

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ: ΜΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

του/της

Καρακαλίδης Αλέξης

Θεσσαλονίκη , Ιούνιος/2017

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ:
ΜΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Καρακαλίδης Αλέξης

Πτυχίο Διοίκησης Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2015

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής

Σιφαλέρας Άγγελος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28/Ιουνίου/2017

Σιφαλέρας Άγγελος 1

Κίτσιος Φώτιος 2

Νικολαΐδης Ιωάννης 3

.....

Καρακαλίδης Αλέξης

.....

Περίληψη

Είναι γνωστό ότι η χρήση σύγχρονων αναλυτικών στοιχείων από εταιρείες σε ανταγωνιστικές αγορές έχει ζωτική σημασία τόσο για την αποτελεσματικότητά τους όσο και για το οικονομικό τους κέρδος. Η εργασία αυτή παρουσιάζει ένα νέο μαθηματικό μοντέλο για ένα πραγματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης της παραγωγής μιας εταιρείας που βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα. Η εταιρεία παράγει εμφιαλωμένα μεταλλικά νερά και χρειάζεται να διαθέσει τους ανθρώπινους πόρους της για να έχει το βέλτιστο κέρδος. Ως εκ τούτου, ο στόχος του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση των αδρανών-ανενεργών ανθρωποωρών εργασίας της επιχείρησης, με την προϋπόθεση ότι θα ικανοποιήσει τη ζήτηση των πελατών. Καθώς οι αλγεβρικές γλώσσες μοντελοποίησης είναι πολύ κατάλληλες για ανάπτυξη μοντέλων βελτιστοποίησης, αυτό το μαθηματικό μοντέλο σχεδιασμού-προγραμματισμού παραγωγής υλοποιήθηκε στην AMPL (A Mathematical Programming Language) και επιλύθηκε χρησιμοποιώντας τον IBM ILOG CPLEX λύτη. Επιπλέον, περιγράφονται τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η ποσοτική μας προσέγγιση καθώς και για μελλοντικούς στόχους για περαιτέρω έρευνα και επέκταση του μοντέλου μας.

Λέξεις Κλειδιά: Μαθηματική μοντελοποίηση, Σχεδιασμός παραγωγής, Ανάθεση προσωπικού, AMPL, CPLEX

Abstract

It is well-known that, the use of modern analytics by companies in competitive markets, is of vital importance both for their efficiency and for the financial profit. This work presents a novel mathematical model for a real-world production optimization problem of a company which is located in Northern Greece. The company produces non-alcohol soft drinks and needs to allocate its human resources in order to have the optimum profit. Therefore, the objective of the model is the minimization of the company's idle man-hours subject to fulfill the demand of the customers. As algebraic modeling languages are very well suited for prototyping and developing optimization models, this production planning mathematical model was implemented in the AMPL mathematical programming language and solved using IBM ILOG CPLEX optimizer. Furthermore, we also describe the competitive advantages offered by our quantitative approach and the initial allocation plan by the company.

**Keywords: Mathematical modelling, Production planning, Employee scheduling
AMPL, CPLEX**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μου θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Σιφαλέρα Άγγελο τόσο για την αμέριστη συμπαράσταση του όσο και για την καθοδήγηση και τις ουσιώδεις συμβουλές του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Νικολαΐδη Ιωάννη, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος, για την συμβολή του στην εύρεση του θέματος της εργασίας, τις συμβουλές του και γενικά για την προθυμία του να βοηθήσει και να προτείνει νέες ιδέες.

Παρουσιάσεις

Η παρούσα εργασία παρουσιάστηκε στο παρακάτω συνέδριο :

Karakalidis A., Sifaleras A. and Nikolaidis Y., “A case study on optimizing the performance of a production company using a new mathematical model”, presented in the 6th International Symposium and 28th National Conference on Operational Research, 8-10 June, Thessaloniki, 2017.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Βασικές Έννοιες και Ορισμοί	1
1.1	Εισαγωγή στην επιχειρησιακή έρευνα	1
1.2	Μαθηματική μοντελοποίηση	5
1.3	Προγραμματισμός παραγωγής	6
1.4	Εισαγωγή στην AMPL	9
1.5	Διάρθρωση εργασίας	13
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	16
2.1	Προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού και βάρδιων	17
2.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την βέλτιστη κατανομή-ανάθεση του ανθρωπίνου δυναμικού	18
3	Ορισμός προβλήματος	21
3.1	Παραγωγική διαδικασία	21
3.1.1	Στάδια παραγωγικής διαδικασίας	24
3.2	Περιγραφή του προβλήματος	27
4	Μαθηματική μοντελοποίηση	29
4.1	Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου	29
4.2	Αριθμητικό παράδειγμα	32
5	Ανάλυση Ευαισθησίας	37
5.1	Ανάλυση ευαισθησίας	37
5.2	Οφέλη	44
6	Εντολές Γλώσσας Μοντελοποίησης και Λύτες	47
6.1	Λύτες	47
6.1.1	Cplex	47
6.1.2	Gurobi	48
6.1.3	Minos	48

6.1.4	Κnitro	49
6.2	Εντολές	50
7	Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα	53
7.1	Συμπεράσματα	53
7.2	Μελλοντική Έρευνα	54
A'	Αναφορά αποτελεσμάτων	55

Κατάλογος Σχημάτων

1.3.1	Θεωρητικό υπόβαθρο	9
1.4.2	Διαδικασία μοντελοποίησης σε AMPL	11
1.4.3	Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου	12
1.4.4	Διαδικασία ανάπτυξης script αρχείου	13
1.5.5	Διαδικασία παρούσας μελέτης	15
3.1.1	Παραγωγική διαδικασία	22
3.1.2	Διαδικασία παραγωγής γυάλινης φιάλης	23
3.1.3	Διάγραμμα ροής εμφιάλωσης γυάλινων φιαλών	26
3.1.4	Διάγραμμα ροής εμφιάλωσης αλουμινίου	27
5.1.1	Επίπτωση της μείωσης των εργάσιμων ημερών	38
5.1.2	Επίπτωση της μείωσης των ανδρών εργαζομένων	40
5.1.3	Επίπτωση της μείωσης των γυναικών εργαζομένων	40
5.1.4	Επίπτωση της μείωσης της ζήτησης	42
5.1.5	Επίπτωση της αύξησης της ζήτησης	42
5.1.6	Επίπτωση της μείωσης της παραγωγικής ικανότητας	43

Κατάλογος Πινάκων

3.1	Αντιστοίχιση γραμμών-προϊόντων	22
3.2	Ταυτόχρονη παραγωγή	24
3.3	Λίστα μηχανημάτων παραγωγής	25
4.1	Γενικά δεδομένα του αριθμητικού παραδείγματος	33
4.2	Δεδομένα για κάθε προϊόν του αριθμητικού παραδείγματος	33
4.3	Κατανομή ανδρών σε βάρδιες	34
4.4	Κατανομή γυναικών σε βάρδιες	35
4.5	Σύγκριση μεταξύ δυνητικής παραγωγής και πραγματικής ζήτησης	36
5.1	Μεταβολή στις εργάσιμες ημέρες	38
5.2	Μεταβολή στους άνδρες εργαζόμενους	39
5.3	Μεταβολή στις γυναίκες εργαζόμενες	39
5.4	Μεταβολή της ζήτησης	41
5.5	Μεταβολή στην παραγωγική ικανότητα	43
6.1	Λίστα Λυτών Μαθηματικής Μοντελοποίησης	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βασικές Έννοιες και Ορισμοί

1.1 Εισαγωγή στην επιχειρησιακή έρευνα

Η Επιχειρησιακή Έρευνα(Operations research 2017) αποτελεί ένα ευρύ τμήμα των σύγχρονων εφαρμοσμένων μαθηματικών, η οποία μέσω της χρήσης μαθηματικών μοντέλων, στοχαστικών μεθόδων και αλγορίθμων υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας μεθόδους μαθηματικής μοντελοποίησης η επιχειρησιακή έρευνα παρέχει σε ερευνητές και επαγγελματίες τη δυνατότητα να λαμβάνουν αποδοτικότερες και με μειωμένο κίνδυνο αποφάσεις.

Μία σημαντική κατηγορία μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας είναι εκείνη του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Ο τελευταίος εξελίχθηκε σε ένα ευρύ ερευνητικό πεδίο με κύρια κατεύθυνση την ανάπτυξη υπολογιστικών τεχνικών για την εύρεση βέλτιστων λύσεων σε μία πληθώρα πρακτικών προβλημάτων. Μία εξίσου σημαντική υποκατηγορία του Μαθηματικού Προγραμματισμού αποτελεί ο Γραμμικός Προγραμματισμός ή Γραμμική Βελτιστοποίηση, ο οποίος πραγματεύεται αποκλειστικά γραμμικά προβλήματα.

Μερικά προβλήματα με τα οποία ασχολείται και επιλύει η επιχειρησιακή έρευνα είναι τα παρακάτω :

1. Ανάλυση κρίσιμης διαδρομής ή σχεδιασμός έργου: προσδιορισμός αυτών των διαδικασιών σε ένα σύνθετο έργο που επηρεάζει τη συνολική διάρκεια του έργου
2. Βελτιστοποίηση δικτύων: για παράδειγμα, εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακών δικτύων για τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών κατά τη διάρκεια διακοπών
3. Προβλήματα κατανομής
4. Τοποθεσία εγκατάστασης - Facility location
5. Προβλήματα ανάθεσης:
 - Γενικό πρόβλημα ανάθεσης

- Τετραγωνικό πρόβλημα ανάθεσης
 - Πρόβλημα ανάθεσης στόχου όπλων
6. Μπεύζιανή θεωρία αναζήτησης: αναζήτηση στόχου
 7. Βέλτιστη αναζήτηση
 8. Δρομολόγηση, όπως ο προσδιορισμός των διαδρομών των λεωφορείων έτσι ώστε όσο το δυνατόν λιγότερα λεωφορεία να χρειάζονται
 9. Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας : διαχείριση της ροής πρώτων υλών και προϊόντων με βάση την αβεβαιότητα της ζήτησης για τα τελικά προϊόντα
 10. Αυτοματισμοί: Αυτοματοποίηση ή ενσωμάτωση ρομποτικών συστημάτων σε ανθρώπινες διαδικασίες
 11. Παγκοσμιοποίηση: διεργασίες παγκοσμιοποίησης για την αξιοποίηση φθηνότερων υλικών, εργασίας, γης ή άλλων εισροών παραγωγικότητας
 12. Μεταφορές: διαχείριση συστημάτων μεταφοράς και μεταφοράς εμπορευμάτων (Παραδείγματα: LTL shipping, διατροφικές εμπορευματικές μεταφορές, προβλήματα μετακίνησης πωλητών)
 13. Χρονοδρομολόγηση:
 - Προγραμματισμός ανθρώπινου δυναμικού
 - Διοίκηση και Διαχείριση Έργου
 - Διακίνηση δεδομένων δικτύου: γνωστά και ως μοντέλα ουράς αναμονής ή συστήματα ουράς αναμονής
 - Αθλητικές εκδηλώσεις και τηλεοπτική κάλυψη τους
 14. Ανάμειξη πρώτων υλών σε διυλιστήρια πετρελαίου
 15. Προσδιορισμός των βέλτιστων τιμών, σε πολλές ρυθμίσεις λιανικής και B2B, στο πλαίσιο των επιστημών τιμολόγησης

Το 1967, ο Stafford Beer χαρακτήρισε τον τομέα της διοίκησης της επιστήμης ως "την επιχειρηματική χρήση της της επιχειρησιακής έρευνας". Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή ο όρος διοίκηση της επιστήμης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αναφερθεί στα ξεχωριστά πεδία των οργανωτικών μελετών ή της εταιρικής στρατηγικής. Όπως και η ίδια η επιχειρησιακή έρευνα, η διοίκηση της επιστήμης (Management Science) είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος εφαρμοσμένων μαθηματικών, αφιερωμένος στον βέλτιστο σχεδιασμό αποφάσεων, έχοντας ισχυρούς δεσμούς με οικονομικές,

επιχειρηματικές, μηχανικές και διάφορες άλλες επιστήμες. Χρησιμοποιεί διάφορες αρχές, στρατηγικές και αναλυτικές μεθόδους που περιλαμβάνουν επιστημονικές έρευνες, συμπεριλαμβανομένων μαθηματικών μοντέλων, στατιστικών και αριθμητικών αλγορίθμων για τη βελτίωση της ικανότητας ενός οργανισμού να λαμβάνει αποφάσεις ορθολογικής και ουσιαστικής διαχείρισης, καταλήγοντας σε βέλτιστες ή σχεδόν βέλτιστες λύσεις σε πολύπλοκα προβλήματα λήψης αποφάσεων. Εν ολίγοις, η διοικητική επιστήμη βοηθά τις επιχειρήσεις να επιτύχουν τους στόχους τους χρησιμοποιώντας τις επιστημονικές μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας.

Η αρμοδιότητα του διοικητικού επιστήμονα είναι να χρησιμοποιεί ορθολογικές, συστηματικές και επιστημονικές τεχνικές για την ενημέρωση και τη βελτίωση κάθε είδους απόφασης. Φυσικά, οι τεχνικές διαχείρισης της επιστήμης δεν περιορίζονται στις επιχειρηματικές εφαρμογές αλλά μπορούν να εφαρμοστούν επίσης και σε στρατιωτική και ιατρική βάση, στην δημόσια διοίκηση, και σε φιλανθρωπικές, πολιτικές ή και κοινοτικές ομάδες.

Η διοικητική επιστήμη ασχολείται με την ανάπτυξη και την εφαρμογή μοντέλων και εννοιών που μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμες για τη διευκόλυνση και επίλυση προβλημάτων διαχείρισης, καθώς και για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων και καλύτερων μοντέλων οργανωτικής αριστείας.

Ορισμένα από τα πεδία που έχουν σημαντική αλληλεπίδραση με την Επιχειρησιακή Έρευνα και τη Διοικητική Επιστήμη είναι:

1. Επιχειρηματικές αναλύσεις(Business analytics)
2. Εξόρυξη δεδομένων
3. Ανάλυση αποφάσεων
4. Μηχανική
5. Χρηματοοικονομική μηχανική
6. Προβλέψεις(Forecasting)
7. Θεωρία παιγνίων
8. Γεωγραφία / Επιστήμη γεωγραφικών πληροφοριών
9. Θεωρία γραφημάτων
10. Logistics
11. Μαθηματική μοντελοποίηση
12. Μαθηματική βελτιστοποίηση
13. Στατιστική και πιθανότητες

14. Διαχείριση έργου
15. Προσομοίωση
16. Μοντέλα πρόβλεψης κοινωνικών δικτύων / μεταφοράς
17. Στοχαστικές διαδικασίες
18. Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι εφαρμογές της διοικητικής επιστήμης είναι άφθονες, όπως σε αεροπορικές εταιρείες, κατασκευαστικές εταιρείες, οργανισμούς παροχής υπηρεσιών, στρατιωτικούς κλάδους και στην κυβέρνηση. Το φάσμα των προβλημάτων και των θεμάτων στα οποία η διοικητική επιστήμη έχει συνεισφέρει πληροφορίες και λύσεις είναι τεράστια. Περιλαμβάνει:

1. Προγραμματισμό αεροπορικών εταιρειών, τρένων, λεωφορείων κλπ.
2. Ανάθεση (ανάθεση του πληρώματος σε πτήσεις, τρένα ή λεωφορεία, εργαζόμενων σε έργα)
3. Τοποθεσία εγκατάστασης (αποφασίζοντας την καταλληλότερη θέση για τις νέες εγκαταστάσεις, όπως αποθήκες, εργοστάσια ή πυροσβεστικούς σταθμούς)
4. Ροές δικτύου (διαχείριση ροής νερού από δεξαμενές)
5. Υγιεινολογική υπηρεσία (διαχείριση αλυσίδας πληροφόρησης και εφοδιασμού για υπηρεσίες υγείας)
6. Θεωρίας παιγνίων (προσδιορισμός, κατανόηση και ανάπτυξη των στρατηγικών που υιοθετούν οι εταιρείες)

Η διοικητική επιστήμη ασχολείται επίσης με τη λεγόμενη “soft-operational analysis”, η οποία αφορά μεθόδους στρατηγικού σχεδιασμού και στρατηγικής υποστήριξης αποφάσεων. Κατά την αντιμετώπιση τέτοιων προκλήσεων, η μαθηματική μοντελοποίηση και η προσομοίωση δεν είναι κατάλληλες ή δεν αρκούν. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μη ποσοτικοποιημένες μέθοδοι μοντελοποίησης όπως :

1. Προσεγγίσεις βασισμένες στους stakeholders, συμπεριλαμβανομένης της metagame ανάλυσης και της θεωρίας του δράματος
2. Την προσέγγιση στρατηγικής επιλογής
3. Ανάλυση ανθεκτικότητας

Περισσότερο υλικό είναι δυνατόν να βρεί κανείς στον ιστοχώρο της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών: <http://www.eeee.org.gr>.

1.2 Μαθηματική μοντελοποίηση

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η μαθηματική μοντελοποίηση είναι ένα από τα επιστημονικά πεδία που έχουν πολύ σημαντική αλληλεπίδραση στην Επιχειρησιακή Έρευνα.

Ένα μαθηματικό μοντέλο είναι μια περιγραφή ενός συστήματος που χρησιμοποιεί μαθηματικές έννοιες και γλώσσα (Mathematical model 2017). Η διαδικασία ανάπτυξης ενός μαθηματικού μοντέλου ονομάζεται μαθηματική μοντελοποίηση. Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται στις φυσικές επιστήμες (όπως φυσική, βιολογία, γεωλογία, μετεωρολογία) και μηχανικές επιστήμες (όπως η επιστήμη των υπολογιστών, η τεχνητή νοημοσύνη), καθώς και στις κοινωνικές επιστήμες (όπως η οικονομία, η ψυχολογία, κοινωνιολογία, πολιτική επιστήμη). Οι φυσικοί, οι μηχανικοί, οι στατιστικοί, οι αναλυτές των ερευνητικών δραστηριοτήτων και οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν τα μαθηματικά μοντέλα πιο εκτεταμένα. Ένα μοντέλο βοηθάει στην επεξήγηση ενός συστήματος και στην μελέτη των επιπτώσεων των διαφόρων συνιστωσών και στην πρόβλεψη διαφόρων συμπεριφορών.

Τα μαθηματικά μοντέλα μπορούν να λάβουν πολλές μορφές, συμπεριλαμβανομένων των δυναμικών συστημάτων, στατιστικών μοντέλων, διαφορικών εξισώσεων ή και των θεωρητικών μοντέλων παιγνίων. Αυτοί και άλλοι τύποι μοντέλων μπορούν να αλληλεπικαλύπτονται, με ένα δεδομένο μοντέλο που περιλαμβάνει μια ποικιλία αφηρημένων δομών. Σε γενικές γραμμές, τα μαθηματικά μοντέλα μπορεί να περιλαμβάνουν λογικά μοντέλα. Σε πολλές περιπτώσεις, η ποιότητα ενός επιστημονικού πεδίου εξαρτάται από το πόσο καλά συμφωνούν τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύσσονται στη θεωρητική πλευρά με τα αποτελέσματα επαναλαμβανόμενων πειραμάτων.

Σε γενικές γραμμές, το παραδοσιακό μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει τα παρακάτω κυρίως στοιχεία :

1. Αντικειμενική/ες συνάρτηση/σεις
2. Παραμέτρους
3. Μεταβλητές απόφασης
4. Περιορισμούς

Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούνται συνήθως από σχέσεις και μεταβλητές. Οι σχέσεις μπορούν να περιγραφούν από τους τελεστές, όπως οι αλγεβρικοί τελεστές, συναρτήσεις, διαφορικοί τελεστές κλπ. Αρκετά κριτήρια ταξινόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα μαθηματικά μοντέλα σύμφωνα με τη δομή τους:

1. **Γραμμικό έναντι μη γραμμικό:** Εάν όλοι οι τελεστές σε ένα μαθηματικό μοντέλο παρουσιάζουν γραμμικότητα, το προκύπτον μαθηματικό μοντέλο ορίζεται ως γραμμικό. Σε διαφορετική περίπτωση θεωρείται μη γραμμικό. Σε ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού,

αν οι αντικειμενικές συναρτήσεις και οι περιορισμοί αποτελούνται εξ ολοκλήρου από γραμμικές εξισώσεις, τότε το μοντέλο θεωρείται ως γραμμικό μοντέλο. Εάν μία ή περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις ή περιορισμοί αντιπροσωπεύονται με μη γραμμική εξίσωση, τότε το μοντέλο είναι γνωστό ως μη γραμμικό μοντέλο. Η μη γραμμικότητα, ακόμα και σε αρκετά απλά συστήματα, συνδέεται συχνά με φαινόμενα όπως το χάος και η μη αναστρέψιμότητα. Παρόλο που υπάρχουν εξαιρέσεις, τα μη γραμμικά συστήματα και μοντέλα τείνουν να είναι πιο δύσκολο να μελετηθούν σε σχέση τα γραμμικά. Μια κοινή προσέγγιση στα μη γραμμικά προβλήματα είναι η γραμμικοποίηση τους, αλλά αυτό μπορεί να είναι προβληματικό σε περιπτώσεις που κάποιος προσπαθεί να μελετήσει πτυχές όπως η μη αναστρέψιμότητα, οι οποίες συνδέονται στενά με τη μη γραμμικότητα.

