήρησης.

Το **πλάνο συντήρησης** ενός παραγωγικού εξοπλισμού αποτελεί μια συστηματική προσέγγιση συντήρησης, όπου για κάθε μέρος/εξάρτημα του εξοπλισμού ορίζεται η μέθοδος συντήρησής του. Το πλάνο συντήρησης συντάσσεται με σκοπό να αποτελέσει μια οικονομική και ταυτόχρονα αξιόπιστη στρατηγική συντήρησης. Το κυριότερο κριτήριο επιλογής των μεθόδων συντήρησης ανά μέρος του εξοπλισμού είναι ο παράγοντας κρισιμότητας του κάθε μέρους. Η κρισιμότητα του κάθε μέρους/εξαρτήματος μπορεί να εκτιμηθεί με πολλούς τρόπους, ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων [10].

Οι πλέον συνηθέστερες μέθοδοι διαχωρισμού των μερών/εξαρτημάτων του παραγωγικού εξοπλισμού σε σημαντικά και λιγότερο σημαντικά είναι η **ανάλυση ABC** (ABC analysis) και η **ανάλυση VED** (VED analysis). Συγκεκριμένα, κατά την ανάλυση ABC χρησιμοποιείται ένα στοιχείο οδηγός (driver), βάση του οποίου αξιολογούνται τα μέρη και σαν αποτέλεσμα ταξινομούνται σε μία από τις κατηγορίες που παρουσιάζονται στη συνέχεια. Το στοιχείο οδηγός επιλέγεται να εναρμονίζεται με στις ιδιαιτερότητες του κάθε εξοπλισμού και με τις ανάγκες

διεξαγωγής της μελέτης και συνήθως είναι το κόστος ή η συχνότητα χρήσης. Από την ανάλυση ABC προκύπτουν οι παρακάτω κατηγορίες μερών ως ποσοστό του συνόλου των μερών.

- Λιγότερο σημαντικά μέρη, A, 70%
- Σημαντικά μέρη, B, 20%
- Αρκετά σημαντικά μέρη, C, 10%

Όσον αφορά την ανάλυση VED, τα μέρη του παραγωγικού εξοπλισμού διαχωρίζονται σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ζωτικής σημασίας, Vital
- Χρήσιμης σημασίας, Essential
- Επιθυμητής σημασίας, Desirable

Κριτήριο διαχωρισμού αποτελεί η σπουδαιότητα του κάθε μέρους αναφορικά με το σύνολο των επιχειρησιακών διεργασιών. Το μέρος ταξινομείται σε μια από τις κατηγορίες αυτές με κριτήριο το, εάν και πόσο ποιοτικά θα συνεχίσει η παραγωγική διαδικασία το έργο της, στη περίπτωση που το μέρος είναι εκτός παραγωγικής διαδικασίας. Συνολικά, η μέθοδος προληπτικής συντήρησης επιλέγεται για τα μέρη του εξοπλισμού που είναι κρίσιμης σημασίας, ενώ, η μέθοδος επιδιορθωτικής συντήρησης επιλέγεται για τα μέρη του εξοπλισμού που είναι επιθυμητής σημασία.

Για να συνταχθεί ένα βέλτιστο πλάνο συντήρησης, για κάθε μέρος του παραγωγικού εξοπλισμού είναι απαραίτητο να καταγράφονται τα **στατιστικά χαρακτηριστικά των αποτυχιών του**. Συγκεκριμένα, για κάθε μέρος καταγράφεται η συχνότητα εμφάνισης των απρόβλεπτων βλαβών που προκύπτουν καθώς και οι αιτίες (εάν έχουν διαγνωστεί) που τις προκάλεσαν. Έπειτα, το σύνολο των δεδομένων αυτών αναλύονται στατιστικά. Ενδεικτικά, για τα μέρη των οποίων η τυπική διακύμανση είναι μικρή, είναι οικονομικά βέλτιστο να προγραμματίζονται με τη μέθοδο της προληπτικής συντήρησης. Αντίθετα, για τα μέρη που παρουσιάζουν μεγάλη τυπική διακύμανση είναι οικονομικά βέλτιστο να προγραμματίζονται με τη μέθοδο της επιδιορθωτικής συντήρησης.

Η επιλογή της μεθόδου συντήρησης για τα μέρη του εξοπλισμού βασίζεται στην κρισιμότητα του μέρους, στην τυπική του διακύμανση, καθώς και στο κόστος κτίσης και αποθήκευσης του. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα κριτήρια επιλογής μεθόδου συντήρησης για τα μέρη του εξοπλισμού.

Επιδιορθωτική Συντήρηση	Προληπτική Συντήρηση	
	Περιοδική Συντήρηση	Προβλεπτική Συντήρηση
Μη κρίσιμα μέρη	Κρίσιμα μέρη	Αρκετά κρίσιμα μέρη
Αναλώσιμα οικονομικά μέρη	Αναλώσιμα μέρη	Επισκευάσιμα δαπανηρά μέρη
Μέρη με μεγάλη τυπική διακύμανση αστοχίας	Μέρη με μικρή τυπική διακύμανση αστοχίας	Μέρη με μικρή τυπική διακύμανση αστοχίας
Μέρη που δεν υπόκεινται σε έντονη φθορά	Μέρη που υπόκεινται σε έντονη φθορά	Μέρη που δεν υπόκεινται σε έντονη φθορά

Πίνακας 1.6. 1: Κριτήρια επιλογής μεθόδου συντήρησης [6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO

Μελέτες που προσεγγίζουν ταυτόχρονα τη συντήρηση του παραγωγικού εξοπλισμού και τη παραγωγική διαδικασία χρησιμοποιούν κυρίως τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού (mathematical programming), ευρετικών αλγορίθμων (heuristic algorithms), αλυσίδες Markov (Markov Chain) και προσομοιώσεις Monte Carlo (simulation Monte Carlo). Οι συνθηθέστεροι στόχοι των μελετών αυτών είναι η εκτίμηση/ ελαχιστοποίηση του κόστους, ο χρονοπρογραμματισμός διαδικασιών συντήρησης και παραγωγής και η εκτίμηση/ μείωση των κενών χρονικών διαστημάτων στο πρόγραμμα εκτέλεσης διαδικασιών συντήρησης και παραγωγής.

Οι μέθοδοι μαθηματικού προγραμματισμού [11] επιλύουν ντετερμινιστικά μοντέλα προγραμματισμού παραγωγής και συντήρησης μέσω γραμμικού προγραμματισμού [12, 13], ή μέσω μη γραμμικού προγραμματισμού [14], έχοντας ως κριτήριο βελτιστοποίησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, δηλαδή του κόστους συντήρησης και παραγωγής. Οι τεχνική των ευρετικών αλγορίθμων χρησιμοποιείται σε θέματα χρονοπρογραμματισμού διαδικασιών συντήρησης και παραγωγής [15, 16], καθώς, και σε θέματα προγραμματισμού με στόχο την ελαχιστοποίηση της μέγιστης καθυστέρησης [17]. Η εύρεση κατάλληλου προγράμματος εκτέλεσης εντολών παραγωγής και συντήρησης έχει μελετηθεί με συνδυασμό μεθόδων, όπως χρήση στοχαστικής διαδικασίας Markov και γραμμικού προγραμματισμού [18].

Η εξέταση της αξιοπιστίας παραγωγικού εξοπλισμού απαιτεί τη χρήση στοχαστικών μεθόδων, λόγω της αβεβαιότητας που τη χαρακτηρίζει. Η στοχαστική μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση αυτής της παραμέτρου. Συγκεκριμένα, μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo έχουν προταθεί μέθοδοι μοντελοποίησης της δυναμικότητας και της συντήρησης παραγωγικών συστημάτων, συνυπολογίζοντας την τυχαία παράμετρο της αστοχίας του εξοπλισμού [19, 20]. Επίσης, έχουν προταθεί μοντέλα εύρεσης των καταλληλότερων χρονικών διαστημάτων μεταξύ προληπτικών εφαρμογών συντήρησης [21]. Ένα τέτοιο μοντέλο συντήρησης παραγωγικού εξοπλισμού που ελαχιστοποιεί τα διαστήματα επιθεώρησης (διαδικασία που αποτελεί μέρος της προληπτικής συντήρησης), συνυπολογίζοντας τη παράμετρο του κόστους συντήρησης, έχει εφαρμοστεί με τον συνδυασμό της προσομοίωσης Monte Carlo και της στοχαστικής διαδικασίας Markov [22].

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζεται ένα περιβάλλον παραγωγής ως προς τη δυναμικότητα του και μελετάται το πλάνο συντήρησης του με τη χρήση της μεθόδου προσομοίωσης **Monte Carlo**. Αρχικά, δίνονται οι ορισμοί των βασικών εννοιών (π.χ. προσομοίωση, προσομοίωση Monte Carlo). Στη συνέχεια, περιγράφεται το υπό μελέτη περιβάλλον παραγωγής και παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του με δύο διαφορετικούς τρόπους. Χρησιμοποιείται η εφαρμογή προσομοίωσης **@Risk**, ώστε να εξεταστούν διαφορετικά σενάρια και να μελετηθούν τα αποτελέσματα. Συνολικά, εξετάζονται διαφορετικές μέθοδοι συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη τον κίνδυνο απώλειας αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος.

2.1 Προσομοίωση

Κατά την προσομοίωση ενός συστήματος, το σύστημα μελετάται έμμεσα μέσω του αναλυτικού του μοντέλου. Ως **αναλυτικό μοντέλο** ενός συστήματος ορίζονται οι μαθηματικές ή λογικές σχέσεις που αναπαριστούν τους νόμους που διέπουν το υπό μελέτη σύστημα [23]. Η **προσομοίωση** (simulation) ενός συστήματος αποτελεί μια πειραματική μέθοδο μελέτης του αναλυτικού μοντέλου του συστήματος χωρίς παρέμβαση στην λειτουργία του πραγματικού συστήματος.

Το **αναλυτικό μοντέλο** ενός συστήματος διακρίνεται σε Στατικό και Δυναμικό ανάλογα με αλληλεπίδραση της λειτουργίας του σε σχέση με τη χρονική διάσταση [24]. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως Στατικό όταν η λειτουργία του συστήματος δεν διαφοροποιείται κατά την εξέλιξη του χρόνου. Αντίθετα, όταν δηλαδή η λειτουργία του συστήματος διαφοροποιείται κατά την εξέλιξη του χρόνου, ορίζεται ως Δυναμικό. Επιπροσθέτως, το μοντέλο ενός συστήματος διακρίνεται σε Ντετερμινιστικό και Στοχαστικό ανάλογα με τη φύση των δεδομένων εισόδου. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως Ντετερμινιστικό όταν για δεδομένες τιμές κατά την είσοδο, δίνει το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα στην έξοδο σε συνεχείς επαναλήψεις. Σε αντίθετη περίπτωση, ορίζεται ως Στοχαστικό. Σε ένα στοχαστικό μοντέλο οι μεταβλητές εισόδου προσδιορίζονται μέσω στατιστικής διαδικασίας, δηλαδή, προσδιορίζονται μέσω της κατανομής πιθανοτήτων που ακολουθούν.

Βάσει των παραπάνω διακρίσεων τα αναλυτικά μοντέλα ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες.

	Στατικά	Δυναμικά
Ντετερμινιστικά	Αλγεβρικές σχέσεις	Διαφορικές εξισώσεις
Στοχαστικά	Στατιστικές και πιθανολογικές σχέσεις	Προσομοίωση

Πίνακας 2.1. 1: Κατηγορίες των αναλυτικών μοντέλων [23]

Συνολικά, η προσομοίωση έχει ως στόχο σε πρώτο επίπεδο την κατανόηση της λειτουργίας και της τρέχουσας συμπεριφοράς του συστήματος. Σε δεύτερο επίπεδο έχει ως στόχο την εκτίμηση της συμπεριφοράς του συστήματος εξετάζοντας τη λειτουργία του σε βάθος χρόνου και εξαντλώντας όσο αυτό είναι εφικτό τα ενδεχόμενα λειτουργίας και αποτελεσμάτων, έπειτα από μεγάλο αριθμό επαναλήψεων.

2.2 Προσομοίωση Monte Carlo

Η προσομοίωση **Monte Carlo** προτάθηκε πρώτη φορά το 1949 από τους φυσικούς ερευνητές Metropolis και Ulam [25]. Τα βασικότερα συστατικά στοιχεία της προσομοίωσης **Monte Carlo** είναι η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function) και η Γεννήτρια παραγωγής ψευδοτυχαίων αριθμών (Pseudo-Random Number Generator) [26].

Η διαδικασία πιθανολογικής προσομοίωσης **Monte Carlo** περιλαμβάνει τα κάτωθι βήματα [27, 28].

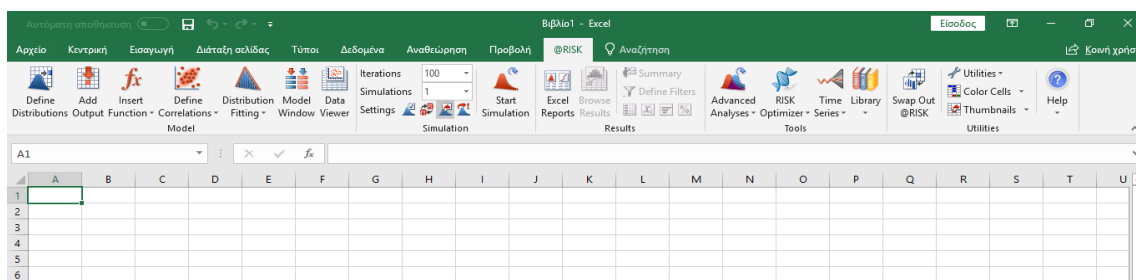
1. Προσδιορίζεται το σύνολο των δειγμάτων που θα ληφθούν, έστω χ .
2. Σε κάθε μία στοχαστική μεταβλητή εισόδου αποδίδεται μια ψευδοτυχαία τιμή, η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις της κατανομής πιθανότητας της στοχαστικής μεταβλητής.
3. Υπολογίζεται η τιμή των μεταβλητών εξόδου.
4. Αποθηκεύονται τα παραπάνω δεδομένα και αποτελέσματα.
5. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 έως 4 χ φορές.
6. Αναλύονται συγκεντρωτικά και στατιστικά τα αποτελέσματα όλων των επαναλήψεων.

Όταν η διαδικασία δημιουργίας ψευδοτυχαίων τιμών για μια στοχαστική μεταβλητή πραγματοποιείται σε πολύ μεγάλο αριθμό επαναλήψεων τότε, σύμφωνα με τη θεωρία των Μεγάλων Αριθμών, η κατανομή που προκύπτει αντιστοιχεί στην κατανομή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της στοχαστικής μεταβλητής. Τελικά, το αποτέλεσμα της προσομοίωσης **Monte Carlo** είναι ο προσδιορισμός της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (σ.π.π.) των μεταβλητών ελέγχου.

Η πιθανολογική προσομοίωση **Monte Carlo**, που αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως μέθοδος Monte Carlo, χρησιμοποιείται στη μελέτη συστημάτων με μεγάλο αριθμό συνδυασμών βαθμών ελευθερίας, όπως τα υγρά και τα ισχυρά συνδεδεμένα στερεά, και στη μελέτη συστημάτων με σημαντική αβεβαιότητα όσον αφορά τους διαθέσιμους πόρους, όπως η αξιολόγηση της διαχείρισης κινδύνων ενός έργου στο τομέα των επιχειρήσεων και η αξιολόγηση της αξιοπιστίας ενός παραγωγικού συστήματος.

2.3 Εφαρμογή @Risk

Η εφαρμογή @Risk είναι ένα λογισμικό κατάστρωσης μοντέλων προσομοίωσης, εκτέλεσης προσομοιώσεων με μεγάλο αριθμό επαναλήψεων, βελτιστοποίησης αποτελεσμάτων και τελικώς λήψης αποφάσεων. Το λογισμικό διατίθεται από την Palisade Corporation και εκτελείται ως πρόσθετο (add-on) σε ένα υπολογιστικό φύλλο xlsx, καθιστώντας το ιδιαίτερα εύχρηστο και λειτουργικό. Κατόπιν της εγκατάστασης του στον υπολογιστή, εισάγεται ως πρόσθετη καρτέλα (tab) στο Excel.



Εικόνα 2.3. 1: Απεικόνιση της καρτέλας του προγράμματος @Risk

2.3.1 Μέθοδος Προσομοίωσης με τη χρήση του προγράμματος @Risk

Η διαδικασία πιθανολογικής προσομοίωσης με τη χρήση του προγράμματος @Risk περιλαμβάνει τα κάτωθι βήματα.

Βήμα 1: Ορίζονται οι στοχαστικές μεταβλητές εισόδου του συστήματος, ορίζεται δηλαδή η κατανομή της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας των στοχαστικών μεταβλητών εισόδου.

Βήμα 2: Ορίζονται οι στοχαστικές μεταβλητές εξόδου ή μεταβλητές ελέγχου (control variables) του συστήματος, ορίζεται δηλαδή ο τρόπος υπολογισμού τους.

Βήμα 3: Διεξάγεται η προσομοίωση **Monte Carlo** με τη χρήση του προγράμματος @Risk, όπου σε κάθε δειγματοληψία οι στοχαστικές μεταβλητές εξόδου υπολογίζονται από μαθηματικούς τύπους στους οποίους οι παράμετροι κάθε φορά λαμβάνουν τιμές από το δείγμα εισόδου σύμφωνα με τη μέθοδο Monte Carlo.

Βήμα 4: Μελετάται η προσομοιωμένη κατανομή πιθανότητας των στοχαστικών μεταβλητών εξόδου. Πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και εξέταση εναλλακτικών επιλογών ως προς τα δεδομένα του μοντέλου. Δύο κύριες διαδικασίες ανάλυσης αποτελεσμάτων και εξέτασης εναλλακτικών επιλογών του προγράμματος @Risk αναλύονται παρακάτω.

- Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Η ανάλυση ευαισθησίας προσδιορίζει το ακριβές μέγεθος επιρροής των μεταβλητών εισόδου στο αποτελέσματα των μεταβλητών εξόδου. Το μέγεθος επιρροής αποτυπώνεται με τη μορφή στατιστικών δεικτών, όπως τον Συντελεστή Παλινδρόμησης (Regression Coefficient), τον Συντελεστή Συσχέτισης (Correlation Coefficients), με τη μορφή ποσοστών (Contribution to Variance) και με τη μορφή ακριβούς ποσοτικής μεταβολής στη μέση τιμή της μεταβλητής εξόδου (Regression Mapped Values). Σε κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε μορφή πίνακα αλλά και σε μορφή διαγράμματος (π.χ. γράφημα Tornado)

- Εύρεση Στόχου (Goal Seek)

Η διαδικασία εύρεσης στόχου του προγράμματος @Risk αφορά μια μεταβλητή εξόδου, μια τιμή «στόχο» για αυτή τη μεταβλητή εξόδου και μια (ή περισσότερες) μεταβλητή εισόδου ή παράμετρο του συστήματος της οποίας η τιμή εξετάζεται, στο εξής μεταβλητή προς αλλαγή, με δεδομένο ότι, όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές και παράμετροι του συστήματος παραμένουν σταθεροί. Συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία εύρεσης στόχου υπολογίζεται η τιμή που θα πρέπει να εκχωρηθεί στη μεταβλητή (ή στις μεταβλητές) προς αλλαγή, ώστε η μεταβλητή εξόδου να αποκτήσει την τιμή στόχο. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με επιτυχία εάν βρεθεί νέα έγκυρη τιμή για τη μεταβλητή προς αλλαγή που να επιφέρει την επιθυμητή τιμή, τη τιμή στόχο, στην μεταβλητή εξόδου.

2.4 Πειραματικό Μοντέλο Παραγωγικού Συστήματος

Το πειραματικό μοντέλο του παραγωγικού συστήματος που εξετάζεται αποτελείται συνοπτικά από τα κάτωθι στοιχεία.

- Χρονική Περίοδος (Slot)
- Μηχανή Παραγωγής (Machine)
- Δυναμικότητα (Capacity)
- Αξιοπιστία (Reliability)
- Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance, pm)
- Επιδιορθωτική Συντήρηση (Breakdown Maintenance, bm)

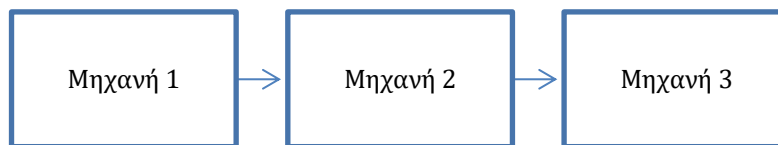
Πιο αναλυτικά, το παραγωγικό σύστημα εξετάζεται βάσει **διακριτών χρονικών περιόδων (slots)**. Οι χρονικές αυτές περιόδους εφαρμόζουν σε κάθε ανάγκη μέτρησης (π.χ. μια ώρα, δύο ώρες, μία μέρα). Οι μηχανές του παραγωγικού συστήματος βρίσκονται σε σειρά (sequential),

(Σχήμα 2.4.1). Η **δυναμικότητα (capacity)** μιας μηχανής ή του συστήματος αποτελεί το σύνολο των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες η μηχανή ή το σύστημα είναι σε λειτουργική κατάσταση. Η δυναμικότητα μετριέται σε slots ανά ευρύτερη χρονική περίοδο (πχ εβδομάδα).

Η **αξιοπιστία (reliability)** μιας μηχανής ή του συστήματος είναι συνεχής μεταβλητή που κυμαίνεται σε ένα ορισμένο φάσμα τιμών. Για τις μηχανές, το φάσμα των τιμών αυτών έχει κάτω όριο την ελάχιστη τιμή αξιοπιστίας (min reliability) και άνω όριο τη μέγιστη τιμή αξιοπιστίας (max reliability), όπως αυτές ορίζονται από τους κατασκευαστές των μηχανών.

Το παραγωγικό σύστημα συντηρείται με τη μέθοδο της **προληπτικής συντήρησης (preventive maintenance, pm)**. Για κάθε μηχανή έχει οριστεί ένα συγκεκριμένο πλάνο συντήρησης. Πιο αναλυτικά, έχει οριστεί συγκεκριμένη συχνότητα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οποιαδήποτε βλάβη προκύψει αιφνιδίως αφορά στην **επιδιορθωτική συντήρηση (breakdown maintenance, bm)**.

Το παραγωγικό σύστημα που εξετάζεται **παράγει ένα προϊόν κατά παραγγελία (job-shop)**. Η διαδικασία παραγωγής του προϊόντος (routing) απαιτεί την σειριακή επεξεργασία του από κάθε μηχανή, (Σχήμα 2.4.1).



Σχήμα 2.4. 1: Διαδικασία παραγωγής προϊόντος

2.5 Βασικό Μοντέλο Προσομοίωσης

Κατά το βασικό μοντέλο πιθανολογικής προσομοίωσης ορίστηκαν τα παρακάτω δεδομένα.

2.5.1 Στοχαστικές μεταβλητές

- Αξιοπιστία Μηχανής – ανά μηχανή (*Reliability_mach*)
- Εφαρμογή προληπτικής συντήρησης – ανά μηχανή, ανά slot (*pm*)
- Εφαρμογή επιδιορθωτικής συντήρησης – ανά μηχανή, ανά slot (*bm*)

Η **αξιοπιστία μηχανής** ορίστηκε ως συνεχής στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί τριγωνική κατανομή. Με κάτω όριο την ελάχιστη τιμή αξιοπιστίας (min reliability), άνω όριο τη μέγιστη

τιμή αξιοπιστίας (max reliability) και πιο πιθανή τιμή (most likely reliability), όπως τις ορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής.

