



Πανεπιστήμιο Πειραιά
Τμήμα Βιομηχανικής
Διοίκησης & Τεχνολογίας



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Τίτλος Εργασίας

Σχεδιασμός και Μελέτη ενός Συστήματος
Υποστήριξης Αποφάσεων για την Ελαχιστοποίηση του
Κόστους Παραγωγής μιας Βιομηχανικής Μονάδας

Η εργασία υποβάλλεται για τη μερική κάλυψη των απαιτήσεων
με στόχο την απόκτηση του διπλώματος

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην
«Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων»
με ειδίκευση Logistics

Μπάλος Κωνσταντίνος

Επιβλέπων:

Επ. Καθηγητής Χονδροκούκης Γρ.

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	I
Περίληψη	II
Θεωρητικό Μέρος	1
Κεφάλαιο 1 : Γραμμικός Προγραμματισμός	2
1.1 Εισαγωγή στο Γραμμικό Προγραμματισμό	3
1.2 Διατύπωση Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού	5
1.2.1 Κατανόηση του Προβλήματος και Ορισμός Μεταβλητών	5
1.2.2 Ορισμός της Αντικειμενικής Συνάρτησης	6
1.2.3 Ορισμός των Περιορισμών	6
1.2.4 Εξέταση των Προϋποθέσεων	7
1.3 Λύση Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού	8
1.3.1 Οργάνωση του Μαθηματικού Προτύπου	9
1.3.2 Βασικές Αρχές της Μεθόδου Simplex	10
1.3.3 Διαμόρφωση του Πίνακα Simplex	10
1.3.4 Τα Βήματα του Μετασχηματισμού Simplex	11
1.3.5 Σκιάδεις Τιμές και Οικονομική Ερμηνεία τους	14
Κεφάλαιο 2 : Προγραμματισμός Παραγωγής	16
2.1 Συστήματα Παραγωγής	17
2.2 Συστήματα Αποφάσεων στο Σύγχρονο Εργοστάσιο	20
2.3 Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής	22
2.3.1 Πίνακες Υλικών	24
2.3.2 Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (MPS)	25
2.3.2.1 Κατάστρωση Κύριου Προγράμματος Παραγωγής	27
2.3.3 Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (MRP)	31
2.3.3.1 Στόχοι του MRP	32
2.3.3.2 Πληροφορίες Εισόδου και Εξόδου του MRP	32
2.3.3.3 Πολιτικές Καθορισμού Παρτίδων	34
2.3.3.4 Αδυναμίες ενός Συστήματος MRP	35
2.3.3.5 Πότε εφαρμόζεται η Μέθοδος MRP	37
2.3.3.6 Κατηγορίες Επιχειρήσεων / Χρηστών MRP	38
2.4 CRP & MRP II	38
2.4.1 Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (CRP)	38

2.4.2 Προγραμματισμός Παραγωγικών Πόρων (MRP II)	43
2.5 Αποθέματα	45
2.5.1 Σκοπός των Αποθεμάτων	45
2.5.2 Κατηγορίες Αποθεμάτων	46
2.5.3 Καθορισμός Ύψους Αποθέματος Ασφαλείας	47
Πρακτικό Μέρος	50
Κεφάλαιο 3 : Ανάπτυξη Μοντέλου Επίλυσης	51
3.1 Λίγα Λόγια για την Εταιρία	52
3.2 Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας	53
3.3 Διατύπωση Προβλήματος	58
3.4 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	86
3.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα	89
Κεφάλαιο 4 : Σενάρια – Προτάσεις	97
4.1 Σενάριο 1ο	98
4.1.1 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	116
4.1.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα	119
4.2 Σενάριο 2ο	124
4.2.1 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	139
4.2.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα	141
4.3 Σενάριο 3ο	149
4.3.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων & Συμπεράσματα	151
Επίλογος	153
Παράρτημα	155
Βιβλιογραφία	170

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν για την περάτωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς κ.Χονδροκούκη Γρηγόρη, για την επιλογή και την ανάθεση αυτής της εργασίας καθώς και για την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκειά της.

Επίσης τον Διευθυντή Μηχανοργάνωσης της Βιομηχανίας Παρασκευής Ορών ΒΙΟΣΕΡ Α.Ε. κ. Μπίλα Σταμάτη, για την παροχή όλων των δεδομένων για το πρακτικό μέρος της εργασίας, για το ενδιαφέρον και τη φιλική του διάθεση, τις πολύτιμες παρατηρήσεις του και τη συνεχή καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την εργασία στην γυναίκα μου Γιώτα, καθώς με τη δική της προτροπή ξεκίνησα αυτό το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα και είχα σ' όλη του τη διάρκεια την ηθική και ουσιαστική υποστήριξή της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αναφέρεται στο Σχεδιασμό και τη Μελέτη ενός Πληροφοριακού Μοντέλου για την Ελαχιστοποίηση του Κόστους Παραγωγής μιας Βιομηχανικής Μονάδας. Για τη παροχή των δεδομένων και την πρακτική εφαρμογή του Μοντέλου υπήρξε συνεργασία με Ελληνική Φαρμακευτική Εταιρία η οποία διαθέτει παραγωγική μονάδα.

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη, το θεωρητικό και το πρακτικό μέρος. Καθένα από αυτά τα μέρη διαθέτει 2 κεφάλαια. Τα κεφάλαια 1 & 2 αποτελούν το Θεωρητικό Μέρος και τα κεφάλαια 3 & 4 το Πρακτικό Μέρος της εργασίας.

Στο 1^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία του Γραμμικού Προγραμματισμού και η κύρια μέθοδος επίλυσης των προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, μέθοδος Simplex.

Το 2^ο Κεφάλαιο αναφέρεται στον Προγραμματισμό Παραγωγής και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα Συστήματα Παραγωγής και τα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής. Αναπτύσσονται τα βασικά υποσυστήματα ενός συστήματος MRP II (MPS, MRP, CRP) και παρουσιάζονται ο σκοπός & οι κατηγορίες των αποθεμάτων καθώς και ο τρόπος καθορισμού του ύψους αποθέματος ασφαλείας.

Στο 3^ο κεφάλαιο, αρχικά δίδονται κάποιες πληροφορίες για την εταιρία, περιγράφεται η παραγωγική διαδικασία αυτής, στη συνέχεια διατυπώνεται και επιλύεται το πρόβλημα και στο τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται 3 σενάρια – προτάσεις που προέκυψαν μετά από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της αρχικής λύσης του μοντέλου μας, με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ως προς τη χρήση του εξοπλισμού και την κατανομή του εργατικού δυναμικού. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς επίσης οι παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την επίλυση αυτών των σεναρίων ολοκληρώνουν αυτό το κεφάλαιο.

Τέλος στον επίλογο της εργασίας παρουσιάζεται η τελική πρόταση προς τη εταιρία, βάση της οποίας έχουμε το μικρότερο κόστος παραγωγής και ταυτόχρονα τη μικρότερη δυνατή απαίτηση σε ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού και σε αριθμό εργατικού δυναμικού.

Κεφάλαιο 1

Γραμμικός Προγραμματισμός

1.1 Εισαγωγή στο Γραμμικό Προγραμματισμό

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός (ΓΠ) είναι το σημαντικότερο μοντέλο λήψης αποφάσεων στο χώρο της Διοικητικής Επιστήμης και ίσως από τις σπουδαιότερες επιστημονικές ανακαλύψεις του αιώνα μας στην οικονομική επιστήμη. Το αντικείμενό του είναι η κατανομή περιορισμένων πόρων ανάμεσα σε διάφορες «ανταγωνιστικές» δραστηριότητες κατά τον άριστο δυνατό τρόπο. Σαν άριστος τρόπος ορίζεται εκείνος ο οποίος βελτιστοποιεί ένα στόχο (μια αντικειμενική συνάρτηση), π.χ. ελαχιστοποιεί το κόστος ή μεγιστοποιεί την απόδοση κ.λ.π.

Τέτοια προβλήματα παρουσιάζονται συχνά όταν πρόκειται να ληφθεί απόφαση οικονομικού προγραμματισμού, δηλαδή απόφαση σχετικά με το επίπεδο στο οποίο θα αναπτυχθούν ορισμένες οικονομικές δραστηριότητες οι οποίες “ανταγωνίζονται” μεταξύ τους για τους ίδιους πόρους.¹

Βέβαια ο όρος Προγραμματισμός όπως χρησιμοποιείται στην Επιχειρησιακή Έρευνα, δεν πρέπει να συγχέεται με τον προγραμματισμό ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στην ποσοτική ανάλυση και στο επιστημονικό management ο όρος προγραμματισμός περιλαμβάνει την ανάπτυξη και επίλυση μέσω μαθηματικών μοντέλων, διαφόρων επιχειρησιακών προβλημάτων. Ο ρόλος του ηλεκτρονικού υπολογιστή πάντως είναι πολύ σπουδαίος στην επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού αλλά και γενικότερα στην επίλυση προβλημάτων με χρήση των μεθοδολογιών της Επιχειρησιακής Έρευνας. Πολλά από τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού που προκύπτουν στην πράξη είναι τόσο πολύπλοκα που η επίλυσή τους είναι δυνατή μόνο μέσω ειδικών προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Μερικές από τις πιο γνωστές εφαρμογές γραμμικού προγραμματισμού στην επίλυση επιχειρησιακών προβλημάτων αναφέρονται παρακάτω:

- Καθορισμός προγράμματος παραγωγής σε μια βιομηχανία ώστε να επιτευχθεί η πιο αποτελεσματική χρήση εξοπλισμού και προσωπικού για τη μεγιστοποίηση των κερδών της.
- Καθορισμός χρονικού προγράμματος παραγωγής το οποίο θα ικανοποιήσει τη μελλοντική ζήτηση για συγκεκριμένο προϊόν ενώ συγχρόνως θα ελαχιστοποιήσει το κόστος παραγωγής και αποθήκευσης.

¹ Γρηγόρης Πραστάκος, Διοικητική Επιστήμη: Λήψη Επιχειρησιακών Αποφάσεων στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2000

- Ανάπτυξη ενός συστήματος διανομής το οποίο θα ελαχιστοποιήσει το κόστος μεταφοράς, ενώ συγχρόνως θα ικανοποιήσει τη ζήτηση στα κέντρα διανομής.
- Κατανομή δεδομένου προϋπολογισμού διαφήμισης στα διάφορα μέσα διαφήμισης (π.χ. ραδιόφωνο, τηλεόραση, εφημερίδες, περιοδικά κ.λ.π.) ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα της διαφημιστικής καμπάνιας.
- Προσδιορισμός του καλύτερου συνδυασμού εναλλακτικών επενδυτικών επιλογών με σκοπό την αύξηση της απόδοσης των επενδεδυμένων κεφαλαίων και την ταυτόχρονη μείωση του επενδυτικού ρίσκου.²

Εκτός από τους παραπάνω τομείς, υπάρχουν πολλοί άλλοι όπου υπάρχει ανάγκη οικονομικού προγραμματισμού και για τη λύση αυτών των προβλημάτων ο Γραμμικός Προγραμματισμός χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο αποτελείται από μεταβλητές απόφασης, μια αντικειμενική συνάρτηση και ένα σύνολο περιορισμών. Μεταβλητές ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού είναι οι δραστηριότητες τις οποίες μπορούμε να “αναπτύξουμε” (π.χ. γραμμές και ύψος παραγωγής ανά προϊόν, επενδύσεις ανά κατηγορία, κ.λ.π.) σε ποσότητες που πρόκειται να προσδιορισθούν με τη λύση του προβλήματος. Αντικειμενική συνάρτηση είναι εκείνη η οποία εκφράζει το αντικείμενο (π.χ. κόστος, κέρδος, πωλήσεις, κ.λ.π.) το οποίο επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε (να ελαχιστοποιήσουμε ή να μεγιστοποιήσουμε, ανάλογα το πρόβλημα). Οι περιορισμοί είναι ένα σύνολο αλγεβρικών ανισοτήτων ή ισοτήτων οι οποίες εκφράζουν τους περιορισμούς του επιχειρηματικού περιβάλλοντος και της τεχνολογίας μέσα στα οποία κινείται ο υπεύθυνος που αποφασίζει, π.χ. περιορισμοί δυναμικότητας, διαθεσιμότητα πρώτων υλών, τεχνολογίας, αγοράς, κ.λ.π.

Το μοντέλο αυτό ονομάζεται μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού γιατί:

- η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι γραμμικές συναρτήσεις ως προς τις άγνωστες μεταβλητές,
- οι άγνωστες μεταβλητές συνεχείς, δηλαδή μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα πραγματικών αριθμών, και
- η λύση του προβλήματος αποτελεί ένα πρόγραμμα για την (οικονομική συνήθως) δραστηριότητα την οποία θα αναπτύξει ο αποφασίζων.¹

² Παντελής Γ. Υψηλάντης, Επιχειρησιακή Έρευνα: Λήψη Επιχειρησιακών Αποφάσεων, Εκδόσεις Έλλην, Αθήνα 2002

1.2 Διατύπωση Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι ένα χρήσιμο βοήθημα για την αντιμετώπιση πολλών περίπλοκων προβλημάτων αποφάσεων. Όμως η “ποιότητα” των αποφάσεων αυτών, εξαρτάται απόλυτα από την ακρίβεια της περιγραφής της κατάστασης που μελετάται και από την καταλληλότητα του μοντέλου και των προϋποθέσεων ή απλουστεύσεων που επιβάλλει ο μελετητής ή το συγκεκριμένο μοντέλο.

Την διατύπωση ενός μοντέλου Γραμμικού Προγραμματισμού απαρτίζουν τα ακόλουθα επιμέρους βήματα:

- α) Κατανόηση του προβλήματος και ορισμός των μεταβλητών.
- β) Ορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης.
- γ) Ορισμός των περιορισμών.
- δ) Εξέταση των προϋποθέσεων του Γραμμικού Προγραμματισμού.