2. **Στατικό** έναντι **δυναμικό**: Ένα δυναμικό μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις εξαρτώμενες από το χρόνο αλλαγές στην κατάσταση του συστήματος, ενώ ένα στατικό μοντέλο αντιθέτως είναι μη-εξαρτώμενο από τον χρόνο. Τα δυναμικά μοντέλα τυπικά αντιπροσωπεύονται από διαφορικές εξισώσεις ή εξισώσεις διαφορών.
3. **Διακριτό** έναντι **συνεχή**: Ένα διακριτό μοντέλο αντιμετωπίζει τα αντικείμενα ως διακριτά, όπως τα σωματίδια σε ένα μοριακό μοντέλο. Από την άλλη μεριά, ένα συνεχές μοντέλο αντιπροσωπεύει τα αντικείμενα με συνεχή τρόπο, όπως το πεδίο ταχύτητας του ρευστού στις ροές των σωλήνων, οι θερμοκρασίες και οι τάσεις σε ένα συμπαγές και ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται συνεχώς σε ολόκληρο το μοντέλο.
4. **Ντετερμινιστικό** έναντι **στοχαστικό**: Ένα ντετερμινιστικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο στο οποίο κάθε σύνολο μεταβλητών καταστάσεων καθορίζεται με μοναδικό τρόπο από παραμέτρους στο μοντέλο και από σύνολα προηγούμενων καταστάσεων αυτών των μεταβλητών. Επομένως, ένα ντετερμινιστικό μοντέλο εκτελείται πάντα με τον ίδιο τρόπο για ένα δεδομένο σύνολο αρχικών συνθηκών. Αντίθετα, σε ένα στοχαστικό μοντέλο - που συνήθως ονομάζεται 'στατιστικό μοντέλο' - υπάρχει τυχαιότητα των τιμών και οι μεταβλητές καταστάσεις δεν περιγράφονται με μοναδικές τιμές, αλλά με κατανομές πιθανοτήτων.

1.3 Προγραμματισμός παραγωγής

Ως προγραμματισμός της παραγωγής ορίζεται ο προγραμματισμός των μονάδων παραγωγής και κατασκευής σε μια επιχείρηση ή μια βιομηχανία (Production planning 2017). Χρησιμοποιεί την κατανομή πόρων των :

1. δραστηριοτήτων των εργαζομένων
2. των υλικών

3. και της παραγωγικής ικανότητας με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων και αναγκών τους και προκειμένου να εξυπηρετήσει διαφορετικούς πελάτες.

Διαφορετικοί τύποι μεθόδων παραγωγής, όπως η παραγωγή μεμονωμένων ειδών, η παραγωγή παρτίδων, η μαζική παραγωγή, η συνεχής παραγωγή κλπ., έχουν το δικό τους τύπο σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής. Ο προγραμματισμός της παραγωγής μπορεί να συνδυαστεί με τον έλεγχο της παραγωγής, στο σχεδιασμό και τον έλεγχο της παραγωγής, ή μπορεί να συνδυαστεί ή και να ενσωματωθεί στον προγραμματισμό των επιχειρησιακών πόρων.

Ο σχεδιασμός παραγωγής χρησιμοποιείται σε επιχειρήσεις και σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η γεωργία, η βιομηχανία, η βιομηχανία ψυχαγωγίας κλπ.

Ο σχεδιασμός της παραγωγής είναι ένα πλάνο για τη μελλοντική παραγωγή, στο οποίο οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις είναι προκαθορισμένες και διευθετημένες. Ένα σχέδιο παραγωγής γίνεται περιοδικά για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η οποία ονομάζεται χρονικός ορίζοντας. Μπορεί να περιλαμβάνει τις ακόλουθες δραστηριότητες:

1. Προσδιορισμός του απαιτούμενου συνδυασμού προϊόντων και εργοστασιακού φορτίου για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών.
2. Αντιστοιχία του απαιτούμενου επιπέδου παραγωγής με τους υπάρχοντες διαθέσιμους πόρους της επιχείρησης.
3. Προγραμματισμός και επιλογή της εργασίας που θα ξεκινήσει στη μονάδα παραγωγής
4. Δημιουργία και παράδοση παραγγελιών παραγωγής σε εγκαταστάσεις παραγωγής.

Προκειμένου τα σχέδια παραγωγής να αναπτυχθούν, ο υπεύθυνος για την παραγωγή ή το τμήμα προγραμματισμού παραγωγής πρέπει να συνεργαστεί στενά με το τμήμα μάρκετινγκ και το τμήμα πωλήσεων. Μπορούν να παρέχουν προβλέψεις πωλήσεων ή μια λίστα παραγγελιών πελατών. Η εργασία συνήθως επιλέγεται από μια ποικιλία τύπων προϊόντων που μπορεί να απαιτούν διαφορετικούς πόρους και να εξυπηρετούν διαφορετικούς πελάτες. Επομένως, η επιλογή πρέπει να βελτιστοποιεί, τόσο μέτρα απόδοσης τα οποία είναι ανεξάρτητα από τον πελάτη, όπως το χρόνο του κύκλου εργασίας αλλά και μέτρα απόδοσης που εξαρτώνται από τον πελάτη, όπως η έγκαιρη παράδοση.

Ένας κρίσιμος παράγοντας στον προγραμματισμό της παραγωγής είναι η ακριβής εκτίμηση της παραγωγικής ικανότητας των διαθέσιμων πόρων, αλλά αυτό είναι ένα από τα πιο δύσκολα κομμάτια της όλης διαδικασίας. Ο προγραμματισμός της παραγωγής θα πρέπει πάντα να λαμβάνει υπόψη

1. τη διαθεσιμότητα υλικών
2. τη διαθεσιμότητα πόρων
3. τη γνώση της μελλοντικής ζήτησης.

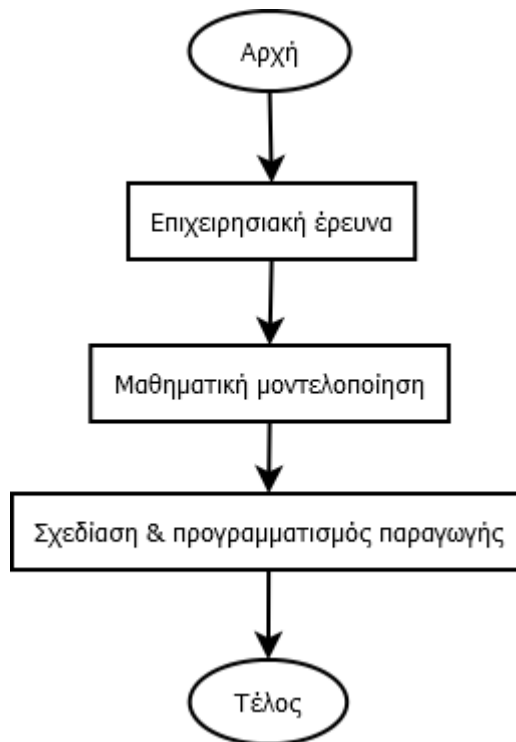
Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι σχεδιασμού ενώ μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικοί τύποι προγραμματισμού παραγωγής. Μερικοί από αυτούς :

1. Προχωρημένος σχεδιασμός και προγραμματισμός ανθρωπίνου δυναμικού
2. Πρόβλεψη παραγωγικής ικανότητας
3. Κύριο πρόγραμμα παραγωγής (Master production schedule - MPS)
4. Σχεδιασμός υλικών απαιτήσεων (Material requirements planning - MRP)
5. (MRP II)
6. Χρονοδρομολόγηση
7. Ροή εργασιών

Σχετικά είδη σχεδιασμού και προγραμματισμού σε οργανισμούς :

1. Προγραμματισμός υπαλλήλων και ανθρωπίνου δυναμικού
2. Προγραμματισμός εργασίας σε βάρδιες
3. Προγραμματισμός πόρων επιχειρήσεων(ή ενδοεπιχειρησιακός σχεδιασμός - enterprise resource planning ERP)
4. Έλεγχο της απογραφής
5. Σχεδιασμός προϊόντων
6. Προγραμματισμός Έργου
7. Πωλήσεις και σχεδιασμός επιχειρήσεων

Εν κατακλείδι το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε και είναι η βάση της παρούσας εργασίας φαίνεται στην Εικόνα **1.3.1**.



Σχήμα 1.3.1: Θεωρητικό υπόβαθρο

1.4 Εισαγωγή στην AMPL

Η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μοντέλου βελτιστοποίησης της παραγωγής της εταιρείας του case study στην παρούσα εργασία είναι η AMPL (A Mathematical Programming Language). Η AMPL είναι μια αλγεβρική γλώσσα μαθηματικής μοντελοποίησης που περιγράφει και επιλύει προβλήματα υψηλής πολυπλοκότητας για μαθηματικούς υπολογισμούς μεγάλης κλίμακας. Η AMPL περιλαμβάνει ένα μείγμα από δηλωτικά και επιτακτικά στυλ προγραμματισμού. Η διατύπωση των μοντέλων βελτιστοποίησης πραγματοποιείται μέσω δηλωτικών γλωσσικών στοιχείων, όπως σύνολα, μονοδιάστατοι και πολυδιάστατοι παράμετροι, μεταβλητές απόφασης, αντικειμενικές συναρτήσεις και τους περιορισμούς, που επιτρέπουν μια συνοπτική περιγραφή των περισσότερων προβλημάτων στον τομέα της μαθηματικής βελτιστοποίησης. Διαδικασίες και εντολές ελέγχου ροής είναι διαθέσιμες στην AMPL για:

1. την ανταλλαγή δεδομένων με εξωτερικές πηγές δεδομένων, όπως λογιστικά Φύλλα, βάσεις δεδομένων, XML και αρχεία κειμένου
2. δεδομένα πριν και μετά την επεξεργασία εργασιών γύρω από μοντέλα βελτιστοποίησης
3. κατασκευή αλγορίθμων για τύπους προβλημάτων όπου αποδοτικοί λύτες δεν είναι διαθέσιμοι

Για να υποστηρίξει την επαναχρησιμοποίηση και την απλούστευση της κατασκευής προβλημάτων βελτιστοποίησης μεγάλης κλίμακας, η AMPL επιτρέπει το διαχωρισμό μοντέλων και δεδομένων. Η AMPL υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα τύπων προβλημάτων, μεταξύ των οποίων είναι:

- Γραμμικός προγραμματισμός
- Τετραγωνικός προγραμματισμός
- Μη Γραμμικός Προγραμματισμός
- Μικτός ακέραιος προγραμματισμός
- Μικτός ακέραιος τετραγωνικός προγραμματισμός με ή χωρίς κυρτούς τετραγωνικούς περιορισμούς
- Μικτός ακέραιος μη γραμμικός προγραμματισμός
- Ολική βελτιστοποίηση
- Προβλήματα συμπληρωματικότητας (MPECs) σε διακριτές ή συνεχείς μεταβλητές
- Προγραμματισμό περιορισμών
- Κωνικός προγραμματισμός 2ης τάξης

Η AMPL καλεί τον λύτη με μια διαφορετική και ξεχωριστή διαδικασία η οποία έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Ο χρήστης μπορεί να διακόψει την διαδικασία λύσης οποιαδήποτε στιγμή
- Τα ενδεχόμενα σφάλματα του λύτη δεν επηρεάζουν τον διερμηνέα
- Η 32-bit έκδοση της AMPL μπορεί να χρησιμοποιήσει 64-bit λύτη και τον αντίστροφο.

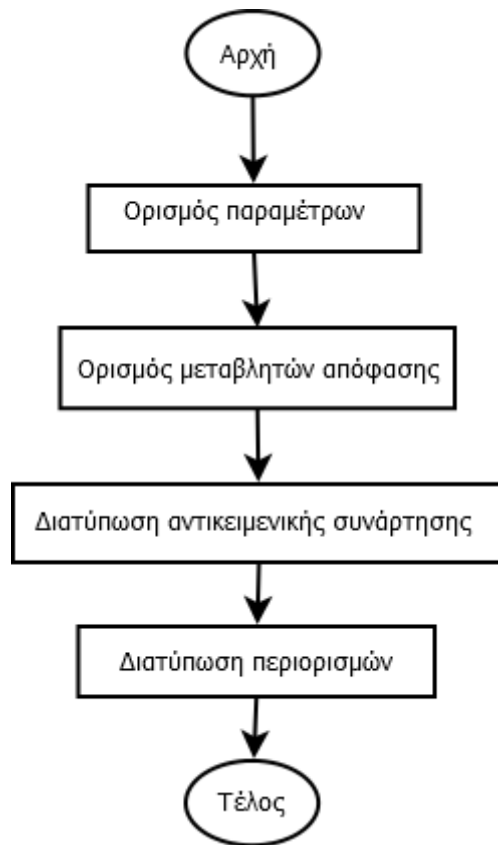
Εν κατακλείδι για τον επιτυχή προγραμματισμό του μοντέλου της παρούσας εργασίας χρειάστηκε η δημιουργία 3 αρχείων. Πιο συγκεκριμένα χρειάστηκε η δημιουργία του αρχείου του μοντέλου που έχει την κατάληξη `.mod` όπου περιγράφεται το μαθηματικό μοντέλο και εμπεριέχονται μέσα η αντικειμενική συνάρτηση, οι παράμετροι, οι μεταβλητές απόφασης και οι περιορισμοί του μοντέλου. Έπειτα δημιουργήθηκε το αρχείου δεδομένων που έχει την κατάληξη `.dat` όπου περιέχονται τα αριθμητικά δεδομένα του προβλήματος και τέλος του `script` αρχείου που έχει την κατάληξη `.run` όπου καλείται εν τέλη ο λύτης και μπορούμε να ορίσουμε διάφορες άλλες επιλογές που απαιτούνται (όπως π.χ. επιλογές στρογγυλοποίησης, επιλογές εκτύπωσης). Γενικές πληροφορίες καθώς και εμπεριστατωμένη ανάλυση για μαθηματική μοντελοποίηση με AMPL μαζί με πληθώρα αριθμητικών παραδειγμάτων υπάρχουν στο βιβλίο (Fourer, Gay, and W. 2002).

Στο σχήμα 1.4.2 αποτυπώνεται η όλη διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μοντέλου στην AMPL.



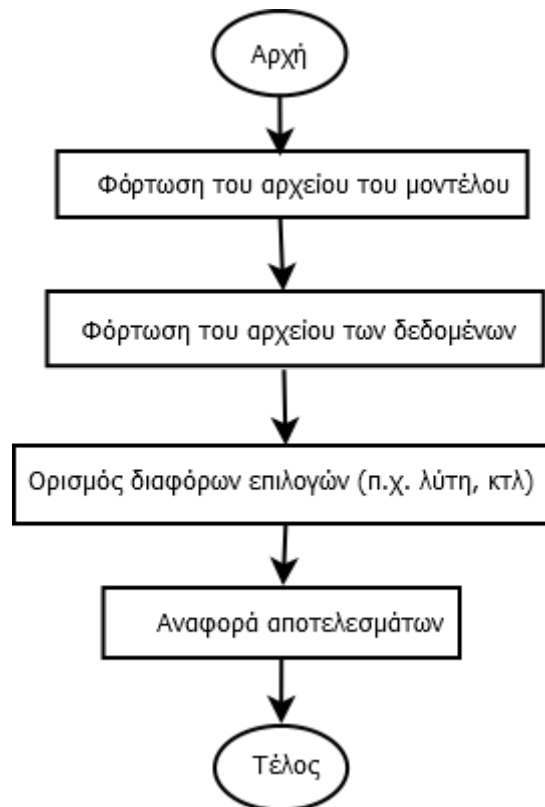
Σχήμα 1.4.2: Διαδικασία μοντελοποίησης σε AMPL

Στο σχήμα 1.4.3 περιγράφεται διαδικασία για την δημιουργία του .mod αρχείου.



Σχήμα 1.4.3: Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου

Τέλος το σχήμα 1.4.4 περιγράφεται διαδικασία για την δημιουργία του script αρχείου.



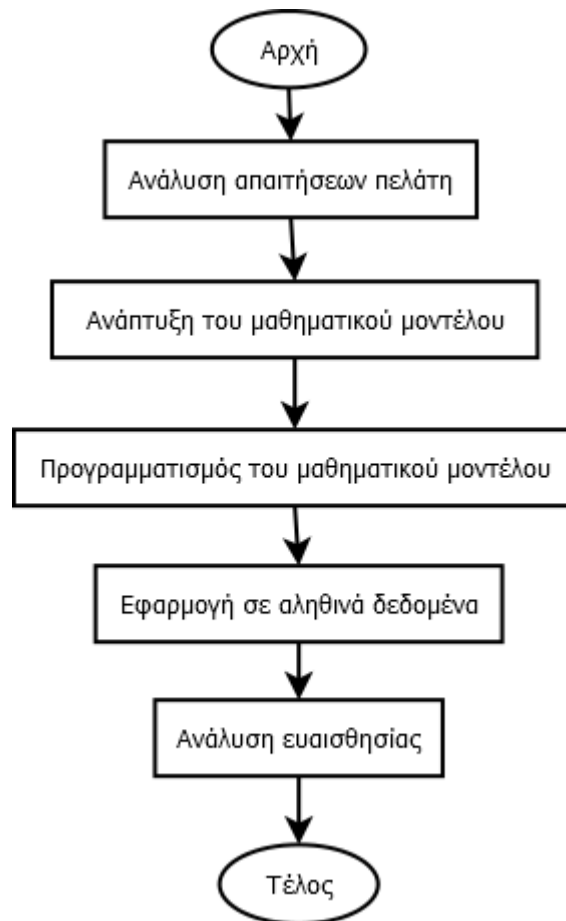
Σχήμα 1.4.4: Διαδικασία ανάπτυξης script αρχείου

1.5 Διάρθρωση εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση με διάφορες έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν πάνω στον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα αναγράφονται χρήσιμα συμπεράσματα που πηγάζουν από τις αντίστοιχες μελέτες οι οποίες βοήθησαν στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας και επίσης δίνει τροφή για επιπλέον μελλοντικούς στόχους και βελτιώσεις. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια πολύ σύντομη περιγραφή της εταιρίας της μελέτης περίπτωσης της εργασίας για το αντικείμενο της ενασχόλησης της και για την παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί. Επιπροσθέτως στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται και αναλύεται το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε στην εργασία. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης της παραγωγής για την εταιρία της μελέτης περίπτωσης. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται ξεχωριστά όλες οι παράμετροι, μεταβλητές, αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί του μοντέλου και γίνεται εφαρμογή του μοντέλου αυτού πάνω στην εταιρία της μελέτης περίπτωσης χρησιμοποιώντας αληθινά δεδομένα. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στα αληθινά αυτά δεδομένα της μελέτης περίπτωσης καθώς και η ερμηνεία τους. Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας με πιθανές αλλαγές που θα μπορούσαν να προκύψουν στην πραγματικότητα στις τιμές διαφόρων παραμέτρων

καθώς και η ερμηνεία των αλλαγών αυτών και πως θα επηρεάσουν την λειτουργία της εταιρίας. Στο κεφάλαιο 6 δίνονται γενικές πληροφορίες για τους πιο γνωστούς και state of the art λύτες (Gurobi, Cplex, Knitro, Minos) καθώς και τον υπολοίπων λύτων που υπάρχουν στην αγορά. Επίσης περιγράφονται οι λειτουργίες των πιο απαραίτητων εντολών της AMPL που χρησιμοποιήθηκαν για τον προγραμματισμό του μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης παραγωγής. Τέλος στο κεφάλαιο 7 συνοψίζουμε την αναγκαιότητα και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, όπως επίσης και ποιες ενέργειες θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στο μέλλον με σκοπό την επιπλέον διερεύνηση, επέκταση και βελτίωση της παρούσας εργασίας.

Στο Σχήμα 1.5.5 περιγράφονται τα στάδια που πραγματοποιήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Πιο συγκεκριμένα ως πρώτο βήμα έπρεπε να γίνει ανάλυση των απαιτήσεων του πελάτη η οποία επιτεύχθηκε με αρκετές συζητήσεις και αναλύσεις με την διοίκηση της επιχείρησης της μελέτης περίπτωσης μας. Στην συνέχεια αφού έγιναν απολύτως κατανοητές οι απαιτήσεις της εταιρίας, δημιουργήθηκε το μαθηματικό μοντέλο για την κάλυψη των απαιτήσεων και του προβλήματος της επιχείρησης. Έπειτα έγινε εφαρμογή του μοντέλου σε αληθινά δεδομένα που αφορούν την επιχείρηση για λόγους τόσο επαληθευτικούς όσο και πρακτικούς καθώς το σημαντικότερο κομμάτι είναι η ορθή πρακτική εφαρμογή του μοντέλου σε πραγματικές καταστάσεις για να βελτιώσει την παραγωγική απόδοση της εταιρίας. Τέλος κρίθηκε σκόπιμο να γίνει ανάλυση ευαισθησίας σε μεταβολές διαφόρων παραμέτρων του μοντέλου καθώς πρόκειται για μεταβολές που συμβαίνουν καθημερινά στην πράξη και επηρεάζουν την παραγωγή της εταιρίας.