Η **εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης** ορίστηκε ως διακριτή στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί διωνυμική κατανομή, καθώς η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo προσομοιώνει (μέσω της επαναλαμβανόμενης δειγματοληψίας) ακόμα και ένα ντετερμινιστικό σύστημα [29]. Πιο συγκεκριμένα, η στοχαστική μεταβλητή της εφαρμογής προληπτικής συντήρησης αφορά στη κάθε μηχανή του συστήματος χωριστά για κάθε μια χρονική περίοδο. Δέχεται τη τιμή 1 όταν η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση προληπτικής συντήρησης για τη δεδομένη χρονική στιγμή, ενώ δέχεται τη τιμή 0 όταν η μηχανή δεν βρίσκεται σε κατάσταση προληπτικής συντήρησης για τη δεδομένη χρονική στιγμή. Τα βάρη εκχώρησης των τιμών της διωνυμικής κατανομής (0,1) υπολογίζονται σύμφωνα με την απαιτούμενη συχνότητα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης, όπως αυτή ορίζεται κάθε φορά κατά το πλάνο προληπτικής συντήρησης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι των δεδομένων εισόδου που συνυπολογίζονται κατά την εκτίμηση των βαρών, καθώς, και εκτίμηση των βαρών της διωνυμικής κατανομής.

- Συνολική χρονική περίοδος εξέτασης (έστω 50 slots)
- Απαιτούμενος χρόνος για εφαρμογή προληπτικής συντήρησης στη συνολική χρονική περίοδο εξέτασης (έστω 8 slots)
- Λόγος/ συχνότητα εφαρμογής προληπτικής συντήρησης για το σύνολο της χρονικής περιόδου εξέτασης (έστω 8/50 slots)
- Βάρη της διωνυμικής κατανομής
 - Για τη τιμή 1: $8/50 = 0,16$
 - Για τη τιμή 0: $(50-8)/50 = 1 - 8/50 = 0,84$

Η **εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης** ορίστηκε ως διακριτή στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί διακριτή κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης αφορά στη κάθε μηχανή του συστήματος χωριστά και δέχεται μια διακριτή τιμή για κάθε μια χρονική περίοδο. Δέχεται τη τιμή 1 όταν η μηχανή έχει βλάβη και χρήζει άμεσης επιδιόρθωσης, ενώ δέχεται τη τιμή 0 όταν η μηχανή δεν έχει καμία βλάβη. Τα βάρη εκχώρησης των δύο τιμών υπολογίζονται βάση της αξιοπιστίας της κάθε μηχανής, όπως αυτή έχει οριστεί από τον κατασκευαστή της μηχανής.

2.5.2 Μεταβλητές ελέγχου

- Αξιοπιστία Παραγωγικού Συστήματος
- Λειτουργικός Χρόνος Παραγωγικού Συστήματος

Η **αξιοπιστία του παραγωγικού συστήματος** ορίζεται ως το γινόμενο των τιμών αξιοπιστίας των επιμέρους μηχανών του συστήματος, με δεδομένο το ότι το σύστημα παραγωγής είναι σειριακό.

Ο **λειτουργικός χρόνος του παραγωγικού συστήματος** ορίζεται ως το άθροισμα των χρονικών περιόδων (slots) που το σύστημα λειτουργεί στο σύνολο του. Δηλαδή, η συνολική χρονική περίοδος κατά την οποία λειτουργούν ταυτόχρονα όλες οι μηχανές του συστήματος, καθώς το σύστημα παραγωγής είναι σειριακό.

2.6 Μοντέλο Προσομοίωσης Πιθανής τιμής αξιοπιστίας

Το μοντέλο προσομοίωσης πιθανής τιμής αξιοπιστίας αποτελεί εξέλιξη του βασικού μοντέλου προσομοίωσης και διαφοροποιείται στο γεγονός ότι η παράμετρος «πιο πιθανή τιμή αξιοπιστίας» δεν είναι στατική, αλλά υπολογίζεται εκ νέου σε κάθε δειγματοληψία της πιθανολογικής προσομοίωσης. Με τον τρόπο αυτό, προσομοιώνεται η επίδραση της εφαρμογής (ή της μη εφαρμογής) της προληπτικής συντήρησης στην αξιοπιστία του εξοπλισμού.

2.6.1 Στοχαστικές μεταβλητές

- Αξιοπιστία Μηχανής – ανά μηχανή (*Reliability_mach*)
- Εφαρμογή προληπτικής συντήρησης – ανά μηχανή, ανά slot (*pm*)
- Εφαρμογή επιδιορθωτικής συντήρησης – ανά μηχανή, ανά slot (*bm*)

Η **αξιοπιστία μηχανής** ορίστηκε ως συνεχής στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί τριγωνική κατανομή. Με κάτω όριο την ελάχιστη τιμή αξιοπιστίας (min reliability) και άνω όριο τη μέγιστη τιμή αξιοπιστίας (max reliability), όπως αυτές οι τιμές δίνονται από τον κατασκευαστή της μηχανής. Η **πιο πιθανή τιμή** (most likely reliability) **υπολογίζεται δυναμικά** σε κάθε δειγματοληψία και εξαρτάται από τη εφαρμόσιμη συχνότητα προληπτικής συντήρησης κατά τη δειγματοληψία. Αρχικά, σε κάθε δειγματοληψία και για κάθε μηχανή, καταγράφεται το σύνολο των χρονικών περιόδων που συντηρείται προληπτικά η μηχανή. Στη συνέχεια, συγκρίνεται το σύνολο αυτό με την απαιτούμενη συχνότητα προληπτικής συντήρησης της μηχανής. Τέλος, ανάλογα με το πόσο κοντά βρίσκονται αριθμητικά αυτές οι δύο τιμές, υπολογίζεται η **πιο πιθανή τιμή της αξιοπιστίας** της μηχανής.

Ο υπολογισμός της πιο πιθανής τιμής αξιοπιστίας είναι αποτέλεσμα μιας γραμμικής σχέσης από την οποία αποδίδονται συνεχείς τιμές με άνω και κάτω όρια τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή αξιοπιστίας αντίστοιχα. Στη συνέχεια αναλύονται περιπτώσεις που εξετάζουν το σύνολο των χρονικών περιόδων που συντηρείται προληπτικά η μηχανή.

- Εάν είναι μηδενικό, τότε πιο πιθανή τιμή αξιοπιστίας ισούται με την ελάχιστη τιμή αξιοπιστίας (min reliability).
- Εάν ταυτίζεται με την απαιτούμενη συχνότητα προληπτικής συντήρησης, τότε η πιο πιθανή τιμή αξιοπιστίας ισούται με τον απλό μέσο όρο μέγιστης και ελάχιστης αξιοπιστίας.
- Εάν είναι πολύ υψηλότερο από ότι απαιτείται, τότε η πιο πιθανή τιμή αξιοπιστίας ισούται με την μέγιστη τιμή αξιοπιστίας (max reliability).

Η **εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης** ορίστηκε ως διακριτή στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί διωνυμική κατανομή, καθώς η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo προσομοιώνει (μέσω της επαναλαμβανόμενης δειγματοληψίας) ακόμα και ένα ντετερμινιστικό σύστημα [29]. Πιο συγκεκριμένα, η στοχαστική μεταβλητή της εφαρμογής προληπτικής συντήρησης αφορά στη κάθε μηχανή του συστήματος χωριστά για κάθε μια χρονική περίοδο. Δέχεται τη τιμή 1 όταν η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση προληπτικής συντήρησης για τη δεδομένη χρονική στιγμή, ενώ δέχεται τη τιμή 0 όταν η μηχανή δεν βρίσκεται σε κατάσταση προληπτικής συντήρησης για τη δεδομένη χρονική στιγμή. Τα βάρη εκχώρησης των τιμών της διωνυμικής κατανομής (0,1) υπολογίζονται σύμφωνα με την απαιτούμενη συχνότητα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης, όπως αυτή ορίζεται κάθε φορά κατά το πλάνο προληπτικής συντήρησης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι των δεδομένων εισόδου που συνυπολογίζονται κατά την εκτίμηση των βαρών, καθώς, και εκτίμηση των βαρών της διωνυμικής κατανομής.

- Συνολική χρονική περίοδος εξέτασης (έστω 50 slots)
- Απαιτούμενος χρόνος για εφαρμογή προληπτικής συντήρησης στη συνολική χρονική περίοδο εξέτασης (έστω 8 slots)
- Λόγος/ συχνότητα εφαρμογής προληπτικής συντήρησης για το σύνολο της χρονικής περιόδου εξέτασης (έστω 8/50 slots)
- Βάρη της διωνυμικής κατανομής
 - Για τη τιμή 1: $8/50 = 0,16$
 - Για τη τιμή 0: $(50-8)/50 = 1 - 8/50 = 0,84$

Η **εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης** ορίστηκε ως διακριτή στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί διακριτή κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης αφορά στη κάθε μηχανή του συστήματος χωριστά και δέχεται μια διακριτή τιμή για

κάθε μια χρονική περίοδο. Δέχεται τη τιμή 1 όταν η μηχανή έχει βλάβη και χρήζει άμεσης επιδιόρθωσης, ενώ δέχεται τη τιμή 0 όταν η μηχανή δεν έχει καμία βλάβη. Τα βάρη εκχώρησης των δύο τιμών υπολογίζονται βάσει της αξιοπιστίας της κάθε μηχανής, όπως αυτή έχει οριστεί από τον κατασκευαστή της μηχανής.

2.6.2 Μεταβλητές ελέγχου

- Αξιοπιστία Παραγωγικού Συστήματος
- Λειτουργικός Χρόνος Παραγωγικού Συστήματος

Η **αξιοπιστία του παραγωγικού συστήματος** ορίζεται ως το γινόμενο των τιμών αξιοπιστίας των επιμέρους μηχανών του συστήματος. Καθώς, το σύστημα παραγωγής είναι σειριακό.

Ο **λειτουργικός χρόνος του παραγωγικού συστήματος** ορίζεται ως το άθροισμα των χρονικών περιόδων (slots) που το σύστημα λειτουργεί στο σύνολο του. Δηλαδή, η συνολική χρονική περίοδος κατά την οποία λειτουργούν ταυτόχρονα όλες οι μηχανές του συστήματος, καθώς το σύστημα παραγωγής είναι σειριακό.

2.7 Παραδοχές

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, τα αναλυτικά μοντέλα του παραγωγικού συστήματος είναι σαφώς οριοθετημένα σύμφωνα με τις παρακάτω παραδοχές:

- Παραδοχές επιδιορθωτικής συντήρησης
 - Όλοι οι απαιτούμενοι πόροι για την εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης βρίσκονται σε αφθονία και σε επιφυλακή.
 - Οι βλάβες που προκύπτουν δεν διαχωρίζονται σε επίπεδα σημαντικότητας, αλλά ότι ανήκουν όλες στο ίδιο επίπεδο σοβαρότητας και ότι ολοκληρώνεται η επιδιόρθωση τους σε ένα μόνο slot (ο χρόνος εκτός λειτουργίας των μηχανών λόγω αστοχίας (downtime), ανέρχεται σε κάθε περίπτωση στο ένα slot).
- Λοιπές παραδοχές
 - Το εύρος της αξιοπιστίας του εξοπλισμού (ελάχιστο, μέγιστο) δεν μεταβάλλεται λόγω εφαρμογής προληπτικής ή/και επιδιορθωτικής συντήρησης.

- Δεν εξετάζεται άμεσα ο ανθρώπινος παράγοντας. Συγκεκριμένα, ο ανθρώπινος παράγοντας έχει συνεκτιμηθεί κατά τον υπολογισμό της δυναμικότητας των μηχανών, αλλά δεν θεωρείται παράμετρος των μοντέλων.
- Η μελέτη του συστήματος και η προσομοίωσή του είναι χρονικά οριοθετημένη. Δεν θεωρούνται παράμετροι συμβάντα προγενέστερα ή μεταγενέστερα της χρονικής περιόδου που εξετάζεται και εκφράζεται σε slots. Δηλαδή, ότι αφορούσε παρελθοντικά ή θα αφορά μελλοντικά της χρονικής περιόδου που εξετάζεται τις παραμέτρους του συστήματος, δεν αποτυπώνεται στα μοντέλα.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η φάση ζωής των μηχανών του συστήματος.

Οι παραδοχές αυτές δεν περιορίζουν το εύρος του αντικειμένου της παρούσας εργασίας, ωστόσο, αποτελούν αφετηρία για μελλοντικές επεκτάσεις των μοντέλων συντήρησης που παρουσιάζονται εδώ.

2.8 Αναλυτική παρουσίαση προσομοίωσης σεναρίου 1

2.8.1 Δεδομένα Εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου κατά το πρώτο σενάριο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι πιο πιθανές τιμές αξιοπιστίας των μηχανών δεν αναφέρονται στον πίνακα, καθώς αφορούν μόνο το βασικό μοντέλο. Οι πιο πιθανές στατικές τιμές αξιοπιστίας των μηχανών 1, 2 και 3 είναι 90%, 83% και 92% αντίστοιχα.

	Μηχανή 1	Μηχανή 2	Μηχανή 3
Αρχική Δυναμικότητα Capacity (slots/εβδομάδα)	42	42	42
Συχνότητα Συντήρησης Planned Preventive Maintenance (slots/εβδομάδα)	4	8	4
Αξιοπιστία [ελάχιστη - μέγιστη] Reliability (ποσοστό %)	88 – 95	80 – 88	87 - 95

Πίνακας 2.8.1. 1: Δεδομένα εισόδου πρώτου σεναρίου

2.8.2 Δεδομένα Εξόδου

Τα βασικά δεδομένα εξόδου που προέκυψαν από μια προσομοίωση Monte Carlo 1.000 δειγματοληψιών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μοντέλο	Βασικό		Πιο πιθανής αξιοπιστίας	
	Min – Max	Mean	Min – Max	Mean
Αξιοπιστία Συστήματος System Reliability (ποσοστό %)	64,3 – 75,0	69,5	64,5 – 77,3	70,3
Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος System Uptime (slots/εβδομάδα)	8 – 31	19,3	9 – 30	19,6

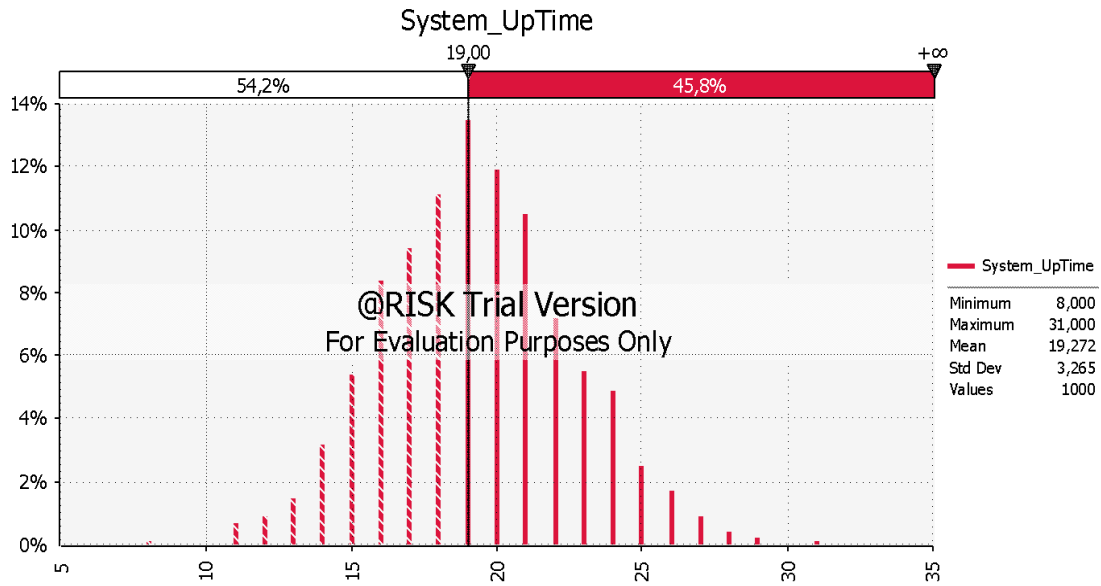
Πίνακας 2.8.2. 1: Δεδομένα εξόδου πρώτου σεναρίου

2.8.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων

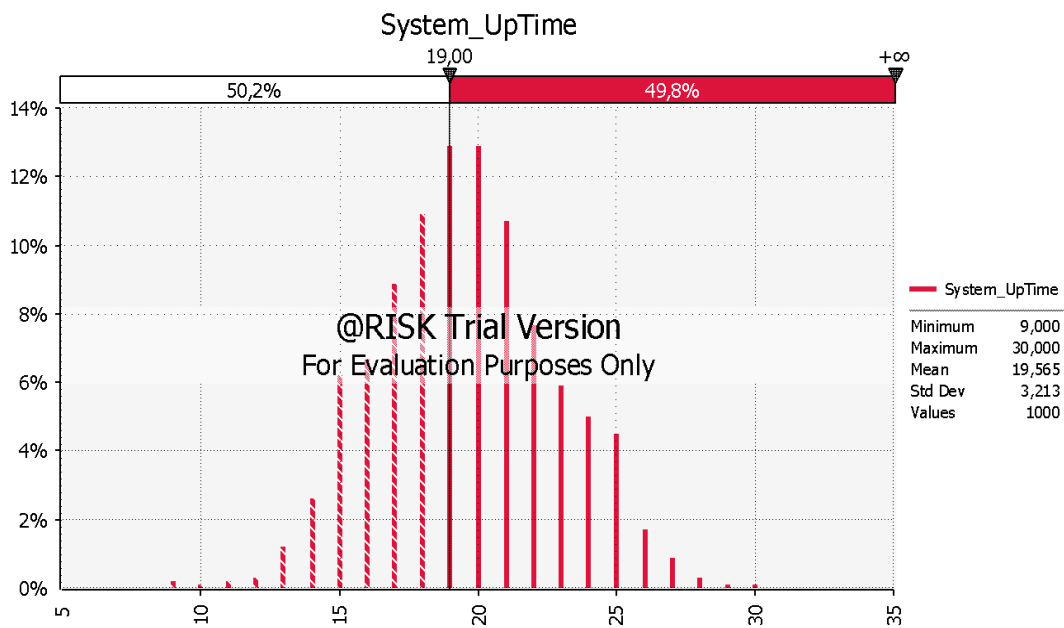
Βασική ανάλυση μέσης αξιοπιστίας

Συνολικά, παρατηρείται ότι μεταξύ των δύο μεθόδων τα αποτελέσματα στις ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές των μεταβλητών εξόδου δεν έχουν έντονες διαφορές. Συγκεκριμένα, η διαφορά της μέσης τιμής της αξιοπιστίας του συστήματος ανέρχεται στο 0,8%, ενώ η διαφορά της μέσης τιμής του χρόνου λειτουργίας του συστήματος ανέρχεται στα 0,3 slot την εβδομάδα. Γεγονός αναμενόμενο, καθώς η διαφορά των δύο μεθόδων δεν είναι έντονη.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβλητής εξόδου Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime) των δύο μοντέλων, (Εικόνες 2.8.3.1, 2.8.3.2). Οι περιπτώσεις όπου ο λειτουργικός χρόνος του συστήματος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τη μέση τιμή, περίπου τα 19 slots και για τα δύο μοντέλα, ανέρχονται σε ποσοστό 45,8% για το βασικό μοντέλο και σε ποσοστό 49,8% για το μοντέλο πιο πιθανής αξιοπιστίας.



Εικόνα 2.8.3. 1: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), βασικό μοντέλο

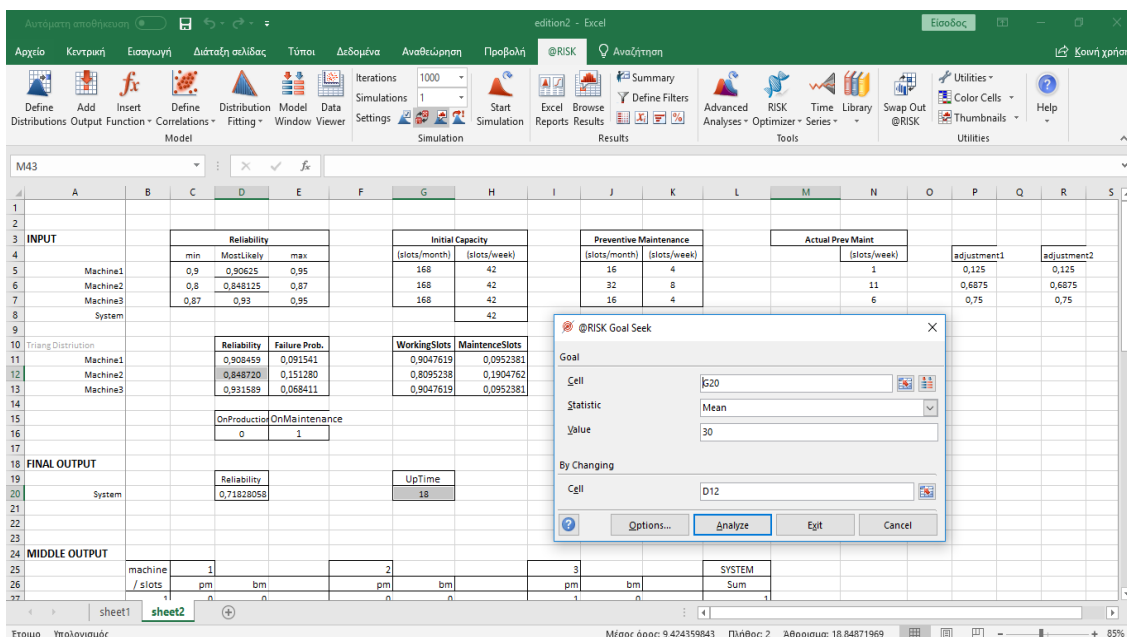


Εικόνα 2.8.3. 2: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), μοντέλο πιο πιθανής αξιοπιστίας

Μελέτη αύξησης λειτουργικού χρόνου

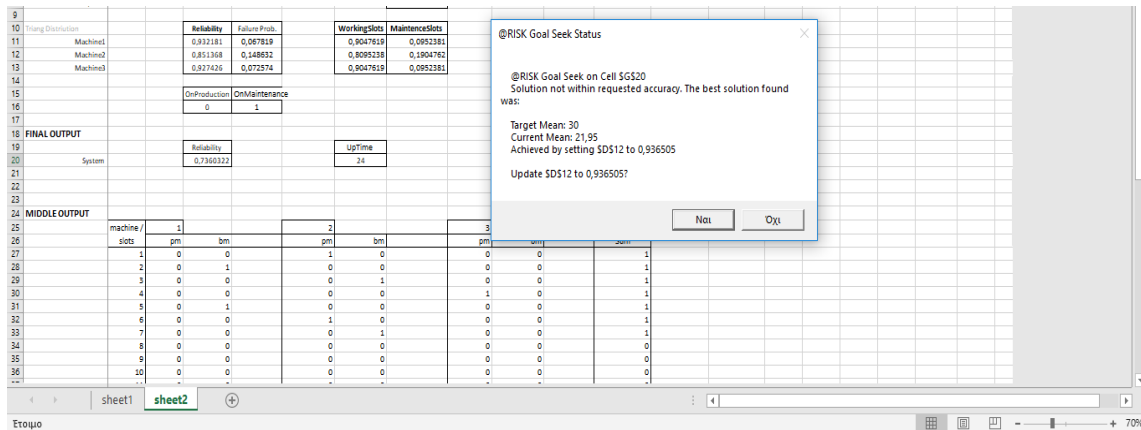
Στη συνέχεια, με σκοπό να αυξηθεί ο λειτουργικός χρόνος του συστήματος (System Uptime) πραγματοποιείται μελέτη **Εύρεσης Στόχου** για το απλό μοντέλο. Κατά τη μελέτη αυτή, επιλέχθηκε να εξεταστεί η μέση τιμή της αξιοπιστίας της μηχανής No2, καθώς έχει το μικρότερο ποσοστό, 83,3%. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη ερευνά ποια θα πρέπει να είναι η νέα μέση τιμή της μεταβλητής αυτής, ώστε ο μέσος λειτουργικός χρόνος του συστήματος (που τώρα είναι 19,3

slots) να φτάσει τη τιμή «στόχο» 30 slots. Η δήλωση των παραμέτρων της έρευνας φαίνεται στην εικόνα 2.8.3.3.