Τα βήματα αυτά ισχύουν για όλα τα προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού. Η δυσκολία κάθε βήματος και ο χρόνος που θα απαιτηθεί σε κάθε στάδιο διαφέρει από πρόβλημα σε πρόβλημα. Επίσης, τα βήματα αυτά δεν είναι “στεγανά” σαφώς διαχωρισμένα μεταξύ τους και το περιεχόμενό τους συχνά δεν είναι σαφώς καθορισμένο. Τέλος, πρέπει να γνωρίζουμε ότι η διατύπωση ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού μπορεί και να μην είναι μοναδική. Έτσι κατά τη διάρκεια της διατύπωσης ενός προβλήματος ίσως υπάρξει ανάγκη να επανέλθουμε σε προηγούμενο στάδιο και να αναθεωρήσουμε τις προϋποθέσεις που είχαν τεθεί και τα συμπεράσματα που είχαν εξαχθεί. Να επισημανθεί βέβαια ότι η επιτυχία της διατύπωσης εξαρτάται σε ένα βαθμό από τη φαντασία του μελετητή και από την πείρα του στη διατύπωση παρόμοιων προβλημάτων.¹

1.2.1 Κατανόηση του προβλήματος και ορισμός μεταβλητών

Το στάδιο αυτό είναι από τα πιο δύσκολα αφού αποτελεί προϋπόθεση για όλα τα επόμενα. Ο αναλυτής πρέπει να κατανοήσει καταρχήν ποιο είναι το πρόβλημα, να εξετάσει τα εναλλακτικά σχέδια δράσης, να ορίσει τις μεταβλητές (εξωγενείς, ελεγχόμενες) του προβλήματος, να θέσει τα ερωτήματα καθώς επίσης να ξεκαθαρίσει ποια δεδομένα (μέσα από τον μεγάλο όγκο δεδομένων στα οποία μπορεί να έχει πρόσβαση) είναι εκείνα που τον ενδιαφέρουν. Πολλές φορές στα στοιχεία υπάρχουν

ελλείψεις ή αντιφάσεις οπότε πρέπει να ασχοληθεί με ανάλογη συμπλήρωση, επαλήθευση ή επιλογή.¹

1.2.2 Ορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης

Το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού απαιτεί μία μοναδική αντικειμενική συνάρτηση. Πολλές φορές όμως υπάρχουν καταστάσεις στις οποίες μπορεί κανείς να διατυπώσει περισσότερους από ένα σκοπούς. Και μάλιστα, μερικοί από αυτούς τους σκοπούς να μην συμβιβάζονται με άλλους, όλοι τους δε να οδηγούν σε διαφορετική στρατηγική δράσης.

Ας πάρουμε για παράδειγμα μια επιχείρηση η οποία παράγει και πωλεί μια σειρά προϊόντων. Το τμήμα πωλήσεων της επιχείρησης ενδιαφέρεται για τον προσδιορισμό των προϊόντων τα οποία θα μεγιστοποιήσουν τις τρέχουσες ή μελλοντικές πωλήσεις του. Οι μέτοχοι της επιχείρησης ενδιαφέρονται για τον προσδιορισμό των προϊόντων τα οποία θα μεγιστοποιήσουν τα κέρδη. Το τμήμα παραγωγής ενδιαφέρεται για την καλύτερη απασχόληση του εργατικού δυναμικού κ.λ.π.

Σε τέτοιες περιπτώσεις ο μελετητής μπορεί να ακολουθήσει μία από τις ακόλουθες τακτικές:

- α) Να επιλέξει, σε συνδυασμό με τη διοίκηση και αφού εξετασθούν οι διαφορετικοί αντικειμενικοί σκοποί, τον σκοπό ο οποίος ενδιαφέρει περισσότερο ή πιο άμεσα.
- β) Να εκφράσει τους διάφορους επιμέρους στόχους, να τους απονεμίσει βάρη ανάλογα με τη σημασία τους και να υπολογίσει σαν αντικειμενική συνάρτηση το άθροισμα των γινομένων του κάθε επιμέρους στόχου επί το βάρος του.
- γ) Να επιλέξει τον πρωταρχικό σκοπό για αντικειμενική συνάρτηση, αλλά να εκφράσει τους άλλους σκοπούς σαν περιορισμούς όπου δεν θα επιτραπεί να “πέσουν” χαμηλότερα από ορισμένα όρια ανοχής.
- δ) Να χρησιμοποιήσει μεθόδους του προγραμματισμού στόχων (goal programming) με τις οποίες επιθυμούμε να ελαχιστοποιήσουμε το άθροισμα των αποκλίσεων του κάθε σκοπού από κάποιο στόχο.
- ε) Να χρησιμοποιήσει άλλη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης.¹

1.2.3 Ορισμός των περιορισμών

Ένα μεγάλο μέρος της επιτυχία του προτύπου του Γραμμικού Προγραμματισμού εξαρτάται από την ικανότητα του μελετητή να διατυπώσει με

ακρίβεια, συντομία και πληρότητα όλους τους περιορισμούς οι οποίοι είναι σχετικοί με την κατάσταση που μελετάται. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να περιλαμβάνουν περιορισμούς δυναμικότητας (παραγωγής, αγοράς, κ.λ.π.), τεχνολογίας, διαθεσιμότητας πρώτων υλών, νομικούς ή θεσμικούς, κ.α. Πρέπει όμως να προσέξουμε ώστε να περιλάβουμε μόνο τους άμεσα σχετικούς περιορισμούς, αυτούς δε να τους εκφράσουμε με συντομία και ακρίβεια.¹

1.2.4 Εξέταση των προϋποθέσεων

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να διατυπωθεί ένα μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού είναι οι εξής : α) Γραμμικότητα, β) Διαιρετότητα και γ) Βεβαιότητα.

α . Γραμμικότητα

Όλες οι συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί) πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές x_1, x_2, \dots, x_n . Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ισχύουν οι ιδιότητες της αναλογικότητας και της προσθετικότητας, δηλαδή αν ψ μια συνάρτηση μεταβλητών και a_1, a_2, \dots, a_n είναι σταθερές, πρέπει να ισχύει:

$$\psi(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n) = a_1\psi(x_1) + a_2\psi(x_2) + \dots + a_n\psi(x_n)$$

Η προϋπόθεση της γραμμικότητας είναι πολύ σημαντική και πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα. Μερικές σχέσεις όπως παρουσιάζονται στην πραγματικότητα είναι μη γραμμικές, παρουσιάζοντας οικονομίες κλίμακας ή σταθερά κόστη. Για παράδειγμα η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενός προϊόντος μπορεί να προκαλέσει ουσιαστική μείωση στο κόστος των πρώτων υλών αν ισχύουν ποσοτικές αγοραστικές εκπτώσεις. Χρησιμοποιώντας τον Γραμμικό Προγραμματισμό θα πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι η προϋπόθεση της γραμμικότητας ισχύει.

Άλλες πάλι σχέσεις είναι τμηματικά γραμμικές (piecewise linear). Για παράδειγμα, ο μισθός ενός ωρομίσθιου υπαλλήλου για τις πρώτες 8 ώρες δουλειάς την ημέρα υπολογίζεται με βάση ένα βασικό ωριαίο μισθό επί τον αριθμό ωρών. Για τις 2 πρώτες ώρες υπερωρίας, ο ωριαίος μισθός του θα μπορούσε να είναι 150% του βασικού, για όλες τις μετέπειτα ώρες να είναι 200% του βασικού.

Ένα επακόλουθο της γραμμικότητας είναι ότι δεν επιτρέπεται “αλληλεπίδραση” μεταξύ των δραστηριοτήτων (εκτός βέβαια από το ότι συναγωνίζονται για τους ίδιους πόρους). Για παράδειγμα, αν κάθε δραστηριότητα

χρησιμοποιεί μια πρώτη ύλη, η συνολικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα της πρώτης ύλης ισούται με το άθροισμα των επιμέρους απαιτήσεων από την κάθε δραστηριότητα.

Πάντως σε πολλές περιπτώσεις όπου δεν ισχύει απόλυτα η προϋπόθεση της γραμμικότητας μπορεί να γίνει αρκετά καλή προσέγγιση με γραμμικές συναρτήσεις οι οποίες λύνουν το πρόβλημα.

β. Διαιρετότητα

Το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού προϋποθέτει ότι κάθε δραστηριότητα (δηλ. μεταβλητή) είναι συνεχής και επομένως άπειρα διαιρετή. Αυτό συνεπάγεται ότι όλα τα επίπεδα δραστηριοτήτων και όλες οι χρήσεις πόρων επιτρέπεται να πάρουν κλασματικές ή ακέραιες τιμές. Για παράδειγμα, οι ώρες λειτουργίας μιας μηχανής ή τα γαλόνια πετρελαίου που θα παραχθούν από το διυλιστήριο μπορούν να πάρουν κλασματικές τιμές. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, όπως ο αριθμός των προϊόντων τα οποία θα παράγει μια μηχανή όπου έχουν νόημα μόνο ακέραιοι αριθμοί. Σε αυτές τις περιπτώσεις, στις οποίες δεν ισχύει η υπόθεση της διαιρετότητας υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: 1) Να αγνοηθεί η υπόθεση αυτή, δηλαδή να λυθεί το πρόβλημα σαν πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού, οι δε τιμές των μεταβλητών να “στρογγυλευθούν” στην κοντινότερη ακέραια μονάδα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως όταν οι τιμές των μεταβλητών είναι σχετικά μεγάλες (πάνω από 15). 2) Όταν οι τιμές των μεταβλητών είναι μικρές (π.χ 0 ή 1, όπως σε πολλά προβλήματα επενδύσεων) τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές του Ακέραιου Προγραμματισμού.

γ. Βεβαιότητα

Το πρότυπο του Γραμμικού Προγραμματισμού προϋποθέτει ότι όλες οι παράμετροι του προβλήματος είναι γνωστές με απόλυτη βεβαιότητα. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τις διαθεσιμότητες των πρώτων υλών, τη συνεισφορά κάθε δραστηριότητας στη συνάρτηση σκοπού και τις χρήσεις (αναλογίες) των πόρων (πρώτων υλών) για την επίτευξη των δραστηριοτήτων.¹

1.3 Λύση Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού

Η κύρια μέθοδος λύσης προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού είναι η μέθοδος Simplex την οποία ανακάλυψαν οι G. Dantzing, A.Charnes κ.α. Από την εποχή της ανακάλυψής της (γύρω στο 1950) μέχρι σήμερα διάφοροι ερευνητές έχουν τροποποιήσει την αρχική μέθοδο ή έχουν αναπτύξει παραλλαγές της. Έτσι, εκτός από την κλασική μέθοδο (τη λεγόμενη primal simplex), υπάρχουν σήμερα αρκετοί ειδικοί

αλγόριθμοι για ειδικές μορφές προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, όπως τα προβλήματα δικτύων, κ.α. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι ο αλγόριθμος “εσωτερικού σημείου” του Karmarkar, οι αλγόριθμοι για το πρόβλημα μεταφορών, κ.α.

Η μέθοδος Simplex είναι ένας αλγόριθμος αριστοποίησης, δηλαδή καταλήγει στην άριστη λύση του προβλήματος. Χαρακτηρίζεται από ένα μικρό αριθμό επαναλαμβανόμενων βημάτων τα οποία μπορούν εύκολα να “κωδικοποιηθούν” στον Η/Υ. Λόγω της επιτυχίας της μεθόδου Simplex, καθώς και του μεγάλου εύρους των εφαρμογών, ο Γραμμικός Προγραμματισμός θεωρείται σαν ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία για τη λήψη των αποφάσεων στις σημερινές επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Η μεγαλύτερη χρήση του Γραμμικού Προγραμματισμού γίνεται σήμερα με βάση τον Η/Υ. Εκτός από απλά παραδείγματα για την επίδειξη και κατανόηση της μεθόδου, όλα σχεδόν τα προβλήματα ρεαλιστικού μεγέθους απαιτούν τη χρήση έτοιμων προγραμμάτων (πακέτων). Τα πακέτα αυτά χρησιμοποιούν τη μέθοδο simplex (ή κάποια παραλλαγή της) σαν τον κύριο κορμό του προγράμματος και έχουν προσθέσει στην αρχή και το τέλος ειδικές εντολές (ή ρουτίνες) εισόδου και εξόδου.³

1.3.1 Οργάνωση του μαθηματικού προτύπου

Πριν από την εκτέλεση της μεθόδου Simplex για τη λύση του προβλήματος είναι απαραίτητη η διεξαγωγή ορισμένων προκαταρκτικών ενεργειών, οι οποίες ουσιαστικά μετατρέπουν τη γραφική μέθοδο σε μια ευχάριστη υπολογιστική διαδικασία. Η προπαρασκευαστική αυτή οργάνωση του μαθηματικού προτύπου του Γραμμικού Προγραμματισμού μπορεί να συνοψισθεί στα ακόλουθα στάδια:

- 1) Μετατροπή της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών δομής και μη αρνητικότητας στη μορφή που υπαγορεύει το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού.
- 2) Μετατροπή των περιορισμών δομής που αποτελούν ανισότητες ή ανισοϊσότητες σε ισοδύναμες ισότητες. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο αριστερό σκέλος κάθε περιορισμού i μιας νέας μη αρνητικής μεταβλητής (slack variable) s_i . Για παράδειγμα αν έχουμε έναν περιορισμό της μορφής $x_1 + x_2 \leq 36$ με την προσθήκη μιας μεταβλητής s_1 γίνεται ισότητα της μορφής $x_1 + x_2 + s_1 = 36$.³

³ Βασίλης Κώστογλου, Επιχειρησιακή Έρευνα: Μεθοδολογία, Εφαρμογές & Προβλήματα, Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2004

1.3.2 Βασικές αρχές της μεθόδου Simplex

Η μέθοδος Simplex είναι μια κλασική αλγεβρική επαναληπτική διαδικασία, κατά την εφαρμογή της οποίας δεν απαιτούνται από το χρήστη ιδιαίτερες θεωρητικές γνώσεις. Ωστόσο η γνώση των βασικών αρχών της είναι απαραίτητη, τόσο στην ερμηνεία και στην κατανόησή της, όσο και στην κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της καθώς και στην κατανόηση της έννοιας και της σημασίας της ανάλυσης ευαισθησίας των προβλημάτων του Γραμμικού Προγραμματισμού.