Σχήμα 1.5.5: Διαδικασία παρούσας μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ο προγραμματισμός παραγωγής είναι μια τεράστια επιστημονική περιοχή με πολλές εφαρμογές σε διάφορα επιστημονικά πεδία παγκοσμίως. Μια πρωταρχική και αρκετά σημαντική μελέτη για το κομμάτι του προγραμματισμού παραγωγής έγινε από τους (Johnson and Montgomery 1974) περιγράφοντας τις επιδράσεις της επιχειρησιακής έρευνας τόσο στον προγραμματισμό παραγωγής όσο και στον προγραμματισμό ανθρώπινου δυναμικού ενώ επιπρόσθετα οι (Peterson and Silver 1979) στο βιβλίο τους συζητούν για διάφορα συστήματα αποφάσεων επάνω στον προγραμματισμό παραγωγής και στον έλεγχο απογραφής.

Παρά όλα αυτά ο προγραμματισμός παραγωγής είναι ένα ταχύτατα αναπτυσσόμενο πεδίο με πάρα πολλές μελέτες έπειτα από τις πρωταρχικές έρευνες. Οι (Pochet and Laurence 2006) περιγράφουν την επίδραση του μεικτού ακεραίου προγραμματισμού στον προγραμματισμό παραγωγής και προτείνουν διάφορες λύσεις στα προβλήματα αυτά, ενώ μια πληθώρα από μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης παραγωγής παρουσιάζονται από τους (Voß and Woodruff 2006). Οι (Mula, Poler, García-Sabater, and Lario 2006) παρουσιάζουν μια αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με μοντέλα προγραμματισμού παραγωγής τα οποία λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα ενώ στον (Salomon 2013) παρουσιάζονται διάφορα ντετερμινιστικά lot-sizing μαθηματικά μοντέλα.

Επιπρόσθετα η επίδραση του προγραμματισμού παραγωγής στην διοίκηση εφοδιαστικής αλυσίδας και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι των reverse logistics είναι αρκετά μεγάλη και δημοφιλής. Οι (Nenes and Nikolaidis 2012) ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο πολλαπλών περιόδων για την διαχείριση επιστροφών μεταχειρισμένων προϊόντων, ενώ οι (Cunha, Konstantaras, Melo, and Sifaleras 2017) προτείνουν μια μεικτού ακεραίου προγραμματισμού μεθοδολογία επίλυσης σε περιβάλλοντα πολλαπλών προϊόντων παραγωγής. Επιπλέον όσον αφορά τον πεδίο των reverse logistics και τα περιβάλλοντα πολλαπλών προϊόντων παραγωγής οι (Sifaleras and Konstantaras 2017) ανέπτυξαν μια variable neighborhood descent ευρετική μεθοδολογία για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων σε περιβάλλοντα παραγωγής πολλαπλών προϊόντων μεγέθους παρτίδων.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μια περιληπτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για διάφορα προβλήματα προγραμματισμού παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη υπό-ενότητα παρουσιάζεται

μια εισαγωγή και ανασκόπηση σχετικά με παρόμοια προβλήματα προγραμματισμού τόσο του ανθρωπίνου δυναμικού όσο και των βάρδιων στην παραγωγή ενώ στην δεύτερη υπό-ενότητα περιγράφονται μερικοί κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν τα παραπάνω προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού και βαρδιών μαζί με την αντίστοιχη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

2.1 Προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού και βαρδιών

Ο προγραμματισμός ανθρωπίνου δυναμικού είναι ένα σημαντικό καθημερινό πρόβλημα επιχειρήσεων διαφόρων κλάδων και σχετίζεται με την ορθή κατανομή του διαθέσιμου ανθρώπινου δυναμικού της εταιρίας σε συγκεκριμένες χρονοθυρίδες (βάρδιες) βάσει των δεξιοτήτων και προσόντων των εργαζομένων και διαφόρων άλλων παραγόντων και παραμέτρων, με απώτερο σκοπό οι εταιρίες να ικανοποιήσουν συγκεκριμένους τύπους απαιτήσεων και ζητήσεων τους. Μια ενδεικτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για παρόμοια προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού και βαρδιών ακολουθεί.

Αρκετές εφαρμογές και μελέτες σχετικά με προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού έχουν γίνει σε διάφορα επιστημονικά πεδία πέραν της παραγωγής. Οι (Stojković, Soumis, and Desrosiers 1998), (Barnhart, Cohn, Johnson, Klabjan, Nemhauser, and Vance 2003) και (Kohl and Karisch 2004) εφάρμοσαν το πρόβλημα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού στο τομέα των αεροπορικών εταιριών, οι (Malhotra and Ritzman 1994) και (Bard, Binici, and deSilva 2003) στον τομέα των ταχυδρομικών υπηρεσιών ενώ οι (Ertogral and Bamuqabel 2008) σε τηλεπικοινωνιακά τηλεφωνικά κέντρα. Εντούτοις υπάρχουν αρκετά συχνές περιπτώσεις όπου ο απαιτούμενος αριθμός εργαζομένων είναι γνωστός εκ των προτέρων. Τέτοιες περιπτώσεις (χωρίς να είναι εντελώς απαραίτητα απόλυτο) θα μπορούσαν να είναι, σε αστυνομικά τμήμα όπου ο (Bard 2004) θεωρεί ότι υπάρχει ένα σταθερά μόνιμο εργατικό δυναμικό, καθώς και σε νοσοκομεία όπου οι (Burke, De Cauwmaecker, Vanden Berghe, and Van Landeghem 2004) λαμβάνουν υπόψη το κλασσικό πρόβλημα ταξινόμησης και κατανομής των νοσοκόμων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Οι (Brucker, Qu, and Burke 2011) ανέπτυξαν ένα γενικό μαθηματικό μοντέλο και συγκεκριμένα μοντέλα για προβλήματα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού μαζί με μια σύντομη περιγραφή 4 προβλημάτων που μπορούν να λύσουν τα μοντέλα της έρευνας τους. Οι (Ásgeirsson 2014) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο που δημιουργεί εφικτά προγράμματα ανθρωπίνου δυναμικού τα οποία έχουν δοκιμαστεί σε πραγματικά δεδομένα από διάφορες εταιρίες, προλαμβάνοντας και ταυτόχρονα καταφέροντας να μειώσει το φαινόμενο του μη ανεπαρκές (ποσοτικά) προσωπικού, εξασφαλίζοντας έτσι ότι εργάσιμες ώρες των εργαζομένων είναι εντός της εφικτής κλίμακας των ωρών που τους αναλογούν και όχι παραπάνω (υπερωρίες). Οι (Artigues, Gendreau, Rousseau, and Vergnaud 2009) προτείνουν exact hybrid branch and bound μεθόδους βασισμένες σε μικτό ακέραιο προγραμματισμό

για την επίλυση παρόμοιων του γνωστού job-shop scheduling problem.

Οι (Castillo, Joro, and Li 2009) παρουσιάζουν ένα πρωταρχικό 3 φάσεων paradigm για τον προγραμματισμό του ανθρωπίνου δυναμικού, αναζητώντας τον βέλτιστη διευθέτηση ανθρωπίνου δυναμικού σε βάρδιες και εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία σε πραγματικά δεδομένα ενός τηλεφωνικού κέντρου της Βόρειας Αμερικής. Οι (Sagnak and Kazancoglu 2015) συστήνουν ένα ακεραίου προγραμματισμού μοντέλο με ασάφεια με απώτερο σκοπό την ανάθεση του ανθρωπίνου δυναμικού σε βάρδιες, εξασφαλίζοντας ότι οι παραπάνω εργαζόμενοι έχουν πάρει όλα τα διαλείμματα που τους αναλογούν (διάλειμμα για μεσημεριανό φαγητό, ξεκούραση, κτλ) με το ελάχιστο δυνατό κόστος για την εταιρία. Επιπρόσθετα οι (Jones and Nolde 2013) παρουσιάζουν το μεικτού ακεραίου γραμμικού προγραμματισμού μοντέλο τους το οποίο αντιμετωπίζει το πρόβλημα προγραμματισμού των εργαζομένων, ελαχιστοποιώντας έτσι την ελλειπή/υπερβολική στελέχωση-κατανομή του ανθρωπίνου δυναμικού. Πρόκειται για ένα μοντέλο που βασίζεται κατά κόρων στην ζήτηση και εφαρμόζεται σε πάνω από 38 μικρομεσαία καταστήματα λιανικής στην Ελβετική αγορά.

Επίσης οι (Sabar, Montreuil, and Frayret 2008) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για την ανάθεση ανθρωπίνου δυναμικού σε περιβάλλον πολλαπλών γραμμών παραγωγής και πολλαπλών προϊόντων, έχοντας ως στόχο να ελαχιστοποιήσει τόσο τα λειτουργικά έξοδα όσο και την δυσαρέσκεια των εργαζομένων. Οι (Ernst, Jiang, Krishnamoorthy, and Sier 2004) παρουσιάζουν μια αναλυτική ανασκόπηση των μελετών που έχουν γίνει πάνω σε προβλήματα ταξινόμησης και προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού σε εταιρίες. Λόγω των ελλειπών ιστορικών δεδομένων και ασταθών τιμών σχετικά με τις διαθεσιμότητες και τα ποσοστά παραγωγής των μηχανημάτων οι (Morton and Porcna 2004) χρησιμοποίησαν μια στοχαστική Μπεϋζιανή προσέγγιση σε ένα πρόβλημα προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού στην παραγωγή, για να κατανέμουν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο το διαθέσιμο εργατικό προσωπικό κατά την διάρκεια ενός μηνός.

Μια έρευνα με παρόμοια προβλήματα ανάθεσης ανθρωπίνου δυναμικού, συζητείται από τους (Al-Yakoob and Sherali 2008) και προτείνεται ένα μεικτού ακεραίου πρόγραμμα το οποίο εφαρμόζεται στην Εθνική Εταιρία Πετρελαίου του Κουβέιτ (KNPC) με σκοπό να κατανέμει με βέλτιστο τρόπο τους εργαζόμενους σε κάθε πρατήριο βενζίνης της εταιρίας στο Κουβέιτ, για κάθε μια από τις 3 ημερήσιες βάρδιες. Τέλος 2 ακριβείς μέθοδοι για την επίλυση ενός ολοκληρωμένου προβλήματος χρονοδιαγράμματος των εργαζομένων και ενός προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής προτείνονται από τους (Guyon, Lemaire, Pinson, and Rivreau 2010).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την βέλτιστη κατανομή-ανάθεση του ανθρωπίνου δυναμικού

Για να κατανεμηθεί με τον βέλτιστο τρόπο το ανθρώπινο δυναμικό μιας εταιρίας, θα πρέπει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων να λάβει υπόψη του αρκετούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες,

πέραν τον διαφόρων δεξιοτήτων και προσόντων των εργαζομένων, είναι ο συνολικός αριθμός του διαθέσιμου εργατικού δυναμικού, ο αριθμός των γραμμών παραγωγής και ο αριθμός των προϊόντων που παράγει η επιχείρηση, η παραγωγική ικανότητα του κάθε προϊόντος, ο αριθμός των εργάσιμων ημερών, η ζήτηση για το κάθε προϊόν κτλ.

Στην παρούσα μελέτη μας θεωρούμε ότι η ζήτηση και η παραγωγική ικανότητα των προϊόντων είναι γνωστές και είναι προκαθορισμένοι παράμετροι του προβλήματός μας. Παρά όλα αυτά έχουν γίνει αρκετές μελέτες σε περιπτώσεις όπου οι τιμές της ζήτησης και της παραγωγικής ικανότητας των προϊόντων δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων και έχουν στοχαστικότητα. Οι (Li, Liu, Cao, and Wang 2009) θεωρούν στην μελέτη τους, ότι η ζήτηση των προϊόντων είναι άγνωστη και παίρνει τυχαίες τιμές αναλόγως με την κατανομή που ακολουθεί, ενώ στο ίδιο μήκος κύματος είναι και οι (Zhang, Prajapati, and Peden 2011) οι οποίοι επιπρόσθετα εξετάζουν το ενδεχόμενο η ζήτηση να έχει εκτός από στοχαστικότητα και εποχικότητα (seasonality). Επίσης και άλλες έρευνες έχουν γίνει πάνω στην ζήτηση των προϊόντων όπου η τιμές της έχουν ένα εύρος στο οποίο το κάτω όριο είναι γνωστό και προκαθορισμένο, ενώ το άνω όριο είναι άγνωστο και γίνεται πρόβλεψη για την τιμή του (forecasting) (Leung and Chan 2009). Επιπλέον οι (Aliev, Fazlollahi, Guirimov, and Aliev 2007) διεξάγουν την μελέτη τους στην περίπτωση όπου και η ζήτηση αλλά και η παραγωγική ικανότητα των προϊόντων είναι άγνωστες και έχουν στοχαστικότητα.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της ενότητας σε περιβάλλον πολλαπλών γραμμών παραγωγής, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής και πολλαπλών προϊόντων ανά γραμμή παραγωγής, επιταχύνοντας έτσι την όλη παραγωγική διαδικασία. Η κάθε γραμμή παραγωγής αποτελείται από ειδικά μηχανήματα τα όποια έχουν σταθερή παραγωγική ικανότητα και υποθέτουμε ότι αυτές οι παραγωγικές ικανότητες των μηχανημάτων αυτών είναι προκαθορισμένες και αναπαριστούν την μέγιστη τιμή της παραγωγικής τους ικανότητας. Οι (Paquet, Martel, and Montreuil 2008) προτείνουν μια μεθοδολογία βελτιστοποίησης για την σχεδίαση ενός δικτύου παραγωγής όπου οι παραγωγικές ικανότητες είναι σταθερές και προκαθορισμένες. Εντούτοις όμως λόγω μερικών βλαβών, ολικών βλαβών ή συντήρησης των μηχανημάτων των γραμμών παραγωγής, οι παραγωγικές ικανότητες τους αλλάζουν και οι τιμές τους πλέον δεν είναι σταθερές και προκαθορισμένες αλλά έχουν στοχαστικότητα (Lin and Chang 2012).

Συνδυάζοντας τις πολλαπλές γραμμές παραγωγής τα οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν οι εταιρίες είναι αρκετά και σημαντικά. Σύμφωνα με τις έρευνες (Chen and Lan 2001) και (Lan 2001) ειπώθηκε πως οι πολλαπλές γραμμές παραγωγής στις παραγωγικές εταιρίες, μπορούν να τις βοηθήσουν στην παραγωγή πιο ευέλικτων και αποδοτικών προϊόντων. Μια ευρετική μέθοδος επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού ανθρωπίνου δυναμικού με παράλληλες γραμμές παραγωγής παρουσιάζεται από τους (Meyr and Mann 2013) ενώ ένα μοντέλο δυναμικής ζήτησης διακριτού χρόνου αναπτύχθηκε από τους (Bollapragada, Della Croce, and Ghirardi 2011) και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον πολλαπλών μηχανημάτων παραγωγής, έχοντας ως στόχο την ανάθεση της παραγωγής

προϊόντων σε διαφορετικές γραμμές παραγωγής, ελαχιστοποιώντας διάφορα κόσθη όπως το κόστος εγκατάστασης, κόστος αποθέματος, κόστος χαμένων πωλήσεων κτλ. Επιπροσθέτως οι (Lan 2001) ανέπτυξαν μια διαδικασία τριών φάσεων προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση ενός συστήματος κατασκευής υποδημάτων που χρησιμοποιεί πολλαπλές γραμμές παραγωγής και στοχαστική παραγωγική ικανότητα. Μια περιεκτική βιβλιογραφική ανασκόπηση για το mix-model assembly lines (συναρμολόγηση διάφορων μοντέλων ενός προϊόντος στην ίδια γραμμή παραγωγής) παρέχεται από τους (Boysen, Fliedner, and Scholl 2009).

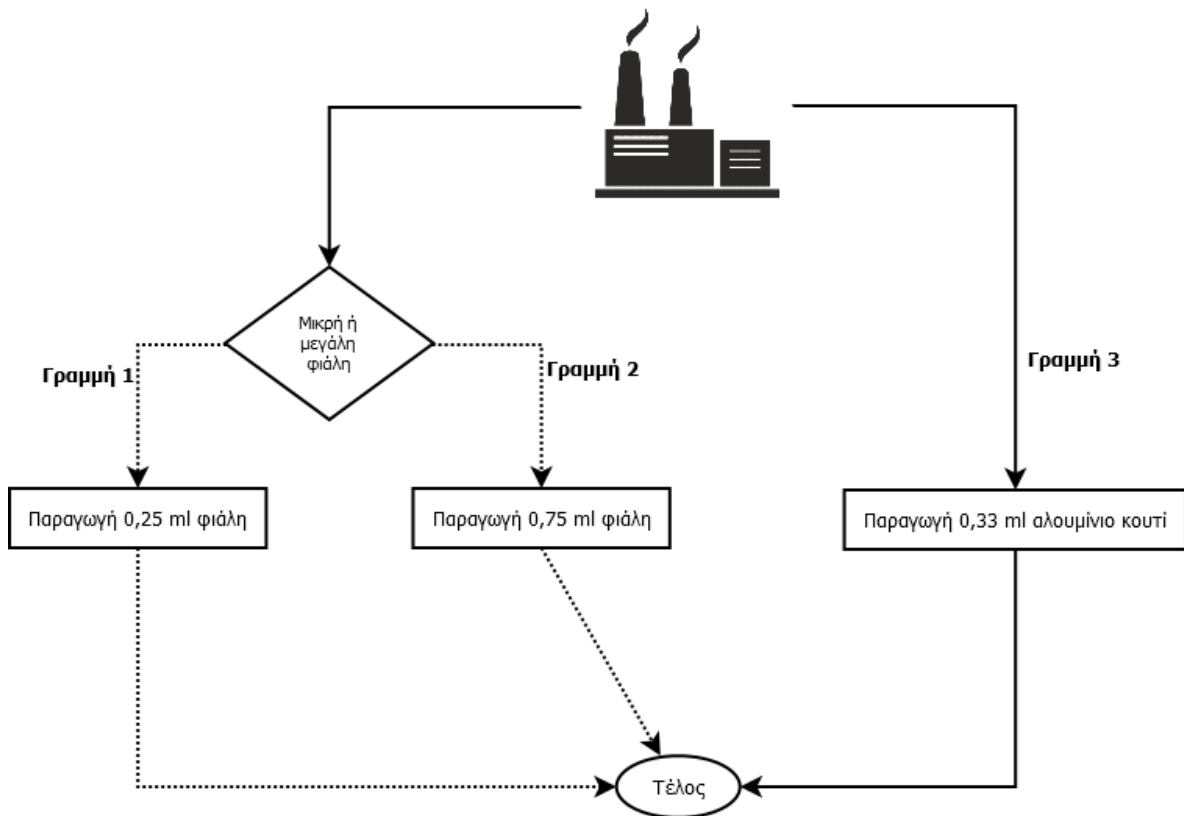
Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ακριβείς ή ειδικές ζητήσεις του προϊόντος, οι εταιρίες θα πρέπει ορισμένες φορές να δουλέψουν παραπάνω από μια βάρδια. Μια μεθοδολογία επίλυσης και ένα εκτεταμένο μοντέλο παρουσιάζεται από τους (Brunner, Bard, and Kolisch 2010) για την επίλυση του προγραμματισμού των ευέλικτων βάρδιων των γιατρών στα νοσοκομεία. Παρά όλα αυτά ορισμένες φορές, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επιστράτευση επιπλέον βάρδιων είναι απαραίτητη και ταυτόχρονα πολύ ωφέλιμη για την εταιρία, από την άλλη μεριά όμως μπορεί να οδηγήσει στα αντίθετα αποτελέσματα. Οι (Gomar, Haas, and Morton 2002) και (Hanna, Chang, Sullivan, and Lackney 2008) ερεύνησαν τις αρνητικές επιδράσεις της επιστράτευσης επιπλέον βαρδιών κατά την διάρκεια της εργάσιμης μέρας στον κατασκευαστικό τομέα, οι οποίες μεταφράζονται σε απώλεια της παραγωγικότητας η οποία κυμαίνεται μεταξύ 11 και 17% και σε κατά συνήθεια απουσίες των εργαζομένων, οδηγώντας έτσι στην ολική καθυστέρηση της κατασκευής του έργου. Οι (Jun and El-Rayes 2010) ανέπτυξαν ένα μοντέλο πολλαπλών αντικειμένων για τον προγραμματισμό πολλαπλών βαρδιών σε κατασκευαστικά project όπου η επιτάχυνση των διαδικασιών είναι πολύ σημαντική, ελαχιστοποιώντας έτσι τις αρνητικές αυτές επιδράσεις μιας απογευματινής ή/και νυχτερινής βάρδιας που θα μπορούσε να επιβαρύνει το κόστος κατασκευής και την παραγωγικότητα. Οι (Rekik, Cordeau, Soumis, and Francois 2010) προτείνουν δυο implicit μοντέλα που ασχολούνται με το πρόβλημα συνεχούς προγραμματισμού βαρδιων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ορισμός προβλήματος

3.1 Παραγωγική διαδικασία

Όπως ειπώθηκε και στην περίληψη το αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η εταιρία της μελέτης περίπτωσης μας είναι η παραγωγή εμφιαλωμένου μεταλλικού νερού. Εδρεύει στην βόρεια Ελλάδα και πρόκειται για μια από τις πιο γνωστές επιχειρήσεις παραγωγής στην Ελλάδα με αρκετά χρόνια στο προσκήνιο. Για να φτάσουμε στο σημείο να μπορέσουμε να δώσουμε λύση στο πρόβλημα της εταιρίας αυτής και να βελτιστοποιήσουμε την παραγωγή της, έπρεπε σε πρώτη φάση να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε την παραγωγική διαδικασία με την οποία παράγει και εμφιαλώνει τα προϊόντα της. Στο Σχήμα **3.1.1** περιγράφεται η γενική παραγωγική διαδικασία της εταιρίας της μελέτης περίπτωσης μας. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο σχήμα υπάρχουν 3 γραμμές παραγωγής προϊόντων. Εξαιρετικό πλεονέκτημα της παραγωγικής διαδικασίας είναι η ικανότητα της να παράγει πολλαπλά προϊόντα σε μια γραμμή παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο Σχήμα **3.1.1** οι γραμμές 1 και 2 παράγουν γυάλινες φιάλες ανθρακούχου φυσικού μεταλλικού νερού. Η γραμμή 1 παράγει την μικρή φιάλη ενώ η γραμμή 2 την μεγάλη φιάλη.