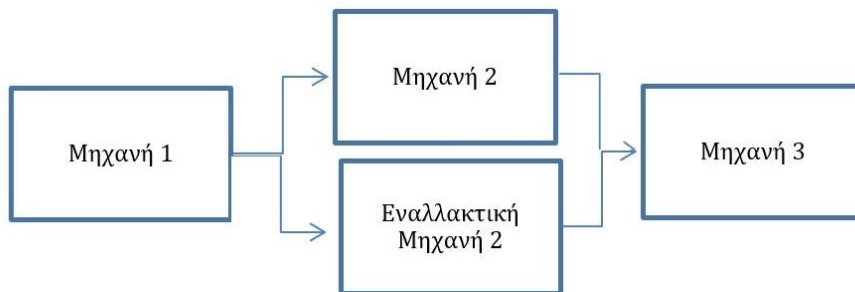


Εικόνα 2.8.3. 3: Δήλωση Παραμέτρων Μελέτης Εύρεση Στόχου

Τα αποτελέσματα της μελέτης, (Εικόνα 2.8.3.4), ορίζουν ότι για να φτάσει η μέση τιμή του λειτουργικού χρόνου του συστήματος τα 30 slots (ενώ βρίσκεται στα 19,3), θα πρέπει η μέση τιμή της αξιοπιστίας της μηχανή No2 να φτάσει το ποσοστό 93,7%, (ενώ βρίσκεται στο 83,3%). Τελικά, θα πρέπει να αναβαθμιστεί σε τέτοιο βαθμό η μηχανή No2, ώστε να φτάσει το ποσοστό αξιοπιστίας 93,7% ή να αντικατασταθεί από μια αντίστοιχη μηχανή με μέση αξιοπιστία 93,7%. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να αγοραστεί αντίστοιχη μηχανή με μέση αξιοπιστία 62,3% και να λειτουργεί εναλλακτικά της υπάρχουσας μηχανής No2. Στην περίπτωση αυτή, το μοντέλο του συστήματος παραγωγής θα έχει ένα παράλληλο σημείο, το οποίο θα έχει μέση τιμή αξιοπιστίας 93,7%, (Σχήμα 2.8.3.1).



Εικόνα 2.8.3. 4: Αποτελέσματα Μελέτης Εύρεσης Στόχου



Σχήμα 2.8.3. 1: Προτεινόμενη Διαδικασία παραγωγής προϊόντος

2.9 Αναλυτική παρουσίαση προσομοίωσης σεναρίου 2

2.9.1 Δεδομένα Εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου κατά το δεύτερο σενάριο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι πιο πιθανές τιμές αξιοπιστίας των μηχανών δεν αναφέρονται στον πίνακα, καθώς αφορούν μόνο το απλό μοντέλο. Στο σενάριο αυτό θεωρείται ότι οι στοχαστικές μεταβλητές αξιοπιστίας των μηχανών ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή. Συνεπώς, οι πιο πιθανές στατικές τιμές αξιοπιστίας των μηχανών 1, 2 και 3 είναι 92%, 96% και 84,5% αντίστοιχα.

	Μηχανή 1	Μηχανή 2	Μηχανή 3
Αρχική Δυναμικότητα Capacity (slots/εβδομάδα)	42	42	42

Συχνότητα Συντήρησης Planned Preventive Maintenance (slots/εβδομάδα)	4	8	4
Αξιοπιστία [ελάχιστη - μέγιστη] Reliability (ποσοστό %)	90 – 94	95 – 97	80 – 89

Πίνακας 2.9.1. 1: Δεδομένα εισόδου δεύτερου σεναρίου

2.9.2 Δεδομένα Εξόδου

Τα βασικά δεδομένα εξόδου που προέκυψαν από μια προσομοίωση Monte Carlo 1.000 δειγματοληψιών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

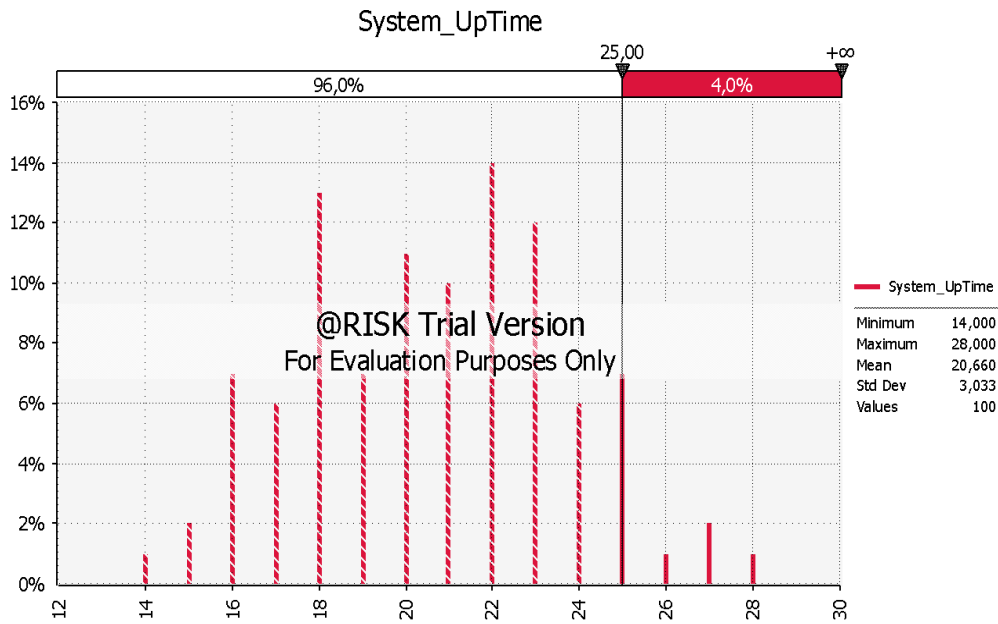
Μοντέλο	Βασικό		Πιο πιθανής αξιοπιστίας	
	Min – Max	Mean	Min – Max	Mean
Αξιοπιστία Συστήματος System Reliability (ποσοστό %)	70,7 – 79,4	74,6	69,7 – 79,0	74,6
Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος System Uptime (slots/εβδομάδα)	14 – 28	20,7	14 – 29	20,6

Πίνακας 2.9.2. 1: Δεδομένα εξόδου δεύτερου σεναρίου

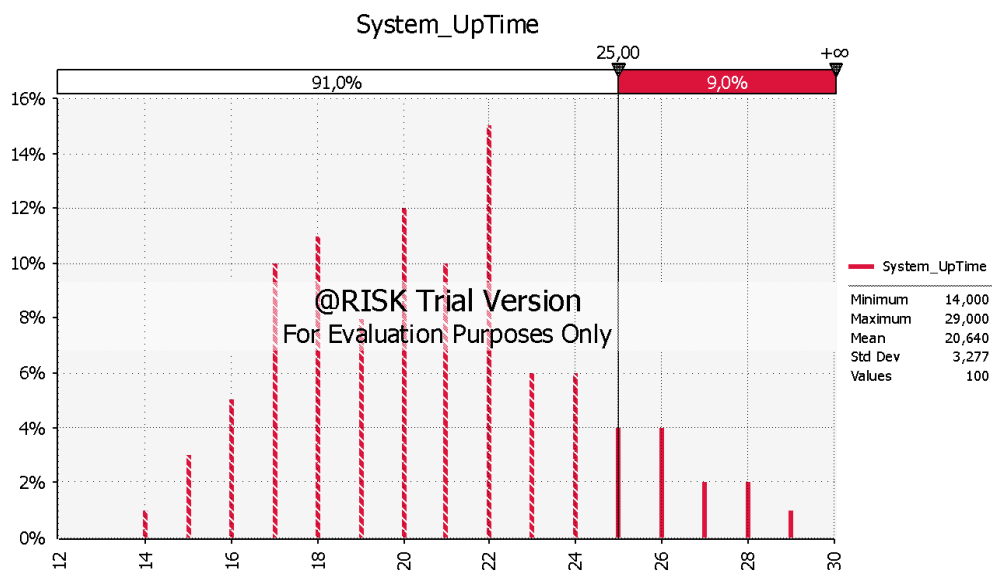
2.9.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Βασική ανάλυση χρόνου λειτουργίας

Παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβλητής εξόδου Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime) των δύο μοντέλων, (Εικόνες 2.9.3.1, 2.9.3.2). Οι περιπτώσεις όπου ο λειτουργικός χρόνος του συστήματος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με 25 slots, ανέρχονται σε ποσοστό 4% για το βασικό μοντέλο και σε ποσοστό 9% για το μοντέλο πιθανής αξιοπιστίας.



Εικόνα 2.9.3. 1: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), βασικό μοντέλο



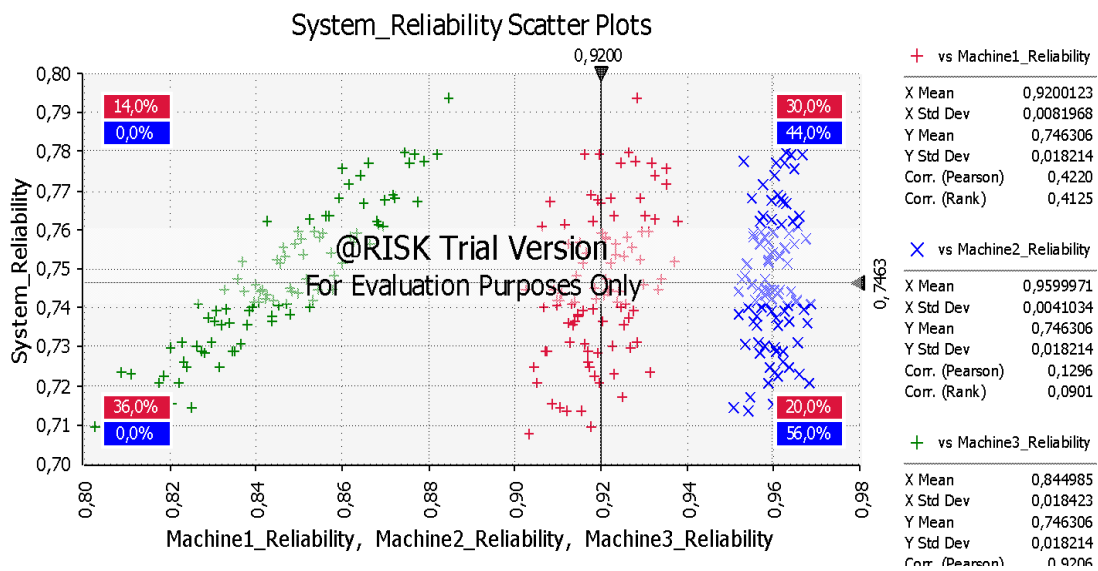
Εικόνα 2.9.3. 2: Λειτουργικός Χρόνος Συστήματος (System Uptime), μοντέλο πιο πιθανής αξιοπιστίας

Συνολικά, παρατηρείται ότι και στα αποτελέσματα αυτού του σεναρίου υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων. Στο σημείο αυτό, αξίζει να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων εισόδου και συγκεκριμένα της αξιοπιστίας των μηχανών.

Ανάλυση διασποράς και ανάλυση ευαισθησίας

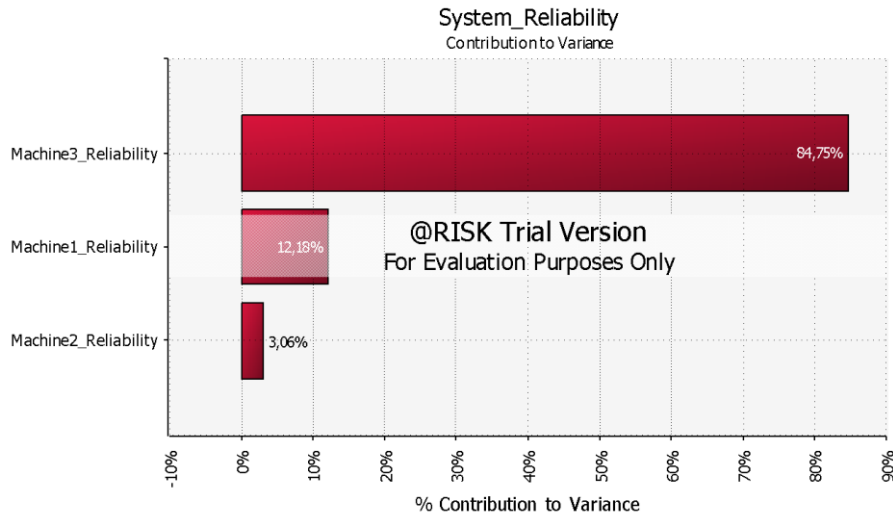
Στη συνέχεια, παρατίθενται το διάγραμμα διασποράς των «ψευδοτυχαίων» τιμών που εκχωρήθηκαν στις μεταβλητές αξιοπιστίας των μηχανών κατά την προσομοίωση του βασικού μοντέλου, (Εικόνα 2.9.3.3). Το διάγραμμα διασποράς απεικονίζει το βασικό χαρακτηριστικό της

προσομοίωσης Monte Carlo, το οποίο ορίζει ότι οι «ψευδοτυχαίες» τιμές που λαμβάνει η εκάστοτε στοχαστική μεταβλητή ακολουθούν την κατανομή της. Στην προκειμένη περίπτωση, οι τρεις στοχαστικές μεταβλητές της αξιοπιστίας των μηχανών (Machine1_Reliability, Machine2_Reliability, Machine3_Reliability) έχουν ομοιόμορφη διασπορά. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση των μηχανών No1 και No2 είναι πάρα πολύ μικρή, συγκριτικά με τη τυπική απόκλιση της μηχανής No3. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης της μηχανής No2 είναι ο μικρότερος εκ των τριών συντελεστών (μόλις 0,13), ενώ ο συντελεστής της μηχανής No3 είναι ο μεγαλύτερος (0,92). Συμπεραίνεται ότι, το αποτέλεσμα της αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος εξαρτάται πολύ έντονα από τη μηχανή No3 και ελάχιστα από τη μηχανή No2.



Εικόνα 2.9.3. 3: Διάγραμμα Διασποράς στοχαστικών μεταβλητών

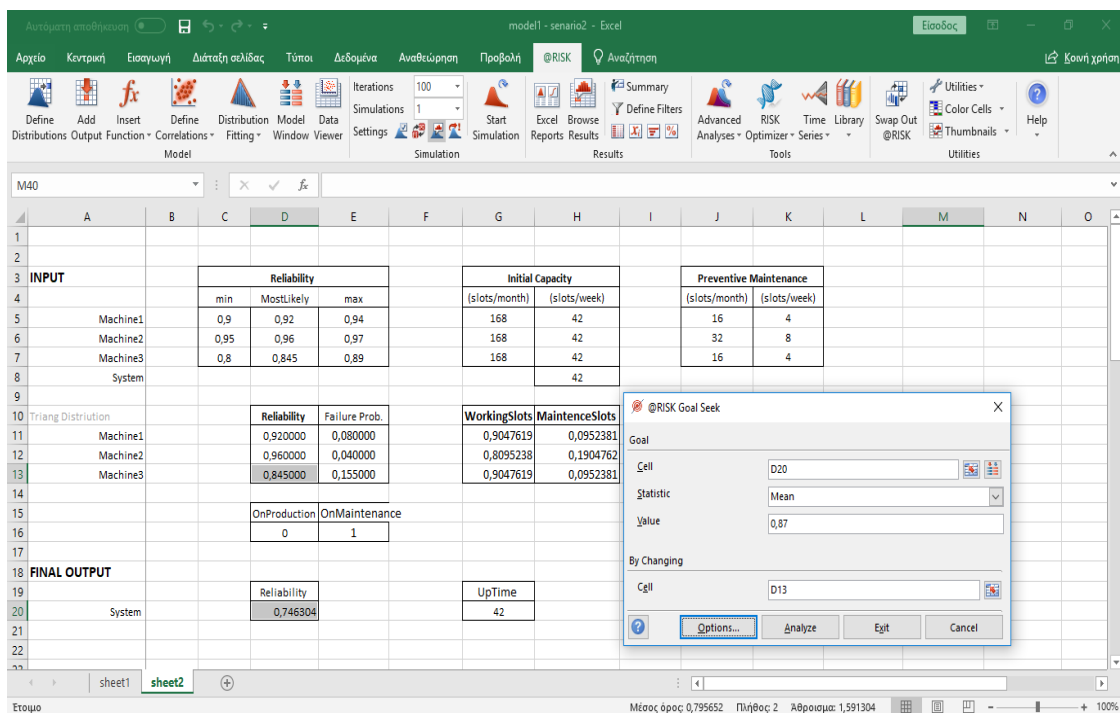
Το ακριβές μέγεθος της εν λόγω εξάρτησης της αξιοπιστίας του εξοπλισμού, εκφρασμένο σε ποσοστό, δίνεται από το διάγραμμα της ανάλυσης ευαισθησίας της αξιοπιστίας του εξοπλισμού, (Εικόνα 2.9.3.4). Παρατηρείται ότι, η αξιοπιστία του συστήματος επηρεάζεται με έντονα υψηλό ποσοστό, σχεδόν 85%, από την αξιοπιστία της μηχανής No3. Αποτέλεσμα που οφείλεται στο γεγονός ότι η μηχανή No3 έχει πολύ μεγαλύτερη διασπορά από ότι έχουν οι άλλες δύο μηχανές.



Εικόνα 2.9.3. 4: Ανάλυση Ευαισθησίας της Αξιοπιστίας του Συστήματος (Contribution to Variance)

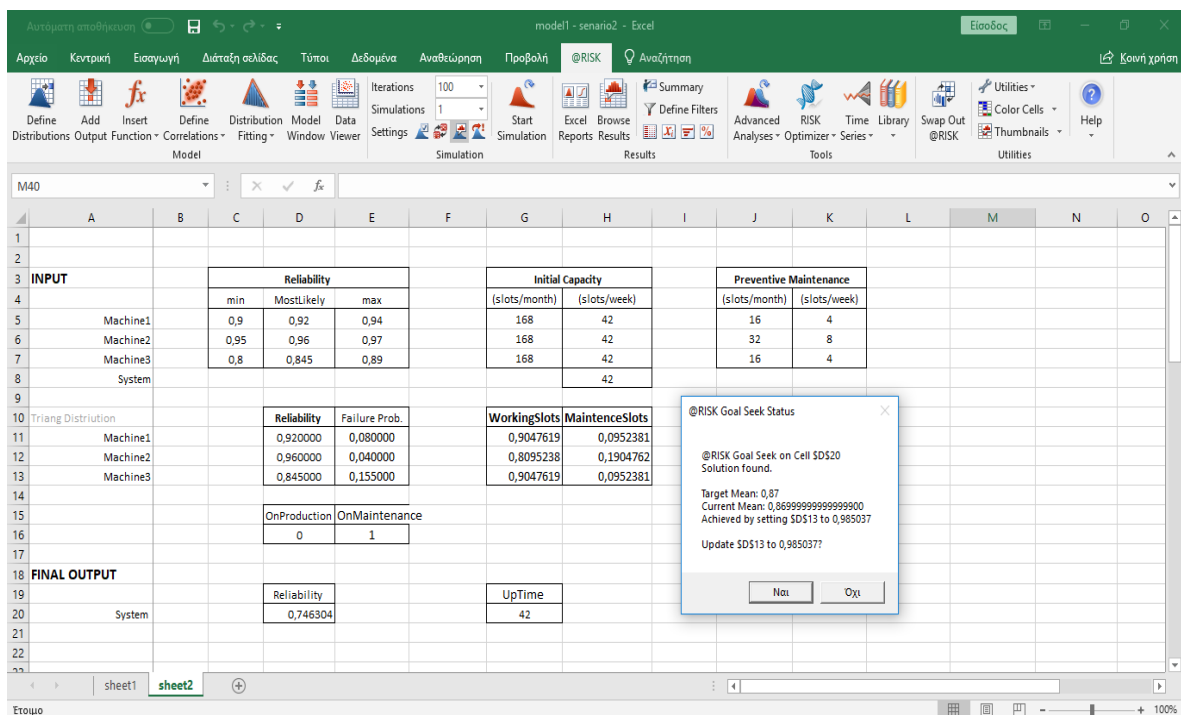
Ανάλυση μεταβλητών με στοχοθεσία

Στη συνέχεια, με σκοπό να αυξηθεί η συνολική αξιοπιστία του συστήματος (System Availability) πραγματοποιείται μελέτη **Εύρεσης Στόχου (στοχοθεσίας)**. Κατά τη μελέτη αυτή, επιλέχθηκε να εξεταστεί η μέση τιμή της αξιοπιστίας της μηχανής Νο3, καθώς έχει το μικρότερο ποσοστό που είναι 84,5%. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη ερευνά ποια θα πρέπει να είναι η νέα μέση τιμή της μεταβλητής αυτής, ώστε η αξιοπιστία του συστήματος (που τώρα είναι 74,7%) να λάβει τη **τιμή «στόχο» 87%**. Η δήλωση των παραμέτρων της έρευνας φαίνεται στην εικόνα 2.9.3.5.



Εικόνα 2.9.3. 5: Δήλωση Παραμέτρων Μελέτης Εύρεση Στόχου

Τα αποτελέσματα της μελέτης, (Εικόνα 2.9.3.6), ορίζουν ότι για να φτάσει η μέση τιμή της αξιοπιστίας του συστήματος στο ποσοστό **87%** (ενώ βρίσκεται στο 74,7%), θα πρέπει η μέση τιμή της αξιοπιστίας της μηχανής Νο3 να φτάσει το ποσοστό **98,5%**, (ενώ βρίσκεται στο 84,5%). Για να επιτευχθεί η αύξηση αυτή στο ποσοστό αξιοπιστίας της μηχανής Νο3 θα πρέπει είτε να αναβαθμιστεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να φτάσει το ποσοστό αξιοπιστίας 98,5%, είτε να αντικατασταθεί από μια αντίστοιχη μηχανή με μέση αξιοπιστία 98,5%. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να αγοραστεί αντίστοιχη μηχανή με μέση αξιοπιστία 90,5% και να λειτουργεί εναλλακτικά της υπάρχουσας μηχανής Νο3. Στην περίπτωση αυτή, το μοντέλο του συστήματος παραγωγής θα έχει ένα παράλληλο σημείο, το οποίο θα έχει μέση τιμή αξιοπιστίας 98,5%.