Οι σπουδαιότεροι ορισμοί και αρχές, από τις οποίες διέπεται η μέθοδος Simplex είναι οι ακόλουθοι:

- **Επαυξημένη λύση** είναι μία λύση του προβλήματος με τους περιορισμούς στην μορφή των αρχικών ανισοτήτων, η οποία έχει προσαυξηθεί με τις αντίστοιχες τιμές των ψευδομεταβλητών ($x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$), έτσι ώστε οι περιορισμοί να πάρουν τη μορφή εξισώσεων. Η επαυξημένη λύση έχει $n + m$ μεταβλητές
- **Βασική λύση** είναι μία επαυξημένη ακραία λύση. Κάθε βασική λύση περιέχει συνολικά $m + n$ μεταβλητές. Από αυτές οι n μεταβλητές είναι ίσες με το μηδέν και ονομάζονται *μη βασικές μεταβλητές* και οι υπόλοιπες m μεταβλητές ονομάζονται *βασικές μεταβλητές*, είναι μη μηδενικές και αποτελούν τη συμβιβαστική λύση του συστήματος των m εξισώσεων του προβλήματος με όλους τους περιορισμούς σε μορφή εξισώσεων, αφού τεθούν οι μη βασικές μεταβλητές ίσες με μηδέν.
- **Βασική δυνατή/εφικτή λύση** είναι μια βασική λύση στην οποία οι βασικές μεταβλητές είναι θετικές. Όταν έστω και μία από αυτές τις m βασικές μεταβλητές είναι ίση με μηδέν τότε η λύση ονομάζεται *εκφυλισμένη*.³

1.3.3 Διαμόρφωση του Πίνακα Simplex

Η διαδικασία που οδηγεί στη βέλτιστη λύση μπορεί να συστηματικοποιηθεί πιο αποτελεσματικά αν παρασταθεί με τη μορφή διαδοχικών πινάκων. Καθένας από αυτούς αντιστοιχεί σε ένα στάδιο της μεθοδολογίας και ονομάζεται πίνακας Simplex. Κάθε πίνακας περιέχει όλα τα στοιχεία του προβλήματος που αντιπροσωπεύουν στο αντίστοιχο στάδιο της διαδικασίας και είναι απαραίτητα για τη μετάβαση στο επόμενο πλησιέστερο στην άριστη λύση στάδιο. Τα στοιχεία, τα οποία περιλαμβάνονται στον πίνακα Simplex είναι τα εξής:

- Οι συμβολισμοί όλων των μεταβλητών που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία οργάνωσης του μαθηματικού προτύπου.
- Οι συντελεστές όλων των μεταβλητών στην αντικειμενική συνάρτηση.

- Οι συντελεστές όλων των μεταβλητών σε κάθε περιορισμό.
- Τα δεξιά μέλη των περιορισμών δομής.
- Οι συμβολισμοί των βασικών μεταβλητών.
- Η αξία της αντικειμενικής συνάρτησης με τις τρέχουσες τιμές των βασικών μεταβλητών.

Η αρχική μορφή του γενικού μαθηματικού προτύπου του Γραμμικού Προγραμματισμού με τη χρήση της μεθόδου Simplex παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1. Γενική μορφή αρχικού πίνακα Simplex

Βάση	x_1	x_2	...	x_n	x_{n+1}	...	x_{n+m}	Δεξιό μέλος
x_{n+1}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	1	...	0	b_1
x_{n+2}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	0	...	0	b_2
...
x_{n+m}	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	0	...	1	b_m
-f	c_1	c_2	...	c_n	0	...	0	0

όπου

- x_1, x_2, \dots, x_n : οι φυσικές μεταβλητές του προβλήματος,
- $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$: οι πρόσθετες μεταβλητές,
- b_1, b_2, \dots, b_m : τα δεξιά μέλη των περιορισμών,
- $c_1, c_2, \dots, c_n, 0, \dots, 0$: οι συντελεστές όλων των μεταβλητών στη συνάρτηση,
- $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nm}$: ο πίνακας των συντελεστών των φυσικών μεταβλητών στους περιορισμούς,
- 1, 0, ..., 1 : ο μοναδιαίος πίνακας των συντελεστών των βασικών μεταβλητών στους περιορισμούς.³

1.3.4 Τα βήματα του μετασχηματισμού Simplex

Μετά τη διαμόρφωση ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού και την κατάστροψη του μαθηματικού προτύπου στη μορφή του αρχικού πίνακα Simplex ακολουθεί η κυρίως μεθοδολογία προσδιορισμού της άριστης λύσης. Είναι μία επαναληπτική διαδικασία που παριστάνεται από ένα μαθηματικό αλγόριθμο. Ακολουθεί η περιγραφή και ανάλυση των βημάτων της αλγοριθμικής διαδικασίας της μεθόδου Simplex για επίλυση προβλημάτων μεγιστοποίησης.

α) Επιλογή της μεταβλητής που θα εισέλθει στη βάση.

Υποψήφιες μεταβλητές για είσοδο στην τρέχουσα λύση αρχικά είναι όλες οι μη βασικές μεταβλητές. Η μεταβλητή που θα επιλεγεί τελικά θα μετατραπεί σε βασική, οπότε η νέα τιμή της (το αντίστοιχο δεξιό μέλος του πίνακα Simplex) δεν θα είναι πλέον μηδενική, αλλά ίση με κάποιο θετικό αριθμό. Εφόσον η νέα λύση που θα προκύψει απαιτείται να είναι καλύτερη από την τρέχουσα, πρέπει ο συντελεστής c_i της νεοεισερχόμενης στη βάση μεταβλητής να είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερος του μηδενός. Το μέγεθος του θετικού συντελεστή κάθε υποψήφιας για είσοδο στη βάση μεταβλητής εκφράζεται κατά κάποιο τρόπο το ρυθμό αύξησης της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης.

Επιλέγεται για να εισέλθει στη βάση η μη βασική μεταβλητή με το μεγαλύτερο θετικό συντελεστή, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο μεγαλύτερος δυνατός ρυθμός αύξησης της αντικειμενικής συνάρτησης.

β) Προσδιορισμός της μεταβλητής που θα εγκαταλείψει τη βάση.

Όπως αναφέρθηκε ήδη στη θεωρία του Γ.Π. ο προσδιορισμός μιας γειτονικής βασικής δυνατής λύσης από την τρέχουσα πραγματοποιείται με την εκτέλεση των εξής βημάτων: 1. Διαγραφή μίας μεταβλητής (αυτής που θα εισέλθει στη βάση) από την ομάδα των n μη βασικών μεταβλητών. 2. Αύξηση της τιμής αυτής μεταβλητής, κρατώντας παράλληλα τις τιμές των υπόλοιπων $n-1$ μη βασικών μεταβλητών ίσες με μηδέν. 3. Τερματισμός όταν μία από τις τρέχουσες βασικές μεταβλητές (αυτή που θα εγκαταλείψει τη βάση) λάβει την τιμή μηδέν που αποτελεί το όριο του αντίστοιχου περιορισμού.

Έχοντας επιλέξει τη μεταβλητή που θα εισέλθει στη βάση ο προσδιορισμός της μεταβλητής που θα την εγκαταλείψει δεν είναι στην πραγματικότητα θέμα επιλογής, διότι αν επιχειρηθεί η έξοδος οποιασδήποτε άλλης μεταβλητής θα προκύψει μία βασική λύση που δεν είναι δυνατή. Η μεταβλητή που πρέπει να εγκαταλείψει τη βάση είναι αυτή της οποίας ο αντίστοιχος περιορισμός επιβάλλει το μικρότερο ανώτερο όριο στο πόσο μπορεί να αυξηθεί η μεταβλητή που εισέρχεται στη βάση.

Προκειμένου να προσδιορισθεί η μεταβλητή που πρόκειται να εγκαταλείψει τη βάση υπολογίζεται για κάθε μία από τις τρέχουσες βασικές μεταβλητές το θετικό πηλίκο b_i/a_{ij} (όπου b_i είναι το δεξιό μέλος που εκφράζει την τρέχουσα τιμή της αντίστοιχης βασικής μεταβλητής και a_{ij} ο συντελεστής της στη στήλη του πίνακα Simplex που αντιστοιχεί στη μεταβλητή που μόλις εισήλθε στη βάση). Από τα

παραπάνω πηλικά που βρέθηκαν θετικά, επιλέγεται το μικρότερο, διότι αυτό επιβάλλει τη μικρότερη δυνατή αύξηση της μεταβλητής που εισήλθε στη βάση.

Η μεταβλητή που θα εγκαταλείψει τη βάση είναι αυτή με το μικρότερο θετικό πηλίκο “δεξιά μέλος / συντελεστή περιορισμού στη στήλη της εισερχόμενης μεταβλητής” (b_i/a_{ij}).

γ) Εύρεση της νέας βελτιωμένης δυνατής λύσης.

Η εύρεση της νέας βελτιωμένης λύσης καθώς και ο προσδιορισμός όλων των στοιχείων του νέου πίνακα Simplex πραγματοποιούνται όπως περιγράφεται πιο κάτω.

1. Προσδιορισμός του στοιχείου «οδηγός» (pivot element)

Ο «οδηγός» είναι ο διαιρέτης a_{ij} του πηλίκου b_i/a_{ij} , το οποίο αποτελεί το κριτήριο προσδιορισμού της μεταβλητής που εξέρχεται από τη βάση. Το στοιχείο «οδηγός» είναι δηλαδή ο συντελεστής του περιορισμού που βρίσκεται στην τομή μεταξύ της γραμμής της εξερχόμενης μεταβλητής και της στήλης της μεταβλητής που εισέρχεται στη νέα βάση.

2. Σχεδιασμός νέου πίνακα Simplex

Σύνταξη της νέας βάσης αντικαθιστώντας τη μεταβλητή που βγήκε από την προηγούμενη βάση με αυτή που εισέρχεται στη νέα βάση.

3. Υπολογισμός της νέας γραμμής του «οδηγού»

Διαίρεση όλων των στοιχείων της προηγούμενης γραμμής του «οδηγού» με το στοιχείο «οδηγός», δηλαδή:

$$\text{Στοιχείο νέας γραμμής οδηγού} = \frac{\text{Αντίστοιχο στοιχείο προηγούμενης γραμμής οδηγού}}{\text{Στοιχείο οδηγός}}$$

4. Υπολογισμός των υπόλοιπων στοιχείων του νέου πίνακα Simplex

Για τον υπολογισμό του κάθε στοιχείου του νέου πίνακα αφαιρείται από το αντίστοιχο στοιχείο του προηγούμενου πίνακα το γινόμενο του αντίστοιχου στοιχείου της προηγούμενης στήλης του οδηγού με το αντίστοιχο στοιχείο της νέας γραμμής οδηγού.

$$\text{Νέο Στοιχείο} = \text{Αντίστοιχο Στοιχείο Προηγούμενου Πίνακα} - (\text{Αντίστοιχο Στοιχείο Προηγούμενης Στήλης} * \text{Αντίστοιχο Στοιχείο Νέας Γραμμής})$$

δ) Κανόνας τερματισμού

Τα πιο πάνω βήματα της διαδικασίας βελτιστοποίησης της συνάρτησης επαναλαμβάνονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο έως ότου οι συντελεστές όλων των μη βασικών μεταβλητών γίνουν αρνητικοί. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει πλέον μη συμμετέχουσα στη λύση μεταβλητή, η οποία να μπορεί να συνεισφέρει θετικά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και επομένως δεν είναι δυνατό να αυξηθεί περαιτέρω η τιμή της. Άρα η τρέχουσα λύση είναι η άριστη.

Ο κανόνας τερματισμού έγκειται στον έλεγχο των προσήμων των συντελεστών κόστους. Η τρέχουσα βασική δυνατή/εφικτή λύση είναι άριστη μόνο αν όλοι οι συντελεστές κόστους των μεταβλητών είναι αρνητικοί ή μηδέν. Αν συμβαίνει αυτό η εφαρμογή της μεθόδου τερματίζεται, αλλιώς επαναλαμβάνεται ολόκληρη η διαδικασία υπολογισμού.

Να σημειωθεί ότι στα προβλήματα ελαχιστοποίησης η επαναληπτική διαδικασία τερματίζεται όταν όλοι οι συντελεστές κόστους είναι θετικοί ή μηδέν.⁴

1.3.5 Σκιώδεις Τιμές και Οικονομική Ερμηνεία τους

Η μέθοδος Simplex εκτός από την άριστη λύση, μας δίνει αξιόλογες πληροφορίες για μια καλύτερη ανάλυση του προβλήματος. Τα προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού μπορούν να ερμηνευτούν ως κατανομή των πόρων σε δραστηριότητες, όπου τα b_i (δεξιά μέλη των περιορισμών) αντιπροσωπεύουν τα ποσά των αντίστοιχων πόρων, που είναι διαθέσιμα για τις εξεταζόμενες δραστηριότητες. Επειδή μπορεί να υπάρχει κάποιο περιθώριο στα ποσά των πόρων που θα είναι διαθέσιμα, η γνώση της οικονομικής συνεισφοράς των πόρων είναι πολύ σημαντική. Η μέθοδος Simplex δίνει την πληροφορία αυτή με τη μορφή των **σκιωδών τιμών** (shadow prices) για τους αντίστοιχους πόρους. Η σκιώδης τιμή του πόρου i , που συμβολίζεται με y_i^* , μετράει την οριακή αξία του πόρου, δηλαδή το ρυθμό με τον οποίο θα αυξηθεί η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (σε προβλήματα μεγιστοποίησης) λόγω μικρής αύξησης στο διαθέσιμο ποσό του πόρου.

Οι πληροφορίες αυτές συνήθως είναι πολύ χρήσιμες για τις πρακτικές εφαρμογές του γραμμικού προγραμματισμού. Η διαμόρφωση του γενικού προτύπου του γραμμικού προγραμματισμού αν και προϋποθέτει ότι τα b_i είναι σταθερές ποσότητες, στην πράξη υπάρχει συνήθως κάποιος βαθμός ελαστικότητας στην

⁴ Wayne L. Winston & Munirpallam Venkataramanan, Introduction to Mathematical Programming, Fourth Edition 2003

κατανομή των πόρων. Στις περιπτώσεις αυτές οι τιμές των b_i που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο, αντιπροσωπεύουν την προσδοκώμενη κατανομή των πόρων στο σύνολο των δραστηριοτήτων. Μετά την εύρεση της άριστης λύσης, οι σκιάδεις τιμές χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί κατά πόσο η κατανομή των πόρων πρέπει να αλλάξει, αγοράζοντας ίσως επιπρόσθετες ποσότητες πόρων από εξωτερικές πηγές. Η σκιάδης τιμή y_i^* του πόρου i αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τιμή, που θα ήταν κάποιος πρόθυμος να πληρώσει για να αυξήσει την κατανομή του πόρου αυτού κατά μια μονάδα. Αν η σκιάδης τιμή είναι μεγαλύτερη από το πραγματικό ανά μονάδα κόστος, τότε η κατανομή πρέπει να αυξηθεί μέχρι το σημείο που δε θα ισχύει αυτή η σχέση.⁵

⁵ F.S.HILLIER-G.J.LIEBERMAN, Επιχειρησιακή Έρευνα, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1985

Κεφάλαιο 2

Προγραμματισμός Παραγωγής

2.1 Συστήματα Παραγωγής

Οι διάφοροι τύποι συστημάτων παραγωγής που εμφανίζονται στην πράξη μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες :

α) **Συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop)**, όπου η παραγωγή εξειδικεύεται σε ένα περιορισμένο αριθμό τυποποιημένων προϊόντων, που παράγονται σε αντίστοιχες γραμμές παραγωγής και προορίζονται για ευρεία κατανάλωση. Στα συστήματα αυτά η ροή του προϊόντος σε κάθε γραμμή είναι ίδια για κάθε κομμάτι. Ο παραγωγικός εξοπλισμός οργανώνεται χωροταξικά σε γραμμική διάταξη και είναι ειδικής χρήσης, με μεγάλο βαθμό αυτοματοποίησης. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η περίπτωση όπου το σύστημα συμπεριφέρεται σαν μια μηχανή, όπου οι εισροές μετασχηματίζονται σε ένα ή περισσότερα προϊόντα (π.χ. ένα διυλιστήριο ή μια μονάδα παραγωγής τσιμέντου).