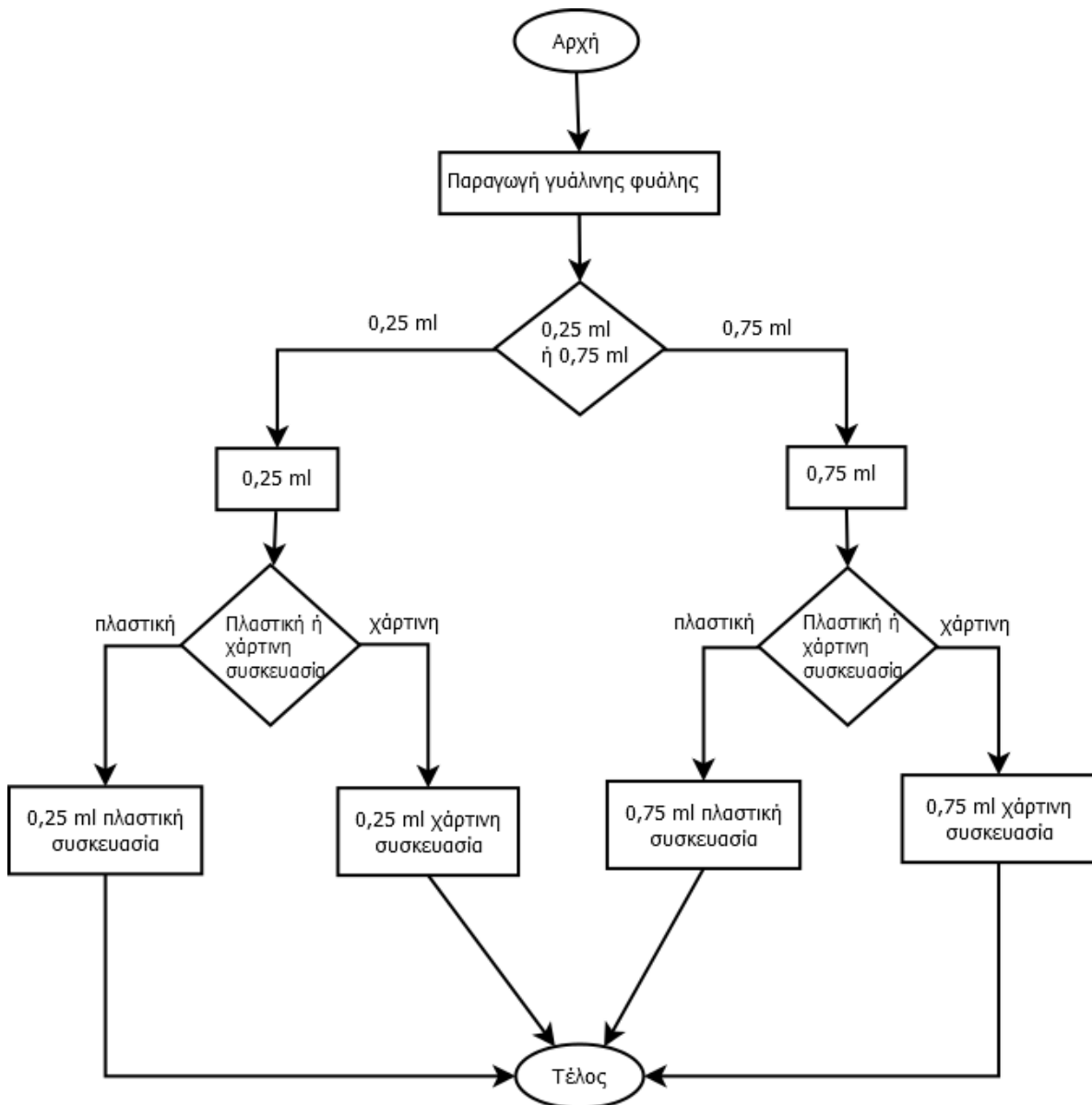


Σχήμα 3.1.1: Παραγωγική διαδικασία

Επίσης οι 2 αυτές γραμμές έχουν την δυνατότητα να παράγουν 2 προϊόντα η κάθε μια. Για την ακρίβεια η γραμμή 1 μπορεί να παράγει μικρή φιάλη 0,25 ml είτε σε πλαστική συσκευασία είτε σε χάρτινη συσκευασία. Παρομοίως η γραμμή 2 μπορεί να παράγει μεγάλη φιάλη 0,75 ml είτε σε πλαστική συσκευασία είτε σε χάρτινη συσκευασία, ενώ η γραμμή 3 παράγει μόνο 0,33 ml αλουμίνιο κουτί. Στον Πίνακα 3.1 περιγράφονται τα προϊόντα που παράγονται σε κάθε γραμμής ενώ στο Σχήμα 3.1.2 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία παραγωγής των γυάλινων φιαλών (Γραμμές 1 και 2).

Πίνακας 3.1: Αντιστοίχιση γραμμών-προϊόντων

Γραμμή 1		Γραμμή 2		Γραμμή 3
0,25 ml	0,25 ml	0,75 ml	0,75 ml	0,33 ml
πλαστικό	χάρτινο	πλαστικό	χάρτινο	αλουμίνιο



Σχήμα 3.1.2: Διαδικασία παραγωγής γυάλινης φιάλης

Πέραν της ικανότητας της εταιρίας να μπορεί να λειτουργεί σε περιβάλλον πολλαπλών γραμμών παραγωγής και πολλαπλών προϊόντων, διαθέτει επίσης και το πλεονέκτημα της ταυτόχρονης παραγωγής. Ο λόγος για τον οποίο στο σχήμα 3.1.1 οι γραμμές 1 και 2 αναπαρίστανται με διακεκομμένες γραμμές, είναι λόγω του ότι απαγορεύεται η ταυτόχρονη λειτουργία των 2 αυτών γραμμών. Πιο συγκεκριμένα επιτρέπεται η ταυτόχρονη παραγωγή ανάμεσα στην 3 γραμμή με οποιαδήποτε από τις γραμμές 1 και 2. Στον άνω τριγωνικό Πίνακα 3.2 φαίνεται αναλυτικά η δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής των προϊόντων κάθε γραμμής.

Πίνακας 3.2: Ταυτόχρονη παραγωγή

	0,25 ml πλαστικό	0,25 ml χάρτινο	0,75 ml πλαστικό	0,75 ml χάρτινο	0,33 ml αλουμίνιο
0,25 ml πλαστικό	-	x	x	x	✓
0,25 ml χάρτινο	-	-	x	x	✓
0,75 ml πλαστικό	-	-	-	x	✓
0,75 ml χάρτινο	-	-	-	-	✓
0,33 ml αλουμίνιο	-	-	-	-	-

Όπως φαίνεται, το κουτί αλουμινίου 0,33 ml μπορεί να παραχθεί ταυτόχρονα με οποιοδήποτε από τα υπόλοιπα προϊόντα. Εντούτοις, κανένα από τα υπόλοιπα προϊόντα (0,25 ml χάρτινη συσκευασία, 0,25 πλαστική συσκευασία, 0,75 χάρτινη συσκευασία και 0,75 πλαστική συσκευασία) μπορούν να παραχθούν ταυτόχρονα.

3.1.1 Στάδια παραγωγικής διαδικασίας

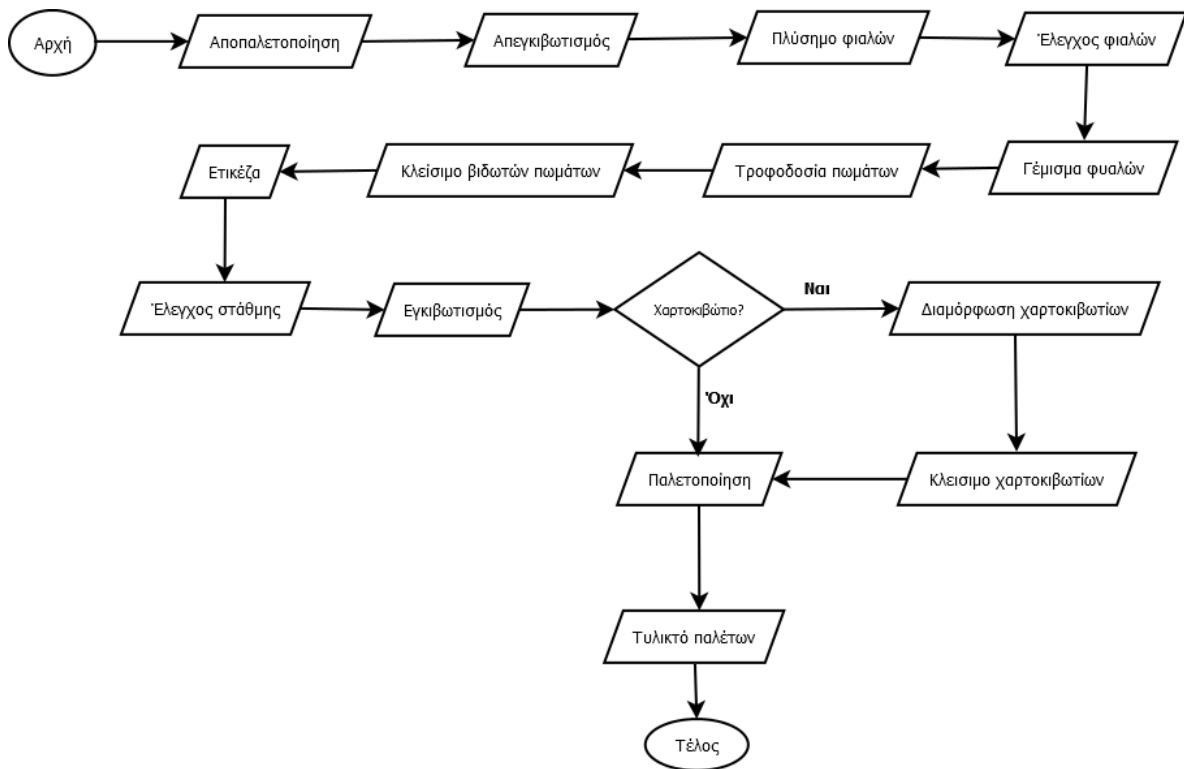
Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας των προϊόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε γραμμή παραγωγής υπάρχουν μηχανήματα που εκτελούν κάποιες συγκεκριμένες λειτουργίες. Τα μηχανήματα αυτά μαζί με την λειτουργία που παρέχει το κάθε ένα από αυτά περιγράφονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Λίστα μηχανημάτων παραγωγής

Μηχανήματα	Λειτουργία
Αποπαλετοποιητής (0,25 & 0,75) & (0,33)	Αποπαλετοποιεί τα κιβώτια από τις παλέτες
Απεγκιβωτιστής (0,25 & 0,75)	Απεγκιβωτίζει τις φιάλες από τα κιβώτια
Πλυντήριο φιαλών (0,25 & 0,75)	Πλύσιμο φιαλών
Ελεγκτής φιαλών	Έλεγχος φιαλών
Γεμιστικό φιαλών (0,25 & 0,75 & 0,33)	Γέμισμα φιαλών
Τροφοδότης πωμάτων	Τροφοδοσία βιδωτών πωμάτων
Κλειστικό βιδωτών πωμάτων	Κλείσιμο των βιδωτών πωμάτων
Ετικέζα (0,25 & 0,75)	Τοποθέτηση ετικέτας στις φιάλες
Ελεγκτής στάθμης	Έλεγχος στάθμης του περιεχομένου των φιαλών
Εγκιβωτιστής (0,25 & 0,75)	Εγκιβωτισμός των φιαλών
Διαμορφωτής χαρτοκιβωτίων	Δημιουργία χαρτοκιβωτίων
Κλειστικό χαρτοκιβωτίων	Κλείσιμο χαρτοκιβωτίων
Παλετοποιητής (0,25 & 0,75 & 0,33)	Συσκευασία των κιβωτίων στις παλέτες
Τυλικτικό παλετών	Τύλιγμα των παλετών
6-πασκ (0,33)	Συσκευασία των κουτιών σε βαδες
Θερμοσυρικνωτής (0,33)	Τύλιγμα σε νάilon θερμοσυρίκνωσης

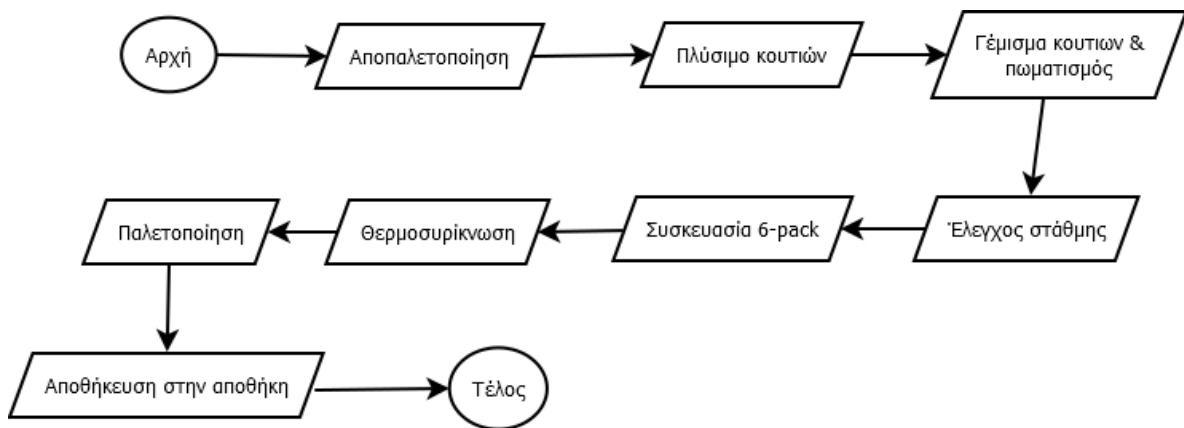
Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η παραγωγική διαδικασία τόσο της μικρής όσο και της μεγάλης γυάλινης φιάλης. Οι επιστρεφόμενες φιάλες αποπαλετοποιούνται στον αποπαλετοποιητή και στην συνέχεια τα κιβώτια οδηγούνται στους απεγκιβωτιστές όπου απεγκιβωτίζονται οι φιάλες και στην συνέχεια οδηγούνται στα δύο πλυντήρια φιαλών, ενώ τα πλαστικά κιβώτια οδηγούνται στα πλυντήρια κιβωτίων και από εκεί στο τέλος της γραμμής παραγωγής στους εγκιβωτιστές. Στα πλυντήρια φιαλών οι φιάλες πλένονται σε διάλυμα καυστικής σόδας θερμοκρασίας 80 βαθμούς Κελσίου και ξεπλένονται με καθαρό νερό, χωρίς την προσθήκη άλλων χημικών και εξέρχονται. Τα πλυντήρια για την θέρμανση του διαλύματος χρησιμοποιούν ατμό ο οποίος παρέχεται από δύο ατμολέβητες που είναι εγκατεστημένοι σε δύο λεβητοστάσια. Οι ατμολέβητες χρησιμοποιούν σαν καύσιμο υγραέριο το οποίο είναι αποθηκευμένο σε δεξαμενές στον υπαίθριο χώρο. Οι φιάλες μετά τα πλυντήρια διέρχονται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή φιαλών και οδηγούνται στο γεμιστικό όπου γεμίζονται με φυσικό μεταλλικό νερό στο οποίο προστίθεται ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από τον ανθρακωτή. Στην συνέχεια οι φιάλες πωματίζονται στον πωματιστή ο οποίος τροφοδοτείται με μεταλλικά πώματα μέσω μαγνητικής ταινίας. Μετά τον πωματισμό οι φιάλες πηγαίνουν στην ετικετέζα για την επικόλληση της ετικέτας της εταιρείας. Μετά την έξοδό τους από την ετικετέζα οι φιάλες ελέγχονται ως προς την στάθμη, την ύπαρξη πώματος και ετικέτας. Τέλος οι φιάλες οδηγούνται στους δύο εγκιβωτιστές πλαστικών κιβωτίων όπου τοποθετούνται αυτόματα μέσα στα πλαστικά κιβώτια τα οποία έρχονται από το πλυντήριο κιβωτίων. Για την συσκευασία των χαρτοκιβωτίων χρησιμοποιείται ο ένας εγκιβωτιστής ο οποίος τροφοδοτείται με χαρτοκιβώτια από τον διαμορφωτή χαρτοκιβωτίων και στην συνέχεια τα χαρτοκιβώτια κλείνονται στο κλειστικό χαρτοκιβωτίων. Στην συνέχεια τα κιβώτια (πλαστικά ή χαρτοκιβώτια) συσκευάζονται σε παλέτες στους

δύο παλετοποιητές. Το τελικό προϊόν αποθηκεύεται σε παλέτες στην αποθήκη ετοιμού προϊόντος. Στο Σχήμα 3.1.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της εμφιάλωσης των γυάλινων φιαλών.



Σχήμα 3.1.3: Διάγραμμα ροής εμφιάλωσης γυάλινων φιαλών

Όσον αφορά την γραμμή παραγωγής του αλουμινίου, η γραμμή παραγωγής του αλουμινίου λειτουργεί κατά παρόμοιο τρόπο με την γραμμή παραγωγής γυάλινης φιάλης. Έτσι τα κουτιά αποπαλετοποιούνται στον αποπαλετοποιητή του κουτιού και μετά το πλύσιμο των κουτιών γίνεται το γέμισμα με φυσικό μεταλλικό νερό και ο πωματισμός. Στην συνέχεια γίνεται συσκευασία σε εξάδες στην μηχανή του 6-pack και τύλιγμα αυτών σε νάιλον θερμοσυρίκνωσης για την δημιουργία 24αδας στην μηχανή θερμοσυρίκνωσης. Οι έτοιμες συσκευασίες παλετοποιούνται στον παλετοποιητή και αποθηκεύονται στην αποθήκη της επιχείρησης. Στο Σχήμα 3.1.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της εμφιάλωσης του αλουμινίου.



Σχήμα 3.1.4: Διάγραμμα ροής εμφιάλωσης αλουμινίου

3.2 Περιγραφή του προβλήματος

Πολλές εταιρείες παραγωγής αντιμετωπίζουν σήμερα το πρόβλημα της αξιοπρεπούς κατανομής του προσωπικού τους, έχοντας έτσι πολλές αδρανείς ανθρωποώρες. Ως ανενεργές ή αδρανείς ανθρωποώρες θεωρούμε, τις ανθρωποώρες εκείνες οι οποίες δεν συμβάλλουν στην παραγωγική διαδικασία. Σε γενικές γραμμές, κάθε εργαζόμενος που ασχολείται με οτιδήποτε άλλο εκτός από την παραγωγή (εξωτερικές δουλειές κτλ) θεωρείται ανενεργός ή αδρανής, οπότε οι ανθρωποώρες του θεωρούνται ανενεργές ή αδρανείς ανθρωποώρες. Λέγοντας ότι ένας εργαζόμενος είναι αδρανής δεν σημαίνει ότι δεν κάνει τίποτα, απλά ασχολείται με ένα άλλο είδος δουλειάς, άσχετο με την παραγωγή που είναι η κύρια του δραστηριότητα και η κύρια ουσία του έργου του, για την οποία πληρώνεται.