Εικόνα 2.9.3. 6: Αποτελέσματα Μελέτης Εύρεσης Στόχου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ERP

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο **πλάνο προγραμματισμού** παραγωγής και συντήρησης για το μοντέλο παραγωγής που μελετάται στην παρούσα εργασία, προσομοιωμένο σε περιβάλλον πληροφοριακού συστήματος (ERP) και συγκεκριμένα στο πληροφοριακό σύστημα SAP R/3. Στο πλάνο προγραμματισμού εκχωρούνται σε συγκεκριμένες ημέρες και ώρες οι εντολές παραγωγής, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ημερομηνιών παράδοσης, και ενσωματώνονται οι εντολές προληπτικής συντήρησης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προβλεπόμενου πλάνου συντήρησης. Η ενσωμάτωση (integration) των δύο αυτών διαδικασιών σε ένα μόνο πλάνο προγραμματισμού επιτρέπει στον υπεύθυνο του παραγωγικού συστήματος να οργανώνει αποτελεσματικά και αποδοτικά τις επιμέρους ενέργειες συντήρησης και παραγωγής.

Αρχικά, στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα Πληροφοριακά Συστήματα ως προς τη λειτουργία τους και την ιστορία τους. Επιπλέον, αναλύεται το Πληροφοριακό Σύστημα SAP R/3 και δίνεται έμφαση στο υποσύστημα της Συντήρησης Παραγωγικής Μονάδας (SAP Plant Maintenance). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το μοντέλο του παραγωγικού συστήματος που προσομοιώνεται στο σύστημα SAP και πραγματοποιείται η εκτέλεση διαφορετικών προσεγγίσεων προγραμματισμού των εντολών παραγωγής και των εντολών συντήρησης. Τέλος, παρουσιάζεται το πλέον προτεινόμενο **πλάνο προγραμματισμού** παραγωγής και συντήρησης που ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο της παραγωγής όσο και της συντήρησης.

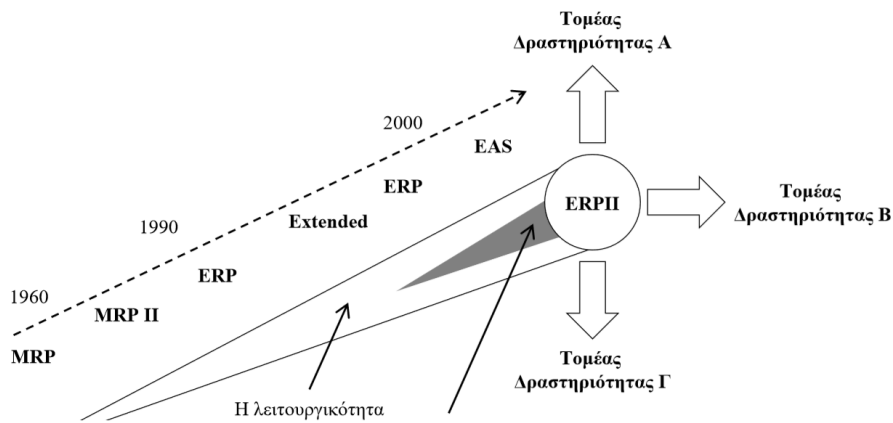
3.1 Πληροφοριακά Συστήματα

Πληροφοριακό Σύστημα (Enterprise Resource Planning – ERP) ορίζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαδικασιών, το οποίο έχει σκοπό την παροχή χρήσιμων πληροφοριών και την εκτέλεση ορισμένων εργασιών της επιχείρησης στα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της [30]. Ένα πληροφοριακό σύστημα βασισμένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή επεξεργάζεται τα εισαγόμενα δεδομένα και παράγει αποτελέσματα ή αναφορές που τις γνωστοποιεί άμεσα στο χρήστη ή σε άλλο πληροφοριακό σύστημα. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν πληροφορίες ή γνώση για την επιχείρηση για λήψη αποφάσεων [31].

Κατά την δεκαετία του 1960 αναπτύχθηκε ο προγραμματισμός απαιτήσεων των υλικών που είναι απαραίτητα για την κατασκευή των παραγόμενων προϊόντων, καθώς οι επιχειρήσεις αποσκοπούσαν στην ελαχιστοποίηση του κόστους πρώτων υλών. Τα **Συστήματα Προγραμματισμού Απαιτήσεων Υλικών** (Material Requirements Planning – MRP), που

παράχθηκαν εκείνη τη περίοδο, υπολογίζουν την καταλληλότερη χρονική στιγμή και την καταλληλότερη απαιτούμενη ποσότητα παραγγελίας πρώτων υλών [32]. Μέσω των συστημάτων MRP υπήρξε δυνατότητα συγχρονισμού των ημερομηνιών παράδοσης υλικών με τις ημερομηνίες χρήσης αυτών, κάτι που αποτέλεσε βήμα προόδου στον προγραμματισμό παραγγελίας υλικών. Επιπλέον, οι ημερομηνίες παράδοσης υλικών σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες παράδοσης των παραγόμενων προϊόντων δημιούργησαν περιορισμούς/προτεραιότητες στην παραγωγή των προϊόντων, διαδικασία γνωστή ως προγραμματισμός προτεραιοτήτων (priority planning). Ο προγραμματισμός των προτεραιοτήτων σε συνδυασμό με τον προγραμματισμό της δυναμικότητας της παραγωγής (capacity planning) οδήγησαν σε επιπλέον ανάγκες όπως είναι η πρόβλεψη των πωλήσεων (sales forecast) και ο προγραμματισμός των πωλήσεων (sales planning). Για να καλυφθούν οι παραπάνω ανάγκες αναπτύχθηκαν συμπληρωματικά εργαλεία των συστημάτων MRP, που ονομάστηκαν **συστήματα MRP κλειστού κυκλώματος** (closed-loop MRP) και αποτέλεσαν το δεύτερο βήμα της ανάπτυξης των συστημάτων ERP, (Εικόνα 3.1.1). Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων MRP κλειστού κυκλώματος είναι ότι περιλαμβάνουν εργαλεία για τον προγραμματισμό προτεραιοτήτων και τον προγραμματισμό δυναμικότητας, καθώς, και ότι περιλαμβάνουν μηχανισμούς ανατροφοδότησης (feedback loop) του συστήματος προγραμματισμού απαιτήσεων υλικών. Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία των **συστημάτων Προγραμματισμού Κατασκευαστικών Πόρων** (Manufacturing Resource Planning - MRP II), (Εικόνα 3.1.1). [33]

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 προωθήθηκαν τα συστήματα Client / Server, τα MS - Windows και τα γραφικά περιβάλλοντα εργασίας (Graphical User Interface - GUI). Η βιομηχανία λογισμικού επανασχεδιάζει τα προϊόντα της ώστε να είναι συμβατά με τα νέα περιβάλλοντα εργασίας και να είναι περισσότερο φιλικά προς τον χρήστη. Επιπλέον, οι ανάγκες για διαχείριση των ανθρωπίνων πόρων αυξήθηκαν, η χρηματοοικονομική διαχείριση και ο έλεγχος των αποθεμάτων βελτιστοποιήθηκαν και τα δεδομένα που βρίσκονταν αποθηκευμένα στα συστήματα των εταιρειών αυξήθηκαν εκθετικά. Όλα αυτά οδήγησαν στην εμφάνιση των ERP που βοηθούσαν στη διευθέτηση των παραπάνω προβλημάτων σε σημαντικό βαθμό και αποτελούσαν υβριδικά πληροφοριακά συστήματα, κάτι ανάμεσα στα Decision Support Systems (DSS) και στα Executive Information Systems (EIS). Επιπλέον, τα ERP εκμεταλλεύοντουσαν στο έπακρο τις δυνατότητες του Internet και των διαδικτυακών εφαρμογών. [33]



Εικόνα 3.1. 1: Η εξέλιξη των συστημάτων ERP [33]

Τα συστήματα ERP βασίζονται στις ίδιες αρχές με τα συστήματα MRP II. Η διαφορά βρίσκεται στο γεγονός ότι τα συστήματα ERP αυτοματοποιούν περισσότερες επιχειρηματικές διαδικασίες και προσφέρουν μεγαλύτερο βαθμό ολοκλήρωσης μεταξύ αυτών. Ενοποιούν τις δραστηριότητες της επιχείρησης σε ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου και παρέχουν μια συνολική εικόνα για τη λειτουργία της επιχείρησης. Ένα Πληροφοριακό Σύστημα αποτελείται από λειτουργικά προγράμματα (functional modules), τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ακόμα και μεμονωμένα. Ένα ERP σύστημα παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης και οργάνωσης πληροφοριών που αφορούν κατ' ελάχιστο τις ακόλουθες επιχειρησιακές δραστηριότητες [30]:

- Οικονομική & λογιστική διαχείριση (Financial Accounting)
- Ανθρώπινο δυναμικό (Human Resources)
- Προγραμματισμός παραγωγής (Production Planning)
- Συντήρηση Παραγωγικού Εξοπλισμού (Maintenance)
- Διαχείριση ροής εργασιών (Work flow Management)
- Διαχείριση υλικών & αποθεμάτων (Inventory & Materials Management)
- Διαχείριση αγορών & προμηθειών (Purchasing Management)
- Διαχείριση πωλήσεων & διανομών (Sales & Distribution)
- Γενική λειτουργικότητα & έλεγχος (Functionality & Control)
- Διαχείριση ποιότητας (Quality Management)

Στην επόμενη γενιά συστημάτων οι επιχειρήσεις δίνουν έμφαση στην ολοκλήρωση των διαδικασιών και τη συνεργασία με άλλες επιχειρήσεις. Τα συστήματα ERP εξελίσσονται στη δεύτερη γενιά τους, η οποία είναι γνωστή ως επεκταμένα ERP (extended ERP ή ERP II), (Εικόνα 3.1.1). Στα συστήματα ERP II δίνεται έμφαση στη διασύνδεση πληροφοριακών συστημάτων διαφορετικών εταιρειών, καθώς η απαίτηση είναι να υποστηριχθούν εικονικές επιχειρήσεις (virtual enterprises) και το ηλεκτρονικό εμπόριο. Συνεπώς τα συστήματα επεκτείνονται εκ νέου

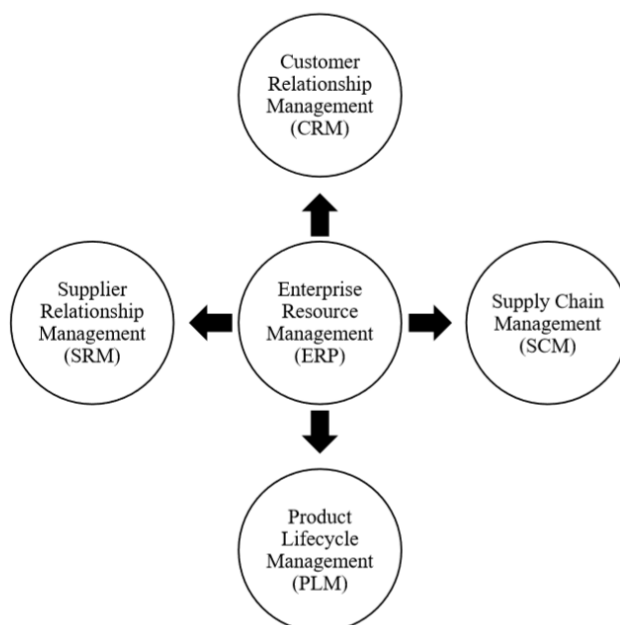
και ο διαχωρισμός των συστημάτων ERP, των συστημάτων εφοδιαστικών αλυσίδων (Supply Chain Management Systems - SCM) και των συστημάτων διαχείρισης πελατών (Customer Relationship Management Systems – CRM) δεν είναι αυστηρός.

Τα τελευταία χρόνια της εξέλιξης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές, όπως η Sap και η Oracle, προχώρησαν στην κατασκευή **Επιχειρηματικών Πλαισίων Εφαρμογών** (Enterprise Application Suite – EAS), (Εικόνα 3.1.1), προσπαθώντας να καλύψουν με ενιαίο και πιο ολοκληρωμένο τρόπο τις πληροφορικές ανάγκες των επιχειρήσεων [33].

Η εταιρεία SAP στο προϊόν της SAP Business Suite παρουσιάζει ένα Επιχειρηματικό Πλαίσιο Εφαρμογής, (Εικόνα 3.1.2), το οποίο ολοκληρώνει σε ένα ενιαίο σύνολο τα παρακάτω συστήματα [33]:

- Σύστημα Προγραμματισμού Επιχειρησιακών Πόρων (Enterprise Resource Planning - ERP)
- Σύστημα Διαχείρισης Πελατειακών Σχέσεων (Customer Relationship Management - CRM)
- Σύστημα Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management - SCM)
- Σύστημα Διαχείρισης Κύκλου Ζωής Προϊόντων (Product Lifecycle Management - PLM)
- Σύστημα Διαχείρισης Προμηθευτών (Supplier Relationship Management - SRM)

Το σύστημα ERP βρίσκεται στο κέντρο του πλαισίου αφού αποτελεί τη συνεκτική συνιστώσα. Τα υποσυστήματα αυτά υλοποιούνται πάνω στην πληροφοριακή υποδομή της επιχείρησης. Η αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης έχει αμφισβητηθεί, καθώς, το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυξάνεται [33].



Εικόνα 3.1. 2: Το επιχειρηματικό πλαίσιο εφαρμογών του συστήματος SAP [33]

3.2 Πληροφοριακό Σύστημα SAP

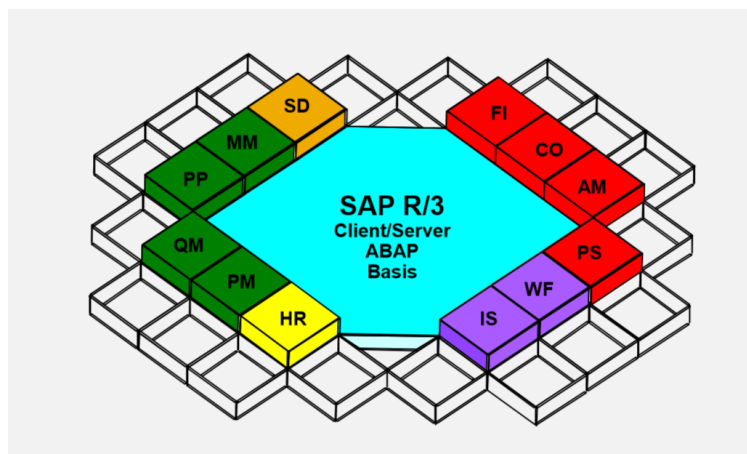
Η εταιρία «Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung», στην αγγλική γλώσσα ορίζεται η επωνυμία της ως «**Systems, Applications and Products in Data Processing**» (SAP), ιδρύθηκε στο Walldorf της Γερμανίας το 1972. Δραστηριοποιείται στον τομέα ανάπτυξης επιχειρησιακών λογισμικών και σήμερα αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους προμηθευτές του κλάδου παγκοσμίως. Τα ολοκληρωμένα επιχειρησιακά λογισμικά που παρέχει η εταιρία SAP είναι τα ακόλουθα [34].

- SAP Business Suite
- SAP All-in-One
- SAP Business by Design
- SAP Business One

Το σύστημα SAP R/3 αποτελείται από επιμέρους λειτουργικά προγράμματα (functional modules), στο εξής **υποσυστήματα**, (Εικόνα 3.2.1). Επιγραμματικά, τα βασικότερα υποσυστήματα του SAP R/3 είναι τα ακόλουθα.

- Sales and Distribution (SD)
- Materials Management (MM)
- Production Planning (PP)
- Quality Management (QM)
- Plant Maintenance (PM)

- Human Resource Management (HRM ή HR)
- Project System (PS)
- Financial Accounting (FI)
- Controlling (CO)



Εικόνα 3.2. 1: Υποσυστήματα (modules) του SAP R/3 [34]

3.3. Παραγωγή και Συντήρηση στο Πληροφοριακό Σύστημα SAP

Το υποσύστημα SAP **Production Planning** (PP) αποτελεί ένα εργαλείο διοίκησης της παραγωγικής διαδικασίας. Η παραγωγική διαδικασία επιμερίζεται σε δύο κύρια στάδια, στο προγραμματισμό παραγωγής (production planning) και στην εκτέλεση παραγωγής (production execution).

Ο **προγραμματισμός παραγωγής** συνίσταται στον ορισμό των προδιαγραφών παραγωγής προϊόντων, της διαθεσιμότητας των κέντρων επεξεργασίας (work centers), τον προγραμματισμό της παραγωγικής δυναμικότητας (capacity planning), τον προγραμματισμό απαιτήσεων σε υλικά (material requirements planning – mpr) κ.λπ. Η **εκτέλεση της παραγωγής** συνίσταται στη διαχείριση εντολών παραγωγής (production orders), στη διαχείριση παραγωγικών πόρων, στη διαχείριση κέντρων επεξεργασίας κ.λπ. Εκτός των παραπάνω, η διοίκησης παραγωγής περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση της αποθήκης (warehouse management), το ποιοτικό έλεγχο (quality management) και τη συντήρηση του εξοπλισμού (plant maintenance). [33]

Το υποσύστημα SAP **Plant Maintenance** (PM) αποτελεί ένα εργαλείο διοίκησης της συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού. Οι κύριες διαδικασίες συντήρησης που υποστηρίζονται από το υποσύστημα PM είναι διαδικασίες περιοδικού ελέγχου/ επιθεώρησης, περιοδικής συντήρησης και επιδιόρθωσης. Στα πλαίσια των διαδικασιών αυτών το υποσύστημα

PM, σε συνεργασία με άλλα υποσυστήματα του SAP, πραγματοποιεί ενέργειες προγραμματισμού εργασιών, εκτελούμενων από μηχανές ή/ και ανθρώπους, κατανάλωσης και προμήθειας υλικών /ανταλλακτικών /αναλωσίμων (διαχείριση αποθεμάτων), επιθεώρησης και καταγραφής κόστους συντήρησης. Ως αποτέλεσμα, όλες οι ενέργειες συντήρησης, που εκτελούνται μέσω του PM, συνδέονται με δεδομένα και ενέργειες άλλων υποσυστημάτων του SAP. Συνολικά, το υποσύστημα PM είναι συνδεδεμένο (integrated) με άλλα υποσυστήματα, όπως με το Production Planning (PP), το Materials Management (MM), το Sales and Distribution (SD), το Financial Accounting (FI) και το Controlling (CO).

Αναλυτικά, το υποσύστημα SAP PM υποστηρίζει τη συντήρηση εξοπλισμού μέσω της δημιουργίας μητρώου αντικειμένων συντήρησης (technical objects). Τα **αντικείμενα συντήρησης** είναι εγκαταστάσεις/ λειτουργικές θέσεις (functional locations) ή μέρος του εξοπλισμού (equipment).

Οι **λειτουργικές θέσεις** είναι ιεραρχικά δομημένες ώστε να αναπαριστούν τη δομή του συστήματος που πρέπει να συντηρηθεί. Η δημιουργία των λειτουργικών θέσεων γίνεται με χωρικά ή με τεχνικά ή με λειτουργικά κριτήρια. Ο **εξοπλισμός** μπορεί επίσης να δομηθεί ιεραρχικά, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να περιγράψουμε πιο σύνθετες δομές. Τα κριτήρια δημιουργίας αντικειμένων συντήρησης είναι ο καλύτερος προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης, η κοστολόγηση των εργασιών συντήρησης του εξοπλισμού, η παρακολούθηση των στοιχείων απόδοσης κ.ά.

Η προγραμματισμένη συντήρηση εκτελείται μέσω ενός **Πλάνου Συντήρησης** (maintenance plan). Το πλάνο συντήρησης συσχετίζει ένα αντικείμενο συντήρησης με συγκεκριμένη στρατηγική συντήρησης (maintenance strategy) και με συγκεκριμένη λίστα συντήρησης (task list). Ένα πλάνο συντήρησης μπορεί να περιέχει περισσότερες από μία τέτοιες συσχετίσεις. Η δημιουργία ενός Πλάνου Συντήρησης έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ειδοποίησης για συντήρηση (maintenance notification) ή μιας εντολής συντήρησης (maintenance order), ανάλογα με το τι έχει δηλώσει ο χρήστης.

Η **στρατηγική συντήρησης** ορίζει τη συχνότητα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης. Συνήθως, ορίζεται σε συνάρτηση με το χρόνο (π.χ. κάθε μήνα, κάθε τρεις μήνες, κάθε χρόνο), αλλά μπορεί να οριστεί σε συνάρτηση με τα παραγόμενα προϊόντα (π.χ. κάθε 10.000 παραγόμενα τεμάχια), με τις ώρες εργασίας του εξοπλισμού (π.χ. κάθε 1.000 ώρες λειτουργίας), με συγκεκριμένη ημερομηνία (π.χ. κάθε 1^η του Αυγούστου). Σε κάθε περίπτωση δημιουργούνται πακέτα (packages), δηλαδή χρονικές περίοδοι εφαρμογής προληπτικής συντήρησης.

Η **λίστα συντήρησης** κατά τη δημιουργία της συσχετίζεται με συγκεκριμένη στρατηγική συντήρησης. Περιέχει ένα σύνολο ενεργειών συντήρησης με συγκεκριμένη ακολουθία. Για κάθε ενέργεια συντήρησης ορίζεται ο χρόνος και ο αριθμός των τεχνικών που απαιτούνται για την ολοκλήρωσή της, καθώς και επιπλέον σχόλια σε μορφή κειμένου ως διευκρινήσεις. Τέλος, σε κάθε ενέργεια συντήρησης εκχωρείται συγκεκριμένο πακέτο (ή συγκεκριμένα πακέτα) συντήρησης βάση της στρατηγικής συντήρησης που ακολουθεί η λίστα.

Η **εντολή συντήρησης** (maintenance order) ως αποτέλεσμα ενός Πλάνου Συντήρησης αποτελεί προληπτική ενέργεια συντήρησης (preventive maintenance order). Ορίζεται εναλλακτικά ως εντολή προληπτικής εργασίας (preventive work order). Μια τέτοια εργασία μπορεί να φανερώσει την ανάγκη για επιδιόρθωση του εξοπλισμού. Σε τέτοια περίπτωση, μέσω μιας εντολής προληπτικής εργασίας δημιουργείται μια εντολή (ή και περισσότερες από μια εντολές) επιδιορθωτικής εργασίας (corrective work order). Σε γενικές περιπτώσεις, οι εντολές επιδιορθωτικής εργασίας (corrective work orders) εισάγονται στο σύστημα χωρίς προγενέστερες αναφορές, με σκοπό να επιδιορθώσουν συγκεκριμένη αστοχία του εξοπλισμού. Σε περίπτωση που στον εξοπλισμό προκληθεί ολοκληρωτική βλάβη, δημιουργείται εντολή επιδιόρθωσης ολοκληρωτικής βλάβης (breakdown work order). [35]

Συνολικά, μέσω του πλάνου συντήρησης προσφέρεται υψηλότερη απόδοση στη συνολική διαδικασία της συντήρησης, καθώς υπάρχει ροή πληροφόρησης μεταξύ των επιμέρους ενεργειών συντήρησης και της εντολής συντήρησης, καθώς επίσης δημιουργούνται εντολές ή ειδοποιήσεις συντήρησης αυτόματα τις χρονικές στιγμές που απαιτείται. [35]

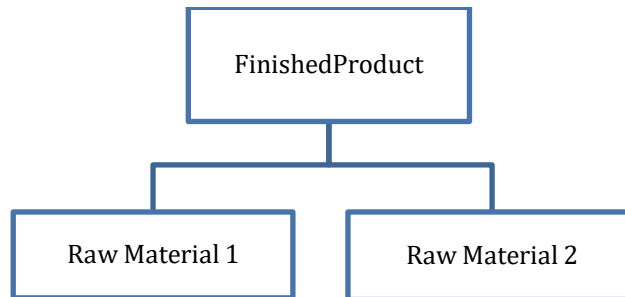
3.4 Μοντελοποίηση του παραγωγικού συστήματος

Το μοντέλο του παραγωγικού συστήματος, που προσομοιώνεται σε περιβάλλον SAP, αποτελείται συνοπτικά από τα κάτωθι στοιχεία.