β) **Συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop)**, που παράγουν μεγάλη ποικιλία προϊόντων σε μικρές ποσότητες και με προδιαγραφές που ορίζονται από τον πελάτη, ο οποίος αναθέτει στο σύστημα την παραγωγή ενός αριθμού ίδιων προϊόντων (παραγγελία ή εργασία). Η ροή του προϊόντος στα συστήματα αυτά είναι διαφορετική για κάθε παραγγελία (παρτίδα παραγωγής). Η χωροταξική διάταξη είναι λειτουργική, δηλαδή ο παραγωγικός εξοπλισμός, που είναι γενικής χρήσης με γενικά περιορισμένο βαθμό αυτοματοποίησης, διατάσσεται σε ομάδες παραγωγικών μονάδων που εκτελούν την ίδια λειτουργία (π.χ. χωριστά οι τόρνοι, χωριστά οι πρέσες κ.λ.π.).

γ) **Συστήματα κατασκευής έργων**, που παράγουν συνήθως ένα προϊόν μεγάλου μεγέθους και αξίας, που προορίζεται για ένα πελάτη. Στα συστήματα αυτά ο παραγωγικός εξοπλισμός, που χαρακτηρίζεται από μικρό βαθμό αυτοματοποίησης, διατάσσεται γύρω από το προϊόν.⁶

Εκτός από τις παραπάνω βασικές κατηγορίες, μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα παραγωγής ανάλογα με τη γεωμετρία τους, τον τρόπο, τον προγραμματισμό και τον έλεγχο παραγωγής, στις ακόλουθες κατηγορίες.

A. Ανάλογα με τη Γεωμετρία

1) **Σύστημα ροής (flow-shop)**. Όπως περιγράφεται πιο πάνω.

2) **Ευέλικτο σύστημα ροής (flexible flow shop)**. Ένα προϊόν παράγεται μαζικά από μία γραμμή σταθμών παραγωγής και απαιτεί κατεργασίες στους σταθμούς W_1 ,

⁶ Κώστας Παππής, Προγραμματισμός Παραγωγής, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα –Πειραιάς 1995

W_2, \dots διαδοχικά. Ο σταθμός W_i αποτελείται από παράλληλες μηχανές M_{i1}, M_{i2}, \dots . Υπάρχει ελευθερία επιλογής μηχανής για κάθε κατεργασία (ευελιξία).

3) Σύστημα ροής με επανεισόδους (reentrant flow shop). Ένα προϊόν παράγεται σχεδόν μαζικά και τα κομμάτια ακολουθούν την ίδια διαδρομή. Εδώ, σε αντίθεση με τα συστήματα (1,2), ένα κομμάτι μπορεί να επισκέπτεται τον ίδιο σταθμό ή μηχανή πολλές φορές για διαφορετικές κατεργασίες (π.χ. εργοστάσια παραγωγής τυπωμένων κυκλωμάτων, ημιαγωγών, κλπ).

4) Ευέλικτο σύστημα παραγωγής (flexible manufacturing system -FMS) Όπως το προηγούμενο σύστημα αλλά η δρομολόγηση κομματιών γίνεται με αυτόματα οχήματα, μεταφορικές ταινίες ή παλλέτες και ελέγχεται από υπολογιστή.

B. Ανάλογα με τον Τρόπο Παραγωγής

1) Συνεχής Παραγωγή (continuous). Παράγονται μεγάλοι όγκοι όμοιων προϊόντων και τηρούνται αποθέματα ασφαλείας.

2) Επαναλαμβανόμενη Παραγωγή / Συναρμολόγηση (repetitive/assembly).

Παράγεται κάποια ποικιλία προϊόντων σε μικρότερους όγκους. Τα προϊόντα προκύπτουν από συναρμολόγηση. Υπάρχει ένα σύνολο εξαρτημάτων που είναι κοινά για όλα τα προϊόντα, καθώς και εξαρτήματα που διαφέρουν από προϊόν σε προϊόν (πχ. αυτοκινητοβιομηχανία). Για τα κοινά εξαρτήματα, η παραγωγή καθορίζεται από τις απαιτήσεις όλων των τελικών προϊόντων.

3) Κατά παρτίδες (batch processing). Παράγεται ποικιλία διαφορετικών προϊόντων κατά παρτίδες. Κάθε μηχανή αφιερώνει ένα κύκλο παραγωγής συγκεκριμένης διάρκειας για την εκτέλεση ενός τύπου κατεργασιών. Κατόπιν ξεκινά έναν άλλο κύκλο εκτέλεσης εργασιών άλλου τύπου. Τα συστήματα αυτά συναντώνται συχνά στην πράξη και αφορούν παραγωγή αποθηκεύσιμων προϊόντων, που παράγονται με κοινό παραγωγικό εξοπλισμό (π.χ. βιομηχανίες ποτών, επίπλων). Για τη μείωση των αποθεμάτων, η ετήσια ποσότητα που πρέπει να παραχθεί από κάθε προϊόν διαιρείται σε παρτίδες. Έτσι, τα διάφορα προϊόντα του συστήματος παράγονται σε παρτίδες, οι οποίες διαδέχονται η μία την άλλη, σε ένα κύκλο που επαναλαμβάνεται αρκετές φορές στη διάρκεια του έτους.

4) Διακριτή (discrete). Αποτελεί ακραία περίπτωση της (3), όπου κάθε κύκλος αντιστοιχεί σε μία μόνο κατεργασία (πχ. κατάστημα εργασιών). Εδώ έχουμε μεγάλη ποικιλία και μικρό όγκο παραγωγής. Συνήθως, η παραγωγή ξεκινά όταν έρχεται μία νέα παραγγελία και διατηρούνται πολύ χαμηλά, ή καθόλου, αποθέματα.

Γ. Ανάλογα με τον Προγραμματισμό Παραγωγής

1) Σύστημα ώθησης (push system). Το πρόγραμμα εβδομαδιαίας/μηνιαίας παραγωγής βασίζεται σε προβλέψεις της ζήτησης κάθε προϊόντος. Διατηρούνται σχετικά υψηλά αποθέματα και η παραγωγή είναι συνήθως συνεχής.

2) Σύστημα έλξης ή just in time (pull/ JIT). Η παραγωγή αρχίζει με την άφιξη νέας παραγγελίας η οποία "έλκει" τα απαιτούμενα εξαρτήματα ή υποπροϊόντα προς τη μηχανή τελικής κατεργασίας. Η εντολή παραγωγής ενός προϊόντος δίδεται μόνον όταν αφιχθεί μία παραγγελία. Σε συστήματα κατά παρτίδες, η πολιτική αυτή ονομάζεται και "παρτίδα προς παρτίδα" (lot-for-lot) αφού κάθε παραγόμενη παρτίδα εξαρτημάτων αντιστοιχεί ακριβώς προς την ζητούμενη παρτίδα συναρμολογούμενων προϊόντων.

Δ. Ανάλογα με τον Έλεγχο Παραγωγής

1) Παραγωγή για αποθήκευση (make-to-stock). Η παραγωγή γίνεται κατά παρτίδες οικονομικής ποσότητας Q ή μεγέθους ίσου με το ύψος της παραγγελίας. Υπάρχουν αποθέματα σε όλα τα ενδιάμεσα στάδια παραγωγής και αποθέματα τελικών προϊόντων. Η διατήρηση αποθεμάτων αντισταθμίζει τις διακυμάνσεις της ζήτησης γύρω από τις προβλεπόμενες τιμές της. Η εταιρεία καθορίζει τα μεγέθη παρτίδων παραγωγής και τα ύψη των τελικών αποθεμάτων χρησιμοποιώντας προβλέψεις της ζήτησης και στρατηγικές ελέγχου αποθεμάτων. Ο έλεγχος αυτός εφαρμόζεται στα συστήματα ώθησης, όπου διατηρούνται σχετικά μεγάλα αποθέματα, και σε συστήματα έλξης, όπου τα αποθέματα είναι μικρά. Συνιστάται για συστήματα με χαμηλό κόστος αποθέματος και υψηλό κόστος έλλειψης προϊόντων.

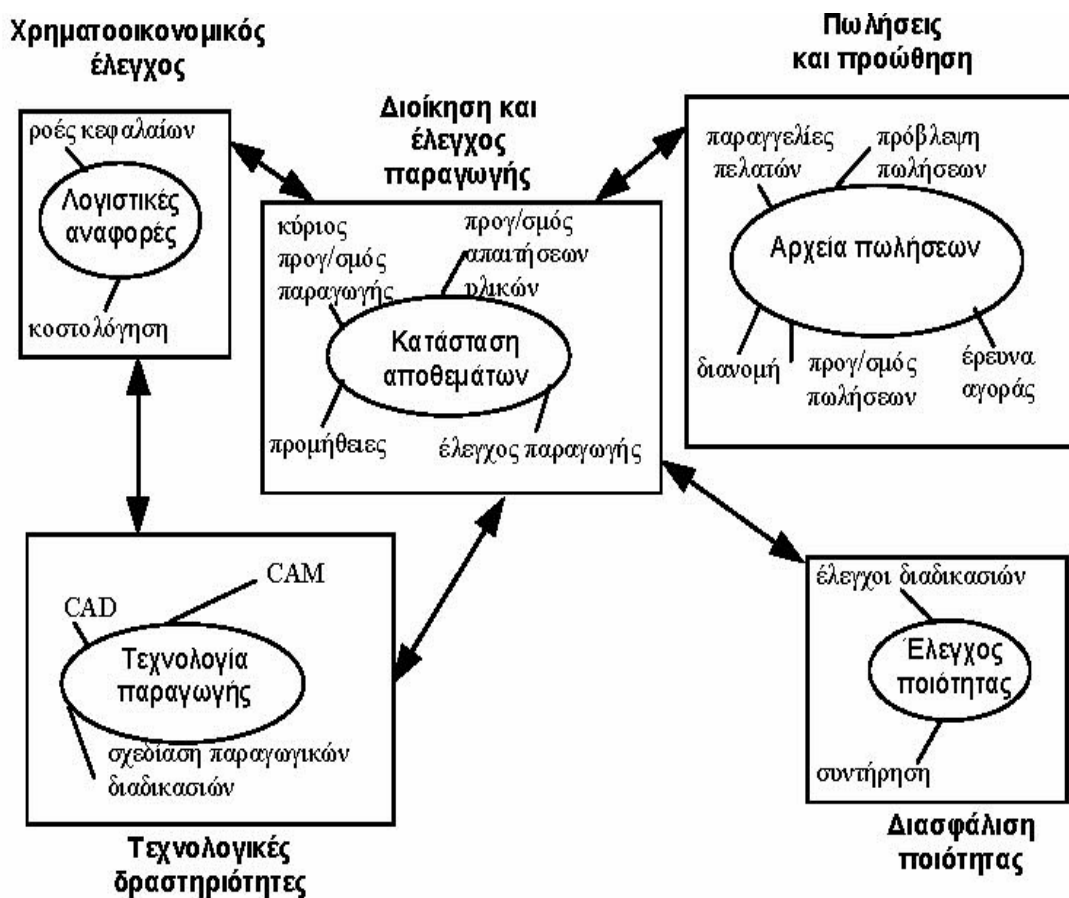
2) Παραγωγή κατά παραγγελία (make-to-order). Εφαρμόζεται σε συστήματα έλξης. Εδώ τα προϊόντα είναι εντελώς διαφορετικά και η ποικιλία τους είναι τόσο πλούσια ώστε δεν είναι δυνατή η πρόβλεψη ζήτησης για το καθένα. Στην πράξη κάθε νέα παραγγελία απαιτεί ένα καινούριο προϊόν. Τα αποθέματα είναι σχεδόν 0. Αν όμως οι διάρκειες εκτέλεσης παραγγελιών (product lead times) είναι μεγαλύτερες των χρόνων παράδοσης (delivery lead times), τότε ίσως συμφέρει να παράγονται προς αποθήκευση κάποια βασικά εξαρτήματα (υποπροϊόντα) σε μικρές ποσότητες τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη ικανοποίηση μελλοντικής ζήτησης. (όπως και στο ακόλουθο σύστημα παραγωγής 3). Συνιστάται για συστήματα με υψηλό κόστος αποθέματος και χαμηλό κόστος έλλειψης προϊόντων.

3) Συναρμολόγηση κατά παραγγελία (assemble-to-order). Αποτελεί συνδυασμό των προηγούμενων. Στα συστήματα αυτά, υπάρχουν πάρα πολλά είδη τελικών προϊόντων τα οποία έχουν μικρές διαφορές (πχ. αυτοκίνητα διαφορετικών χρωμάτων, αξεσουάρ,

κλπ). Τα προϊόντα αυτά προκύπτουν από παραλλαγές τελικών κατεργασιών που γίνονται σε μία μικρή ποικιλία κοινών κομματιών (πχ. ημιτελή αυτοκίνητα πριν το βάψιμο). Το σύστημα αποθηκεύει τα κοινά κομμάτια σύμφωνα με τις προβλέψεις ζήτησης (make-to-stock) και εκτελεί τις τελικές κατεργασίες μόνον όταν δέχεται παραγγελίες (make-to-order).⁷

2.2 Συστήματα Αποφάσεων στο Σύγχρονο Εργοστάσιο

Τα συστήματα διοίκησης και ελέγχου παραγωγής (manufacturing planning and control systems) τα οποία υποστηρίζουν αποφάσεις για τον προγραμματισμό προμηθειών πρώτων υλών, τον προσδιορισμό της εργατικής δυναμικότητας και τον χρονικό προγραμματισμό εργασιών στα συστήματα παραγωγής, εντάσσονται σε ένα γενικότερο περιβάλλον συστημάτων αποφάσεων το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στο βιομηχανικό περιβάλλον.