Αυτές οι μεγάλες αδρανείς ανθρωποώρες έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην αποδοτικότητα της παραγωγής της επιχείρησης και μερικές φορές επηρεάζεται η αποτελεσματικότητα της παραγωγής σε σημαντική κλίμακα. Υπό την προϋπόθεση ότι η εταιρεία δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις προσδοκίες της απαιτούμενης παραγωγής είναι προφανές ότι οι διαθέσιμες πηγές και οι διαθέσιμοι πόροι που διατίθενται από την εταιρεία δεν χρησιμοποιούνται με τον κατάλληλο τρόπο και υπάρχει αρκετό περιθώριο βελτίωσης ώστε να φτάσει σε ένα βέλτιστο σημείο χρήσης του διαθέσιμου προσωπικού .

Επιπλέον, το μεγάλο απόθεμα στις αποθήκες απασχολεί πολλές εταιρείες σχετιζόμενες με την παραγωγή και όχι μόνο. Ο κύριος στόχος όλων των εταιρειών παραγωγής είναι να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις τους, αλλά από την άλλη στην περίπτωση αρκετά μεγάλης παραγωγής εμφανίζονται μεγάλα έξοδα συντήρησης των αποθεμάτων αλλά και μεγάλη σπατάλη επιπλέον υλικών για την παραγωγή αυτών των επιπλέον προϊόντων. Σε γενικές γραμμές η παραγωγή μεγάλου αριθμού περίσσιων προϊόντων οδηγεί σε μεγάλο κόστος συντήρησης των αποθεμάτων αυτών και παραγωγής αλλά και στη φθορά των μηχανημάτων και στη μεγαλύτερη και περιττή περιβαλλοντική ρύπανση.

Στην παρούσα εργασία αντιμετωπίζονται τα προβλήματα σχετικά με τον προγραμματισμό παραγωγής και προγραμματισμό ανθρωπίνου δυναμικού και εφαρμόζεται η λύση σε ορισμένα πραγματικά

δεδομένα της προτεινόμενης εταιρείας της μελέτης περίπτωσης. Στην ανάλυση αυτή υποθέτουμε ότι όλες οι παράμετροι είναι σταθερές και καθοριστικές. Επομένως η δημιουργία ενός ντετερμινιστικού μοντέλου μεικτού ακεραίου προγραμματισμού μαθηματικού μοντέλου ήταν ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω.

Συνοψίζοντας, στην εργασία μας θεωρούμε ότι σε κάθε εργάσιμη ημέρα η εταιρεία πρέπει να αποφασίσει πώς να διαθέσει το εργατικό της δυναμικό και πού. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία πρέπει να αποφασίσει σε ποιο προϊόν και σε ποια βάρδια πρέπει να διαθέσει το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό της εργάσιμης ημέρας. Οι επιλογές πρέπει να γίνουν προκειμένου να υπάρξουν οι ελάχιστες ενδεχόμενες αδρανείς ανθρωπόωρες και η δυναμική παραγωγή με βάση το πλάνο της λύσης να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερη στην ζήτηση των προϊόντων ούτως ώστε να υπάρχει η βέλτιστη εκμετάλλευση και αξιοποίηση του διαθέσιμου ανθρωπίνου δυναμικού και η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης που θα προκαλούνταν σε περίπτωση περίσσιας παραγωγής. Το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό της εταιρείας και οι απαιτήσεις του προϊόντος είναι γνωστά εκ των προτέρων. Μια λεπτομερής περιγραφή του μεικτού ακεραίου προγραμματισμού μαθηματικού μοντέλου παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μαθηματική μοντελοποίηση

4.1 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

Το προτεινόμενο μοντέλο μεικτού ακεραίου προγραμματισμού αναπτύχθηκε με σκοπό να εξυπηρετήσει την εταιρία να αναπτύξει το μηνιαίο πλάνο όπου κάθε μήνας του μηνιαίου αυτού πλάνου έχει τον δικό του αριθμό εργασίμων ημερών (ποικίλει από μήνα σε μήνα).

Ο συνθηθέστερος τρόπος λειτουργίας εταιριών σχετιζόμενων με παραγωγή είναι σε βάρδιες (8-ώρη βάρδια). Εντούτοις η εταιρία της μελέτης περίπτωσης μας, σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να λειτουργεί και σε διπλές βάρδιες για να καταφέρει εν τέλη να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις και τις προσδοκίες της. Θεωρούμε ότι σε περίπτωση που θα λειτουργήσει η εταιρία σε διπλή βάρδια, τότε και η πρώτη βάρδια θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, με άλλα λόγια να μην υπάρχει περίπτωση να λειτουργεί η 2η βάρδια και η 1η βάρδια να είναι κενή. Επίσης θεωρούμε δεδομένο ότι κάθε εργάτης μπορεί να δουλέψει σε 1 βάρδια μόνο, καθώς ως γνωστόν απαγορεύονται οι διπλές βάρδιες για τους εργαζόμενους. Σε πολύ σπάνιες ακραίες περιπτώσεις όπου θα υπάρχει τεράστιος όγκος ζήτησης προϊόντων η εταιρία ενδέχεται να λειτουργήσει και σε τριπλή βάρδια.

Για να παραχθούν τα παραπάνω προϊόντα, εκτός από τις ρυθμίσεις των μηχανημάτων στις γραμμές παραγωγής θα πρέπει επίσης να κατανομηθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός εργαζομένων στην παραγωγή του κάθε προϊόντος σε κάθε βάρδια και κάθε μέρα. Θεωρούμε w ένα διάνυσμα p θέσεων $p(=1,..P)$ το οποίο υποδηλώνει τον ακριβή αριθμό εργαζομένων που απαιτούνται για την παραγωγή κάθε ενός από τα παραπάνω προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει διαχωρισμός του διαθέσιμου εργατικού δυναμικού της εταιρίας μεταξύ ανδρών και γυναικών. Ό λόγος για τον οποίον γίνεται αυτός ο διαχωρισμός είναι για τις ανάγκες των προϊόντων καθώς στην παραγωγή οποιουδήποτε των 5 προϊόντων απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός ανδρών καθώς η φύση της εργασίας σε μερικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας των προϊόντων αυτών, είναι σκληρότερη και απαιτεί περισσότερη φυσική δύναμη. Θεωρούμε ως g_{pm} ένα διάνυσμα p θέσεων, που εμπεριέχει τον αριθμό των ελαχίστων ανδρών εργατών που απαιτούνται για την παραγωγή κάθε προϊόντος.

Επιπροσθέτως, πλην της κατανομής των απαραίτητων εργαζομένων και των απαραίτητων ρυθ-

μίσεων των μηχανημάτων για την επιλογή του προϊόντος που θα παραχθεί, επιπλέον ρυθμίσεις που αφορούν την παραγωγική ικανότητα της παραγωγής των προϊόντων πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πιο συγκεκριμένα στην παραγωγή κάθε προϊόντος, υπάρχουν συγκεκριμένες ρυθμίσεις στα μηχανήματα παραγωγής τους που αφορούν την παραγωγική ικανότητα των προϊόντων ανά βάρδια. Κάθε ένα από τα μηχανήματα αυτά ρυθμίζεται στο 100% της παραγωγικής του ικανότητας καθώς δεν υπάρχει κανένας λόγος να ρυθμιστεί χαμηλότερα και επίσης υποθέτουμε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας ότι όντως τα μηχανήματα αυτά ανταποκρίνονται και αποδίδουν στο 100%. Θεωρούμε c_p ένα διάνυσμα p θέσεων το οποίο υποδηλώνει την παραγωγική ικανότητα των τεμαχίων που παράγονται για κάθε ένα προϊόν σε κάθε βάρδια.

Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης και να γνωρίζει η εταιρία αν έχει φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο παραγωγής, θα πρέπει να γίνει σύγκριση της δυνητικής παραγωγής με βάση το πλάνο του μοντέλου, με την πραγματική ζήτηση του κάθε προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα θεωρούμε dem ένα διάνυσμα θέσεων p το οποίο υποδηλώνει την ζήτηση κάθε προϊόντος τον συγκεκριμένο μήνα. Η δυνητική παραγωγή σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη της πραγματικής ζήτησης, καθώς όπως είπαμε η εταιρία πρέπει να ανταποκριθεί στην ζήτηση και τις προσδοκίες της, εντούτοις όμως δεν θα πρέπει να την ξεπερνάει κιόλας(ή να την ξεπεράσει όσο το δυνατόν λιγότερο). Ο λόγος για τον οποίο η εταιρία δεν επιθυμεί την υπερβολική παραγωγή, είναι για να αποφύγει την χρήση επιπλέον υλικών που απαιτούνται για την παραγωγή αυτών των επιπλέον προϊόντων καθώς και να ελαχιστοποιήσει το πλεόνασμα αυτό, το οποίο καταλαμβάνει επιπλέον χώρο στις αποθήκες και έχει επιπλέον κόστος συντήρησης.

Δείκτες

d εργάσιμες ημέρες: $1, \dots, D$

g φύλο εργαζόμενου: $1, \dots, 2$, 1 για άνδρα, 2 για γυναίκα

s βάρδιες: $1, \dots, S$

p προϊόντα: $1, \dots, P$

Παράμετροι

nm αριθμός ανδρών εργαζομένων

nf αριθμός γυναικών εργαζομένων

c_p παραγωγική ικανότητα ανά προϊόν p

dem_p ζήτηση ανά προϊόν p

w_p απαιτούμενοι εργαζόμενοι ανά προϊόν p

nm_p ελάχιστοι απαιτούμενοι άνδρες ανά προϊόν p

Μεταβλητές απόφασης

x_{dgs} ακέραια μεταβλητή που υποδηλώνει τον αριθμό των εργαζομένων στην ημέρα d , φύλου g , στην βάρδια s , του προϊόντος p

z_{dsp} δυαδική μεταβλητή βάρδιων στην ημέρα d , στην βάρδια s , του προϊόντος p

γ_{ds} δυαδική μεταβλητή που υποδηλώνει την ταυτόχρονη παραγωγή του 5ου προϊόντος μαζί με οποιοδήποτε από τα υπόλοιπα ανά ημέρα/βάρδια

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\min D \times (nm + nf) - \sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^2 \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{dgs} + \sum_{p=1}^P \left(\sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S z_{dsp} \times c_p - dem_p \right)$$

Περιορισμοί

$$\sum_{g=1}^2 \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{dgs} \leq nm + nf, \forall d \quad (1)$$

$$x_{d1sp} \geq nm_p \times z_{dsp}, \forall d, \forall s, \forall p \quad (2)$$

$$\gamma_{ds} \leq \sum_{p=1}^4 z_{dsp}, \forall d, \forall s \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^4 z_{dsp} + z_{ds5} - 1 \leq \gamma_{ds}, \forall d, \forall s \quad (4)$$

$$\sum_{g=1}^2 x_{dgs} = w_p \times z_{dsp}, \forall d, \forall s, p = 1, \dots, 4 \quad (5)$$

$$\sum_{g=1}^2 x_{dgs5} = w_5 \times z_{ds5} - 2 \times \gamma_{ds}, \forall d, \forall s \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^4 z_{dsp} \leq 1, \forall d, \forall s \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{d1sp} \leq nm, \forall d \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{d2sp} \leq nf, \forall d \quad (9)$$

$$z_{d1p} \geq z_{d2p}, \forall d, \forall p \quad (10)$$

$$dem_p \leq \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S z_{dsp} \times c_p, \forall p \quad (11)$$

Ο περιορισμός (1) εξασφαλίζει ότι, ο συνολικός αριθμός των εργαζομένων δεν ξεπερνιέται και ο περιορισμός (2) εξασφαλίζει ότι τηρείται ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός ανδρών σε κάθε προϊόν.

Οι περιορισμοί (3) και (4) εξασφαλίζουν την ταυτόχρονη παραγωγή όπου πιο συγκεκριμένα για να έχουμε ταυτόχρονη παραγωγή θα πρέπει η παραγωγή του 5ου προϊόντος να συμβεί ταυτόχρονα με την παραγωγή οποιουδήποτε των υπολοίπων 4 προϊόντων. Ο περιορισμός (5) κατανέμει τους απαιτούμενους εργαζόμενους ανά προϊόν, ενώ ο περιορισμός (6) σε περίπτωση που έχουμε ταυτόχρονη παραγωγή αφαιρεί 2 εργαζόμενους από την παραγωγή του 5ου προϊόντος, οι οποίοι θα πρέπει να είναι 3 πλέον αντί για 5, που είναι σε περίπτωση που θα παράγεται μόνο του. Ο περιορισμός (7) απαγορεύει την ταυτόχρονη παραγωγή των 4 πρώτων προϊόντων (τα οποία ανήκουν στις γραμμές παραγωγής 1 και 2), ενώ οι περιορισμοί (8) και (9) απαγορεύει τους εργαζόμενους (άνδρες και γυναίκες αντιστοίχως) να δουλέψουν διπλές βάρδιες. Ο περιορισμός (10) επιβάλλει την χρήση και της πρώτης βάρδιας σε περίπτωση που αποφασιστεί να χρησιμοποιηθεί και η δεύτερη βάρδια και τέλος ο περιορισμός (11) εξασφαλίζει ότι η εταιρία ανταποκρίνεται στην ζήτηση των προϊόντων του.

4.2 Αριθμητικό παράδειγμα

Στο αριθμητικό παράδειγμα θα εφαρμόσουμε το μεικτού ακεραίου προγραμματισμού μοντέλο σε πραγματικά δεδομένα για την επιχείρηση της μελέτης μας, θα λύσουμε το πρόβλημα και δώσουμε το βέλτιστο πλάνο, ενδεικτικά για τον μήνα Ιανουάριο. Ο σκοπός του αριθμητικού αυτού παραδείγματος είναι :

1. η παρουσίαση του βέλτιστου μηνιαίου πλάνου για τον προγραμματισμό του ανθρωπίνου δυναμικού
2. η παρουσίαση του βέλτιστου μηνιαίου πλάνου για τον προγραμματισμό των βάρδιων
3. η παρουσίαση και η σύγκριση μεταξύ της δυνητικής παραγωγής με βάση το βέλτιστο πλάνο, και της πραγματικής ζήτησης
4. στο επόμενο κεφάλαιο να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας σε διάφορους παραμέτρους
5. συζήτηση των πλεονεκτημάτων και των οφελών που αντλούνται από συγκεκριμένο μοντέλο

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω αναζητούμε ένα μηνιαίο πλάνο για τον προγραμματισμό του ανθρωπίνου δυναμικού και των βάρδιων, οπότε και λαμβάνουμε υπόψη τις παραμέτρους και τις πληροφορίες που ισχύουν ενδεικτικά για τον μήνα Ιανουάριο. Οι γενικές πληροφορίες για το αριθμητικό αυτό παράδειγμα αναφέρονται στον Πίνακα 4.1. Θεωρούμε ότι για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε είκοσι δύο εργάσιμες ημέρες, $d = 22$, και το ανθρώπινο δυναμικό της εταιρίας αποτελείται από : δέκα άνδρες εργαζόμενους, $nm = 10$ και δεκαπέντε γυναίκες εργαζόμενες, $nf = 15$ και παράγει όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως πέντε προϊόντα $p = 5$.

Πίνακας 4.1: Γενικά δεδομένα του αριθμητικού παραδείγματος

1. Χρονικός ορίζοντας = μήνας
2. Αριθμός εργασιμων ημερών μήνα, $d = 22$
3. Αριθμός ανδρών εργαζομένων, $nm = 10$
4. Αριθμός γυναικών εργαζομένων, $nf = 15$
5. Αριθμός προϊόντων, $p = 5$

Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε προϊόν για τον μήνα Ιανουάριο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Πρόκειται για πραγματικά δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από την εταιρία με σκοπό να γίνει εφαρμογή του μοντέλου σε ένα πραγματικό σενάριο. Επομένως θεωρούμε ότι οι παραγωγικές ικανότητες είναι 5.000, 5.600, 3.000, 3.000, και 3.500 τεμάχια ανά βάρδια ενώ η ζήτηση είναι 72.000, 21.000, 2.100, 3.500 και 40.000 τεμάχια τον μήνα Ιανουάριο, για τα τη 0,25 ml πλαστικό, 0,25 ml χάρτινο, 0,75 ml πλαστικό, 0,75 ml χάρτινο και 0,33 ml αλουμίνιο αντιστοίχως. Παρομοίως θεωρούμε ότι οι εργαζόμενοι που απαιτούνται ανά προϊόν είναι 16, 11, 11, 10, 5 ή 3 άτομα και οι ελάχιστοι απαιτούμενοι άνδρες είναι 3, 3, 3, 3, 1 ανά προϊόν αντιστοίχως.

Πίνακας 4.2: Δεδομένα για κάθε προϊόν του αριθμητικού παραδείγματος

	0,25 ml πλαστικό	0,25 ml χάρτινο	0,75 ml πλαστικό	0,75 ml χάρτινο	0,33 ml αλουμίνιο
παραγωγική ικανότητα	5.000	5.600	3.000	3.000	3.500
ζήτηση	72.000	21.000	2.100	3.500	40.000
απαιτούμενοι εργαζόμενοι	16	11	11	10	5 ή 3 ¹
ελάχιστοι απαιτούμενοι άνδρες	3	3	3	3	1

Στους Πίνακες 4.3,4.4,4.5 παρουσιάζεται η βέλτιστη λύση αυτού του case study. Πιο συγκεκριμένα οι Πίνακες 4.3 και 4.4 περιέχουν την βέλτιστη κατανομή-ανάθεση των ανδρών και γυναικών εργαζομένων αντίστοιχα σε ημερήσιες βάρδιες για τον μήνα Ιανουάριο, κατορθώνοντας έτσι τους σκοπούς (1) και (2) ενώ στον πίνακα 4.5 περιέχεται η βέλτιστη λύση με τις ελάχιστες ανενεργές ανθρωποώρες καθώς και η σύγκριση μεταξύ της δυνητικής παραγωγής που προκύπτει και της πραγματικής ζήτησης κατορθώνοντας έτσι τον σκοπό (3).

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται το βέλτιστο πλάνο κατανομήσ-ανάθεσης των ανδρών και γυναικών εργαζομένων. Για παράδειγμα την πρώτη μέρα η εταιρία θα πρέπει να αναθέσει 3 άνδρες και 13 γυναίκες στην παραγωγή του 0,25 ml πλαστικού προϊόντος, στην πρώτη βάρδια. Για την δεύτερη μέρα, όσον αφορά την πρώτη βάρδια το μοντέλο προτείνει στην εταιρία να έχει ταυτόχρονη παραγωγή του 0,25 ml πλαστικού και του 0,33 ml αλουμινίου, αναθέτοντας έτσι 8 άνδρες και 8 γυναίκες στην παραγωγή του πρώτου προϊόντος και 1 άνδρα και 2 γυναίκες στην παραγωγή του δεύτερου αντιστοίχως. Εντούτοις όμως σύμφωνα με την βέλτιστη λύση του μοντέλου για την συγκεκριμένη ημέρα η εταιρία θα πρέπει

¹Όταν η παραγωγή του 0,33 ml αλουμινίου κουτιού είναι ταυτόχρονα με οπουδήποτε από τα υπόλοιπα προϊόντα τότε οι εργαζόμενοι που χρειάζονται πλέον είναι 3 αντί για 5

να δουλέψει σε διπλή βάρδια, χρησιμοποιώντας έτσι και την 2η βάρδια αναθέτοντας 1 άνδρα και 4 γυναίκες στην παραγωγή του 0,33 ml αλουμινίου κουτιού στην 2η βάρδια. Ανακεφαλαιώνοντας, το βέλτιστο πλάνο μας για τον μήνα Ιανουάριο, κατανέμει-αναθέτει το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό της εταιρίας σε όλες τις εργάσιμες μέρες και χρησιμοποιεί 9 διπλές βάρδιες για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της ζήτησης και ταυτοχρόνως να έχει τις λιγότερες δυνατές ανενεργές ανθρωποώρες.