- Παραγόμενο Προϊόν (Final Product)
- Πρώτες ύλες (Raw Materials)
- Πίνακας Υλικών (Bill of Material)
- Φασειολόγιο (Routing)
- Κέντρα Εργασίας (Work Centers)
 - Μηχανή Παραγωγής (Machine)
 - Δυναμικότητα (Capacity)

- Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)

Αναλυτικά, το παραγωγικό σύστημα **παράγει ένα προϊόν κατά παραγγελία** (job-shop). Το τελικό αυτό προϊόν παράγεται από δύο πρώτες ύλες, (Σχήμα 3.4.1).

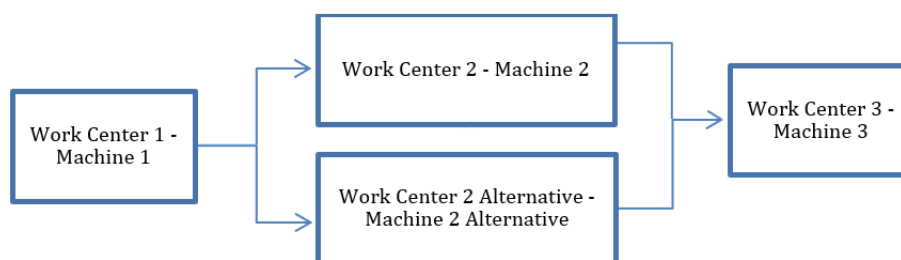


Σχήμα 3.4. 1: Πίνακας Υλικών (Bill of Material) τελικού προϊόντος

Το παραγωγικό σύστημα αποτελείται από **τέσσερα κέντρα εργασίας**, εκ των οποίων τα δύο λειτουργούν εναλλακτικά. Αναλυτικά, κάθε κέντρο εργασίας αποτελείται από μια αυτοματοποιημένη μηχανή, χωρίς τη παρουσία ανθρώπινου δυναμικού. Η **δυναμικότητα** (capacity) των κέντρων εργασίας είναι σταθερή, καθώς μετριέται σε ώρες λειτουργίας των μηχανών, οι οποίες δεν εμφανίζουν μεταπτώσεις στην απόδοσή τους. Τα κέντρα εργασίας του παραγωγικού συστήματος ορίζονται ως:

- Work Center 1
- Work Center 2
- Work Center 2 Alternative
- Work Center 3

Η διαδικασία παραγωγής του τελικού προϊόντος περιλαμβάνει τρία σειριακά σημεία επεξεργασίας των πρώτων υλών σε τρία κέντρα εργασίας. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο εναλλακτικά φασειολόγια με ίδιους χρόνους επεξεργασίας, (Σχήμα 3.4.2).



Σχήμα 3.4. 2: Φασειολόγια (Routings) τελικού προϊόντος

Το παραγωγικό σύστημα συντηρείται με τη μέθοδο της **προληπτικής συντήρησης** (preventive maintenance). Έχουν οριστεί δύο πλάνα συντήρησης (maintenance plans) που αφορούν στο σύνολο του εξοπλισμού. Αναλυτικά, το πρώτο πλάνο συντήρησης αφορά ενέργειες επιθεώρησης και καθαρισμού και υλοποιείται κάθε μήνα, και ένα δεύτερο πλάνο συντήρησης αφορά ενέργειες αντικαταστάσεων μερών του εξοπλισμού και υλοποιείται κάθε χρόνο. Ο προγραμματισμός των Πλάνων Συντήρησης έχει οριστεί να δημιουργεί απευθείας εντολές συντήρησης (Maintenance Orders) στα αντίστοιχα κέντρα εργασίας.

3.5 Προσομοίωση Μοντέλου στο σύστημα SAP

Για τα στοιχεία του μοντέλου του παραγωγικού συστήματος δόθηκαν σε περιβάλλον SAP τα παρακάτω μοναδικά αλφαριθμητικά.

- Παραγόμενο Προϊόν (Final Product): FP_707
- Πρώτες ύλες (Raw Materials): RM1_707, RM2_707
- Κέντρα Εργασίας (Work Centers): WC1_707, WC2_707, WC2A_707, WC3_707

Επιπλέον, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω μοναδικοί εσωτερικοί κωδικοί.

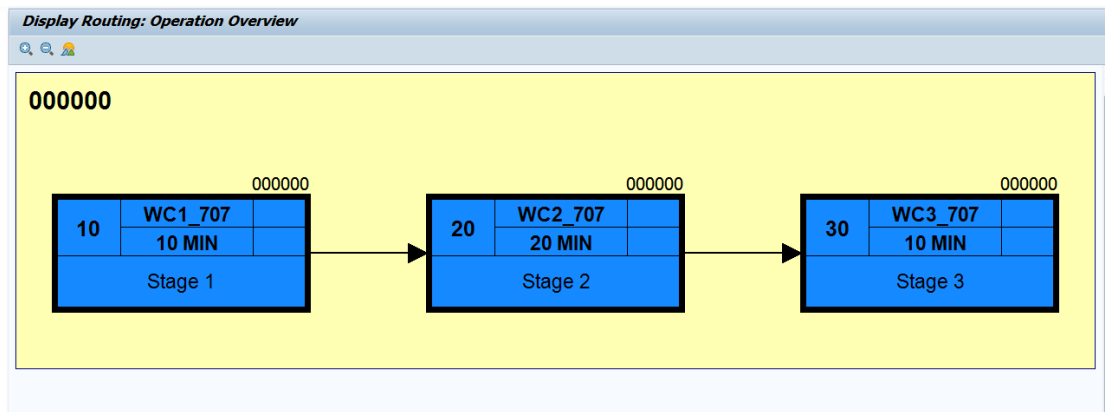
- Πίνακας Υλικών (Bill of Material): 00003215
- Ομάδα Φασειολογίων (Routing Group): 50001376
 - Αριθμός Εναλλακτικών Φασειολογίων (Group Counter): 2
- Πλάνο Προληπτικής Συντήρησης (Maintenance Plans): 263, 264
- Ομάδα Λιστών συντήρησης (Task List Group): 75
 - Αριθμός Εναλλακτικών Λιστών (Group Counter): 2

Για τη παραγωγή του τελικού προϊόντος 'FP_707' έχουν οριστεί δύο εναλλακτικά φασειολόγια, (Εικόνα 3.5.1), που ανήκουν στην ομάδα φασειολογίων με κωδικό αριθμό '50001376'.

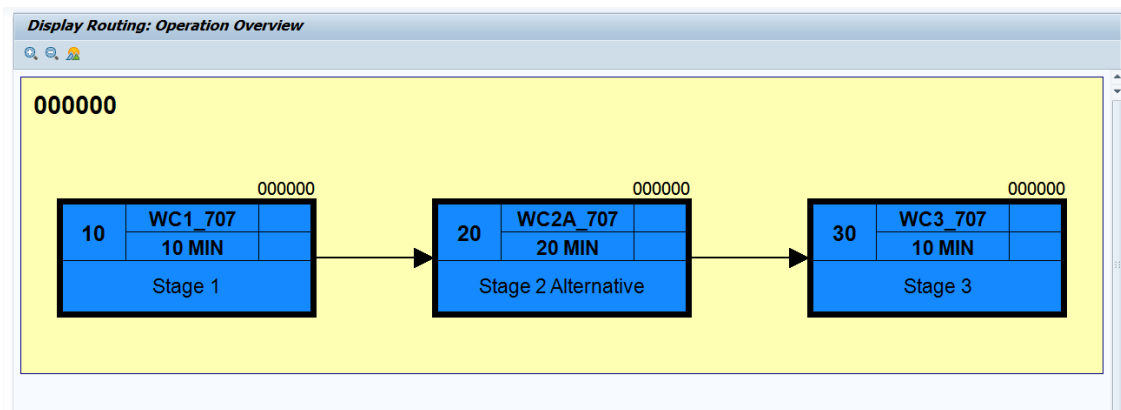
Display Routing: Overview							
Material FP_707 FinishedProduct_707							
Header overv.							
GrC	Task list description	Plant	U...	S...	Pl...	From Lot	Size
1	FinishedProduct_707	1000	1	4	*	0	
2	FinishedProduct_707	1000	1	4	*	0	

Εικόνα 3.5. 1: Φασειολόγια (Routings) του τελικού προϊόντος

Τα **στάδια επεξεργασίας** των πρώτων υλών για τη παραγωγή του τελικού προϊόντος παρουσιάζονται μέσω γραφήματος (Εικόνες 3.5.2, 3.5.3). Αναλυτικά, η επεξεργασία των πρώτων υλών πραγματοποιείται αρχικά στο κέντρο εργασίας ‘WC1_707’ για 10 λεπτά, έπειτα στο κέντρο εργασίας ‘WC2_707’ ή ‘WC2A_707’ για 20 λεπτά και τέλος στο κέντρο εργασίας ‘WC3_707’ για 10 λεπτά.



Εικόνα 3.5. 2: Γράφημα Βασικού Φασειολογίου του τελικού προϊόντος



Εικόνα 3.5. 3: Γράφημα Εναλλακτικού Φασειολογίου του τελικού προϊόντος

Αναφορικά με τα τέσσερα **κέντρα εργασίας**, σε κάθε κέντρο εργασίας λειτουργεί μια αυτοματοποιημένη μηχανή χωρίς τη παρουσία ανθρώπινου δυναμικού. Οι μηχανές λειτουργούν ακατάπαυστα και χωρίς αλλαγές στην απόδοσή τους πέντε ημέρες την εβδομάδα, από τις εφτά το πρωί μέχρι τις τέσσερις το απόγευμα. Με τη παραδοχή ότι λειτουργούν με σταθερό ποσοστό απόδοσης 100%, η **δυναμικότητα** (capacity) τους υπολογίζεται στις εννιά (9) ώρες ανά ημέρα και στις σαράντα πέντε (45) ώρες ανά εβδομάδα.

Για τη **προληπτική συντήρηση** του παραγωγικού συστήματος έχουν οριστεί δύο βαθμίδες προληπτικής συντήρησης. Αναλυτικά, δημιουργήθηκε μια λίστα ενεργειών επιθεώρησης και καθαρισμού του εξοπλισμού που ονομάστηκε ‘Task List 707 Small Repairs’. Επιπλέον,

δημιουργήθηκε μια λίστα ενεργειών αποσυναρμολόγησης του εξοπλισμού και αντικαταστάσεων μερών του εξοπλισμού, η οποία ονομάστηκε ‘Task List 707 Full Repairs’, (Εικόνα, 3.5.4). Και οι δύο λίστες ακολουθούν τη στρατηγική ‘Α’.

Ctr	TL Desc.	Pint	Del.	Strategy	Usage	PlGrp	Status
1	Task List 707 Small Repairs	1000	<input type="checkbox"/>	A	4	101	4
2	Task List 707 Full Repairs	1000	<input type="checkbox"/>	A	4	101	4

Εικόνα 3.5. 4: Λίστες ενεργειών συντήρησης (Task Lists Group)

Αναλυτικότερα, οι **ενέργειες των δύο λιστών** παρουσιάζονται στις εικόνες 3.5.5 και 3.5.6. Επιπλέον, παρουσιάζεται η εκχώρηση κάθε ενέργειας σε ένα από τα πακέτα τις στρατηγικής που ακολουθούν οι λίστες. Στην προκειμένη περίπτωση, που έχει δηλωθεί και για τις δύο λίστες ότι ακολουθούν τη στρατηγική ‘Α’, η εκχώρηση πραγματοποιείται για μηνιαία, τριμηνιαία ή/ και ετήσια πακέτα. Συγκεκριμένα, ορίστηκε όλες οι ενέργειες της λίστας ‘Task List 707 Small Repairs’ να πραγματοποιούνται κάθε μήνα, (Εικόνα 3.5.5), και όλες οι ενέργειες της λίστας ‘Task List 707 Full Repairs’ να πραγματοποιούνται κάθε χρόνο, (Εικόνα 3.5.6).

Op.	SOp	Operation Description	1M	3M	1Y
0010		Visually Inspect	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0020		Actual Inspect	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0030		Cleaning	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 3.5. 5: Λίστα ενεργειών συντήρησης ‘Task List 707 Small Repairs’

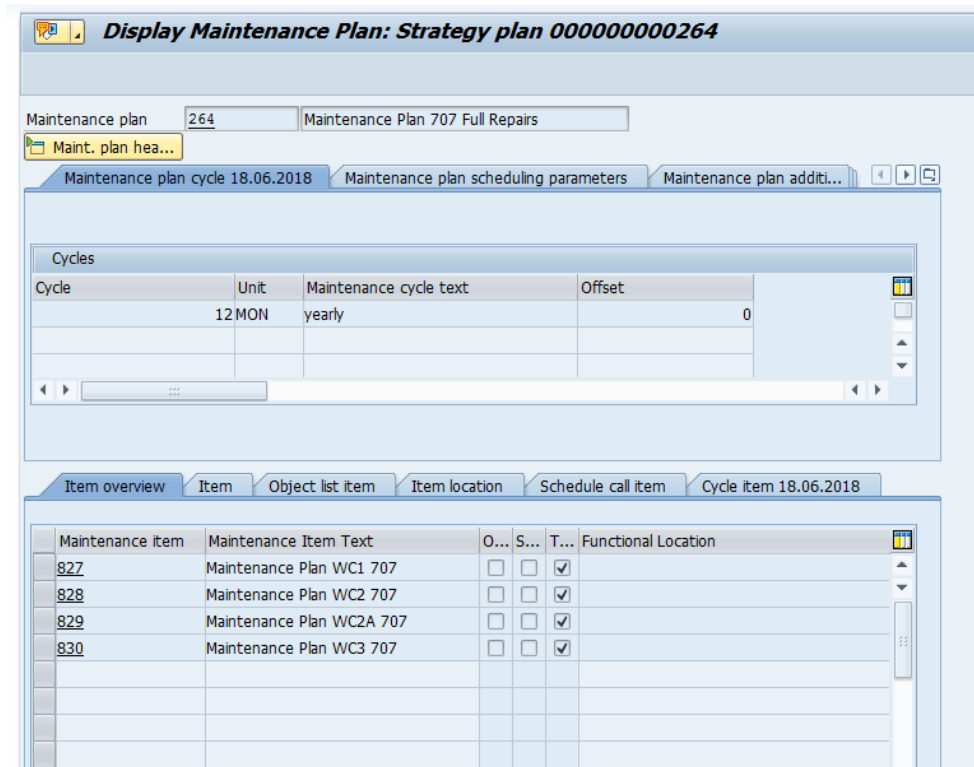
Op.	SOp	Operation Description	1M	3M	1Y
0010		Dismantling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0020		Replacements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0030		Assembly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 3.5. 6: Λίστα ενεργειών συντήρησης 'Task List 707 Full Repairs'

Στην προσομοίωση που μελετάται δημιουργήθηκαν δύο πλάνα συντήρησης κατά αντιστοιχία των δύο λιστών συντήρησης. Συγκεκριμένα, κατά τη δημιουργία του πλάνου συντήρησης 'Maintenance Plan 707 Small Repairs' δηλώθηκαν και οι τέσσερις μηχανές του παραγωγικού συστήματος να συντηρηθούν σύμφωνα με τη λίστα 'Task List 707 Small Repairs', (Εικόνα 3.5.7). Ενώ, κατά τη δημιουργία του πλάνου συντήρησης 'Maintenance Plan 707 Full Repairs' δηλώθηκαν και οι τέσσερις μηχανές του παραγωγικού συστήματος να συντηρηθούν σύμφωνα με τη λίστα 'Task List 707 Full Repairs', (Εικόνα 3.5.8). Συνολικά, τα δύο αυτά πλάνα συντήρησης προσομοιώνουν το σύνολο των ενεργειών συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού.

Maintenance item	Maintenance Item Text	O.	S.	T.	Functional Location
823	Maintenance Plan WC1 707	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
824	Maintenance Plan WC2 707	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
825	Maintenance Plan WC2A 707	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
826	Maintenance Plan WC3 707	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εικόνα 3.5. 7: Πλάνο συντήρησης 'Maintenance Plan 707 Small Repairs'



Εικόνα 3.5. 8: Πλάνο συντήρησης 'Maintenance Plan 707 Full Repairs'

Στη παρούσα προσομοίωση, ο προγραμματισμός των Πλάνων Συντήρησης δημιουργεί απευθείας εντολές συντήρησης (Maintenance Orders) των μηχανών. Συνολικά, δημιουργούνται αυτόματα οχτώ εντολές συντήρησης (στη λίστα 'Order' της εικόνας 3.5.9) για το σύνολο του παραγωγικού εξοπλισμού, (Εικόνα 3.5.9).

The screenshot shows the 'Scheduling overview list form: Maintenance Scheduling Overview List'. It displays a table with columns: Call No., Equipment, P/PI, Work ctr, MntPlan, MntItem, Strat., Maintenance item description, Start date, Order, Created by, and Created on. The table contains 10 rows of data, with the last 8 rows highlighted in yellow:

Call No.	Equipment	P/PI	Work ctr	MntPlan	MntItem	Strat.	Maintenance item description	Start date	Order	Created by	Created on
1	10006644	1000	WC1_707	263	823	A	Maintenance Plan WC1 707	15.06.2018	817885	FSEVAST	15.06.2018
1	10006645	1000	WC2_707	263	824	A	Maintenance Plan WC2 707	26.06.2018	817886	FSEVAST	
1	10006646	1000	WC2A_707	263	825	A	Maintenance Plan WC2A 707	15.06.2018	817887	FSEVAST	
1	10006647	1000	WC3_707	263	826	A	Maintenance Plan WC3 707	18.06.2018	817888	FSEVAST	
1	10006644	1000	WC1_707	264	827	A	Maintenance Plan WC1 707	21.06.2019	817889	FSEVAST	
1	10006645	1000	WC2_707	264	828	A	Maintenance Plan WC2 707	21.06.2019	817890	FSEVAST	
1	10006646	1000	WC2A_707	264	829	A	Maintenance Plan WC2A 707	21.06.2019	817891	FSEVAST	
1	10006647	1000	WC3_707	264	830	A	Maintenance Plan WC3 707	21.06.2019	817892	FSEVAST	

Εικόνα 3.5. 9: Λίστα Προγραμματισμένων Πλάνων Συντήρησης

3.6 Παραδοχές

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, το πειραματικό μοντέλο του παραγωγικού συστήματος που προσομοιώθηκε σε περιβάλλον SAP είναι σαφώς οριοθετημένο σύμφωνα με τις παρακάτω παραδοχές:

- Παραδοχές παραγωγής
 - Όλοι οι απαιτούμενοι πόροι πρώτων υλών βρίσκονται σε αφθονία και σε επιφυλακή.
 - Χρόνοι μετάβασης μεταξύ των κέντρων εργασίας για το ημιέτοιμο προϊόν δεν υπάρχουν.
 - Χρόνοι προετοιμασίας των μηχανών (set up) δεν υπάρχουν.

- Παραδοχές προληπτικής συντήρησης
 - Όλοι οι απαιτούμενοι πόροι για την εφαρμογή της επιδιορθωτικής συντήρησης βρίσκονται σε αφθονία και σε επιφυλακή.

- Λοιπές παραδοχές
 - Η αποδοτικότητα των μηχανών είναι 100% μόνιμα και δεν μεταβάλλονται από την εφαρμογή ή μη εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης.
 - Δεν παρουσιάζονται αιφνίδιες βλάβες στο παραγωγικό εξοπλισμό, οπότε και δεν εξετάζεται η μέθοδος επιδιορθωτικής συντήρησης (breakdown maintenance).
 - Δεν θεωρούνται παράμετροι συμβάντα προγενέστερα ή μεταγενέστερα της χρονικής περιόδου που εξετάζεται. Δηλαδή, ότι αφορούσε παρελθοντικά ή θα αφορά μελλοντικά της χρονικής περιόδου που εξετάζεται τις παραμέτρους του συστήματος, δεν αποτυπώνεται στο μοντέλο.

Οι παραδοχές αυτές δεν περιορίζουν το σκοπό της παρούσας εργασίας, ωστόσο, αποτελούν αφετηρία για μελλοντικές επεκτάσεις των μοντέλων συντήρησης που παρουσιάζονται εδώ.

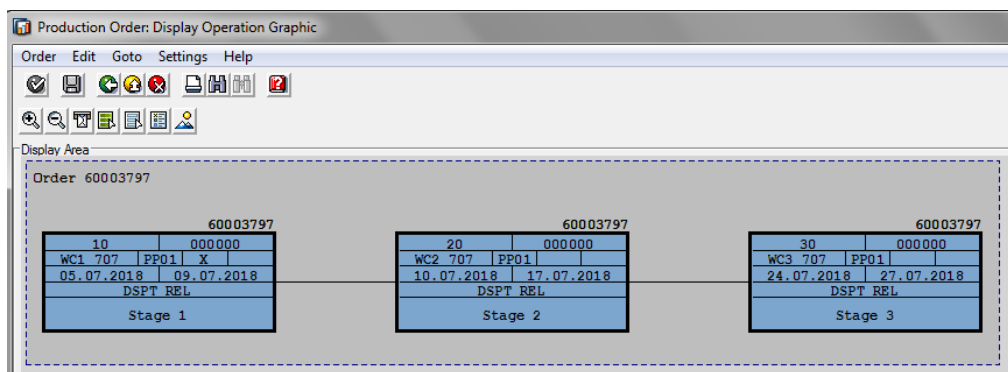
3.7 Σενάρια Προσομοίωσης και λειτουργίες προγραμματισμού

Στη συνέχεια, προσομοιώνεται το μοντέλο του παραγωγικού συστήματος στα υποσυστήματα SAP PP και SAP PM. Η προσομοίωση αφορά στον ταυτόχρονο **προγραμματισμό εντολών παραγωγής και συντήρησης** για το χρονικό διάστημα 18 Ιουνίου έως 10 Αυγούστου (έτους 2018).

Στο σύστημα SAP δημιουργήθηκαν πελατειακά αιτήματα για παράδοση συγκεκριμένων τεμαχίων σε συγκεκριμένες ημερομηνίες. Τα αιτήματα αυτά δημιούργησαν έξι εντολές παραγωγής (60003795 - 60003800), που πρέπει να εκτελεστούν από τις 18 Ιουνίου μέχρι τις 10 Αυγούστου.