⁷ Βασίλης Σ. Κουϊκόγλου, Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών, Πολυτεχνείο Κρήτης 2002

Στα σύγχρονα εργοστάσια, κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα υποστηρίζεται από έναν ή περισσότερους υπολογιστές ενώ ο συντονισμός ανατίθεται σε έναν κεντρικό υπολογιστή ο οποίος ελέγχει το σύστημα σε πραγματικό χρόνο (δηλ. συνεχώς). Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως ολοκληρωμένα βιομηχανικά συστήματα με υπολογιστή (computer integrated manufacturing - CIM). Τα συστήματα CIM λαμβάνουν αποφάσεις για όλο το φάσμα των προβλημάτων παραγωγής εφαρμόζοντας σύγχρονες μεθόδους βελτιστοποίησης και ελέγχου.

Για την εφαρμογή κάθε μεθόδου απαιτούνται πληροφορίες σχετικές με την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, οι οποίες είναι αποθηκευμένες σε σχετική βάση δεδομένων. Στον επόμενο πίνακα καταγράφονται μερικά προβλήματα διοίκησης και ελέγχου παραγωγής, τα αντίστοιχα υποσυστήματα λήψης αποφάσεων, τις χρησιμοποιούμενες βάσεις δεδομένων καθώς και τις αντιστοιχίες των προβλημάτων αυτών με τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.⁷

Πίνακας 2. Προβλήματα διοίκησης και ελέγχου παραγωγής: Αποφάσεις, βάσεις πληροφοριών και ροή υλικών

	Πρόβλημα	Αποφάσεις	Βάση δεδομένων	Προμηθευτές
1	Προμηθευτές	Επιλογή και συντονισμός προμηθευτών	Παραγγελίες πρώτων υλών	Προμηθευτές
2	Παρακαλώ σύθηρη αποθεμάτων πρώτων υλών	Περιοδικές αναγγελίες	Αρχικά αποθέματα	Αποθέματα πρώτων υλών
3	Δειγματοληψία προγραμματισμός παραγωγής	Κατανομή πόρων (μηχανές). Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής.	Φασεολόγιο καταρτασιών	Κατεργασίες
4	Αποθήκευση υλικών	Εβδομαδιαίες αναγγελίες υλικών (material requirements planning-MRP).	Πίνακες υλικών (Δένδρα συναρμολότητας)	Αποθέματα εξαρτημάτων ανα προϊόν
5	Συναρμολόγηση τελικών προϊόντων	Απαιτήσεις τελικών προϊόντων. Κήριο πρόγραμμα παραγωγής (master production schedule-MPS). Μελέτη λιανικών τιμημάτων	Ιεραρχικές παραγγελίες πελατών	Τελική συναρμολόγηση
6	Πρόβλεψη ζήτησης	Μοντέλα ελαστικής εδωμάλυνσης, ARMA, κλπ. Αποθέματα ασφαλείας τελικών προϊόντων. Υποσχόμενες προθεσμίες παράδοσης	Ιστορικό αρχείο παραγγελιών	Αποθέματα προϊόντων
7	Μεταφορά σε κέντρα διανομής	Συχνότητα εφοδιασμών, πρόγραμμα διανομών στα κέντρα.	Κόστος αποστολών	Μεταφορά
8	Εξφάλεια κέντρων	Πλήθος κέντρων, μεγέθη αποθηκών, αποθέματα ασφαλείας (βλ. και 6)	Προγ/σμένες αποστολές στα κέντρα	Κέντρα διανομής
9	Επιλογή μέσων μεταφοράς	όπως το 7	Μεταφορικό κόστος	Μεταφορά
10	Τοπικοί αντιπρόσωποι.	όπως το 8	Κατα τόπους αρχεία ζήτησης (βλ. και 6)	Κατα τόπους αντιπρόσωποι



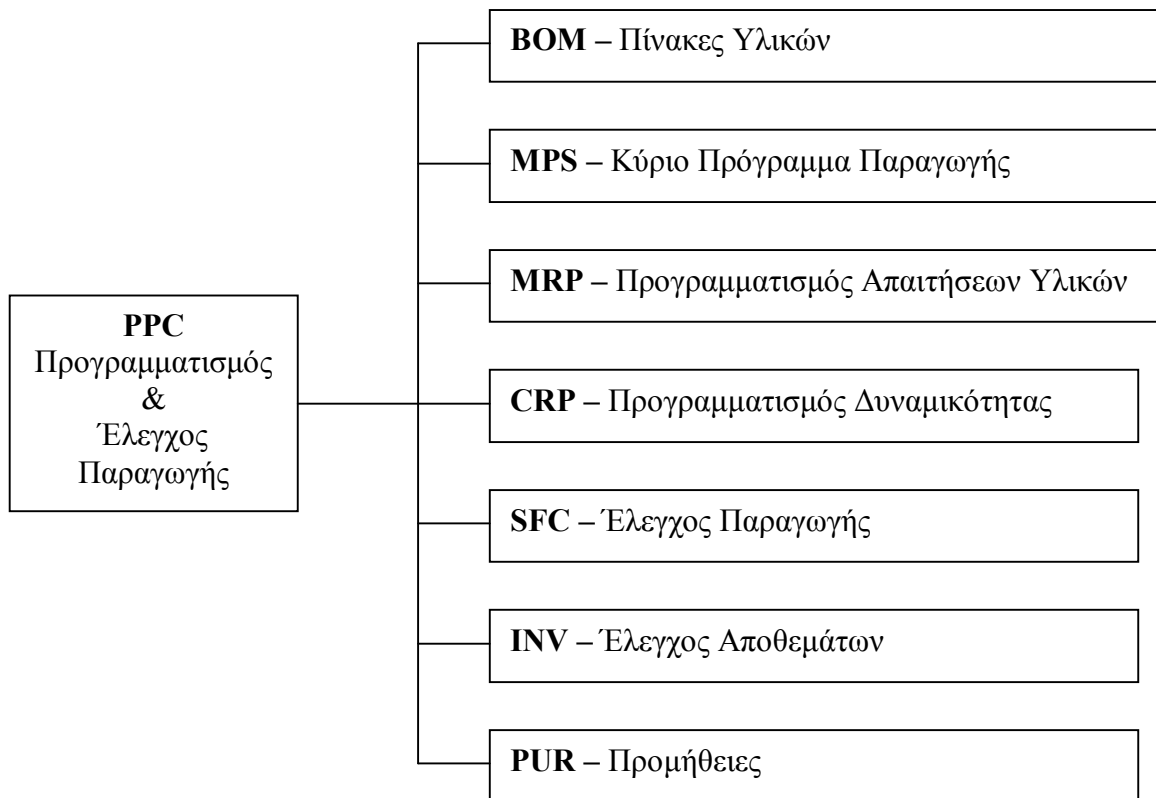
2.3 Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής

Τα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής αναπτύσσονται και εφαρμόζονται για αρκετές δεκαετίες, εξελισσόμενα ταυτόχρονα με τις επιστήμες της Επιχειρησιακής Έρευνας και της Πληροφορικής.

Στις αρχές της δεκαετίας του '60 έκαναν την εμφάνισή τους τα συστήματα Ελέγχου Αποθεμάτων (Inventory Control – IC), τα οποία έδιναν έμφαση στη βελτίωση της διαχείρισης των αποθεμάτων των επιχειρήσεων. Στη συνέχεια, στις αρχές της δεκαετίας '70 παρουσιάστηκαν τα συστήματα MRP (Material Requirements Planning), εισάγοντας τις βασικές αρχές της βιομηχανικής μοντελοποίησης με τη δημιουργία των δομών BOM (Bill of Materials). Ο στόχος των συστημάτων αυτών είναι ο προγραμματισμός των απαιτούμενων πρώτων υλών και εξαρτημάτων για την παραγωγή των προϊόντων.

Εξέλιξη των συστημάτων MRP στα τέλη της δεκαετίας του '70, αποτέλεσαν τα συστήματα MRP II (Manufacturing Resources Planning). Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η βελτιστοποίηση της διαχείρισης όλων των πόρων της παραγωγής, διαχειριζόμενα το σύνολο της εμπλεκόμενης πληροφορίας στο βιομηχανικό περιβάλλον. Τέλος, στα τέλη της δεκαετίας του '80, η εισαγωγή των συστημάτων ERP (Enterprise Resources Planning), είχε ως αποτέλεσμα τη διαχείριση του συνόλου των πληροφοριών μιας επιχείρησης, καλύπτοντας όλες τις ανάγκες πληροφοριακής υποστήριξης.

Στο ακόλουθο σχήμα, παρουσιάζονται τα βασικά υποσυστήματα ενός συστήματος MRP II, το οποίο αποτελεί υποσύνολο ενός σύγχρονου ολοκληρωμένου πληροφοριακού συστήματος ERP. Από το σχήμα αυτό καθίσταται προφανές ότι το MRP, αποτελεί ένα μέρος ενός συστήματος MRP II, στο οποίο τα υπάρχοντα αποθέματα, οι προγνώσεις ζήτησης του τμήματος πωλήσεων, οι παραγγελίες των πελατών και οι προτεραιότητες της Διοίκησης, λαμβάνονται υπόψη για την κατάστρωση του Κύριου Προγράμματος Παραγωγής (MPS – Master Production Schedule) των τελικών προϊόντων.



Σχήμα 2. Βασικά Υποσυστήματα ενός Συστήματος MRP II

Στη συνέχεια, το MRP με τη χρήση των Πινάκων Υλικών (Bill of Materials), δημιουργεί τα αναλυτικά προγράμματα αγορών για τις πρώτες ύλες και τα προγράμματα παραγωγής για τα ενδιάμεσα εξαρτήματα των προϊόντων. Με τον στενά συνδεδεμένο με τα MPS και MRP προγραμματισμό δυναμικότητας (CRP – Capacity Requirements Planning), επιτυγχάνεται ο έλεγχος και η εξισορρόπηση του φόρτου απασχόλησης των παραγωγικών πόρων, έτσι ώστε τόσο το πρόγραμμα παραγωγής των τελικών προϊόντων όσο και τα προγράμματα παραγωγής των εξαρτημάτων να είναι πραγματοποιήσιμα, εξασφαλίζοντας συγχρόνως έναν ομαλό ρυθμό εργασίας.

Η επιτυχία ενός συστήματος MRP II εξαρτάται από την ταχύτητα και την ακρίβεια ανάδρασης του συστήματος παραγωγής με πληροφορίες για την ημερήσια παραγωγή, την κίνηση αποθεμάτων, την παρουσία των εργαζομένων, την απασχόληση των μηχανών, την παραγωγή σκάρτων και γενικά για την τρέχουσα κατάσταση όλων των βιομηχανικών πόρων που εισέρχονται στην εκτέλεση των προγραμμάτων παραγωγής. Η συλλογή και επεξεργασία των ανωτέρω πληροφοριών, γίνεται είτε

αυτόματα, είτε χειρονακτικά μέσω του υποσυστήματος του ελέγχου της παραγωγής (Shop Floor Control - SFC).⁸

2.3.1 Πίνακες Υλικών (BOM – Bill of Materials)

Ο πίνακας υλικών (bill of materials) είναι μία βάση πληροφοριών για τα υλικά που συνθέτουν κάθε προϊόν που παράγεται από το σύστημα παραγωγής. Συγκεκριμένα ο κατάλογος υλικών ενός προϊόντος περιλαμβάνει τον κωδικό που αντιστοιχεί στο προϊόν, τους κωδικούς των εξαρτημάτων από τα οποία συναρμολογείται και τις αντίστοιχες ποσότητες συναρμολόγησης. Περιλαμβάνει επι πλέον, τις ίδιες πληροφορίες για κάθε εξάρτημα που συνθέτει το τελικό προϊόν, καταλήγοντας διαδοχικά στις πρώτες ύλες τις οποίες προμηθεύεται το εργοστάσιο. Στον κατάλογο υλικών αποθηκεύονται επίσης οι διάρκειες παραγωγής κάθε εξαρτήματος και οι διάρκειες συναρμολογήσεων.⁷

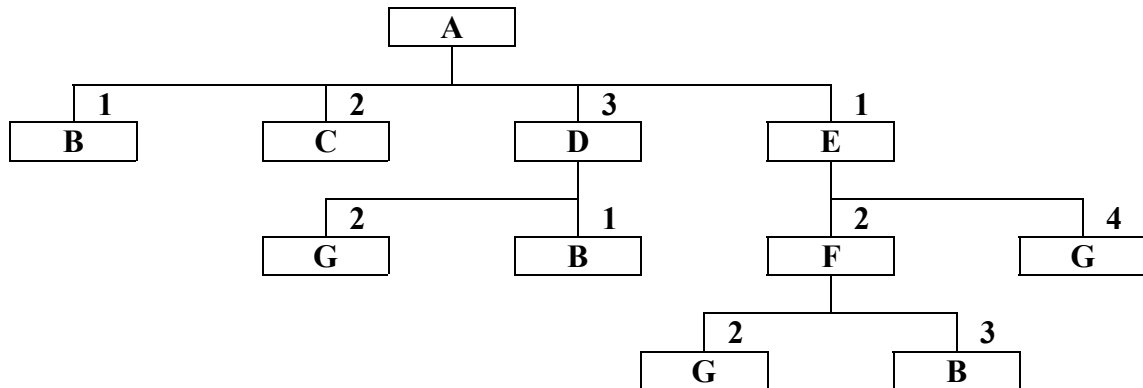
Ο όρος πίνακες υλικών (BOM – Bill of Materials) προέρχεται από τη μηχανολογία, ενώ στις χημικές βιομηχανίες προτιμάται ο όρος συνταγολογία.