Πίνακας 4.3: Κατανομή ανδρών σε βάρδιες

	1η Βάρδια					2η Βάρδια				
	0,25 πλαστικό	0,25 χάρτινο	0,75 πλαστικό	0,75 χάρτινο	0,33 αλουμίνιο	0,25 πλαστικό	0,25 χάρτινο	0,75 πλαστικό	0,75 χάρτινο	0,33 αλουμίνιο
1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8	-	-	-	1	-	-	-	-	1
3	5	-	-	-	3	-	-	-	-	1
4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	3	-	-	-	-	7	-	-	-
6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	3	-	-	-	-	3	-
8	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
9	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	5	-	-	-	-	5
13	-	3	-	-	-	-	7	-	-	-
14	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	5	-	-	-	3	-	-	-	-	1
17	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5
18	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.4: Κατανομή γυναικών σε βάρδιες

	1η Βάρδια					2η Βάρδια				
	0,25 πλαστικό	0,25 χάρτινο	0,75 πλαστικό	0,75 χάρτινο	0,33 αλουμίνιο	0,25 πλαστικό	0,25 χάρτινο	0,75 πλαστικό	0,75 χάρτινο	0,33 αλουμίνιο
1	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8	-	-	-	2	-	-	-	-	4
3	11	-	-	-	0	-	-	-	-	4
4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	8	-	-	-	-	4	-	-	-
6	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	7	-	-	-	-	7	-
8	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
9	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
13	-	8	-	-	-	-	4	-	-	-
14	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	11	-	-	-	0	-	-	-	-	4
17	-	-	-	-	4	-	-	-	-	0
18	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-

Συγκεκριμένα, μπορούμε να δούμε στον πίνακα 4.5 τη διαφορά μεταξύ της δυνητικής παραγωγής που θα είχε ως αποτέλεσμα την χρήση του βέλτιστου σχεδίου μας και των πραγματικών απαιτήσεων, αναλύοντας έτσι αυτό το πιθανό πλεόνασμα. Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του προβλήματος εκτός από την ελαχιστοποίηση των αδρανών ανθρωποωρών, ο άλλος στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν αυτό το δυνητικό πλεόνασμα (απόθεμα). Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, πέραν των 0,75 πλαστικών και 0,75 χάρτινων προϊόντων, το εν λόγω δυνητικό πλεόνασμα δεν υπερβαίνει το 10% των απαιτήσεων ανά προϊόν και επομένως έχει το ελάχιστο δυνατό απόθεμα στις αποθήκες.

Ωστόσο, ο λόγος για τον οποίο δεν είναι δυνατόν να υπάρξει μικρότερο πλεόνασμα στα δύο παραπάνω προϊόντα είναι ότι σε διαφορετική περίπτωση η ζήτηση τους δεν θα ικανοποιηθεί, οπότε ο πρωταρχικός στόχος είναι η ικανοποίηση της ζήτησης και στη συνέχεια η ελαχιστοποίηση του ενδεχόμενου πλεονάσματος. Επιπλέον, το πλεόνασμα αυτών των δύο προϊόντων μπορεί αφενός να είναι σχετικά υψηλά, υπερβαίνοντας την ζήτηση τους κατά 42,9% και 71,4%, αντιστοίχως ωστόσο σε απόλυτες τιμές (900 και 2.500 τεμάχια αντίστοιχα) δεν πρόκειται μεγάλο αριθμό αποθεμάτων και θεωρείται διαχειρίσιμο και αποδεκτό από την διοίκηση της εταιρείας. Συμπερασματικά, το πλάνο μας με την βέλτιστη κατανομή του ανθρωπίνου δυναμικού και των βάρδιων, συνοδεύεται από 181 αδρανείς ανθρωποώρες που είναι ο ελάχιστος δυνατός αριθμός αδρανών ανθρωποωρών εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τα σύνολα δεδομένων που αναφέρονται στην πραγματική εφαρμογή της μελέτης

περίπτωσης μας.

Πίνακας 4.5: Σύγκριση μεταξύ δυνητικής παραγωγής και πραγματικής ζήτησης

	0,25 ml πλαστικό	0,25 ml χάρτινο	0,75 ml πλαστικό	0,75 ml χάρτινο	0,33 ml αλουμίνιο
δυναμική παραγωγή	75,000	22,400	3,000	6,000	42,000
πραγματική ζήτηση	72.000	21.000	2.100	3.500	40.000
πλεόνασμα	3.000	1.400	900	2.500	2.000
πλεόνασμα (%)	4,2%	6,7%	42,9%	71,4%	5,0%
αδρανείς ανθρωπόωρες			181		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανάλυση Ευαισθησίας

5.1 Ανάλυση ευαισθησίας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας που έχει πραγματοποιηθεί σε περιπτώσεις που οι τιμές κάποιων παραμέτρων του μεικτού ακεραίου προγραμματισμού μοντέλου μας έχουν διαφοροποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα εξετάζουμε τις διαφοροποιήσεις που συμβαίνουν :

1. στις εργάσιμες ημέρες
2. στους άνδρες εργαζόμενους
3. στις γυναίκες εργαζόμενους
4. στην ζήτηση των προϊόντων
5. στην παραγωγική ικανότητα

Οπότε ο σκοπός της όλης αυτής ανάλυσης δεν είναι μόνο θεωρητικός αλλά και πρακτικός καθώς οι διαφοροποιήσεις στα παραπάνω δεδομένα συμβαίνουν ή μπορούν να συμβούν οποιαδήποτε στιγμή. Επομένως ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι :

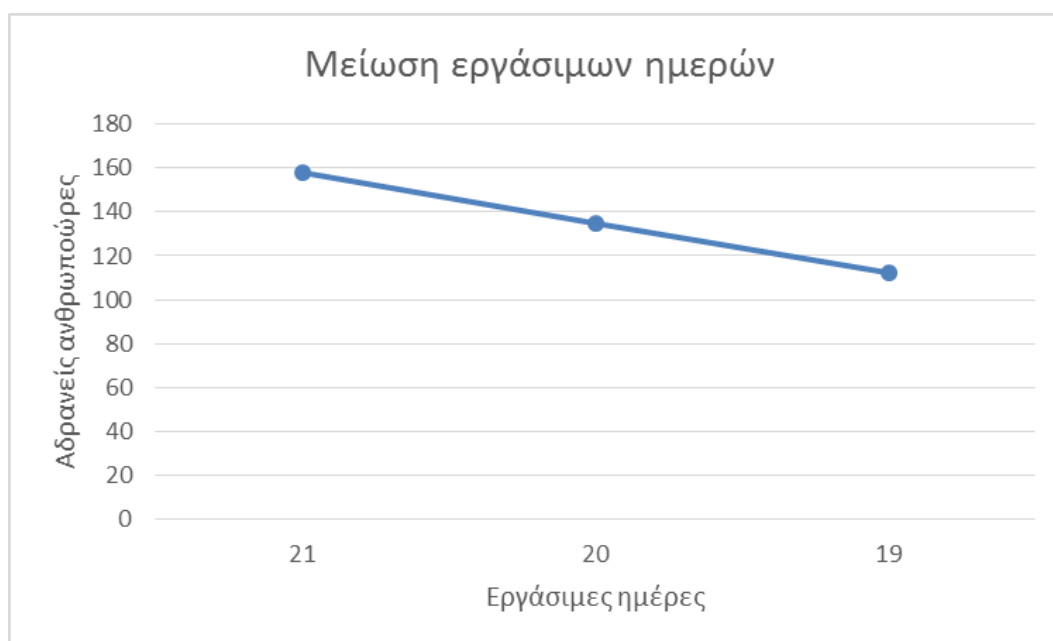
1. η παρακολούθηση και η μελέτη της βέλτιστης λύσης
2. εύρεση περιπτώσεων όπου επιπλέον ενέργειες θα απαιτούνται
3. συζήτηση των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή

Ουσιαστικά η πρώτη παράμετρος που χρήζει άξια ανάλυσης είναι οι εργάσιμες ημέρες. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται μια τέτοια ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με την εναλλαγή των εργάσιμων ημερών τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω. Όπως βλέπουμε μια ενδεχόμενη μείωση των εργάσιμων ημερών, επιφέρει ανάλογη μείωση και στην βέλτιστη λύση των αδρανών ανθρωποωρών. Το κρίσιμο σημείο άξιο αναφοράς είναι στην περίπτωση που εργάσιμες ημέρες γίνονται 18, δηλαδή

$D = 18$, όπου το πρόβλημά μας είναι πλέον αδύνατο με το πρότυπο σύνολο παραμέτρων, οπότε θα ήταν καλό η εταιρία να καθορίσει εξ αρχής τον ελάχιστον αριθμό ημερών που απαιτούνται για να ικανοποιήσει την ζήτηση. Στο Σχήμα 5.1.1 αναπαρίσταται η συμπεριφορά της βέλτιστης λύσης στις διάφορες μεταβολές των εργάσιμων ημερών.

Πίνακας 5.1: Μεταβολή στις εργάσιμες ημέρες

	Εργάσιμες ημέρες		Αδρανείς ανθρωπόωρες	
	Τιμή	Μεταβολή(%)	Τιμή	Μεταβολή(%)
#1	25	4,5%	250	38,12%
#2	24	9,1%	227	25,41%
#3	23	13,6%	204	12,71%
#4	22	0%	181	0%
#5	21	-4,5%	158	-12,71%
#6	20	-9,1%	131	-25,41%
#7	19	-13,6%	112	-38,12%
#8	18	-18,2%	Αδύνατο	-



Σχήμα 5.1.1: Επίπτωση της μείωσης των εργάσιμων ημερών

Πέραν των εργάσιμων ημερών ανάλογη ανάλυση ευαισθησίας έχει γίνει για τους άνδρες εργαζόμενους. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζεται μια τέτοια ανάλυση όπου υποθέτεται μια τέτοια ενδεχόμενη μείωση στους άνδρες εργαζόμενους. Πιο συγκεκριμένα, η αφαίρεση ενός άνδρα εργαζόμενου έχει μικρότερη επίπτωση από την αφαίρεση των εργάσιμων ημερών στη βέλτιστη λύση των αδρανών

ανθρωπωρών. Αντιστοίχως ένα κρίσιμο σημείο άξιο αναφοράς είναι στην περίπτωση που οι άνδρες εργαζόμενοι γίνουν 3, οπότε και το πρόβλημα καθίσταται αδύνατο πλέον, επομένως ο ελάχιστος αριθμός αντρών που απαιτείται για να ικανοποιηθεί η ζήτηση είναι 4.

Πίνακας 5.2: Μεταβολή στους άνδρες εργαζόμενους

	Άνδρες εργαζόμενοι		Αδρανείς ανθρωπόρες	
	Τιμή	Μεταβολή(%)	Τιμή	Μεταβολή(%)
#1	9	-10%	159	-12,15%
#2	8	-20%	141	-22,10%
#3	7	-30%	119	-34,25%
#4	6	-40%	97	-46,41%
#5	5	-50%	77	-57,46%
#6	4	-60%	67	-62,98%
#7	3	-70%	Αδύνατο	-

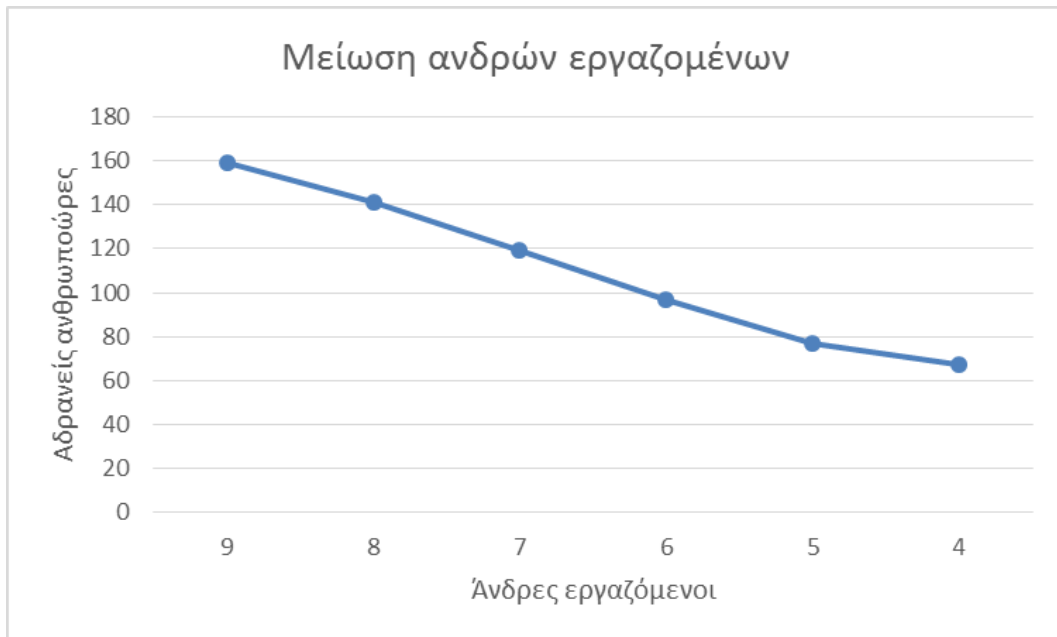
Κατά τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται παρόμοια ανάλυση και για τις γυναίκες εργαζόμενες. Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζεται μια τέτοια ανάλυση σχετικά με την διαφοροποίηση του αριθμού των εργαζόμενων γυναικών. Ο αντίκτυπος της μείωσης των γυναικών εργαζομένων είναι σχεδόν ίδιος με εκείνων των ανδρών. Πιο συγκεκριμένα, έχει μικρότερο αντίκτυπο από τη μείωση των εργάσιμων ημερών (όπως η μείωση των ανδρών εργαζομένων), ωστόσο έχει και πολύ μικρότερο αντίκτυπο από την μείωση των ανδρών εργαζομένων. Ο ελάχιστος αριθμός γυναικών εργαζομένων για την κάλυψη των αναγκών περιορίζεται στις 8 γυναίκες.

Πίνακας 5.3: Μεταβολή στις γυναίκες εργαζόμενες

	Γυναίκες εργαζόμενες		Αδρανείς ανθρωπόρες	
	Τιμή	Μεταβολή(%)	Τιμή	Μεταβολή(%)
#1	14	-7%	159	-12,15%
#2	13	-13%	141	-22,10%
#3	12	-20%	119	-34,25%
#4	11	-27%	97	-46,41%
#5	10	-33%	75	-58,56%
#6	9	-40%	55	-69,61%
#7	8	-47%	Αδύνατο	-

Επομένως, για ένα σύνολο 25 εργαζομένων(10 ανδρών και 15 γυναικών) όπως είδαμε στο αριθμητικό παράδειγμα της προηγούμενης ενότητας, ο μέγιστος αριθμός εργαζομένων που μπορούν να αφαιρεθούν είναι 6. Έτσι η εταιρεία μπορεί να δώσει, για παράδειγμα, άδειες έως και σε 6 εργαζομένους κατ'άνωτατο όριο αυτό το μηνά. Ωστόσο, στην περίπτωση που η εταιρεία έδωσε και στους 6 αυτούς εργαζόμενους άδεια, αυτό σημαίνει ότι η εταιρεία διατρέχει τον κίνδυνο να μην καταφέρει να ανταποκριθεί σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως π.χ. σε περίπτωση ασθένειας

κάποιου εργαζόμενου καθώς δεν υπάρχει άλλο περιθώριο για επιπλέον μείωση του διαθέσιμου εργατικού προσωπικού. Στα Σχήματα 5.1.2 και 5.1.3 αναπαρίσταται η συμπεριφορά των αδρανών ανθρωποωρών στις μειώσεις τόσο των ανδρών όσο και των γυναικών εργαζομένων.



Σχήμα 5.1.2: Επίπτωση της μείωσης των ανδρών εργαζομένων



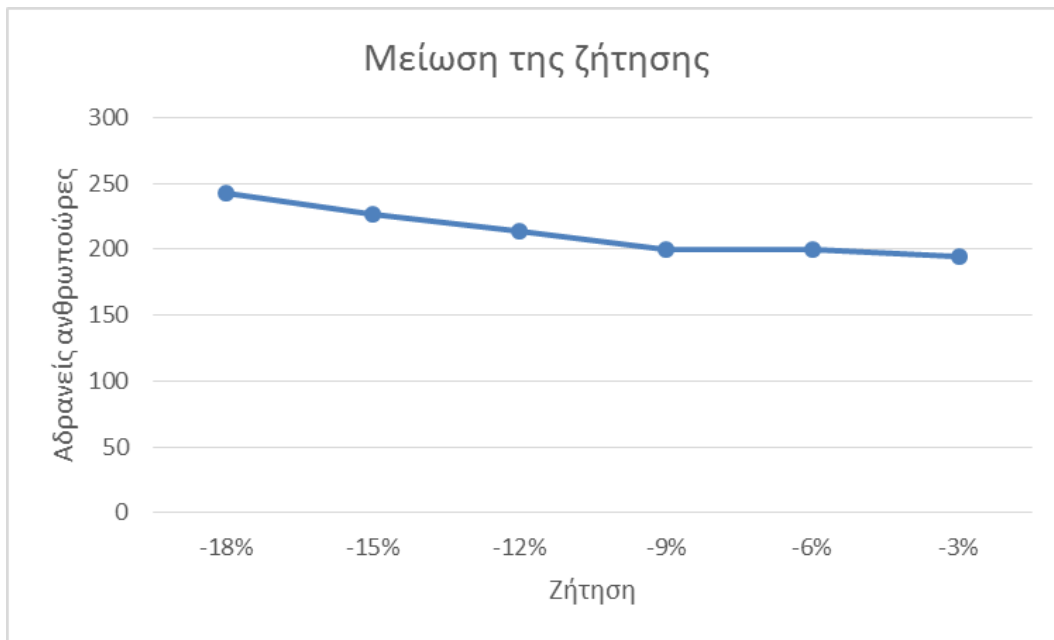
Σχήμα 5.1.3: Επίπτωση της μείωσης των γυναικών εργαζομένων

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζεται μια ανάλυση ευαισθησίας για διάφορες διαφοροποιήσεις της

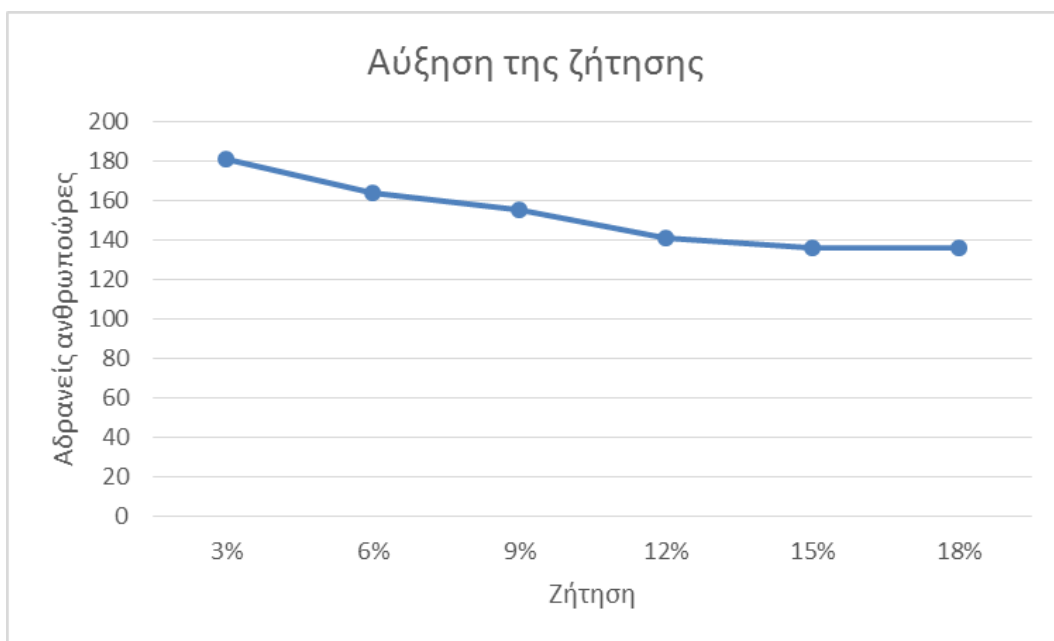
ζήτησης των προϊόντων. Οποιαδήποτε διαφοροποίηση των τιμών της ζήτησης είναι αντιστρόφως ανάλογη με την βέλτιστη λύση των ανενεργών-αδρανών ανθρωποωρών. Καθώς μειώνεται η ζήτηση, είναι προφανές ότι αυξάνονται οι ώρες αδράνειας των εργαζομένων. Ωστόσο, όταν η ζήτηση αυξάνεται, οι αδρανείς ανθρωποώρες υποχωρούν. Ένα κρίσιμο σημείο αύξησης της ζήτησης είναι στο 21%, όπου το πρόβλημα γίνεται αδύνατο, διότι με το υπάρχον σύνολο δεδομένων των παραμέτρων είναι αδύνατο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις. Μια πιθανή λύση είναι να αυξηθεί ο αριθμός των εργαζομένων με την πρόσληψη επιπλέον εργαζομένων ή ακόμα πιο συχνά η επιστράτευση 3ης βάρδιας. Επομένως, είναι αναγκαίο να γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για να παρακολουθήσουμε περιπτώσεις στις οποίες η ζήτηση μπορεί να αυξηθεί απότομα και κατά πόσο θα ήταν απαραίτητο να εργάζεται η εταιρεία σε τριπλές βάρδιες. Στο Σχήμα 5.1.4 και 5.1.5 αναπαρίσταται η συμπεριφορά της βέλτιστης λύσης των αδρανών ανθρωποωρών τόσο στην μείωση όσο και στην αύξηση της ζήτησης.