Η **στρατηγική χρονοπρογραμματισμού** των εντολών παραγωγής επιλέχθηκε να είναι «προς τα πίσω» (Backwards). Σύμφωνα με τη στρατηγική αυτή, ορίζεται, αρχικά, η επιθυμητή ημερομηνία παράδοσης και, έπειτα, βάση της ημερομηνίας αυτής, της ποσότητας των τεμαχίων που ζητούνται, του φασεολογίου, της διαθεσιμότητας των υλικών χρονοπρογραμματίζεται η έναρξη της εντολής παραγωγής.

Κατά τη δημιουργία μιας εντολής παραγωγής στο σύστημα SAP επιλέγεται το φασεολόγιο της παραγωγής. Για το σύνολο των εντολών παραγωγής του 'FP_707' δηλώθηκε το βασικό φασεολόγιο. Τα στάδια εκτέλεσης μιας εντολής παραγωγής, που λαμβάνονται από το επιλεγμένο φασεολόγιο του προϊόντος, παρουσιάζονται γραφικά, (Εικόνα 3.7.1).



Εικόνα 3.7. 1: Γραφική απόδοση της εντολής παραγωγής 60003797

Με το πέρας της δημιουργίας των εντολών παραγωγής, διαμορφώθηκε ο φόρτος εργασίας στο κέντρα εργασίας, (Εικόνες 3.7.2 – 3.7.4).

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC1_707 WorkCenter1_707 Plant 1000
 Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
<input type="checkbox"/> 24.2018	9,00	9,00	100 %	0,00	H
<input type="checkbox"/> 25.2018	62,67	45,00	139 %	17,67-	H
<input type="checkbox"/> 26.2018	45,00	45,00	100 %	0,00	H
<input type="checkbox"/> 27.2018	26,67	45,00	59 %	18,33	H
<input type="checkbox"/> 28.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 29.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 30.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	143,33	414,00	35 %	270,67	H

Εικόνα 3.7. 2: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC1_707'

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC2_707 WorkCenter2_707 Plant 1000
 Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
<input type="checkbox"/> 24.2018	0,00	9,00	0 %	9,00	H
<input type="checkbox"/> 25.2018	33,42	45,00	74 %	11,58	H
<input type="checkbox"/> 26.2018	89,17	45,00	198 %	44,17-	H
<input type="checkbox"/> 27.2018	107,75	45,00	239 %	62,75-	H
<input type="checkbox"/> 28.2018	56,33	45,00	125 %	11,33-	H
<input type="checkbox"/> 29.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 30.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	286,67	414,00	69 %	127,33	H

Εικόνα 3.7. 3: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC2_707'

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC3_707 WorkCenter3_707 Plant 1000
Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
24.2018	0,00	9,00	0 %	9,00	H
25.2018	3,83	45,00	9 %	41,17	H
26.2018	12,83	45,00	29 %	32,17	H
27.2018	65,00	45,00	144 %	20,00-	H
28.2018	33,50	45,00	74 %	11,50	H
29.2018	28,17	45,00	63 %	16,83	H
30.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	143,33	414,00	35 %	270,67	H

Εικόνα 3.7. 4: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC3_707'

Ο φόρτος εργασίας των κέντρων παρουσιάζεται ανά εβδομάδα (π.χ. 24.2018 είναι η εικοστή τέταρτη εβδομάδα του έτους 2018). Παρατηρείται ότι, οι εντολές παραγωγής (60003795 - 60003800) προκάλεσαν υπερφόρτωση των κέντρων εργασίας. Συγκεκριμένα, η μηχανή του κέντρου εργασίας 'WC1_707' έχει οριακό φόρτο εργασίας τις πρώτες τρεις εβδομάδες, ενώ τις επόμενες εβδομάδες έχει μηδενικό φόρτο εργασίας. Η μηχανή του κέντρου εργασίας 'WC2_707' έχει παραπάνω από οριακό φόρτο εργασίας τη δεύτερη έως και τη πέμπτη εβδομάδα, όπου απαιτείται φόρτος ακόμα και 100% πάνω από τη δυναμικότητα της, ενώ τις επόμενες εβδομάδες έχει μηδενικό φόρτο εργασίας. Τέλος, η μηχανή του κέντρου εργασίας 'WC3_707' παρουσιάζει μέτριο φόρτο εργασίας τη δεύτερη έως και την έκτη εβδομάδα, με εξαίρεση μόνο την τέταρτη που απαιτείται να λειτουργεί πέραν της δυναμικότητας της, ενώ τις επόμενες εβδομάδες έχει μηδενικό φόρτο εργασίας.

Η απόδοση του φόρτου εργασίας στις τρεις μηχανές σε συνάρτηση με το χρόνο αποτυπώνει την διαδικασία παραγωγής, η οποία είναι σειριακή και απαιτεί πρώτα τη λειτουργία του κέντρου 'WC1_707', έπειτα τη λειτουργία του κέντρου εργασίας 'WC2_707' και τέλος του κέντρου εργασίας 'WC3_707'. Επιπλέον, το γεγονός ότι το 'WC2_707' είναι το πιο φορτωμένο κέντρο εργασίας οφείλεται στο ότι το επεξεργάζεται για περισσότερο χρόνο το ημιτέτοιμο προϊόν.

Το σύστημα SAP Production Planning αυτομάτως εξομαλύνει τη διαδικασία παραγωγής μεταφέροντας σε προγενέστερο ή μεταγενέστερο χρόνο εντολές παραγωγής. Σκοπός της εξομάλυνσης (με δεδομένη τη στρατηγική βελτίωσης (levelling) που έχει οριστεί κατά την παραμετροποίηση) είναι να μην υπερβαίνει καμία στιγμή ο φόρτος εργασίας των κέντρων εργασίας το μέγιστο της δυναμικότητας τους. Αυτόματα, αποδίδεται νέος φόρτος εργασίας στα κέντρα εργασίας. (Εικόνες 3.7.5 – 3.7.7).

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC1_707 WorkCenter1_707 Plant 1000
 Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
<input type="checkbox"/> 24.2018	0,00	9,00	0 %	9,00	H
<input type="checkbox"/> 25.2018	45,00	45,00	100 %	0,00	H
<input type="checkbox"/> 26.2018	28,33	45,00	63 %	16,67	H
<input type="checkbox"/> 27.2018	25,00	45,00	56 %	20,00	H
<input type="checkbox"/> 28.2018	26,67	45,00	59 %	18,33	H
<input type="checkbox"/> 29.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 30.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	125,00	414,00	30 %	289,00	H

Εικόνα 3.7. 5: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC1_707'

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC2_707 WorkCenter2_707 Plant 1000
 Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
<input type="checkbox"/> 24.2018	0,00	9,00	0 %	9,00	H
<input type="checkbox"/> 25.2018	27,83	45,00	62 %	17,17	H
<input type="checkbox"/> 26.2018	45,00	45,00	100 %	0,00	H
<input type="checkbox"/> 27.2018	20,50	45,00	46 %	24,50	H
<input type="checkbox"/> 28.2018	33,75	45,00	75 %	11,25	H
<input type="checkbox"/> 29.2018	16,25	45,00	36 %	28,75	H
<input type="checkbox"/> 30.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
<input type="checkbox"/> 33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	143,33	414,00	35 %	270,67	H

Εικόνα 3.7. 6: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC2_707'

Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center WC3_707 WorkCenter3_707 Plant 1000
 Capacity cat.: 001 Machine

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
24.2018	0,00	9,00	0 %	9,00	H
25.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
26.2018	16,67	45,00	37 %	28,33	H
27.2018	24,00	45,00	53 %	21,00	H
28.2018	21,67	45,00	48 %	23,33	H
29.2018	25,75	45,00	57 %	19,25	H
30.2018	36,92	45,00	82 %	8,08	H
31.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
32.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
33.2018	0,00	45,00	0 %	45,00	H
Total >>>	125,00	414,00	30 %	289,00	H

Εικόνα 3.7. 7: Φόρτος Εργασίας στο κέντρο εργασίας 'WC3_707'

Με δεδομένο το πρόγραμμα των εντολών παραγωγής, προγραμματίστηκαν οι εντολές συντήρησης των κέντρων εργασίας. Το πρόγραμμα παραγωγής και συντήρησης των κέντρων εργασίας του παραγωγικού συστήματος παρουσιάζεται στον Πίνακα Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) του SAP, (Εικόνα 3.7.8).

Planning Table: SAPCRPG001 Finite scheduling forw./all functs.activ

Work Centers

Work ctr	Cap.cat	Wk.cnt.description	Cap.description
WC1_707	001	WorkCenter1_707	
WC2_707	001	WorkCenter2_Alte	
WC2_707	001	WorkCenter2_707	
WC3_707	001	WorkCenter3_707	

Orders (dispatched)

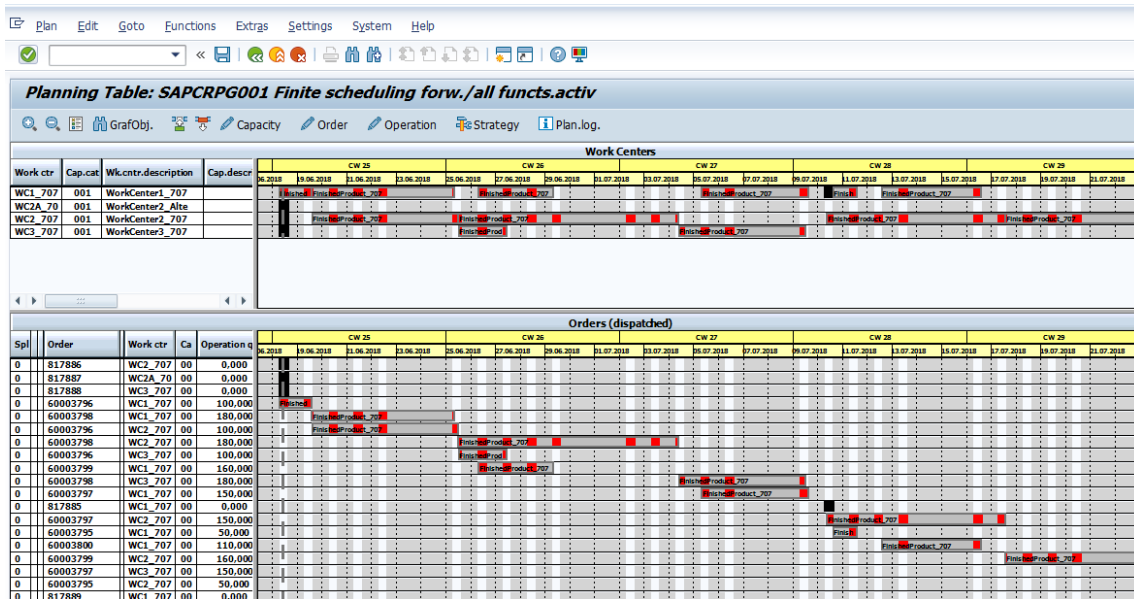
Spl	Material	Prio	Order	Op.	Work ctr	Ca	C
0			817886		WC2_707	00	
0			817887		WC2_707	00	
0			817888		WC3_707	00	
0			60003796	0010	WC1_707	00	
0	FP_707		60003798	0020	WC2_707	00	
0	FP_707		60003796	0030	WC3_707	00	
0	FP_707		60003799	0010	WC1_707	00	
0	FP_707		60003798	0030	WC3_707	00	
0	FP_707		60003797	0010	WC1_707	00	
0	FP_707		60003797	0020	WC2_707	00	
0	FP_707		60003795	0010	WC1_707	00	
0	FP_707		60003800	0010	WC1_707	00	
0	FP_707		60003799	0020	WC2_707	00	
0	FP_707		60003797	0030	WC3_707	00	
0	FP_707		60003795	0020	WC2_707	00	
0			817889		WC1_707	00	
0			817890		WC2_707	00	
0			817891		WC2_707	00	
0			817892		WC3_707	00	
0	FP_707		60003799	0030	WC3_707	00	
0	FP_707		60003800	0020	WC2_707	00	
0	FP_707		60003795	0030	WC3_707	00	
0	FP_707		60003800	0030	WC3_707	00	

Planning table initialized

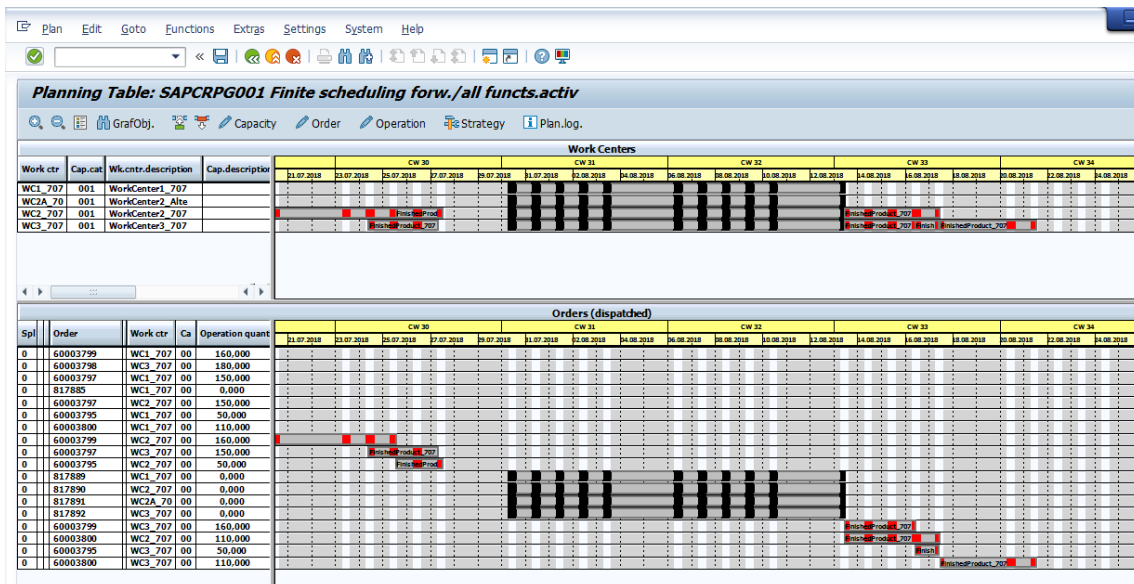
15.06.2018 19:32:00

Εικόνα 3.7. 8: Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής (βασικού φασεολογίου) και συντήρησης

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού εντολών παραγωγής (βασικού φασειολογίου) και συντήρησης (Εικόνα 3.7.8) μεγεθυμένος (Εικόνες 3.7.9, 3.7.10).



Εικόνα 3.7.9: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής (βασικού φασειολογίου) και συντήρησης



Εικόνα 3.7.10: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής (βασικού φασειολογίου) και συντήρησης

Αναλυτικά, προγραμματίστηκαν οι εντολές συντήρησης των κέντρων εργασίας που αφορούν ελαφριές ενέργειες συντήρησης ‘Small Repairs’ και σημαντικές ενέργειες συντήρησης ‘Full Repairs’. Οι ήπιες ενέργειες συντήρησης, που διαρκούν οκτώ ώρες (σχεδόν μία εργάσιμη

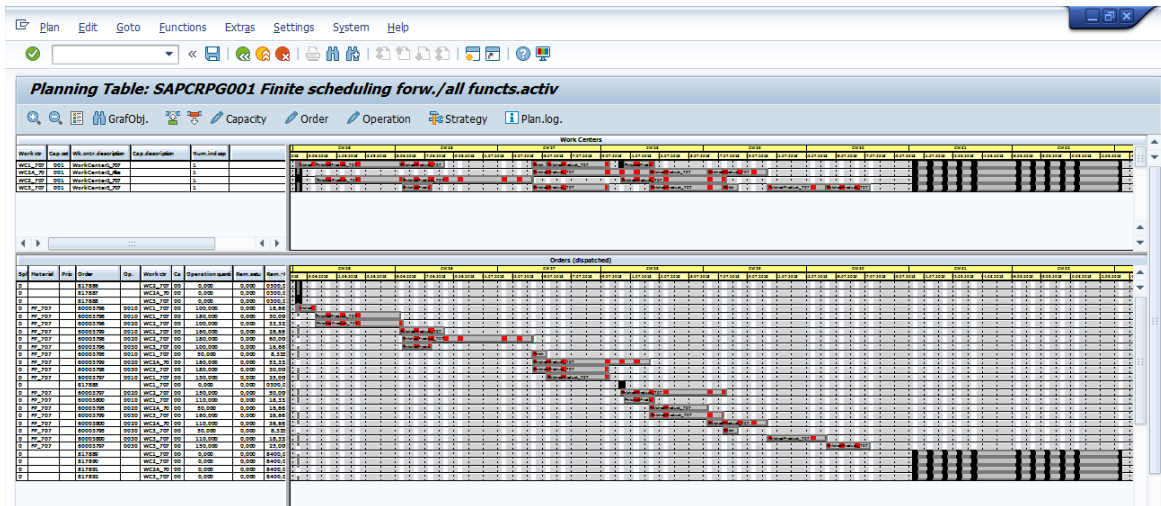
ημέρα), προγραμματίζονται ετεροχρονισμένα στα κέντρα εργασίας, με σκοπό να «καλύψουν» τα διαφορετικά κενά που προκύπτουν από τις εντολές παραγωγής. Συγκεκριμένα, για τα κέντρα εργασίας ‘WC2_707’, ‘WC2A_707’ και ‘WC3_707’, που τις πρώτες μέρες του προγράμματος δεν παράγουν, ορίστηκε να συντηρηθούν την πρώτη μέρα, 18 Ιουνίου. Αντίθετα, οι αντίστοιχες ενέργειες συντήρησης για τη μηχανή του κέντρου εργασίας ‘WC1_707’ προγραμματίστηκαν για τις 10 Ιουλίου, ημερομηνία στην οποία η μηχανή θα έχει ολοκληρώσει τη παραγωγική της διαδικασία. Συνολικά, παρατηρείται ότι και οι τέσσερις μηχανές συντηρούνται μηνιαίως, αλλά σε διαφορετικό χρόνο.

Οι **σημαντικές ενέργειες συντήρησης**, που διαρκούν ενενήντα δύο ώρες (σχεδόν έντεκα εργάσιμες ημέρες), προγραμματίστηκαν ταυτόχρονα στα τέσσερα κέντρα εργασίας, με σκοπό να διατηρηθεί ενιαία η λειτουργία του παραγωγικού συστήματος. Συγκεκριμένα, προγραμματίστηκε η έναρξη τους στις 30 Απριλίου και ο τερματισμός τους στις 14 Αυγούστου.

Συμπεραίνεται ότι, δεν είναι εφικτό να παραχθούν στους σωστούς χρόνους οι παραγγελίες που έχουν τοποθετηθεί στο σύστημα. Πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης είναι οι παρακάτω:

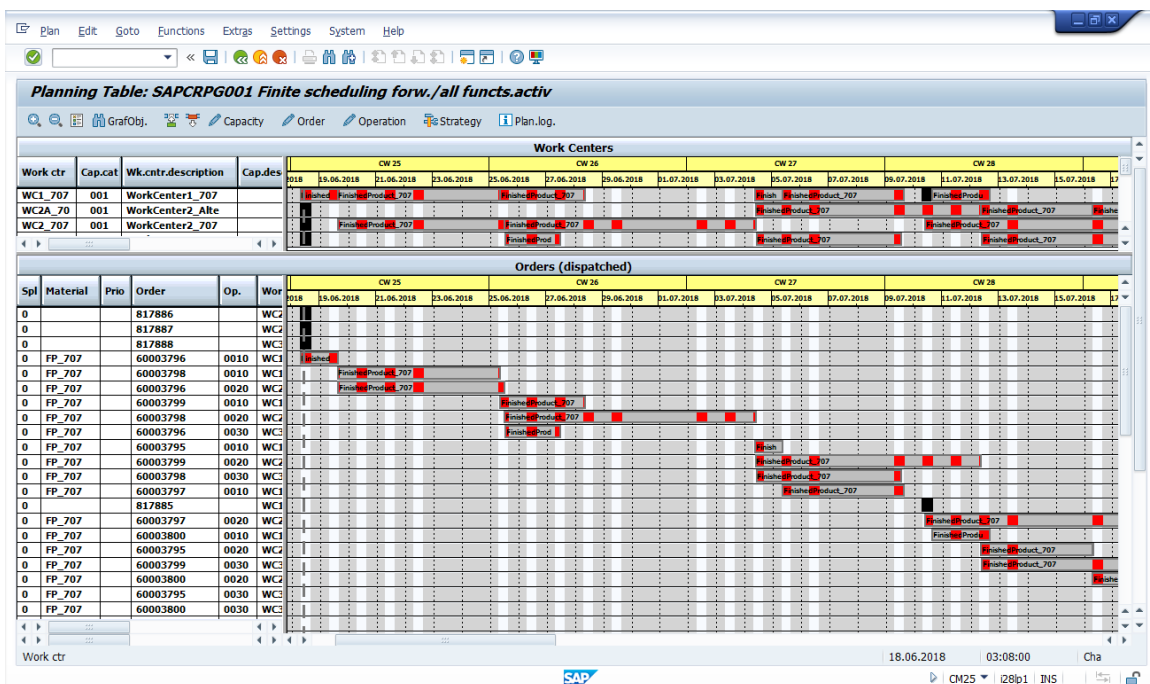
1. Να επιλεγθεί κάποια (ή κάποιες) παραγγελία να παραδοθεί με καθυστέρηση
2. Να επιλεγθεί κάποια (ή κάποιες) παραγγελία να παραδοθεί μερικώς στην ημερομηνία που επιθυμεί ο πελάτης και το υπόλοιπο μέρος της παραγγελίας αυτής να παραδοθεί σε μεταγενέστερο χρόνο.
3. Να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία παραγωγής το κέντρο εργασίας ‘WC2A_707’ εναλλακτικά του κέντρου εργασίας ‘WC2_707’.

Το κέντρο εργασίας ‘WC2A_707’ λειτουργεί εναλλακτικά και ταυτόχρονα με το κέντρο εργασίας ‘WC2_707’, ώστε να ελαχιστοποιήσει το φόρτο εργασίας του ‘WC2_707’ και κατ’ επέκταση του συνολικού συστήματος. Τρεις εντολές παραγωγής τροποποιήθηκαν (60003795, 60003797, 60003800), ώστε να εκτελεστούν βάση του εναλλακτικού φασειολογίου. Το τελικό πρόγραμμα παραγωγής και συντήρησης που προκύπτει παρουσιάζεται στον Πίνακα Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) του SAP, (Εικόνα 2.8.11).