Η τεκμηρίωση των πινάκων υλικών – συνταγολογίων είναι απαραίτητη προϋπόθεση σε οποιαδήποτε βιομηχανία για την εκτέλεση των εξής βασικών διαδικασιών:

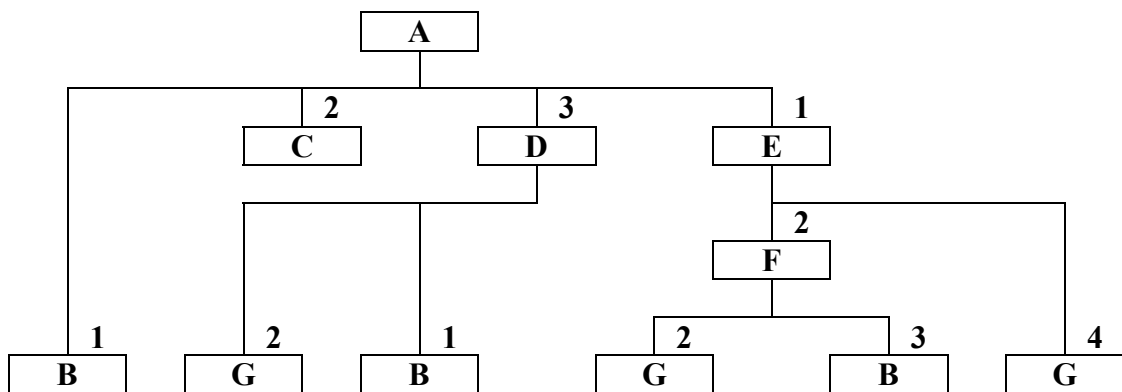
- Μελέτη προϊόντος.
- Κοστολόγηση των προϊόντων.
- Προγραμματισμός των προμηθειών πρώτων υλών και της παραγωγής εξαρτημάτων (μέσω της τεχνικής του MRP).

Οι πίνακες υλικών αποτυπώνουν τη δεντρική δομή/σύνθεση των προϊόντων. Στο Σχήμα 3 που ακολουθεί δίνεται το δεντρικό διάγραμμα ενός υποθετικού προϊόντος Π. Εύκολα διακρίνει κανείς, ότι υπάρχουν κοινά υλικά σε διαφορετικά στάδια. Το γεγονός αυτό δημιουργεί προβλήματα στον προγραμματισμό των παραγγελιών των υλικών και για το λόγο αυτό, είναι σκόπιμο αντί για το πραγματικό στάδιο συναρμολόγησης να χρησιμοποιείται το λεγόμενο χαμηλότερο σημείο εμφάνισης του υλικού (LLC- Low Level Code), όπως φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 4. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η παραγγελία των υλικών σε μεγάλες και χρονικά συντονισμένες παρτίδες. Τα επίπεδα του δέντρου του προϊόντος ονομάζονται πλέον στάδια παραγγελίας αντί για στάδια παραγωγής/ συναρμολόγησης.⁷

⁸ Η. Τατσιόπουλος, Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής, ΟΠΑ, Αθήνα 2001



Σχήμα 3. Δεντρικό Διάγραμμα της Δομής ενός Προϊόντος



Σχήμα 4. Δεντρικό Διάγραμμα της Δομής ενός Προϊόντος με Στάδια Παραγγελίας (LLC)

2.3.2 Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (MPS)

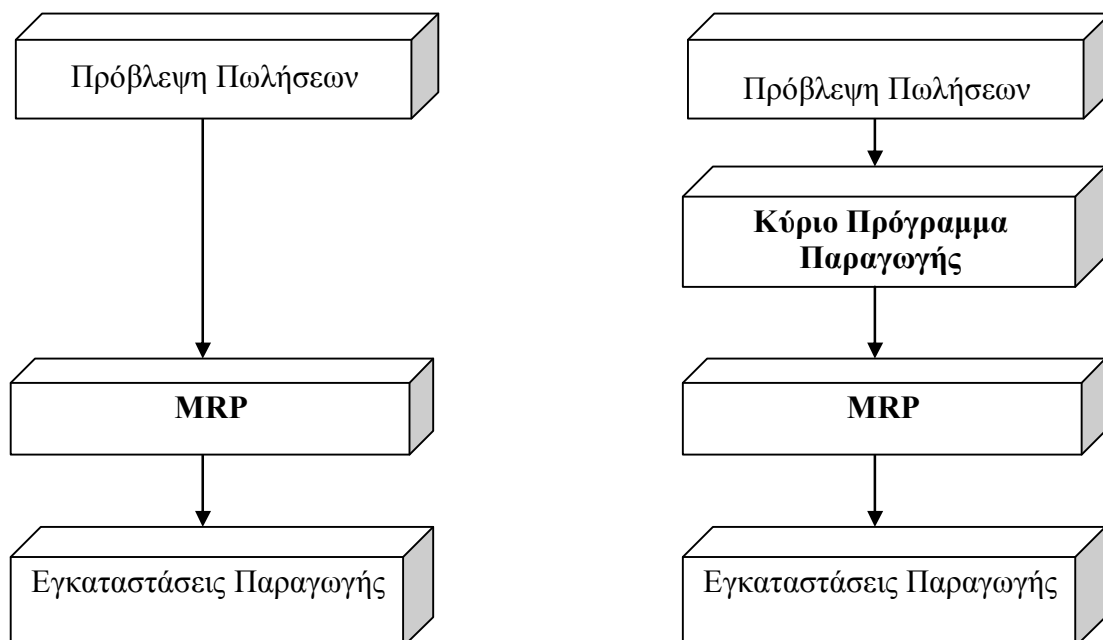
Το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (MPS) αφορά κατά κύριο λόγο παραγωγικές επιχειρήσεις. Η χρησιμοποίησή του συνίσταται στην εύρεση του τι θα παράξει μια επιχείρηση σε ένα χρονικό ορίζοντα που ποικίλει από μερικές εβδομάδες μέχρι έξι μήνες. Ο χρονικός ορίζοντας προγραμματισμού χωρίζεται σε χρονικές περιόδους, συνήθως εβδομάδες, αν και μπορούν να οριστούν σαν περίοδοι ημέρες ή μήνες.

Ο προγραμματισμός αυτός αφορά μόνο τελικά προϊόντα (έκδοση εντολών παραγωγής τελικών προϊόντων) και κατά κανόνα δε μελετά ημιτέτοιμα προϊόντα ή πρώτες ύλες. Το κύριο χαρακτηριστικό των τελικών προϊόντων μιας επιχείρησης είναι η «ανεξάρτητη ζήτηση», δηλαδή δεν υπάρχει μεταξύ τους εξάρτηση ή με τα υπόλοιπα υλικά της επιχείρησης, αλλά η ζήτησή τους διαμορφώνεται από τις συνθήκες που επικρατούν στην αγορά και συνήθως είναι τυχαία και συνεχής. Το ύψος της ζήτησης των τελικών προϊόντων υπολογίζεται με τη χρήση στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης και βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα πωλήσεων.

Το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής δε μελετά τη δυναμικότητα του εργοστασίου, αλλά προτείνει εντολές παραγωγής με βάση το επιθυμητό επίπεδο αποθεμάτων και τις υπάρχουσες παραγγελίες.

Το MPS αποτελεί μέρος της μεσαίας κλίμακας της διοίκησης και ο υπεύθυνος δημιουργίας του MPS, είναι ή πρέπει να είναι ένα μεσαίο στέλεχος (Middle Manager). Γενικότερα οι Middle Managers επωμίζονται το έργο της δημιουργίας σχεδίων και εκτέλεσης ενεργειών χαμηλού μέχρι μεσαίου επιπέδου, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ της στρατηγικής της επιχείρησης με τα καθημερινά προβλήματα λειτουργίας της επιχείρησης.

Ο υπεύθυνος δημιουργίας του MPS είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του τμήματος παραγωγής και του τμήματος πωλήσεων και μάρκετινγκ. Επομένως έχει την αρμοδιότητα να αποσβένει μέσω του MPS τις διακυμάνσεις της ζήτησης των τελικών προϊόντων, με την τήρηση του επιθυμητού επιπέδου αποθεμάτων, τις οποίες το τμήμα παραγωγής από μόνο του δε μπορεί να ικανοποιήσει. Αλλά ακόμα και αν το τμήμα παραγωγής έχει την ικανότητα να ακολουθεί τις διακυμάνσεις της ζήτησης, το κόστος που αυτό συνεπάγεται συνήθως είναι τόσο μεγάλο που καθιστά αυτή την τακτική ασύμφορη.



Σχήμα 5. Το MPS ως Buffer μεταξύ Πρόβλεψης Ζήτησης και MRP.

Είναι προφανές λοιπόν ότι το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής δρα ως ενδιάμεσο στρώμα (αποσβεστήρας) μεταξύ της πρόγνωσης της ζήτησης των τελικών προϊόντων και του Προγραμματισμού Απαιτήσεων Υλικών (MRP). Με άλλα λόγια, το MPS είναι ουσιαστικά μια ζώνη απορρόφησης των διακυμάνσεων της πρόγνωσης και της αναπόφευκτης διαφοράς της από την πραγματική ζήτηση, όπως φαίνεται παραστατικά στο πιο πάνω Σχήμα.

Στην περίπτωση της επιχείρησης Α, δεν παρεμβάλεται τίποτα μεταξύ της πρόγνωσης ζήτησης και MRP, με αποτέλεσμα κάθε λάθος εκτίμηση να μεταφέρεται αυτούσια στην παραγωγική αλυσίδα. Και φυσικά, ενώ η πρόγνωση ζήτησης δεν απαιτεί μεγάλο κόστος εφαρμογής, μπορεί να αυξήσει κατακόρυφα το κόστος παραγωγής αν ακολουθηθεί κατά γράμμα και αποδειχθεί λανθασμένη.

Αντίθετα, στην επιχείρηση Β έχουμε σαν αποσβεστήρα το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής το οποίο αποσβένει τις διακυμάνσεις της πρόγνωσης και οδηγεί σε ένα ρεαλιστικό MRP. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο επιχειρήσεις που ακολουθούν το πρότυπο της επιχείρησης Α τείνουν να εκλείψουν.

Οι διακυμάνσεις αυτές, τις περισσότερες φορές προκαλούν πολλαπλάσιες διακυμάνσεις στην παραγωγή, με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση του κόστους και την αποσταθεροποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα MRP άρχισαν να αποδίδουν πραγματικά μετά τη δημιουργία κατάλληλου λογισμικού κύριου προγραμματισμού παραγωγής και της υιοθέτησης της διαδικασίας του MPS στα μέσα της δεκαετίας του '70.⁷

2.3.2.1 Κατάστροψη Κύριου Προγράμματος Παραγωγής

Η κατάστροψη του Κύριου Προγράμματος Παραγωγής είναι η διαδικασία κατά την οποία, ο προϊστάμενος παραγωγής καλείται να καθορίσει ποια τελικά προϊόντα και σε τι ποσότητα θα παραχθούν σε καθορισμένες χρονικές περιόδους, οι οποίες αποτελούν τον ορίζοντα προγραμματισμού. Για τη δημιουργία του MPS, οι κύριες πληροφορίες εισόδου που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Οι υπάρχουσες παραγγελίες των πελατών.
- Η πρόγνωση της μελλοντικής ζήτησης.
- Το Αρχείο Ειδών, το οποίο πρέπει να είναι ενημερωμένο για τα υπόλοιπα των αποθεμάτων, τα αποθέματα ασφαλείας, τους χρόνους αναμονής, την πολιτική αναπαραγγελίας και το μέγεθος των παρτίδων παραγωγής.

- Οι εντολές παραγωγής των τελικών προϊόντων που βρίσκονται σε εξέλιξη, απ' όπου συνάγονται οι ποσότητες των υλικών που αναμένονται για μελλοντική εισαγωγή στην αποθήκη.

Σημαντικό εργαλείο για τον καθορισμό του Κύριου Προγράμματος Παραγωγής, αποτελεί ο πίνακας του MPS που ακολουθεί (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Πίνακας Υπολογισμού Κύριου Προγράμματος Παραγωγής

Χρονική Περίοδος	1	2	3	4	5	6	7	8
Πρόγνωση Ζήτησης	30	30	30	30	35	35	35	35
Μικτές Ανάγκες								
Παραγγελίες Πελατών	38	27	24	8	0	0	0	0
Προγραμματισμένες Παραλαβές	0	150	0	0	0	0	150*	0
Διαθέσιμο Απόθεμα	55	17	137	107	77	42	7	122
Καθαρές Ανάγκες							28	
Προτεινόμενες Εντολές Παραγωγής (MPS)	0	0	0	0	0	150*	0	0
Αρχικό Απόθεμα = 55, Μέγεθος Παρτίδας = 150, Χρόνος Παράδοσης = 1								

Η κατασκευή του πίνακα αυτού χαρακτηρίζεται από τέσσερα βασικά βήματα. Τα βήματα αυτά είναι τα εξής :

- Υπολογισμός μικτών αναγκών σε υλικά.
- Υπολογισμός καθαρών αναγκών σε υλικά.
- Καθορισμός παρτίδων παραγωγής.
- Υπολογισμός ημερομηνιών έναρξης των εντολών παραγωγής.

Η πρώτη γραμμή στον Πίνακα δείχνει τις χρονικές περιόδους προγραμματισμού, η διάρκεια των οποίων κυμαίνεται από μία μέρα έως τρίμηνο ή και περισσότερο. Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη περίοδος είναι η εβδομάδα. Ως πρώτη περίοδος θεωρείται πάντα η αμέσως επόμενη από την τρέχουσα, στην οποία αντιστοιχεί το τρέχον διαθέσιμο απόθεμα. Το πλήθος των περιόδων αποτελεί τον ορίζοντα προγραμματισμού, δηλαδή πόσο μακριά στο μέλλον εκτείνεται ο υπολογισμός των αναγκών σε προϊόντα.

Η δεύτερη γραμμή, οι Μικτές Ανάγκες, αποτελούν τη μελλοντική ζήτηση ενός υλικού. Οι Μικτές Ανάγκες είναι διαχρονικές, δηλαδή αντιστοιχούν μία προς μία στις χρονικές περιόδους και δεν είναι συγκεντρωτικά νούμερα. Αν σε μια χρονική περίοδο εμφανίζονται τόσο πραγματικές παραγγελίες πελατών όσο και απαιτήσεις σε προϊόντα από πρόγνωση της ζήτησης, σαν μικτή ανάγκη για την περίοδο αυτή, ορίζεται (κατά κανόνα) το μέγιστο των δύο ανωτέρω τιμών. Μικτή Ανάγκη σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο σημαίνει ότι η ζήτηση αυτή θα μείνει ανικανοποίητη εκτός εάν υπάρχουν διαθέσιμα υλικά σ' αυτή την ίδια περίοδο. Η διαθεσιμότητα των υλικών επιτυγχάνεται είτε έχοντας απόθεμα του υλικού στην αποθήκη, είτε έχοντας ανοιχτή εντολή παραγωγής με ημερομηνία παράδοσης μέχρι την ημερομηνία της μικτής ζήτησης.

Η γραμμή των προγραμματισμένων παραλαβών, περιγράφει την τρέχουσα κατάσταση των εντολών παραγωγής που βρίσκονται σε εξέλιξη για το συγκεκριμένο προϊόν. Αναφέρονται οι ποσότητες που έχουν παραγγελθεί και πότε αναμένεται η παραλαβή τους.