Πίνακας 5.4: Μεταβολή της ζήτησης

	Ζήτηση	Αδρανείς ανθρωποώρες	
	Μεταβολή(%)	Τιμή	Μεταβολή(%)
#1	-21%	254	40,33%
#2	-18%	243	34,25%
#3	-15%	227	25,41%
#4	-12%	214	18,23%
#5	-9%	200	10,50%
#6	-6%	200	10,50%
#7	-3%	195	7,73%
#8	3%	181	0,00%
#9	6%	164	-9,39%
#10	9%	155	-14,36%
#11	12%	141	-22,10%
#12	15%	136	-24,86%
#13	18%	136	-24,86%
#14	21%	Αδύνατο	-



Σχήμα 5.1.4: Επίπτωση της μείωσης της ζήτησης



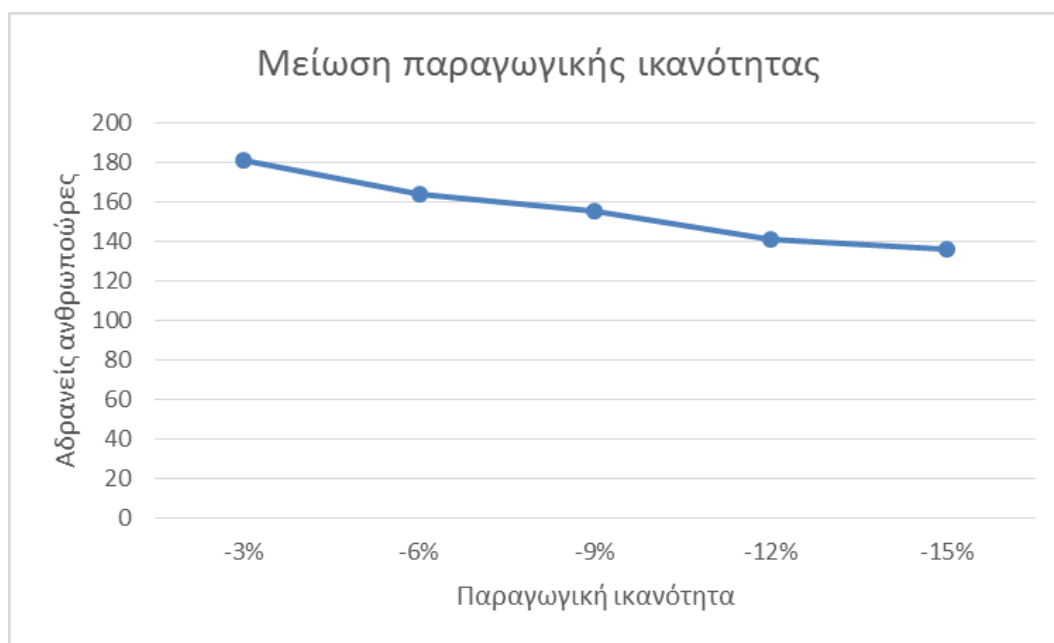
Σχήμα 5.1.5: Επίπτωση της αύξησης της ζήτησης

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζεται ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με την παραγωγική ικανότητα κάθε προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η παραγωγική ικανότητα, δηλώνει τη μέγιστη παραγωγή συσκευασιών κάθε προϊόντος ανά βάρδια και υποθέσαμε ότι οι μηχανές που περιλαμβάνονται εκεί αποδίδουν στο 100% της δυναμικότητάς τους, οπότε δεν υπάρχει λόγος

να εξεταστεί η προς τα επάνω μεταβολή των παραγωγικών ικανοτήτων. Όπως φαίνεται, η μείωση της παραγωγικής ικανότητας είναι ανάλογη με τις ώρες αδράνειας, δεδομένου ότι σχεδόν κάθε μείωση της παραγωγικής ικανότητας οδηγεί στην αντίστοιχη μείωση των αδρανών ανθρωποωρών. Ένα κρίσιμο σημείο όπως φαίνεται στον πίνακα 5.5 είναι σε περιπτώσεις όπου η μείωση είναι πάνω από 18% όπου και το πρόβλημα γίνεται μη εφικτό. Είναι σημαντικό για την εταιρεία να εξετάσει τέτοιες περιπτώσεις υποβαθμισμένων παραγωγικών ικανοτήτων, καθώς είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο για την εταιρεία να έχει διακοπές ρεύματος κατά τη διάρκεια της ημέρας οδηγώντας έτσι σε μειωμένη παραγωγική ικανότητα. Στο Σχήμα 5.1.6 αναπαρίσταται η συμπεριφορά της βέλτιστης λύσης στις διάφορες μειώσεις των τιμών των παραγωγικών ικανοτήτων των προϊόντων.

Πίνακας 5.5: Μεταβολή στην παραγωγική ικανότητα

	Παραγωγική ικανότητα	Αδρανείς ανθρωπόωρες	
	Μεταβολή(%)	Τιμή	Μεταβολή(%)
#1	-3%	181	0,00%
#2	-6%	164	-9,39%
#3	-9%	155	-14,36%
#4	-12%	141	-22,10%
#5	-15%	136	-24,86%
#6	-18%	Αδύνατο	-
#7	-21%	Αδύνατο	-



Σχήμα 5.1.6: Επίπτωση της μείωσης της παραγωγικής ικανότητας

Συνοψίζοντας η ολοκλήρωση της ανάλυσης ευαισθησίας στις παραπάνω παραμέτρους έχει πολλά

θετικά αποτελέσματα για την εταιρεία, καθώς αυτή η διαδικασία προσφέρει τα παρακάτω οφέλη. Ο σκοπός (3) επιτυγχάνεται συζητώντας τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από μια τέτοια ανάλυση και παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

5.2 Οφέλη

Πρώτα από όλα, με την ανάλυση στις εργάσιμες ημέρες, η εταιρεία γνωρίζει τις ελάχιστες ημέρες που απαιτούνται για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1, ο ελάχιστος αριθμός ημερών που απαιτούνται για την ικανοποίηση της ζήτησης είναι 19, επομένως η εταιρεία έχει περιθώριο αφαίρεσης έως 3 εργάσιμων ημερών. Η ανάλυση αυτή είναι σημαντική δεδομένου ότι σε ακραίες περιπτώσεις, όπως ο παγετός το χειμώνα, όπου η εταιρεία παραμένει κλειστή, έχοντας έτσι λιγότερες εργάσιμες ημέρες σε αυτό το μήνα, είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει πόσες μέρες είναι δυνατόν να παραμείνει κλειστή η εταιρεία και σε περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να αποφύγει την υπέρβαση των ελάχιστων ημερών που απαιτούνται, να έχει ένα εναλλακτικό πλάνο. Οι εναλλακτικές λύσεις σε αυτή την περίπτωση είναι η εταιρεία να εργάζεται σε τριπλή βάρδια ή να προσλαμβάνει επιπλέον προσωπικό.

Όσον αφορά τον διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό, μια ανάλυση ευαισθησίας σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως φαίνεται στους Πίνακες 5.2 και 5.3, έχει επίσης αρκετό νόημα για την εταιρεία. Ο λόγος για τον οποίο αυτή η ανάλυση είναι σημαντική είναι επειδή παρέχει πληροφορίες σε ποια σενάρια μειώνονται οι αδρανείς ανθρωπόωρες, αλλά και ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός εργαζομένων για να ικανοποιηθεί η ζήτηση.

Όσον αφορά την ζήτηση, είναι ζωτικής σημασίας για την εταιρεία να έχει ένα βέλτιστο σχέδιο για να τις ικανοποιήσει. Ειδικότερα, μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές καταστάσεις, όπως σε περιόδους όπου υπάρχει μειωμένη ζήτηση, όπου θα χρειαστούν λιγότερες ανθρωπόωρες οπότε και σε αυτές τις περιπτώσεις θα ήταν η καλύτερη περίοδος για να δοθούν κάποιες δικαιούχες άδειες σε ορισμένους υπαλλήλους. Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση αυξημένης ζήτησης, η εταιρεία θα πρέπει να γνωρίζει σε ποιο σημείο η ζήτηση είναι αδύνατο να καλυφθεί, έτσι ώστε να έχει κατά νου κάποιο εναλλακτικό σχέδιο το οποίο θα ήταν είτε να εργάζεται σε τριπλές βάρδιες είτε να απασχολεί περισσότερους υπαλλήλους.

Τέλος, οι πιθανές διαφοροποιήσεις των τιμών των παραγωγικών ικανοτήτων των προϊόντων θα πρέπει επίσης να απασχολούν την εταιρεία. Όπως αναφέρθηκε και πριν, λόγω των πολύ συνηθισμένων διακοπών του ρεύματος που συμβαίνουν στην εταιρεία, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των παραγωγικών ικανοτήτων, μειώνοντας έτσι τη συνολική παραγωγή. Η εταιρεία θα πρέπει να εξετάζει τέτοιες περιπτώσεις μειωμένων παραγωγικών ικανοτήτων, καθώς διαφορετικά διατρέχει τον κίνδυνο να μην ικανοποιήσει εν τέλη την ζήτηση των προϊόντων της.

Εν κατακλείδι μερικά ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το μεικτού ακεραίου προ-

γραμματισμού μοντέλο μας στην εταιρεία είναι :

1. σχεδιασμός των δικαιούχων αδειών των εργαζομένων
2. σχεδιασμός συντήρησης μηχανημάτων
3. σχεδιασμός της απολύμανσης των μηχανημάτων
4. κάλυψη έκτακτων αναγκών
 - (α') ασθένειες
 - (β') εγχυμοσύνες
 - (γ') διακοπές ρεύματος
 - (δ') ακραίες καιρικές συνθήκες

Ειδικότερα από τις αναλύσεις ευαισθησίας που περιγράφηκαν παραπάνω, είναι προφανές ότι η επιχείρηση μπορεί να προγραμματίσει εκ των προτέρων με ασφάλεια τις δικαιούχες άδειες των υπαλλήλων της, χωρίς να κινδυνεύει να μην ανταποκριθεί στις ανάγκες της ζήτησης της (1). Πρόκειται για μια αμοιβαία επωφελή κατάσταση τόσο για την εταιρεία όσο και για τους εργαζομένους, καθώς οι εργαζόμενοι θα γνωρίζουν εκ των προτέρων τις ημέρες των διακοπών-αδειών τους, ώστε να μπορούν να τις προγραμματίσουν όπως αυτοί θέλουν, αυξάνοντας έτσι και την ικανοποίηση των εργαζομένων της καθώς είναι πολύ σημαντικό για την εταιρεία έχουν ικανοποιημένους υπαλλήλους που οδηγεί με την σειρά του σε καλύτερη απόδοση τους.

Δεδομένου ότι στις γραμμές παραγωγής υπάρχουν μηχανήματα που βοηθούν στην παραγωγή των προϊόντων, είναι προφανές ότι κάποιες φορές τα μηχανήματα αυτά χρειάζονται συντήρηση. Σε περίπτωση που γίνεται συντήρηση των μηχανημάτων αυτών, τότε δεν υπάρχει καθόλου παραγωγή προϊόντων καθώς τα μηχανήματα αφιερώνονται στη συντήρηση και αυτές οι ημέρες συντήρησης δεν πρέπει να συμπεριληφθούν στις εργάσιμες μέρες. Επομένως, το μοντέλο μας, δίνει την ευκαιρία στην εταιρεία να σχεδιάσει τις ανάγκες συντήρησης των μηχανημάτων της (2).

Ως μια εταιρεία παραγωγής μεταλλικού νερού είναι προφανές ότι η εταιρεία της μελέτης περίπτωσης μας πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις καθαριότητας των προϊόντων της. Επομένως είναι πολύ συνηθισμένη η απολύμανση των μηχανημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η παραγωγική ικανότητα των μηχανημάτων μειώνεται καθώς τα μηχανήματα λειτουργούν λιγότερο χρόνο τώρα, λόγω του χρόνου που απαιτείται για την απολύμανση. Κατά συνέπεια, η παραγωγική ικανότητα των προϊόντων μειώνεται, οπότε το βέλτιστο σχέδιο πρέπει να αναπροσαρμοστεί. Επομένως, εκτός από τον προγραμματισμό των αδειών-διακοπών και τον προγραμματισμό της συντήρησης των μηχανημάτων το μοντέλο μας, βοηθάει επίσης την εταιρεία στον σχεδιασμό της απολύμανσης των μηχανημάτων της (3).

Τέλος ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του μοντέλου μας είναι η κάλυψη σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η εταιρεία μπορεί να σχεδιάσει και να προγραμματίσει το ανθρώπινο δυναμικό και τις λειτουργίες των βάρδιων της και σε περιπτώσεις όπου θα μπορεί να συμβούν κάποια απροσδόκητα γεγονότα. Τέτοια γεγονότα μπορεί να είναι ασθένεια ή κάποια άλλα εξωγενή γεγονότα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την υγεία και τη φυσική κατάσταση των εργαζομένων ή οι ενδεχόμενες εγκυμοσύνες των γυναικών εργαζομένων, καθώς στις περιπτώσεις αυτές οι υπάλληλοι δικαιούνται άδεια ασθένειας και άδεια εγκυμοσύνης αντίστοιχα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι σημαντικό να αναπροσαρμόσουμε το σχέδιο αφού τα απροσδόκητα αυτά γεγονότα που περιγράφηκαν παραπάνω οδηγούν στη μείωση του συνολικού ανθρώπινου δυναμικού της εταιρείας (4α και 4β).

Επιπλέον ένα άλλο έκτακτο και πολύ συνηθισμένο φαινόμενο όπως ειπώθηκε και παραπάνω είναι οι συχνές διακοπές ρεύματος. Η διακοπή ρεύματος διακόπτει τη συνολική διαδικασία της παραγωγής και αυτό το φαινόμενο πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από την εταιρεία, δεδομένου ότι αυτό το απροσδόκητο - και συνάμα συνηθισμένο γεγονός - αποτελεί σοβαρό παράγοντα της μείωσης της παραγωγικής ικανότητας και εντούτοις κρίνεται απαραίτητη η αναπροσαρμογή του βέλτιστου σχεδίου (4γ). Τέλος, η εταιρεία θα πρέπει να λάβει υπόψη και τις ακραίες καιρικές συνθήκες όπως ο παγετός, όπου η εταιρεία παραμένει κλειστή. Συνεπώς, οι εργάσιμες ημέρες μειώνονται, οδηγώντας έτσι σε ένα νέο πλάνο ανάθεσης του ανθρώπινου δυναμικού (4δ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εντολές Γλώσσας Μοντελοποίησης και Λύτες

6.1 Λύτες

6.1.1 Cplex

Ξεκινώντας με τον Cplex ο οποίος είναι και ο λύτης που χρησιμοποιήσαμε για την επίλυση του μοντέλου μας, είναι ο πιο γνωστός και από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους (αν όχι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος) εμπορικός λύτης παγκοσμίως για προβλήματα μεγάλης κλίμακας. Η αποτελεσματικότητα και η ευρωστία του έχουν αποδειχθεί για πάνω από 2 δεκαετίες σε χιλιάδες εμπορικά προβλήματα παγκοσμίως.

Μερικοί από τους τύπους προβλημάτων που υποστηρίζει είναι :

- γραμμικού προγραμματισμού
- τετραγωνικού προγραμματισμού
- δεύτερης τάξης κωνικού προγραμματισμού
- μικτού ακεραίου προγραμματισμού

Μερικοί από τους διαθέσιμους αλγόριθμους που χρησιμοποιεί :

- για συνεχή προβλήματα
- primal και dual simplex
- interior-point (barrier): για ακέραια προβλήματα
- προηγμένο αλγόριθμο branch-and-bound with presolve
- feasibility heuristics
- cut generators

6.1.2 Gurobi

Ο Gurobi Optimizer είναι ένας εμπορικός λύτης βελτιστοποίησης ο οποίος έχει σχεδιαστεί από το μηδέν ώστε να εκμεταλλεύεται σύγχρονες αρχιτεκτονικές και multi-core επεξεργαστές, με τη χρήση προηγμένων εφαρμογών των τελευταίων αλγορίθμων βελτιστοποίησης:

- γραμμικού προγραμματισμού
- τετραγωνικού προγραμματισμού
- τετραγωνικού προγραμματισμού περιορισμών
- μικτού ακεραίου γραμμικού προγραμματισμού
- μικτού ακεραίου τετραγωνικού προγραμματισμού
- μικτού ακεραίου τετραγωνικού προγραμματισμού περιορισμών

ενώ είναι συμβατός με :

- αντικειμενοστραφείς διεπαφές C++, Java, NET, Python
- διεπαφές πινάκων όπως C, Matlab, R
- γλώσσες μοντελοποίησης όπως AIMS, AMPL, GAMS, MPL
- Microsoft Excel

6.1.3 Minos

Ο MINOS είναι ένα πακέτο λογισμικού που επιλύει μεγάλα προβλήματα βελτιστοποίησης (γραμμικά και μη γραμμικά). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για γραμμικά προγράμματα και για προβλήματα με μη γραμμική αντικειμενική συνάρτηση και αραιούς γραμμικούς περιορισμούς (π.χ. τετραγωνικά προγράμματα) και πρόκειται για τον default λύτη της AMPL. Ο MINOS μπορεί να επεξεργαστεί επίσης μεγάλο αριθμό μη γραμμικών περιορισμών.

Για τα γραμμικά προγράμματα, ο MINOS χρησιμοποιεί μια αραιή εφαρμογή της μεθόδου primal simplex. Για τις μη γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις (και τους γραμμικούς περιορισμούς), ο MINOS χρησιμοποιεί μια μέθοδο με μειωμένη κλίση με quasi-Newton προσεγγίσεις στην μειωμένη Hessian. Για προβλήματα με μη γραμμικούς περιορισμούς, ο MINOS χρησιμοποιεί έναν αραιό αλγόριθμο SLC. Έτσι λύνει μια σειρά από επιμέρους προβλήματα στα οποία οι περιορισμοί γραμμικοποιούνται και η αντικειμενική συνάρτηση είναι μια επαυξημένη Lagrangian (περιλαμβανομένων όλων των μη γραμμικών συναρτήσεων). Η σύγκλιση είναι κοντά σε μια λύση.

Ο MINOS κάνει χρήση μίας μη γραμμικής συνάρτησης και τιμών κλίσης. Η λύση που λαμβάνεται θα είναι τοπικά βέλτιστη (η οποία μπορεί να είναι και ολικά βέλτιστη). Αν κάποια από τις κλίσεις

είναι άγνωστες, θα εκτιμούνται από πεπερασμένες διαφορές. Αν οι γραμμικοί περιορισμοί δεν έχουν καμία εφικτή λύση, ο MINOS τερματίζεται όταν επιβεβαιώνεται η ανεφικτότητα. Οι ανέφικτοι μη γραμμικοί περιορισμοί είναι δύσκολο να εντοπιστούν.

Για τα μεγάλα προβλήματα, η αποτελεσματικότητα βελτιώνεται μόνο εάν ορισμένες από τις μεταβλητές εισέρχονται μη γραμμικά, ή εάν ο αριθμός των ενεργών περιορισμών είναι περίπου όσο μεγάλος είναι και ο αριθμός των μεταβλητών (δηλαδή, εάν υπάρχουν λίγοι βαθμοί ελευθερίας σε μία λύση). Ο MINOS μπορεί να φιλοξενήσει προβλήματα με πολλούς βαθμούς ελευθερίας (ίσως και χιλιάδες), αλλά μερικές εκατοντάδες ή και λιγότερο είναι προτιμότερο.

6.1.4 Knitro

Ο Knitro είναι ένα εμπορικό λογισμικό πακέτο επίλυσης μεγάλης κλίμακας προβλημάτων μαθηματικής βελτιστοποίησης. Εξειδικεύεται και ίσως είναι ο κορυφαίος στην αγορά στην επίλυση μη-γραμμικών προβλημάτων παρά όλα αυτά έχει επίσης την ικανότητα επίλυσης

- γραμμικών προβλημάτων προγραμματισμού
- τετραγωνικών προβλημάτων προγραμματισμού
- συστημάτων μη-γραμμικών εξισώσεων
- προβλημάτων με ισορροπημένους περιορισμούς

ενώ είναι συμβατός με περιβάλλοντα όπως C, C++, Fortran, Java, Python, AMPL, AIMS, MPL, GAMS, Matlab, Microsoft Excel, LabVIEW.

Παρακάτω στον πίνακα 6.1 παρουσιάζεται μια λίστα λυτών μαθηματικής μοντελοποίησης.