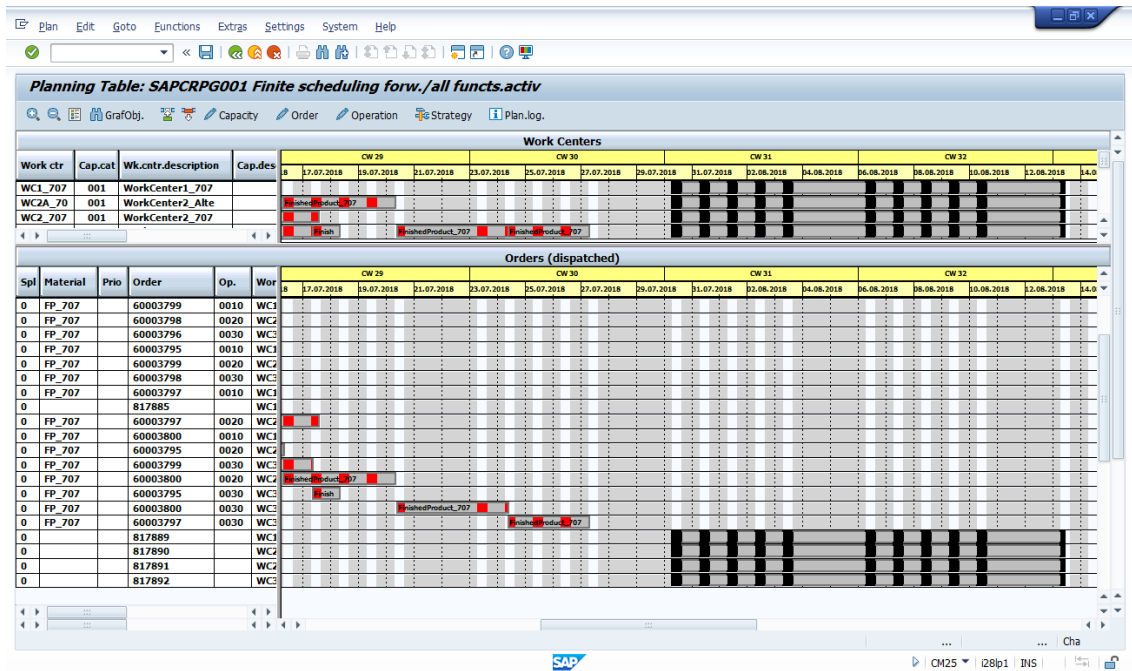


Εικόνα 3.7. 10: Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής και συντήρησης

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού εντολών παραγωγής (με τα δύο φασειολόγια) και συντήρησης (Εικόνα 3.7.11) μεγεθυμένος (Εικόνες 3.7.12, 3.7.13).



Εικόνα 3.7. 11: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής και συντήρησης



Εικόνα 3.7. 12: Μεγεθυμένος Πίνακας Χρονοπρογραμματισμού (Planning Table) εντολών παραγωγής και συντήρησης

Συνολικά παρατηρείται ότι, τα κέντρα εργασίας ‘WC2A_707’ και ‘WC2_707’ λειτουργούν ταυτόχρονα για διάστημα περίπου τριών εβδομάδων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ολοκλήρωση των εντολών παραγωγής πριν τις 30 Ιουλίου, και συγκεκριμένα στις 27 Ιουλίου.

Τέλος, παρατηρείται ότι, το εναλλακτικό κέντρο εργασίας ‘WC2A_707’ αυξάνει την αξιοπιστία του παραγωγικού συστήματος. Καθώς, σε περίπτωση αστοχίας του κέντρου εργασίας ‘WC2_707’, όλες οι εντολές παραγωγής που το αφορούν, θα εκχωρηθούν στο κέντρο ‘WC2A_707’, ώστε να ολοκληρωθούν. Συνολικά, σε μια τέτοια περίπτωση δεν υπάρχει αστοχία του παραγωγικού συστήματος, καθώς συνεχίζει να λειτουργεί, έστω και με ενδεχόμενη καθυστέρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

4.1 Συμπεράσματα

Η εργασία είχε ως στόχο την πειραματική μελέτη ενός παραγωγικού συστήματος ως προς τη παραγωγική διαδικασία και τη διαδικασία συντήρησης και ως προς την επίδραση που ασκούν οι διαδικασίες αυτές στην δυναμικότητα του. Στα πλαίσια της εργασίας, προτάθηκε ένα νέο δυναμικό μοντέλο συντήρησης του παραγωγικού εξοπλισμού με τη χρήση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo, στο οποίο ενσωματώθηκε η επίδραση της προληπτικής συντήρησης στην αξιοπιστία του εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός αστοχούσε βάσει του εύρους αξιοπιστίας που έχει ορίσει ο κατασκευαστής του και της συχνότητας με την οποία συντηρούνταν προληπτικά. Συνολικά, **το δυναμικό μοντέλο** (οι παράμετροι προσομοίωσης, ο σχεδιασμός των σεναρίων, η μορφή των αποτελεσμάτων, η στοχοθεσία ως εργαλείο λήψης αποφάσεων) **αποτελεί μία προτεινόμενη διαδικασία μελέτης αξιοπιστίας, συντήρησης και αντικατάστασης συστημάτων**. Το μοντέλο αυτό δεν βρίσκει εφαρμογή μόνο στο παραγωγικό περιβάλλον που προσομοιώθηκε, αλλά και σε άλλα περιβάλλοντα στα οποία εμπεριέχεται η ίδια ακολουθία διαδικασιών (π.χ. ουρές εξυπηρέτησης πελατών με τρεις συνεχόμενους υποχρεωτικούς σταθμούς) ή ακόμα και σε περιβάλλοντα παραγωγής με διαφορετικές ακολουθίες διαδικασιών (π.χ. ένα πλήρως παράλληλο σύστημα παραγωγής) ύστερα από κατάλληλη επέκταση ή τροποποίηση του.

Στα πλαίσια του δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo προτάθηκαν τρόποι βελτίωσης της αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος. Αναλυτικά, οι προτεινόμενοι τρόποι αύξησης του ποσοστού της αξιοπιστίας του παραγωγικού συστήματος ήταν η απόκτηση εξοπλισμού με υψηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας ως μέρος του κύριου κορμού παραγωγής ή ο σχεδιασμός παράλληλου σημείου (ή παράλληλων σημείων) στη παραγωγική διαδικασία με απόκτηση νέου εξοπλισμού ή επαναχρησιμοποίηση παλαιότερου. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της κατάλληλης λύσης αποτελεί συνάρτηση πολλών παραμέτρων και απαιτεί τη λήψη σύνθετων αποφάσεων, συχνά υπό αβεβαιότητα, λαμβάνοντας υπόψη μεταβλητές δυναμικότητας, κόστους, ποιότητας κ.α.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα του μοντέλου συντήρησης με τη μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον του **πληροφοριακού συστήματος SAP**, με σκοπό να προταθεί ένα εργαλείο διαχείρισης δυναμικότητας σε συνδυασμό με δεδομένο φόρτο παραγγελιών. Αναλυτικά, προγραμματίστηκαν ταυτόχρονα εντολές παραγωγής και συντήρησης

στα πλαίσια ενός ενιαίου πλάνου χρονοπρογραμματισμού του παραγωγικού συστήματος, ικανοποιώντας τόσο τις απαιτήσεις των ημερομηνιών παράδοσης παραγγελιών, όσο και τις απαιτήσεις της συντήρησης του εξοπλισμού. Συνολικά, η υλοποίηση αυτή αποτελεί έναν **οδηγό λήψης αποφάσεων προγραμματισμού παραγωγής και συντήρησης** σε πραγματικό χρόνο, με υπάρχουσες απαιτήσεις παραγωγής και με προκαθορισμένες απαιτήσεις συντήρησης.

Συνολικά, σε επίπεδο στρατηγικής της συντήρησης προτείνεται να εφαρμοστεί **Προληπτική Συντήρηση**, καθώς εξασφαλίζει τη διατήρηση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού σε υψηλά επίπεδα και μακροπρόθεσμα αυξάνει το χρόνο ζωής του εξοπλισμού. Επίσης, εξασφαλίζει ότι θα ακολουθείται το πλάνο παραγωγής του εξοπλισμού χωρίς απρόβλεπτες καθυστερήσεις. Ειδικότερα, προτείνεται η εφαρμογή της Προβλεπτικής Συντήρησης για τα μέρη του εξοπλισμού που είναι σημαντικά στη παραγωγική διαδικασία, η οποία εξασφαλίζει ίδια αποτελέσματα αξιοπιστίας του εξοπλισμού με τη μέθοδο της Περιοδικής Συντήρησης με τη διαφορά ότι δεσμεύει για λιγότερο χρονικό διάστημα τη δυναμικότητα του εξοπλισμού. Τέλος, προτείνεται η εφαρμογή της **Ευκαιριακής Συντήρησης**, η οποία μειώνει το σύνολο του χρόνου εκτός λειτουργίας του παραγωγικού εξοπλισμού λόγω συντήρησης εφαρμόζοντας, όμως, τις ίδιες ενέργειες συντήρησης.

4.2 Επεκτάσεις

Μια σημαντική τροποποίηση του δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης με τη μέθοδο Monte Carlo είναι ο συνυπολογισμός του χρόνου που απαιτείται κατά την επιδιόρθωση απρόβλεπτων βλαβών (downtime). Καθώς ο χρόνος αυτός μπορεί να εκτιμηθεί μόνο κατά προσέγγιση, λόγω της αβεβαιότητας των παραμέτρων που τον ορίζουν, προτείνεται να προστεθεί στο μοντέλο του συστήματος ως νέα στοχαστική μεταβλητή. Επιπλέον, η δημιουργία διαφορετικών επιπέδων σημαντικότητας απρόβλεπτων βλαβών, καθώς και ο ορισμός διαφορετικών χρόνων επιδιόρθωσης των βλαβών αυτών (downtime) αναλόγως την σημαντικότητά τους, αποτελεί μια συμπληρωματική πρόταση.

Στο παρόν δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης θα μπορούσε, επίσης, να προστεθεί η οντότητα του παραγόμενου προϊόντος, ώστε, να μπορεί να πραγματοποιηθεί ακριβής υπολογισμός των απαιτούμενων πόρων παραγωγής σε ενδεχόμενη στοχοθεσία. Μια σημαντική επέκταση του μοντέλου θα ήταν ο συνυπολογισμός του κόστους. Λόγω της σπουδαιότητάς του, το κόστος θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί ως μεταβλητή ελέγχου. Η μοντελοποίηση του θα ήταν ωφέλιμο να αφορά όλους του επιμέρους πόρους της παραγωγής του προϊόντος, της προληπτικής συντήρησης και της επιδιορθωτικής συντήρησης. Αναφορικά με τις συντηρήσεις, οι κύριοι πόροι είναι οι

ανθρωπόωρες, η κτίση και η αποθήκευση των ανταλλακτικών και αναλωσίμων. Συμπληρωματικά, θα ήταν ωφέλιμο να μοντελοποιηθεί και το έμμεσο κόστος συντήρησης.

Στην περίπτωση που, το δυναμικό μοντέλο μελετά το παραγωγικό σύστημα σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, μια σημαντική επέκταση είναι η μελέτη της μεταβολής της αξιοπιστίας του εξοπλισμού συναρτήσει του χρόνου (redundancy). Συγκεκριμένα, προτείνεται να υπολογιστεί αρχικά το στάδιο ζωής στο οποίο βρίσκονται οι μηχανές τη χρονική στιγμή έναρξης της μελέτης και έπειτα το ποσοστό μείωσης του εύρους της αξιοπιστίας της κάθε μηχανής με το πέρασμα των χρονικών στιγμών της μελέτης.

Επιπλέον, το δυναμικό μοντέλο θα μπορούσε να τροποποιηθεί ως προς τη παραγωγική διαδικασία που προσομοιώνει, εισάγοντας σε αυτήν παράλληλα σημεία ή επιπλέον στάδια επεξεργασίας. Τέλος, ενδεχόμενη επέκταση του μοντέλου αποτελεί η προσθήκη επιπλέον παραγόμενου προϊόντος (ή παραγόμενων προϊόντων), που να ακολουθεί την ίδια ή διαφορετική (μερικώς διαφορετική ή πλήρως διαφορετική) παραγωγική διαδικασία. Στην περίπτωση αυτή, για τα μέρη του εξοπλισμού που συμμετέχουν στην παραγωγή δύο (ή περισσότερων) προϊόντων θα προστεθεί η ανάγκη καθορισμού της παραγωγικής διαδικασίας στην οποία θα συμμετέχουν κάθε στιγμή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Iravani, S. M. R., & Duenyas, I. (2002). Integrated maintenance and production control of a deteriorating production system. *Institute of Industrial Engineers*, 34(5), 423-435. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013596731865>
- [2] Pan, E., Liao, W., & Xi, L. (2012). A single machine-based scheduling optimisation model integrated with preventive maintenance policy for maximising the availability. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(4), 451-469. Retrieved from <https://doi.org/10.1504/IJISE.2012.046301>
- [3] Βώσσοσ, Ι. (2017). *Σύγχρονες τάσεις στην Διοίκηση και Οργάνωση της Συντήρησης*. Σημειώσεις μαθήματος «Συντήρηση Παραγωγικού Εξοπλισμού». Πανεπιστήμιο Πειραιά, Αθήνα.
- [4] Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. *Applied Energy*, 83(11), 1235-1248. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.01.002>
- [5] Rasmussen, M. (2003). *Driftsteknikk*. PhD Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Norway
- [6] United States of America. Department of Energy. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency* (Vol. 3) Retrieved from https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19634.pdf
- [7] Wilkins, J. D. (2002). *The Bathtub Curve and Product Failure Behavior Part One: The Bathtub Curve, Infant Mortality and Burn-in*. Retrieved from Reliability Engineering Resource Website: <http://www.weibull.com/hotwire/issue21/hottopics21.htm>
- [8] National Aeronautics and Space Administration. (2008). *Reliability-Centered Maintenance Guide: For Facilities and Collateral Equipment*. Retrieved from <https://www.wbdg.org/ffc/nasa/guides-handbooks/rcm-guide>
- [9] *Preventive and Predictive Maintenance* (2012). Retrieved from Life Cycle Engineering: <https://www.lce.com/pdfs/The-PMPdM-Program-124.pdf>
- [10] Schneider, J., Gaul, A. J., Neumann, C., Hogräfer, J., Wellßow W., Schwan, M., & Schnettler, A. (2006). Asset management techniques. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 28(9), 643-654. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2006.03.007>
- [11] Shapiro, J. F. (1993). Mathematical programming models and methods for production planning and scheduling. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 4, 371-443. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)80188-4](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)80188-4)

- [12] Aghezzaf, E. H., Khatab, A., & Tam, P. L. (2016). Optimizing production and imperfect preventive maintenance planning's integration in failure-prone manufacturing systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 190-198. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.09.017>
- [13] Yalaoui, A., Chaabi, K., & Yalaoui, F. (2014). Integrated production planning and preventive maintenance in deteriorating production systems. *Information Sciences*, 278, 841-861. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.097>
- [14] Aghezzaf, E. H., Jamali, M. A., & Ait-Kadi, D. (2007). An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 679-685. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.032>
- [15] Selsouli, M. A., Mohafid, A., & Najid, N. M. (2012). Lagrangian relaxation based heuristic for an integrated production and maintenance planning problem. *International Journal of Production Research*, 50(13), 3630-3642. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.671586>
- [16] Wang, S., & Liu, M. (2015). Multi-objective optimization of parallel machine scheduling integrated with multi-resources preventive maintenance planning. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(1), 182-192. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.07.002>
- [17] Liao, C. J., & Chen, W. J. (2003). Single-machine scheduling with periodic maintenance and nonresumable jobs. *Computers and Operations Research*, 30(9), 1335-1347. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00074-6)
- [18] [Bajestani, M. A.](#), [Banjevic, D.](#), & [Beck, C. J.](#) (2014). Integrated maintenance planning and production scheduling with Markovian deteriorating machine conditions. *International Journal of Production Research*, 52(24), 7377-7400. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.931609>
- [19] Marquez, A. C., & Iung, B. (2007). A structured approach for the assessment of system availability and reliability using Monte Carlo simulation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(2), 125-136. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/13552510710753032>
- [20] Matsuoka, T. (2013). A Monte Carlo simulation method for system reliability analysis. *International Electronic Journal of Nuclear Safety and Simulation*, 4(1), 44-52. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/bed2/b7dda750ebf082d464b4b1eb0cff9a051001.pdf>
- [21] Saleh, F. L. (2012). Estimating Optimum Period of Time Between Maintenances by Using Monte Carlo Simulation Method. *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 5(2), 226-240. Retrieved from <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=68158>

- [22] Nguyen, D., & Bagajewicz, M. (2008). Optimization of preventive maintenance scheduling in processing plants. *Computer Aided Chemical Engineering*, 25, 319-324. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(08\)80058-2](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(08)80058-2)
- [23] Τσαγγάρης, Χ., Σπύρου, Θ., & Δαρζέντας, Ι. (2001). *Προσομοίωση*. Σημειώσεις μαθήματος «Προσομοίωση». Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σάμος.
- [24] Γεωργίου, Α., Κωνσταντάρας, Ι., & Καπάρης, Κ. (2015). Εισαγωγή στα Μοντέλα Προσομοίωσης. Στο *Τεχνικές προσομοίωσης στη διοικητική επιστήμη* (σσ. 11-62). Πρόσβαση από Αποθετήριο Κάλλιπος: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2488>
- [25] Metropolis, N. (1987). The beginning of the Monte Carlo Method, *Los Alamos Science*, 15, 125-130. Retrieved from <http://la-science.lanl.gov/lascience15.shtml>
- [26] Robert, C. P., & Casella, G. (2004). *Monte Carlo Statistical Methods*. London: Springer-Verlag.
- [27] Manno, I. (1999). *Introduction to the Monte Carlo Method*. Budapest: Akademiai Kiado.
- [28] Chaitin, G. J. (2001). *Exploring Randomness*. London: Springer-Verlag.
- [29] Maeda, E. E., Clark, B., & Pellikka, P. (2010). Monte Carlo simulation and remote sensing applied to agricultural survey sampling strategy in Taita Hills, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 5(13), 1647-1654. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10138/162220>
- [30] Τοπάλογλου, Ν. (2012). *Η αλληλεξάρτηση μεταξύ της οργάνωσης της επιχείρησης και των Πληροφοριακών Συστημάτων*. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Καβάλας, Καβάλα.
- [31] Κουτρούλη, Α., Πάνου, Π., & Χινοπόρου, Κ. (2016). *Μελέτη νέων λειτουργιών των λογιστικών πληροφοριακών συστημάτων που σχετίζονται με την εφαρμογή νέων προτύπων τεχνολογιών του διαδικτύου*. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Μεσολόγγι.
- [32] Τζωρτζάκης, Κ., & Τζωρτζάκη, Α.Μ. (2007). Το μάνατζμεντ κίνδυνου. Στο *Οργάνωση και Διοίκηση* (σσ. 339-341). Αθήνα: Rosili.
- [33] Φιτσιλής, Π. (2015). *Σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα επιχειρήσεων*. Πρόσβαση από Αποθετήριο Κάλλιπος: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2256>
- [34] Εμίρης, Δ. (2017). *Εισαγωγή στο ERP σύστημα SAP*. Σημειώσεις μαθήματος «Συστήματα ERP στην Αλυσίδα Εφοδιασμού: Εφαρμογές με το SAP». Πανεπιστήμιο Πειραιά, Αθήνα.
- [35] *SAP PM Tutorial* (2016). Retrieved from Tutorials Point: https://www.tutorialspoint.com/sap_pm/index.htm
- [36] Πολλάλης, Γ. Α., Γιαννακόπουλος, Δ.Ι., & Παπουτσή, Ι. (2004). *Πληροφοριακά Συστήματα Επιχειρήσεων*. Αθήνα: Σταμούλη.
- [37] Bajestani, M. A. (2014). *Integrating Maintenance Planning and Production Scheduling: Making Operational Decisions with a Strategic Perspective*. PhD Thesis. University of Toronto, Toronto.

- [38] Wang, H., & Pham, H. (2006). *Reliability and Optimal Maintenance*. London: Springer-Verlag.
- [39] Chemweno, P., Pintelon, L., Muchiri, P. N., & Van Horenbeek, A. (2018). Risk assessment methodologies in maintenance decision making: A review of dependability modelling approaches. *Reliability Engineering & System Safety*, 173, 64-77. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.res.2018.01.011>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στην καρτέλα του πρόσθετου προγράμματος @Risk σε περιβάλλον excel ορίστηκαν τα δεδομένα του βασικού μοντέλου για το πρώτο σενάριο, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια. Αναλυτικά, δηλώθηκαν τα στατικά δεδομένα της δυναμικότητας των μηχανών (κελιά G5-G8, H5-H8), της απαιτούμενης συχνότητας προληπτικής συντήρησης (J5-J7, K5-K7), τις ελάχιστης, μέγιστης και μέσης αξιοπιστίας των μηχανών (C5-C7, D5-D7, E5-E7).