Η επόμενη γραμμή αναφέρεται στα αποθέματα και απεικονίζει τη διαχρονική εξέλιξη των αποθεμάτων ως αποτέλεσμα της αφαίρεσης των μικτών αναγκών και της προσθήκης των προγραμματισμένων παραλαβών. Η λέξη διαθέσιμο έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί δεν ταυτίζεται με τα πραγματικά υπάρχοντα και δυνάμενα να μετρηθούν αποθέματα μέσα στην αποθήκη. Ο τύπος που υπολογίζει τα διαθέσιμα αποθέματα για κάθε χρονική περίοδο είναι:

$$\begin{aligned} \text{Διαθέσιμο Απόθεμα} &= \text{Υπάρχοντα στην Αποθήκη (Stock On Hand)} \\ &+ \text{Προγραμματισμένες Παραλαβές (Stock On Order)} \\ &- \text{Απόθεμα Ασφαλείας (Safety Stock)} \\ &- \text{Δεσμευμένα (Allocated Stock)} \end{aligned}$$

Το απόθεμα ασφαλείας είναι σχεδόν προφανές ότι δεν πρέπει να θεωρείται μέρος του διαθέσιμου αποθέματος, αλλά μια ποσότητα «ξεχασμένη» που θα χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση απρόβλεπτης ή έκτακτης ανάγκης. Τα δεσμευμένα αποθέματα αποτελούν τις ποσότητες αυτές που για κάποιο λόγο (π.χ. για ποιοτικό έλεγχο, σκάρτα υλικά κ.λ.π.) δεν μπορούν (ή δεν πρέπει) να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης που εκφράζουν οι Μικτές Ανάγκες.

Η γραμμή των καθαρών αναγκών, είναι πλέον εύκολο να υπολογιστεί και αποτελεί για κάθε χρονική περίοδο τη μικτή ζήτηση που δεν είναι δυνατόν να καλυφθεί από τα διαθέσιμα αποθέματα.

$$\begin{array}{lcl} \text{Καθαρές Ανάγκες} & = & \text{Μικτές Ανάγκες (Gross Requirements)} \\ \text{(Net Requirements)} & - & \text{Διαθέσιμο Απόθεμα} \end{array}$$

Η γραμμή των εντολών παραγωγής είναι το αποτέλεσμα της προς τα πίσω χρονικής μετατόπισης των καθαρών αναγκών, για να ληφθεί υπόψη ο χρόνος αναμονής (Lead Time), δηλαδή ο χρόνος εκτέλεσης των εντολών παραγωγής των προϊόντων. Έτσι υπολογίζονται οι ημερομηνίες ή οι χρονικές περίοδοι στις οποίες πρέπει να εκδοθούν οι εντολές, ώστε τα παραγγελθέντα υλικά να παραληφθούν στις χρονικές περιόδους που προβλέπονται από τις Καθαρές Ανάγκες.

Εκτός από την προς τα πίσω χρονική μετατόπιση, ο υπολογισμός των εντολών παραγωγής, είναι δυνατόν να περιλαμβάνει και σχηματισμό μεγαλύτερων παρτίδων από αυτές που αντιστοιχούν στις Καθαρές Ανάγκες. Αυτό γίνεται για να υπάρξουν τα πλεονεκτήματα των μεγάλων παρτίδων στην παραγωγική διαδικασία (ακριβό/χρονοβόρο το setup των μηχανών για αλλαγή από το ένα είδος παραγωγής σε ένα άλλο κ.α).

Με βάση την πιο πάνω διαδικασία, το MPS προτείνει την παραγωγή τελικών προϊόντων για ένα χρονικό ορίζοντα που συχνά υπερβαίνει τον ένα μήνα. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι μια επιχείρηση «τρέχει» το MPS ανά τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο υπεύθυνος παραγωγής, συνήθως τρέχει το MPS μία ή ακόμα και δύο φορές την εβδομάδα, προκειμένου να αντιμετωπίζονται τυχόν αιφνίδιες αλλαγές.

Είναι προφανές ότι κάθε φορά που «τρέχει» ένα σύστημα MPS, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το προηγούμενο έτσι ώστε να υπάρχει μια συνέχεια. Επομένως, για τις μεν εντολές που έχουν ήδη εκδοθεί (εντολές παραγωγής σε εξέλιξη), το MPS τις αφήνει ως έχουν ενώ για αυτές που δεν έχουν ξεκινήσει, υπάρχει δυνατότητα είτε να διαγραφούν και να προγραμματιστούν νέες, είτε οι ήδη υπάρχουσες να επαναπρογραμματιστούν (όσον αφορά στην προθεσμία τους) ή να ακυρωθούν. Υπάρχουν βέβαια και άλλες τεχνικές που εξαρτώνται από τις ανάγκες και την πολιτική της επιχείρησης, όπως η δήλωση στο MPS να μην διαγράψει ή τροποποιήσει κάποιες εντολές που αφορούν κάποιες συγκεκριμένες παραγγελίες (π.χ. για ειδικό πελάτη) ακόμα και αν δεν έχουν ξεκινήσει.

Τελικά ανά πάσα στιγμή σε μια επιχείρηση υπάρχει ένα τρέχον MPS, το οποίο εφαρμόζεται μέχρι οι υπεύθυνοι να «τρέξουν» το επόμενο. Πάντως, συχνά ο υπεύθυνος παραγωγής προβαίνει σε αλλαγές του προγράμματος που προτείνει ο υπολογιστής, ειδικά αν το πρόγραμμα δεν είναι ρεαλιστικό για την υλοποίηση του πλάνου της παραγωγής (πολλές εντολές παραγωγής, καθυστέρηση παραγγελιών σημαντικών πελατών, ανεπάρκεια δυναμικότητας κ.λ.π.), υπαισέρχεται δηλαδή η ανθρώπινη κρίση σε μια υπολογιστική διαδικασία (judgment).

2.3.3 Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (MRP)

Το επόμενο στάδιο μετά τη διαμόρφωση του Κύριου Προγράμματος Παραγωγής είναι η υλοποίησή του. Απαραίτητη προϋπόθεση, είναι η λειτουργία ενός συστήματος μέσω του οποίου η παραγωγή θα τροφοδοτείται (στον κατάλληλο χρόνο) με όλα τα υλικά που απαιτούνται (στις κατάλληλες ποσότητες) για την κατασκευή των τελικών προϊόντων.

Το MRP είναι μια τεχνική για την κατάρτιση του προγράμματος παραγωγής των ημιέτοιμων και του προγράμματος προμηθειών των πρώτων και των βοηθητικών υλών, που απαιτούνται για την υλοποίηση του MPS. Σκοπός του MRP είναι η εξασφάλιση των ανωτέρω εισερχόμενων στην παραγωγή υλικών, στις ποσότητες και στους χρόνους που χρειάζονται ώστε να αποφεύγονται οι ελλείψεις και διακοπές της παραγωγικής διαδικασίας και η υπεραποθεματοποίηση και αύξηση του κόστους. Η μέθοδος εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Τα ημιέτοιμα υλικά και οι πρώτες ύλες χαρακτηρίζονται από τη λεγόμενη «εξαρτημένη ζήτηση», δηλαδή ζήτηση που εξαρτάται από το αποφασισμένο Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (MPS), σε αντίθεση με τα τελικά προϊόντα ή όσα ενδιάμεσα συγκροτήματα των προϊόντων διατίθενται στο εμπόριο (π.χ. τα ανταλλακτικά), τα οποία χαρακτηρίζονται από «ανεξάρτητη ζήτηση». Η τεχνική του MRP είναι προσανατολισμένη στην αντιμετώπιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εξαρτημένης ζήτησης, που είναι:

- Δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού με βάση τους Πίνακες Υλικών και το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής των ετοιμών, ανεξάρτητα από τεχνικές πρόγνωσης της ζήτησης και στατιστικές μεθόδους και χωρίς την ανάγκη ύπαρξης αποθεμάτων ασφαλείας.
- Ασυνέχεια και ανομοιομορφία μέσα στο χρόνο.

Το MRP δεν είναι εκτελεστικό εργαλείο. Προτείνει κάποιες ενέργειες που είτε εκτελούνται, είτε αγνοούνται από τους υπεύθυνους παραγωγής. Όπως το MPS, έτσι και το MRP κατά τους υπολογισμούς, δεν λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς δυναμικότητας των παραγωγικών πόρων.⁹

2.3.3.1 Στόχοι του MRP

Ο βασικός στόχος του MRP είναι “να εξασφαλιστούν τα σωστά υλικά, στο σωστό μέρος, στο σωστό χρόνο”. Συγκεκριμένοι στόχοι οργάνωσης που σχετίζονται συχνά με το σχεδιασμό και την εφαρμογή του MRP μπορούν να ενταχθούν σε τρεις βασικούς άξονες : αποθέματα, προτεραιότητες και δυναμικότητα.

Πίνακας 4. Στόχοι MRP

Άξονας	Βασικά στοιχεία στόχου
Αποθέματα	<ul style="list-style-type: none"> • Παραγγελία του σωστού εξαρτήματος • Παραγγελία της σωστής ποσότητας • Παραγγελία στο σωστό χρόνο
Προτεραιότητες	<ul style="list-style-type: none"> • Παραγγελία με τη σωστή προθεσμία • Τήρηση της ισχύουσας προθεσμίας
Δυναμικότητα	<ul style="list-style-type: none"> • Σχεδιασμός για πλήρες φορτίο • Σχεδιασμός για ακριβές φορτίο • Σχεδιασμός για επαρκή χρόνο για εξέταση μελλοντικού φορτίου

Οι στόχοι του MRP θα πρέπει να καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τις εισροές και τις εκροές που σχετίζονται με αυτό. Οι εισροές σκιαγραφούνται στο κύριο πρόγραμμα παραγωγής, στην κατάσταση τεμαχίων, κ.λπ. (Σχήμα 6). Συνεπώς, μία σαφής διατύπωση των στόχων του MRP θα πρέπει να συνδυάζεται με μία αντίστοιχα σαφή περιγραφή των στόχων των εισροών αλλά και των εκροών του MRP.¹⁰

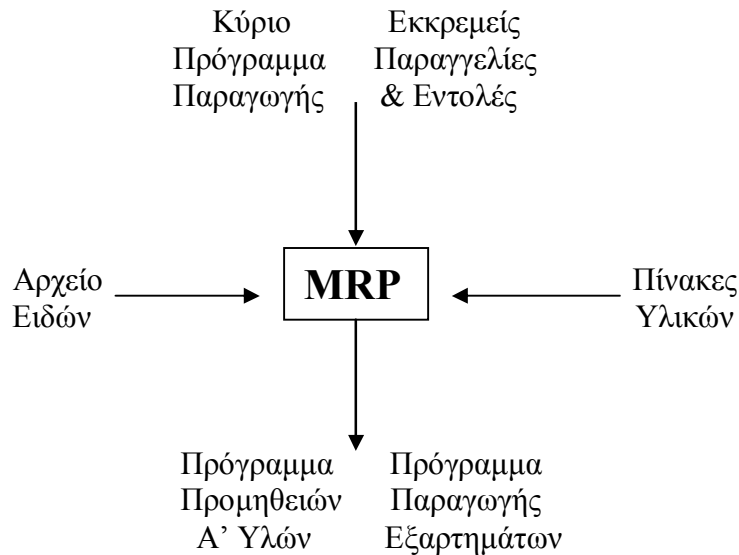
2.3.3.2 Πληροφορίες Εισόδου και Εξόδου του MRP

Ως τελικά αποτελέσματα (έξοδοι) του MRP καταρτίζονται το Πρόγραμμα Παραγγελιών με τις ημερομηνίες έναρξης και παράδοσης των παραγγελιών πρώτων

⁹ Edward Silver, David Pyke & Rein Peterson, “Inventory Management and Production Planning and Scheduling, John Wiley & Sons, Third Edition

¹⁰ Βασίλης Μουστάκης, Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (MRP), Έκθεση για το ερευνητικό πρόγραμμα INNOREGIO: Διάδοση Τεχνολογιών Ανάπτυξης Καινοτομίας, Πολυτεχνείο Κρήτης 2000

υλών και το Πρόγραμμα Παραγωγής των εξαρτημάτων με τις ημερομηνίες έναρξης και τέλους της παραγωγής κάθε εξαρτήματος ή ενδιάμεσου συγκροτήματος (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Πληροφορίες Εισόδου και Εξόδου ενός Συστήματος MRP

Οι βασικές πληροφορίες εισόδου για τη λειτουργία ενός συστήματος MRP, είναι οι εξής:

- Το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (MPS).
- Το Αρχείο Ειδών, το οποίο κρατείται ενήμερο για τα υπόλοιπα των αποθεμάτων (ημιέτοιμα και πρώτες ύλες), τα αποθέματα ασφαλείας και τις δεσμεύσεις των υλικών σε υπό εκτέλεση εντολές παραγωγής, τους χρόνους αναμονής, την πολιτική αναπαραγγελίας και το μέγεθος των παρτίδων παραγωγής/προμήθειας.
- Οι Πίνακες Υλικών/Συνταγολόγια με τη σύνθεση και τη δομή των προϊόντων από πρώτες ύλες, εξαρτήματα και συγκροτήματα.
- Οι παραγγελίες πρώτων υλών και οι εντολές παραγωγής που βρίσκονται σε εξέλιξη, απ' όπου συνάγονται οι ποσότητες των υλικών που αναμένονται για μελλοντική εισαγωγή στην αποθήκη.

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες αυτές, το σύστημα MRP αναγνωρίζει τις κινήσεις που πρέπει να εκτελεστούν, ώστε να πραγματοποιηθεί το Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής, όπως έχει ήδη καταστρωθεί. Τέτοιες κινήσεις είναι η έκδοση παραγγελιών πρώτων υλών, η έκδοση εντολών παραγωγής ημιετοιμωτων, ο καθορισμός παρτίδων

παραγωγής/παραγγελίας και η επιτάχυνση/επιβράδυνση ή και η ακύρωση ήδη υπαρχόντων εντολών (επαναπρογραμματισμός εντολών).¹¹

2.3.3.3 Πολιτικές Καθορισμού Παρτίδων

Ένα από τα βασικά βήματα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών του MRP, είναι ο καθορισμός των παρτίδων παραγγελίας των πρώτων υλών και των παρτίδων παραγωγής των εξαρτημάτων. Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές τεχνικές καθορισμού των παρτίδων (Order Policy), από πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα που βασίζονται στην εξισορρόπηση του κόστους Setup (ή του σταθερού κόστους παραγγελίας) και του κόστους διατήρησης αποθέματος, μέχρι πρακτικές μέθοδοι όπως η παρτίδα σταθερής ποσότητας.