Πίνακας 6.1: Λίστα Λυτών Μαθηματικής Μοντελοποίησης

Λύτες	Τύποι προβλημάτων που υποστηρίζουν
APOPT	Μικτός αθέραιος μη γραμμικός προγραμματισμός
BONMIN	Μικτός αθέραιος μη γραμμικός προγραμματισμός
BPMPD	Γραμμικός και τετραγωνικός προγραμματισμός
CBC	Μικτός αθέραιος προγραμματισμός
CLP	Γραμμικός προγραμματισμός
CONOPT	Μη γραμμικός προγραμματισμός
CPLEX	Γραμμικός, τετραγωνικός, δεύτερης τάξης κωνικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
CPLEX CP Optimizer	Προγραμματισμός περιορισμών
FILTER	Μη γραμμικός προγραμματισμός
FORTMP	Γραμμικός, τετραγωνικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
GECODE	Προγραμματισμός περιορισμών
GUROBI	Γραμμικός, τετραγωνικός, δεύτερης τάξης κωνικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
IPOPT	Μη γραμμικός προγραμματισμός
JaCoP	Προγραμματισμός περιορισμών
KNITRO	Γραμμικός, τετραγωνικός και μη γραμμικός προγραμματισμός
LocalSolver	Μικτός αθέραιος και μη γραμμικός προγραμματισμός
Ip_solve	Γραμμικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
MINOS	Γραμμικός και μη γραμμικός προγραμματισμός
MINTO	Μικτός αθέραιος προγραμματισμός
MOSEK	Γραμμικός, μικτός αθέραιος, τετραγωνικός, κωνικός και κυρτός μη γραμμικός προγραμματισμός
SCIP	Μικτός αθέραιος προγραμματισμός
SNOPT	Μη γραμμικός προγραμματισμός
Sulum	Γραμμικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
WORHP	Μη γραμμικός προγραμματισμός
XA	Γραμμικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός
XPRESS	Γραμμικός, τετραγωνικός και μικτός αθέραιος προγραμματισμός

6.2 Εντολές

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά :

1. Οι πιο συχνά χρησιμοποιημένες και πιο σημαντικές εντολές της AMPL
2. Τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την περάτωση της εργασίας

Παρακάτω περιγράφονται οι συχνότερες και σημαντικότερες εντολές.

Αρχείο .mod

param : Με την εντολή param δηλώνουμε τις παραμέτρους του προγράμματος δηλαδή τα στοιχεία τα οποία είναι δεδομένα.

set : Με την εντολή set ομαδοποιούμε δεδομένα τοποθετώντας τα δείκτες ώστε να είναι πιο εύκολα προσβάσιμα.

let : Με την εντολή let μας επιτρέπεται να αλλάξουμε μια συγκεκριμένη τιμή των δεδομένων μας ενώσω το μοντέλο μας παραμένει το ίδιο χωρίς να αλλάξουμε τίποτα.

var : Με την εντολή var δηλώνουμε τις μεταβλητές απόφασης του προγράμματος δηλαδή στοιχεία τα οποία είναι ζητούμενα.

maximize/minimize : Εντολές ζωτικής σημασίας που υποδεικνύουν ποια εντολή ή μαθηματική παράσταση θα μεγιστοποιηθεί/ελαχιστοποιηθεί και μας δίνει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Δίπλα από τις εντολές αυτές αναγράφεται το όνομα της αντικειμενικής συνάρτησης π.χ.minimize_cost.

subject to : Με την εντολή subject to περιγράφονται μαθηματικά οι περιορισμοί(constraints) που πρόκειται να έχει το πρόβλημα και είναι είτε της μορφής ανισότητας ή ισότητας. Δίπλα από το subject to αναγράφεται το όνομα του περιορισμού, λ.χ. subject to Available_Budget, κτλ.

Αρχείο .run

Ενδεικτικά και μόνο παρουσιάζονται κάποιες από τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία στο αρχείο .run

option solver όνομα λύτη : Με την εντολή αυτή επιλέγουμε τον λύτη με τον οποίο θέλουμε να λύσουμε το πρόβλημα μας (π.χ.CPLEX). Σε περίπτωση παράλειψης αυτής της εντολής το πρόγραμμα της AMPL λύνει το πρόβλημα με τον default λύτη MINOS.

solve : Η εντολή που θέτει σε λειτουργία την διαδικασία υλοποίησης του προβλήματος.

expand : Προαιρετική εντολή που εξαπλώνει-αναλύει βήμα προς βήμα την κάθε λεπτομέρεια της λύσης του προβλήματος και κάνει πιο εύκολη την διαδικασία εύρεσης συντακτικών λαθών.

display : Με την εντολή αυτή δηλώνουμε στο πρόγραμμα την εκτύπωση των μεταβλητών που επιθυμούμε(Αποτελέσματα).

option omit_zero_cols : Στην εντολή αυτή εάν δεν βάλουμε 0, τότε παραλείπει όλες τις μηδενικές

στήλες από την οθόνη για εξοικονόμηση χώρου και χρόνου.

`option omit_zero_rows` : Παρόμοια εντολή με την παραπάνω με την διαφορά ότι παραλείπει όλες τις μηδενικές γραμμές.

`for` : Δημιουργία επαναληπτικής δομής.

`printf` : Εντολή εξόδου παρόμοια με την `display` με την διαφορά ότι επιτρέπει μορφοποιημένη και επιλεγμένη μορφοποίηση των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο μεικτού ακεραίου προγραμματισμού με σκοπό τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων παραγωγής της εταιρίας της εταιρίας της μελέτης περίπτωσης μας, μιας εταιρίας εμφιάλωσης μεταλλικού νερού στη Βόρεια Ελλάδα. Η ουσία αυτού του μοντέλου είναι να παρέχει στην επιχείρηση το βέλτιστο πλάνο προγραμματισμού του διαθέσιμου ανθρώπινου δυναμικού και βαρδιών για να καταναίμει βέλτιστα το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό της και ταυτόχρονα να έχει τις ελάχιστες πιθανές ανενεργές ανθρωποώρες και το ελάχιστον δυνητικό απόθεμα στις αποθήκες της.

Μερικά από τα οφέλη που προέκυψαν από την ανάπτυξη του προτεινόμενου μοντέλου είναι ότι η εταιρεία πλέον μπορεί να διαθέτει έναν αυτοματοποιημένο και γρήγορο τρόπο σχεδιασμού της κατανομής του ανθρώπινου δυναμικού της. Επιπλέον έχει το πλεονέκτημα της ευελιξίας σε ξαφνικές και απρόοπτες αλλαγές όπως οι ασθένειες των εργαζομένων κλπ. που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα αφού το μοντέλο μας μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα και σχετικά γρήγορα σε τέτοιου είδους αλλαγές.

Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι η επιχείρηση εκμεταλλεύεται το ανθρώπινο δυναμικό της στο έπακρο, αυτό οδηγεί, κατά συνέπεια, στην ικανοποίηση της ζήτησης των προϊόντων της και στην ικανοποίηση των εργαζομένων της, δεδομένου ότι οι πιθανές υπερωρίες τους ελαχιστοποιούνται. Επιπλέον, επειδή το βέλτιστο πλάνο ελαχιστοποιεί εκτός από τις ώρες αδράνειας, αλλά και την επιπλέον περίσσια παραγωγή, αυτό με την σειρά του οδηγεί σε λιγότερη χρήση των μηχανημάτων, γεγονός που οδηγεί σε λιγότερο συχνές συντηρήσεις των μηχανημάτων, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους και, τέλος, σε λιγότερη ρύπανση περιβάλλοντος.

7.2 Μελλοντική Έρευνα

Μια ενδιαφέρουσα μελλοντική κατεύθυνση θα ήταν να προστεθούν περισσότερες απαιτήσεις στο υπάρχον μοντέλο, όπου θα λαμβάνονταν υπόψη και άλλοι παράγοντες. Επιπλέον ένα πολύ ενδιαφέρον κομμάτι της έρευνας μας έγκειται στην παραγωγική ικανότητα για κάθε προϊόν. Στην έρευνά μας θεωρούμε ότι οι τιμές των παραγωγικών ικανοτήτων είναι σταθερές και γνωστές εκ των προτέρων, ωστόσο λόγω κάποιας αποτυχίας των μηχανών ή άλλων εξωτερικών παραγόντων που συμβαίνουν πολύ συχνά σε επιχειρήσεις παραγωγής προϊόντων οι τιμές αυτές αλλάζουν και είναι πλέον άγνωστες, οπότε εκτός από το ότι θα ήταν ενδιαφέρον, θα ήταν επίσης και πολύ σημαντικό να προσθέσουμε στοχαστικότητα σε αυτή την παράμετρο καθιστώντας έτσι ένα στοχαστικό μοντέλο έναντι του ντετερμινιστικού που έχουμε τώρα.

Επίσης εξίσου σημαντικό, δεδομένου ότι η εταιρεία της μελέτης περίπτωσης μας είναι μια εταιρεία παραγωγής η οποία εκτός από τον ανθρώπινο παράγοντα χρησιμοποιεί μηχανές και στην παραγωγική της διαδικασία θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί η εκπομπή των ρύπων των μηχανημάτων. Ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό είναι ότι θεωρούμε ότι η προστασία του περιβάλλοντος είναι ένα σοβαρό και πολύ σημαντικό ζήτημα το οποίο κάθε εταιρεία παραγωγής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και εξετάζοντας περαιτέρω αυτόν τον στόχο, στοχεύουμε να μάθουμε τις κατά προσέγγιση τιμές της ρύπανσης στο περιβάλλον που αποφεύγονται κάνοντας χρήση του βέλτιστου πλάνου που μας δίνει το μοντέλο.

Τέλος μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προοπτική του προγραμματισμού του μοντέλου της εργασίας σε μια open source γλώσσα προγραμματισμού, καθώς έτσι θα μπορούν να παρέχονται οι δυνατότητες τόσο του μοντέλου αλλά και της γλώσσας προγραμματισμού δωρεάν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Αναφορά αποτελεσμάτων

```
>ampl thesis.run
CPLEX 12.1.0: optimal integer solution; objective 9981
1197 MIP simplex iterations
=====
Day = i1 = 1

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1         3         1
;

=====
Day = i1 = 1

Gender = i2 = 2

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1         13        1
;

=====
Day = i1 = 2

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1         8         1
```

```

1 5      1      1
2 5      1      1
;

=====

Day = i1 = 2

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      8      1
1 5      2      1
2 5      4      1
;

=====

Day = i1 = 3

Gender = i2 = 1

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      5      1
1 5      3      1
2 5      1      1
;

=====

Day = i1 = 3

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      11     1
1 5      0      1
2 5      4      1
;

=====

Day = i1 = 4

Gender = i2 = 1

```

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      10      1
;
```

=====

Day = i1 = 4

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      6      1
;
```

=====

Day = i1 = 5

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 2      3      1
2 2      7      1
;
```

=====

Day = i1 = 5

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 2      8      1
2 2      4      1
;
```

=====

Day = i1 = 6

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      3      1
```

```

;

=====
Day = i1 = 6

Gender = i2 = 2

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1         13         1
;

=====
Day = i1 = 7

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 4         3         1
2 4         3         1
;

=====
Day = i1 = 7

Gender = i2 = 2

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 4         7         1
2 4         7         1
;

=====
Day = i1 = 8

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 5         1         1
2 5         1         1
;

```

```

=====
Day = i1 = 8

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 5      4      1
2 5      4      1
;

```

```

=====
Day = i1 = 9

Gender = i2 = 1

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      10      1
;

```

```

=====
Day = i1 = 9

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      6      1
;

```

```

=====
Day = i1 = 10

Gender = i2 = 1

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=
1 1      10      1
;

```

```

=====
Day = i1 = 10

Gender = i2 = 2

```

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      6      1  
;
```

=====

Day = i1 = 11

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      10     1  
;
```

=====

Day = i1 = 11

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      6      1  
;
```

=====

Day = i1 = 12

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 5      5      1  
2 5      5      1  
;
```

=====

Day = i1 = 12

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 5      0      1  
2 5      0      1
```

```

;

=====
Day = i1 = 13

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 2       3           1
2 2       7           1
;

=====
Day = i1 = 13

Gender = i2 = 2

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 2       8           1
2 2       4           1
;

=====
Day = i1 = 14

Gender = i2 = 1

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1       10          1
;

=====
Day = i1 = 14

Gender = i2 = 2

:   x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]   :=
1 1       6           1
;

=====

```


Day = i1 = 15

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      3      1  
;
```

=====

Day = i1 = 15

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      13      1  
;
```

=====

Day = i1 = 16

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      5      1  
1 5      3      1  
2 5      1      1  
;
```

=====

Day = i1 = 16

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      11      1  
1 5      0      1  
2 5      4      1  
;
```

=====

Day = i1 = 17

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 5      1      1  
2 5      5      1  
;
```

=====

Day = i1 = 17

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 5      4      1  
2 5      0      1  
;
```

=====

Day = i1 = 18

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      10     1  
;
```

=====

Day = i1 = 18

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      6      1  
;
```

=====

Day = i1 = 19

Gender = i2 = 1

```

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]  :=
1 1      10      1
;

=====

Day = i1 = 19

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]  :=
1 1      6      1
;

=====

Day = i1 = 20

Gender = i2 = 1

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]  :=
1 1      10      1
;

=====

Day = i1 = 20

Gender = i2 = 2

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]  :=
1 1      6      1
;

=====

Day = i1 = 21

Gender = i2 = 1

:  x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4]  :=
1 1      10      1
;

=====

```

Day = i1 = 21

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 1      6      1  
;
```

=====

Day = i1 = 22

Gender = i2 = 1

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 3      10      1  
;
```

=====

Day = i1 = 22

Gender = i2 = 2

```
: x[i1,i2,i3,i4] z[i1,i3,i4] :=  
1 3      1      1  
;
```

total_Production [*] :=

```
1 75000  
2 22400  
3 3000  
4 6000  
5 42000  
;
```

idle_manHours = 181

>Exit code: 0

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Al-Yakoob, S. and H. Sherali (2008). A column generation approach for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Journal of the Operational Research Society* 59, 34–43.
- Aliev, R., B. Fazlollahi, B. Guirimov, and R. Aliev (2007). Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management. *Information Sciences* 177, 4241–4255.
- Artigues, C., M. Gendreau, L.-M. Rousseau, and A. Vergnaud (2009). Solving an integrated employee timetabling and job-shop scheduling problem via hybrid branch-and-bound. *Computers & Operations Research* 36, 2330–2340.
- Ásgeirsson, E. I. (2014). *Bridging the gap between self schedules and feasible schedules in staff scheduling*, pp. 51–69. ;: Springer.
- Bard, J. (2004). Selecting the appropriate input data set when configuring a permanent workforce. *Computers & Industrial Engineering* 47, 371–389.
- Bard, J. F., C. Binici, and A. H. deSilva (2003). Staff scheduling at the united states postal service. *Computers & Operations Research* 30:5, 745–771.
- Barnhart, C., A. M. Cohn, E. L. Johnson, D. Klabjan, G. L. Nemhauser, and P. H. Vance (2003). *Airline Crew Scheduling*, pp. 517–560. Boston, MA: Springer US.
- Bollapragada, R., F. Della Croce, and M. Ghirardi (2011). Discrete-time, economic lot scheduling problem on multiple, non-identical production lines. *European Journal of Operational Research* 215, 89–96.
- Boysen, N., M. Fliedner, and A. Scholl (2009). Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research* 192, 349–373.
- Brucker, P., R. Qu, and E. Burke (2011). Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research* 210, 467–473.

- Brunner, J. O., J. F. Bard, and R. Kolisch (2010). Midterm scheduling of physicians with flexible shifts using branch and price. *IIE Transactions* 43:2, 84–109.
- Burke, E., P. De Causmaecker, G. Vanden Berghe, and H. Van Landeghem (2004). The state of the art of nurse rostering, journal of scheduling. *Journal of Scheduling* 7, 441–499.
- Castillo, I., T. Joro, and Y. Y. Li (2009). Workforce scheduling with multiple objectives. *European Journal of Operational Research* 196, 162–170.
- Chen, M.-S. and C.-H. Lan (2001). The maximal profit flow model in designing multiple-production-line system with obtainable resource capacity. *International Journal of Production Economics* 70:2, 175–184.
- Cunha, J. O., I. Konstantaras, R. A. Melo, and A. Sifaleras (2017). On multi-item economic lot-sizing with remanufacturing and uncapacitated production. *Applied Mathematical Modelling* 43, 678–686.
- Ernst, A., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, and D. Sier (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research* 153, 3–27.
- Ertogral, K. and B. Bamuqabel (2008). Developing staff schedules for a bilingual telecommunication call center with flexible workers. *Computers & Industrial Engineering* 54, 118–127.
- Fourer, R., D. M. Gay, and K. B. W. (2002). *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*, Volume 2nd Edition. Duxbury Press.
- Gomar, G. E., C. T. Haas, and D. P. Morton (2002). Assignment and allocation optimization of partially multiskilled workforce. *Journal of construction Engineering and Management* 128:2, 103–109.
- Guyon, O., P. Lemaire, E. Pinson, and D. Rivreau (2010). Cut generation for an integrated employee timetabling and production scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 201, 557–567.
- Hanna, A. S., C.-K. Chang, K. T. Sullivan, and J. A. Lackney (2008). Impact of shift work on labor productivity for labor intensive contractor. *Journal of construction engineering and management* 134:3, 197–204.
- Johnson, L. A. and D. C. Montgomery (1974). *Operations research in production planning, scheduling, and inventory control*, Volume 6. New York: Wiley.
- Jones, C. and K. Nolde (2013). Demand driven employee scheduling for the swiss market.

- Jun, D. H. and K. El-Rayes (2010). Optimizing the utilization of multiple labor shifts in construction projects. *Automation in Construction* 19, 109–119.
- Kohl, N. and S. E. Karisch (2004). Airline crew rostering: Problem types, modeling, and optimization. *Annals of Operations Research* 127:1, 223–257.
- Lan, C.-H. (2001). The design of multiple production lines under deadline constraint. *International Journal of Production Economics* 106:1, 191–203.
- Leung, S. C. and S. S. Chan (2009). A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers & Industrial Engineering* 56, 1053–1064.
- Li, C., F. Liu, H. Cao, and Q. Wang (2009). A stochastic dynamic programming based model for uncertain production planning of re-manufacturing system. *International Journal of Production Research* 47:13, 3657–3668.
- Lin, Y.-K. and P.-C. Chang (2012). Reliability evaluation for a manufacturing network with multiple production lines. *Computers & Industrial Engineering* 63, 1209–1219.
- Malhotra, M. K. and L. P. Ritzman (1994). The operational airline crew scheduling problem. *Production and Operations Management* 3:2, 100–117.
- Mathematical model (2017). Mathematical model — Wikipedia, the free encyclopedia. [Online; accessed 26-June-2017].
- Meyr, H. and M. Mann (2013). A decomposition approach for the general lotsizing and scheduling problem for parallel production lines. *European Journal of Operational Research* 229, 718–731.
- Morton, D. P. and E. Popova (2004). A bayesian stochastic programming approach to an employee scheduling problem. *IIE Transactions* 36:2, 155–167.
- Mula, J., R. Poler, J. García-Sabater, and F. Lario (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics* 103:1, 271–285.
- Nenes, G. and Y. Nikolaidis (2012). A multi-period model for managing used product returns. *International Journal of Production Research* 50:5, 1360–1376.
- Operations research (2017). Operations research — Wikipedia, the free encyclopedia. [Online; accessed 26-June-2017].

- Paquet, M., A. Martel, and B. Montreuil (2008). A manufacturing network design model based on processor and worker capabilities. *International Journal of Production Research* 46:7, 2009–2030.
- Peterson, R. and E. A. Silver (1979). *Decision systems for inventory management and production planning*, Volume 3. New York: Wiley.
- Pochet, Y. and W. A. Laurence (2006). *Production planning by mixed integer programming*. Springer Science & Business Media.
- Production planning (2017). Production planning — Wikipedia, the free encyclopedia. [Online; accessed 26-June-2017].
- Rekik, M., J.-F. Cordeau, Soumis, and François (2010). *Implicit shift scheduling with multiple breaks and work stretch duration restrictions*, pp. 49–75. ,: Springer.
- Sabar, M., B. Montreuil, and J. Frayret (2008). Competency and preference based personnel scheduling in large assembly lines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 21:4, 468–479.
- Sagnak, M. and Y. Kazancoglu (2015). Shift scheduling with fuzzy logic: an application with an integer programming model. *Procedia Economics and Finance* 26, 827–832.
- Salomon, M. (2013). *Deterministic Lotsizing Models for Production Planning*, Volume 355. Springer Science & Business Media.
- Sifaleras, A. and I. Konstantaras (2017). Variable neighborhood descent heuristic for solving reverse logistics multi-item dynamic lot-sizing problems. *Computers and Operations Research* 78, 385–392.
- Stojković, M., F. Soumis, and J. Desrosiers (1998). The operational airline crew scheduling problem. *Transportation Science* 32:3, 232–245.
- Voß, S. and D. L. Woodruff (2006). *Introduction to computational optimization models for production planning in a supply chain*, Volume 240. Springer Science & Business Media.
- Zhang, X., M. Prajapati, and E. Peden (2011). A stochastic production planning model under uncertain seasonal demand and market growth. *International Journal of Production Research* 49:7, 1957–1975.