INPUT			Reliability			Initial Capacity		Preventive Maintenance	
			min	MostLikely	max	(slots/month)	(slots/week)	(slots/month)	(slots/week)
Machine1			0,9	0,92	0,95	168	42	16	4
Machine2			0,8	0,83	0,87	168	42	32	8
Machine3			0,87	0,9	0,95	168	42	16	4
System							42		
Triang Distribution			Reliability		Failure Prob.	WorkingSlots	MaintenanceSlots		
Machine1			0,922619	0,077381		0,9047619	0,0952381		
Machine2			0,808495	0,191505		0,8095238	0,1904762		
Machine3			0,923355	0,076645		0,9047619	0,0952381		
			OnProduction	OnMaintenance					
			0	1					

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η αναπαράσταση των υπόλοιπων δεδομένων του μοντέλου. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή προληπτικής συντήρησης ανά μηχανή, ανά χρονική στιγμή (κελιά C27-C68, F27-F68, I27-I68), η εφαρμογή επιδιορθωτικής συντήρησης των μηχανών λόγω βλάβης ανά μηχανή, ανά χρονική στιγμή (κελιά D27-D68, G27-G68, J27-J68). Τέλος, οι μεταβλητές ελέγχου παρουσιάζονται με τους τίτλους Reliability (κελί D20) και UpTime (κελί G20).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

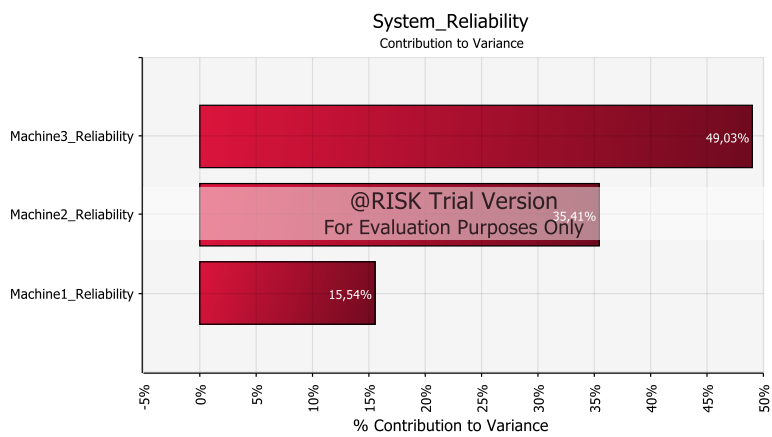
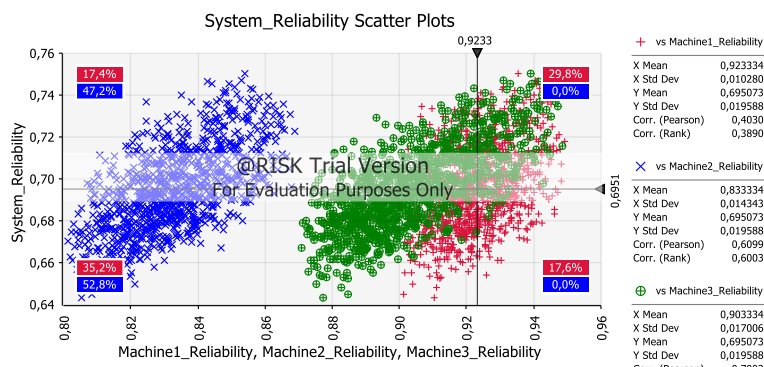
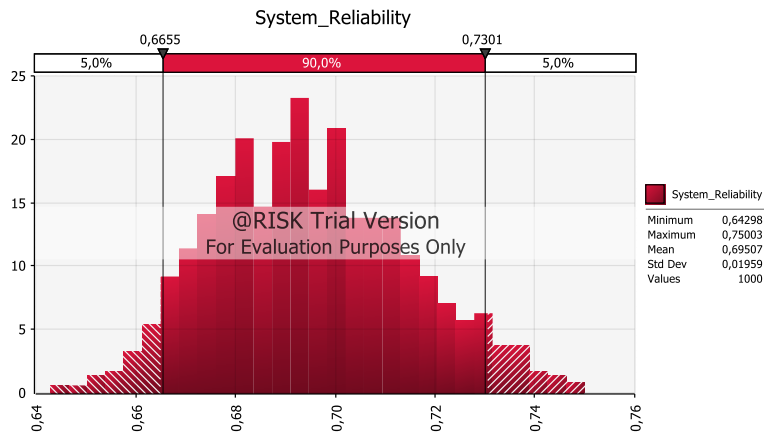
FINAL OUTPUT

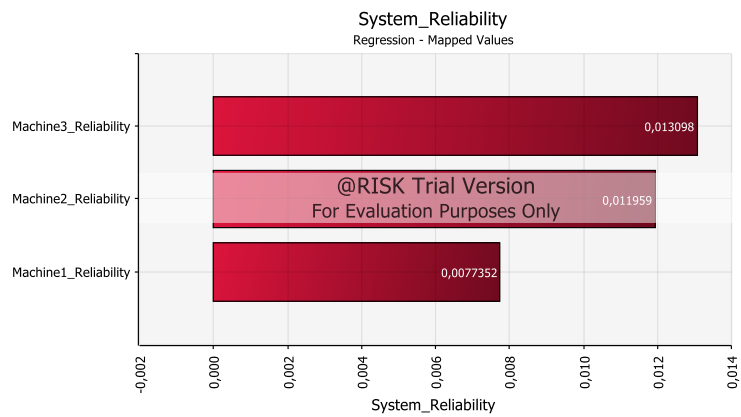
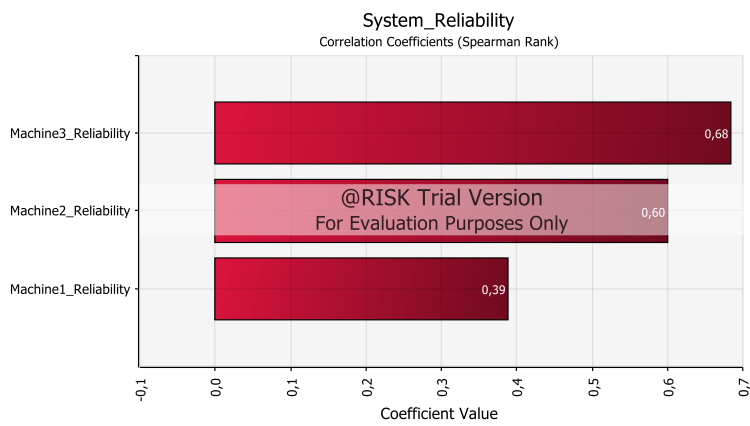
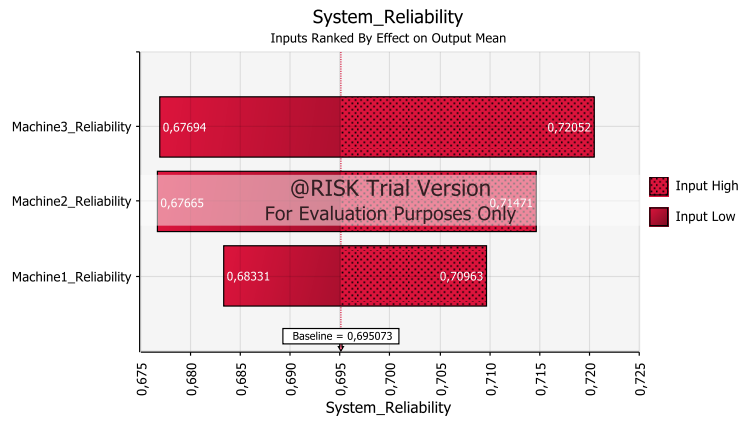
System	Reliability	UpTime
	0,674056729	13

MIDDLE OUTPUT

machine / slots	1	2	3	SYSTEM Sum
	pm	bm	pm	bm
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	1	0	0	1
4	0	0	0	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	0
7	0	0	0	1
8	0	0	0	0
9	0	0	0	1
10	0	0	0	0
11	0	0	0	1
12	0	0	0	1
13	0	1	0	0
14	0	0	0	1
15	0	0	1	0
16	0	0	0	0
17	0	0	1	0
18	0	0	0	1
19	0	0	0	1
20	0	0	0	0
21	0	0	0	1
22	0	0	0	1
23	0	0	0	1
24	0	0	0	1
25	0	0	1	0
26	1	0	0	0
27	0	0	1	0
28	0	1	0	1
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	1	0	0	0
32	0	0	0	1
33	0	0	1	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	1
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	1	0
39	0	0	0	0
40	1	1	0	2
41	0	0	0	1
42	0	0	0	0
43	4	3	9	10
44	6	4	36	

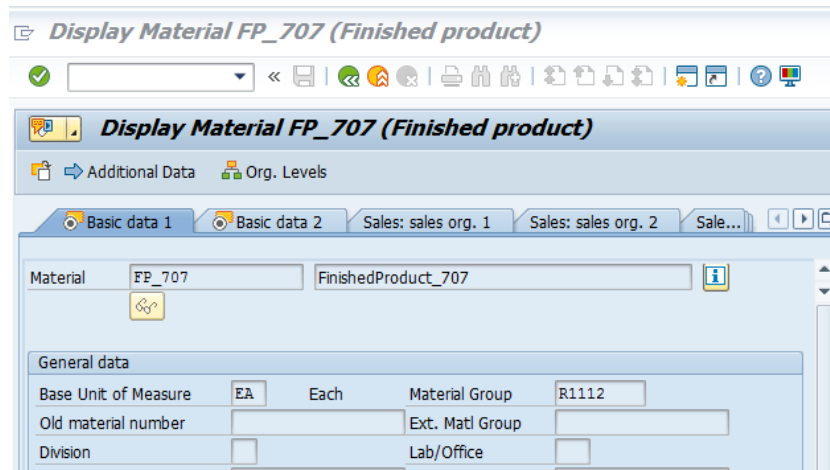
Οι παραπάνω τιμές των ενδιάμεσων και τελικών αποτελεσμάτων αφορούν στην τελευταία δειγματοληψία της προσομοίωσης Monte Carlo. Τα αποτελέσματα των στατιστικών κατανομών των αποτελεσμάτων μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo, παρατίθενται στις επόμενες εικόνες με τη μορφή διαγραμμάτων.





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Στη κύρια καρτέλα του παραγόμενου προϊόντος 'FP_707', ορίζεται ότι αποτελεί προϊόν της ομάδας ποτών/ αναψυκτικών/ χυμών, με κωδικό 'R1112'.



Στο πίνακα Υλικών (Bill of Material) του παραγόμενου προϊόντος 'FP_707', ορίζονται οι πρώτες ύλες που απαιτούνται για την κατασκευή του, 'RM1_707' και 'RM2_707'. Η αναλογία των πρώτων υλών για την παραγωγή του 'FP_707' είναι ένα προς ένα.

The screenshot shows the SAP 'Display material BOM: General Item Overview' for 'FP_707'. The material is identified as 'FinishedProduct_707' at 'Plant 1000 Werk Hamburg' with 'Alternative BOM 1'. The Bill of Materials table is as follows:

Item	ICt	Component	Component description	Quantity	Un
0010	L	RM1_707	RawMaterial1_707	1	EA
0020	L	RM2_707	RawMaterial2_707	1	EA

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ενδεικτικά το κέντρο εργασίας ‘WC2_707’. Με τον ίδιο τρόπο έχουν δημιουργηθεί και τα υπόλοιπα κέντρα εργασίας του συστήματος ‘WC1_707’, ‘WC2A_707’, ‘WC3_707’.

Στη κύρια καρτέλα του κέντρου εργασίας ‘WC2_707’, δηλώνεται ότι το κέντρο εργασίας είναι τύπου ‘Machine’, δηλαδή αποτελείται μόνο από μηχανές (δεν υπάρχει καθόλου η παρουσία ανθρώπινου δυναμικού).

The screenshot shows the 'Display Work Center: Basic Data' window in SAP. The plant is '1000' (Werk Hamburg) and the work center is 'WC2_707' (WorkCenter2_707). The 'Basic Data' tab is active, showing the following fields:

General Data	
Work Center Category	0001 Machine
Person responsible	101 Arbeitsplatzverantwortlicher 101
Location	1 Production Area
QDR system	
Supply Area	
Usage	009 All task list types
Transition matrix	

Στη καρτέλα της δυναμικότητας του κέντρου εργασίας, δηλώνονται οι μέθοδοι (formula) με τις οποίες υπολογίζεται η δυναμικότητα του κέντρου.

The screenshot shows the 'Display Work Center: Capacity Overview' window in SAP. The plant is '1000' (Werk Hamburg) and the work center is 'WC2_707' (WorkCenter2_707). The 'Capacities' tab is active, showing the following fields:

Overview	
Capacity category	001 Machine
Pooled capacity	
Setup formula	SAP005 Prod: Setup reqmts
Processing formula	SAP006 Prod: Machine reqmts
Teardown formula	
Other formula	
Distribution	
Int. dist. key	
Control CapacityReduction	Formula-Related
	Formula-Related
	Formula-Related

Κατά τη δήλωση της «φόρμουλας» υπολογισμού της δυναμικότητας του κέντρου εργασίας, ορίστηκε:

- το ωράριο του κέντρου, που είναι από τις επτά το πρωί έως τις τέσσερις το μεσημέρι,
- η διάρκεια των διαλειμμάτων, που είναι μηδενική,
- η απόδοση του παραγωγικού εξοπλισμού του κέντρου, που είναι η μέγιστη 100% και
- το σύνολο των μηχανών εντός του κέντρου, που είναι άσσος, αφού υπάρχει μόνο μία μηχανή.

Display Work Center Capacity: Header

Intervals and Shifts | Intervals | Available Capacity Profile | Reference Available Capacity

Plant: 1000 (Werk Hamburg)
 Work center: WC2_707 (WorkCenter2_707)
 Capacity category: 001

General data
 Capacity planner grp: 101 (Capacity planner 101)
 Pooled capacity | Grouping: 51

Available capacity
 Factory calendar ID: 01 (Factory calendar Germany standard)
 Active version: 1 (Normal available capacity)
 Base unit of meas.: H (Hour)

Standard available capacity
 Start: 07:00:00 | Capacity utilization: 100
 Finish: 16:00:00 | No. of indiv. cap.: 1
 Length of breaks: 00:00:00 | Capacity: 9,00
 Operating time: 9,00

Planning details
 Relevant to finite scheduling | Overload: 0 %
 Can be used by several operations | Long-term planning

Το φασειολόγιο (Routing) αποτελεί ένα από τα κύρια δεδομένα (master data) του υποσυστήματος SAP Production Planning. Κατά τη δήλωση του στο σύστημα ορίζονται τα στάδια επεξεργασίας που το αποτελούν. Τα κύρια σημεία κατά τη δήλωση ενός σταδίου επεξεργασίας είναι μια σύντομη περιγραφή του, το κέντρο εργασίας στο οποίο πραγματοποιείται, ο χρόνος προετοιμασίας πριν την έναρξη της επεξεργασίας, ο χρόνος επεξεργασίας. Σε κάθε περίπτωση τα φασειολόγια αποθηκεύονται στο σύστημα ως μέρη μιας ομάδας φασειολογίων. Μια ομάδα φασειολογίων (Group Routing) αποτελείται από ένα ή περισσότερα εναλλακτικά μεταξύ τους φασειολόγια.

Η κατασκευή του προϊόντος 'FP_707' συνδέεται με μία ομάδα φασειολογίων, η οποία έχει αποθηκευμένα δύο διαφορετικά φασειολόγια.

Routing Edit Goto Details Extras Environment System Help

Display Routing: Operation Overview

Work center CompAlloc Sequences PRT Inspection Characteristics

Material FP_707 FinishedProduct_707 Grp.Count1
Sequence 0

Op...	SOp	Work c...	Plnt	Co...	Standar...	Description	L...	P...	Cl...	O...	P...	C...	S...	B...	U...	Setup	U...	Activi...	Machine	U...	Activi...	Labor
0010		WC1_707	1000	PP01		Stage 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	10	MIN 1420	0		
0020		WC2_707	1000	PP01		Stage 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	20	MIN 1422	0		
0030		WC3_707	1000	PP01		Stage 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	10	MIN 1420	0		

Routing Edit Goto Details Extras Environment System Help

Display Routing: Operation Overview

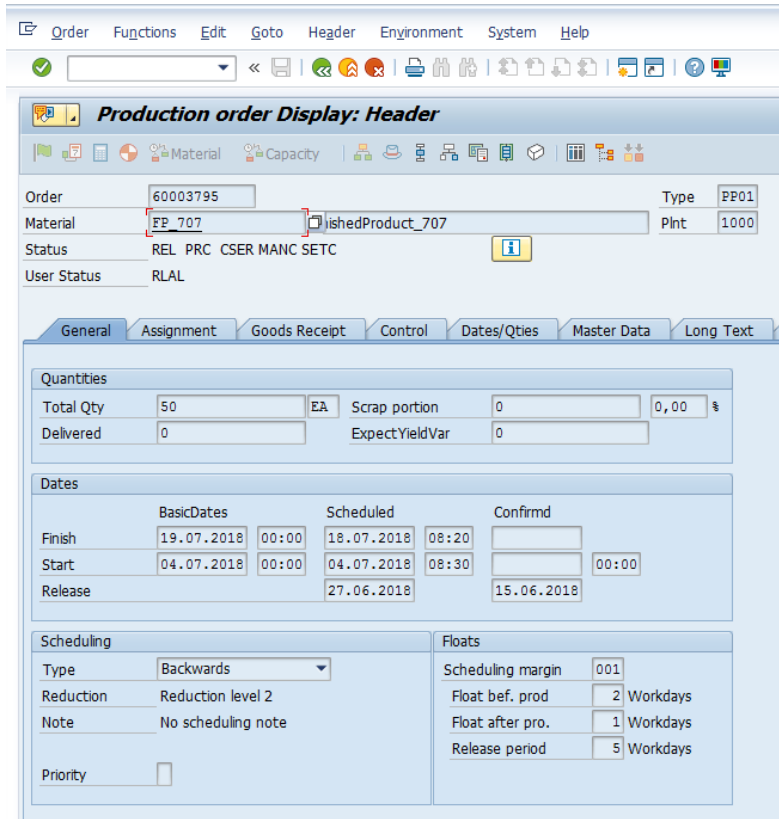
Work center CompAlloc Sequences PRT Inspection Characteristics

Material FP_707 FinishedProduct_707 Grp.Count2
Sequence 0

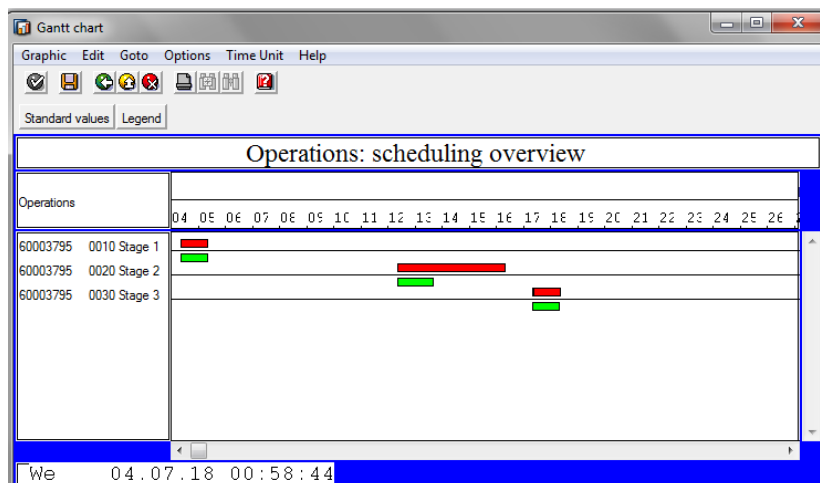
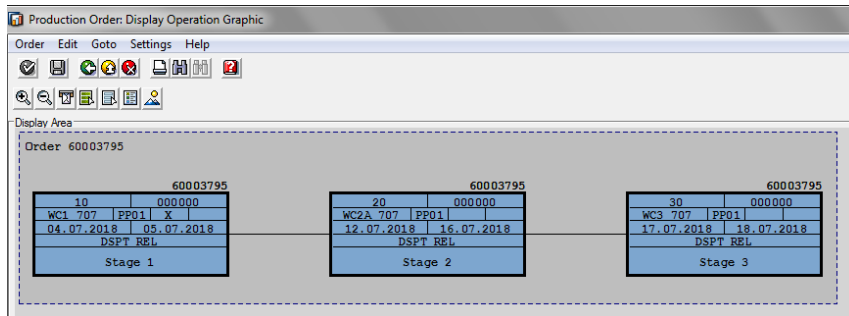
Op...	SOp	Work c...	Plnt	Co...	Standar...	Description	L...	P...	Cl...	O...	P...	C...	S...	Base Quantity	U...	Setup	U...	Activi...	Machine	U...	Activi...	Labor
0010		WC1_707	1000	PP01		Stage 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	10	MIN 1420	0		
0020		WC2A_707	1000	PP01		Stage 2 Alternative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	20	MIN 1420	0		
0030		WC3_707	1000	PP01		Stage 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	EA	0	MIN 1422	10	MIN 1420	0		

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ενδεικτικά η εντολή παραγωγής 60003795. Με τον ίδιο τρόπο έχουν δημιουργηθεί και οι υπόλοιπες εντολές παραγωγής του συστήματος 60003796- 60003800.

Η εντολή παραγωγής 60003795 αφορά στην παραγωγή 50 τεμαχίων προϊόντος 'FP_707'. Η παραγωγή αυτή πρέπει να είναι ολοκληρωμένη στις 19 Ιουλίου. Βάσει της απαίτησης αυτής, των απαιτήσεων του φασειολογίου του προϊόντος και των υπάρχοντων υποχρεώσεων των κέντρων εργασίας που αφορά, ορίστηκε ότι πιθανή ημερομηνία έναρξης της εντολής η 4 Ιουλίου.



Η παραγωγική διαδικασία της συγκεκριμένης εντολής αποδίδεται και με ένα γράφημα ή διάγραμμα Gantt.



Η Ομάδα Λιστών συντήρησης (Task List Group) 75 περιέχει δύο εναλλακτικές λίστες. Μέσω των δύο Πλάνων Συντήρησης πραγματοποιήθηκε κατ' αντιστοιχία η εκχώρηση των δύο λιστών στα κέντρα εργασίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ενδεικτικά η εκχώρηση των δύο λιστών της ομάδας 75 στο κέντρο εργασίας WC1_707. Με τον ίδιο τρόπο έχουν δημιουργηθεί και οι υπόλοιπες εκχωρήσεις στα υπόλοιπα κέντρα εργασίας.

Op...	SOp	Work ctr	Plnt	Ctrl	Operation Description	LT Work	Un. No.	Duration	Un. C	Pct	In
0010		WC1_707	1000	PM01	Visually Inspect	<input type="checkbox"/> 0,0	1 1,0	HR	0		
0020		WC1_707	1000	PM01	Actual Inspect	<input type="checkbox"/> 0,0	1 3,0	HR	0		
0030		WC1_707	1000	PM01	Cleaning	<input type="checkbox"/> 0,0	1 4,0	HR	0		

Op...	SOp	Work ctr	Plnt	Ctrl	Operation Description	LT Work	Un. No.	Duration	Un. C	Pct	In
0010		WC1_707	1000	PM01	Dismantling	<input type="checkbox"/> 0,0	0 6,0	HR	0		
0020		WC1_707	1000	PM01	Replacements	<input type="checkbox"/> 0,0	0 20,0	HR	0		
0030		WC1_707	1000	PM01	Assembly	<input type="checkbox"/> 0,0	0 10,0	HR	0		

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά οι εντολές συντήρησης 87886 και 87890 που αφορά στο κέντρο εργασίας 'WC2_707'. Οι οποίες είναι εντολές Προληπτικής Συντήρησης (PM03).

Η εντολή συντήρησης 87886 αφορά την εκτέλεση απλών ενεργειών συντήρησης, συγκεκριμένα τις ενέργειες συντήρησης της λίστας 'Small Repairs' και ορίστηκε να πραγματοποιηθεί μεταξύ των ημερομηνιών 18 και 19 Ιουνίου.

Η εντολή συντήρησης 87890 αφορά την εκτέλεση πολύπλοκων και χρονοβόρων ενεργειών συντήρησης, συγκεκριμένα τις ενέργειες συντήρησης της λίστας 'Full Repairs' και ορίστηκε να πραγματοποιηθεί μεταξύ των ημερομηνιών 30 Ιουλίου και 13 Αυγούστου.

Display Preventive Maintenance 817886: Central Header

Order: **PM03** 7886 Maintenance Plan WC2 707
 Sys.Status: CRID MANC NMAI PRC

HeaderData | Operations | Components | Costs | Partner | Objects | Additional Data | Location

Person responsible
 PlannerGrp: 101 / 1000 Fr. Reich
 Mn.wk.ctr: WC2_707 / 1000 WorkCenter2_707
 Person Res.: 0

Notifctn:
 Costs: 0,00 EUR
 PMActType: 102 Regular mainte...
 SystCond.: 0 not in operatio
 Address:
 Address

Dates
 Bsc start: 18.06.2018 Priority:
 Basic fin.: 19.06.2018 Revision:
 Revision

Reference object
 Func. Loc.:
 Equipment: 10006645 Equipment 2
 Assembly:
 Assembly

First operation
 Operation: Visually Inspect Cckey:
 WkCtr/Plnt: WC2_707 / 1000 Ctrl key: PM01 Acty Type:
 Work durtn: 8,0 HR Number: 1 Oprtn dur.: 8,0 HR
 Person. no: 0

SAP

Display Preventive Maintenance 817890: Central Header

Order: **PM03** 7890 Maintenance Plan WC2 707
 Sys.Status: REL MANC NMAI PRC

HeaderData | Operations | Components | Costs | Partner | Objects | Additional Data | Location

Person responsible
 PlannerGrp: 101 / 1000 Fr. Reich
 Mn.wk.ctr: WC2_707 / 1000 WorkCenter2_707
 Person Res.: 0

Notifctn:
 Costs: 0,00 EUR
 PMActType: 102 Regular mainte...
 SystCond.: 0 not in operatio
 Address:
 Address

Dates
 Bsc start: 30.07.2018 Priority:
 Basic fin.: 13.08.2018 Revision:
 Revision

Reference object
 Func. Loc.:
 Equipment: 10006645 Equipment 2
 Assembly:
 Assembly

First operation
 Operation: Dismantling Cckey:
 WkCtr/Plnt: WC2_707 / 1000 Ctrl key: PM01 Acty Type:
 Work durtn: 36,0 HR Number: 0 Oprtn dur.: 36,0 HR
 Person. no: 0

SAP