Οι τελευταίες, δεν τεκμηριώνονται αναλυτικά και δεν δίνουν βέλτιστες λύσεις, ενώ οδηγούν σε διαφορετικά συνήθως αποτελέσματα. Εντούτοις, δίνουν αρκετά ικανοποιητική απάντηση στο πρόβλημα του Προγραμματισμού Απαιτήσεων των Υλικών και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην πράξη λόγω απλότητας που τις διακρίνει. Οι πιο συνηθισμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες απλές πολιτικές καθορισμού παρτίδων, είναι :

- Παρτίδα Σταθερής Ποσότητας (Fixed Order Quantity). Το μέγεθος κάθε προτεινόμενης παρτίδας, ισούται με μια σταθερή ποσότητα, η οποία συνήθως εκφράζει έναν περιορισμό δυναμικότητας.
- Σταθερή Οικονομική Παρτίδα (Economic Order Quantity). Αποτελεί υποπερίπτωση της Παρτίδας Σταθερής Ποσότητας, όπου το μέγεθος της παρτίδας ισούται με την Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας, όπως αυτή ορίζεται από το βασικό μοντέλο διαχείρισης αποθεμάτων. Βέβαια, η χρήση της Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας δεν τεκμηριώνεται θεωρητικά, καθώς για τον υπολογισμό της γίνονται αρκετές παραδοχές όπως σταθερή μέση ζήτηση, τυχαία και συνεχής, οι οποίες προφανώς δεν ισχύουν όταν αναφερόμαστε σε ενδιάμεσα υλικά με εξαρτημένη ζήτηση.
- Παρτίδα προς Παρτίδα (Lot for Lot). Στην περίπτωση αυτή, για κάθε χρονική περίοδο, το σύστημα προτείνει μια εντολή, το μέγεθος της οποίας είναι ίσο με τις καθαρές ανάγκες της περιόδου αυτής.

¹¹ Kenneth Lyons and Michael Gillingham, Purchasing and Supply Chain Management, Sixth edition 2003

- Παρτίδα Σταθερού Αριθμού Χρονικών Περιόδων (Periodic Order Quantity). Το ύψος των προτεινόμενων εντολών προμήθειας/παραγωγής, υπολογίζεται έτσι ώστε να καλύπτει το άθροισμα των καθαρών αναγκών ενός προκαθορισμένου αριθμού συνεχών χρονικών περιόδων.

Οι πιο πάνω απλές μέθοδοι καθορισμού παρτίδων, εφαρμόζονται συνήθως και στους υπολογισμούς που εκτελούνται κατά την κατάστροψη του Κύριου Προγράμματος Παραγωγής. Στην περίπτωση του MPS, ο πιο συνηθισμένος τρόπος για τον καθορισμό των παρτίδων των τελικών προϊόντων, είναι ο συνδυασμός του επιπέδου ή σημείου αναπαραγγελίας (ROL – Reorder Level ή ROP – Reorder Point) και της ποσότητας αναπαραγγελίας (ROQ – Reorder Quantity).

Ουσιαστικά πρόκειται για τη μέθοδο της «συνεχούς παρακολούθησης αποθέματος» της κλασικής θεωρίας διαχείρισης αποθεμάτων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, όταν η στάθμη του αποθέματος πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο (ROL ή ROP), τοποθετείται παραγγελία σταθερής ποσότητας (ROQ) για την αναπλήρωση του αποθέματος. Η ποσότητα αυτή κατά κανόνα τίθεται ίση με την Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας. Η διαφορά με την κλασική μέθοδο, έγκειται στο γεγονός, ότι κατά τους υπολογισμούς του MPS, το διαθέσιμο απόθεμα συγκρίνεται σε κάθε χρονική περίοδο του ορίζοντα προγραμματισμού με το σημείο αναπαραγγελίας και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, το σύστημα προτείνει μια εντολή παραγωγής (Time – Phased Reorder Point).¹²

2.3.3.4 Αδυναμίες ενός Συστήματος MRP

Το MRP αποτελεί ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο στη διαχείριση της παραγωγής. Από την αρχή λειτουργίας του, είναι φανερό ότι επιχειρήσεις που παράγουν είδη με μεγάλους και πολύπλοκους πίνακες υλικών ή η ζήτηση των προϊόντων τους παρουσιάζει έντονη εποχικότητα και μεγάλες διακυμάνσεις, μπορούν να ωφεληθούν πάρα πολύ με τη χρήση ενός συστήματος MRP. Επιτυχείς εφαρμογές του συστήματος MRP έχουν λάβει χώρα σε αναρίθμητες επιχειρήσεις τα τελευταία 25-30 χρόνια. Παρόλα αυτά όμως, το σύστημα MRP έχει κάποιες σημαντικές αδυναμίες, όπως :

- Για τον προσδιορισμό των χρόνων κατά τους οποίους θα εκδοθούν οι εντολές παραγωγής, το MRP λαμβάνει υπόψη τους χρόνους αναμονής (Lead Times),

¹² John W. Toomey, “MRP II: Planning for Manufacturing Excellence”

όπως αυτοί ορίζονται από το χρήστη. Τους χρόνους αυτούς το σύστημα τους θεωρεί ντετερμινιστικούς. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα, ότι δεν λαμβάνεται υπόψη το γεγονός πως η παραγωγή μιας μεγάλης παρτίδας, θα διαρκέσει περισσότερο από τον προβλεπόμενο χρόνο παραγωγής ενώ αν το μέγεθος της παρτίδας είναι σημαντικά μικρότερο από τη μέση ποσότητα, τότε η παραγωγή της θα διαρκέσει λιγότερο από τον προβλεπόμενο χρόνο. Συνήθως, οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν το μειονέκτημα αυτό του MRP, θέτοντας μεγαλύτερους χρόνους παραγωγής (ή προμήθειας) για λόγους ασφάλειας. Έτσι, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο οι εργασίες να ολοκληρώνονται νωρίτερα απ' ότι αναμένεται με συνέπεια τήρηση αποθέματος για μεγαλύτερο χρόνο απ' ότι χρειάζεται, με όλα τα κόστη που αυτό συνεπάγεται.

- Τα συστήματα MRP τις περισσότερες φορές δεν παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού των αποθεμάτων ασφαλείας (Safety Stock). Αντίθετα, απαιτούν από το χρήστη την εισαγωγή μιας τιμής, χωρίς να προτείνουν ή να βοηθούν στον τρόπο υπολογισμού της. Πολλές φορές αυτό οδηγεί στην τήρηση υψηλότερων αποθεμάτων ασφαλείας από αυτά που είναι απαραίτητα, καθώς λόγω ελλιπούς γνώσης επί του θέματος, οι χρήστες αναγκάζονται να «μαντεύουν» πόση ποσότητα θα είναι αρκετή ώστε να μην υπάρξει περίπτωση ελλείψεων. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η θεωρία του MRP, υποστηρίζει ότι δεν υφίσταται η ανάγκη ύπαρξης αποθεμάτων ασφαλείας για τα ενδιάμεσα υλικά, καθώς η τεχνική του MRP στοχεύει στην εξασφάλιση των ανωτέρω εισερχομένων στην παραγωγή υλικών, στους χρόνους και στις ποσότητες που απαιτούνται. Στην πράξη όμως, διάφοροι λόγοι (μη αναμενόμενες παραγγελίες, βλάβες μηχανών, παραγωγή σκάρτων, εκπρόθεσμες παραδόσεις υλικών κ.λ.π.) καθιστούν αναγκαία τα αποθέματα ασφαλείας, για την αντιμετώπιση αυτών των καταστάσεων.
- Τα συστήματα MRP, εκτός από τις συνήθεις πολιτικές καθορισμού παρτίδων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, συνήθως δεν ενσωματώνουν μεθόδους οι οποίες οδηγούν σε βέλτιστες λύσεις υπολογισμού των παρτίδων παραγωγής. Ακόμη όμως και στις περιπτώσεις που υπάρχει η δυνατότητα επιλογής σύνθετων ευρετικών μεθόδων (Heuristics) ή μεθόδων βελτιστοποίησης, έχει παρατηρηθεί ότι οι επιχειρήσεις δεν τις υιοθετούν,

λόγω της αδυναμίας κατανόησής τους και της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν στην εφαρμογή τους.

Τα συστήματα MRP είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε μικρά λάθη και ανακρίβειες που μπορεί να εμπεριέχονται στις πληροφορίες εισόδου τους. Συγκεκριμένα αναφέρεται στη βιβλιογραφία, ότι το ποσοστό ακρίβειας που συνήθως ζητείται από ένα τέτοιο σύστημα για αρχεία του αποθέματος είναι 95% ενώ για τους πίνακες υλικών 99%. Στην περίπτωση που τα σφάλματα σε αυτές τις πηγές πληροφοριών είναι μεγαλύτερα από τα προβλεπόμενα, το σύστημα θα δίνει αποτελέσματα, τα οποία δεν θα ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.⁹

2.3.3.5 Πότε εφαρμόζεται η Μέθοδος MRP

Το MRP εφαρμόζεται μόνο μέσα στο εργοστάσιο και σε άμεση σχέση με τον προγραμματισμό της παραγωγής. Δεν έχει καμία σχέση με τη διαχείριση των αποθεμάτων των τελικών προϊόντων, το κύκλωμα διανομής ή τα αποθέματα ανταλλακτικών για service.

Το MRP εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς απαιτείται συνεχής ενημέρωση και δυνατότητα αναπροσαρμογής ποσοτήτων και ημερομηνιών, πολλές φορές για εκατοντάδες ή χιλιάδες εξαρτήματα και πρώτες ύλες. Η ανάγκη για τέτοιες αναπροσαρμογές προκύπτει από αλλαγές στο Κύριο Πρόγραμμα Παραγωγής (π.χ. λάθη στην πρόγνωση ζήτησης) ή στις προγραμματισμένες παραλαβές (απρόβλεπτα μεγάλοι χρόνοι παράδοσης πρώτων υλών ή παραγωγής εξαρτημάτων).

Το MRP δεν είναι κατάλληλο για βιομηχανίες με συνεχή παραγωγή. Αντίθετα έχει μεγάλες δυνατότητες για οικονομικά οφέλη στην περίπτωση παραγωγής διακριτών προϊόντων με βαθμίδες κατασκευής/ συναρμολόγησης.

Το MRP προϋποθέτει την ύπαρξη τυποποιημένων πινάκων υλικών, δηλαδή τα προϊόντα (τουλάχιστον τα κυριότερα αυτών) είναι τυποποιημένα και παρέχουν στους πελάτες τη δυνατότητα μόνο παραλλαγών ή μικρών μετατροπών.

Σε περίπτωση που έχει αποφασιστεί η εφαρμογή του MRP για το σύνολο των πρώτων υλών και των εξαρτημάτων μέσα στο εργοστάσιο, πρέπει να εξεταστεί αν μερικές κατηγορίες υλικών συμφέρει να εξαιρεθούν και να διαχειρίζονται με διαφορετικό τρόπο. Τέτοιες κατηγορίες είναι :

- Υλικά με πολύ μικρό κόστος.

- Υλικά με χρόνο παράδοσης ή διάρκεια παραγωγής εξαιρετικά μεγάλο σε σχέση με τα περισσότερα υλικά/εξαρτήματα, όταν αυτά είναι λίγα.¹⁰

2.3.3.6 Κατηγορίες επιχειρήσεων / χρηστών MRP

Τα συστήματα MRP διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, που συνήθως επονομάζονται ABCD, με κριτήρια τη χρήση και την οργανωτική εφαρμογή.

Η Κατηγορία A αφορά την πλήρη εφαρμογή του MRP. Το σύστημα MRP έχει ενταχθεί στο χρηματοοικονομικό σύστημα της εταιρείας και περιλαμβάνει το σχεδιασμό της δυναμικότητας, τις εντολές παραγωγής, του προγραμματισμού πωλήσεων καθώς και τα σημεία σύνδεσης με το σχεδιασμό των ανθρώπινων πόρων. Διενεργείται συνεχής παρακολούθηση των αρχείων απόδοσης και αποθεμάτων και τα προγράμματα κύριας παραγωγής είναι ακριβή.

Η Κατηγορία B αφορά μία λιγότερο πλήρη εφαρμογή του MRP. Το σύστημα MRP περιορίζεται στην περιοχή του εργοστασίου. Ωστόσο, περικλείει και τον κύριο προγραμματισμό της παραγωγής.

Η Κατηγορία C αφορά την κλασσική προσέγγιση του MRP όπου το σύστημα MRP περιορίζεται στη διαχείριση των καταλόγων απογραφής αποθεμάτων.

Η Κατηγορία D αφορά μία εφαρμογή του MRP για την επεξεργασία δεδομένων. Το σύστημα χρησιμοποιείται περισσότερο για την αρχειοθέτηση δεδομένων παρά ως εργαλείο λήψης αποφάσεων.¹⁰

2.4 CRP & MRP II

Το MRP είναι μια τεχνική για τον προγραμματισμό των υλικών, αλλά κατά τους υπολογισμούς δεν λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς δυναμικότητας των πόρων της παραγωγής, θεωρώντας ότι η επιχείρηση διαθέτει άπειρη δυναμικότητα. Το κενό αυτό ήρθαν να το καλύψουν τα συστήματα MRP II, ενσωματώνοντας στους υπολογισμούς και τον προγραμματισμό των απαιτήσεων σε δυναμικότητα.

2.4.1 Προγραμματισμός Απαιτήσεων Δυναμικότητας (CRP)

Το CRP (Capacity Requirements Planning) μεταφράζει το Πρόγραμμα Απαιτήσεων Υλικών (όσον αφορά στα είδη που κατασκευάζονται μέσα στην ίδια τη βιομηχανία) σε απαιτήσεις δυναμικότητας για την υλοποίησή του, χρησιμοποιώντας

αναλυτικά στοιχεία από το υποσύστημα των Τεχνικών Προδιαγραφών (φασεολόγια και μέσα παραγωγής).

Η διαδικασία του CRP γίνεται σε τρία στάδια:

- Υπολογισμός Χρόνων Διέλευσης στην Παραγωγή (Throughput Times)

Στο στάδιο αυτό υπολογίζονται οι χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης κάθε φάσης κατεργασίας, που προβλέπεται στη διαδρομή παραγωγής (φασεολόγιο) κάθε εντολής παραγωγής.

Ο συνολικός χρόνος διέλευσης μιας εντολής παραγωγής συντίθεται από τους επιμέρους χρόνους διέλευσης των φάσεων κατεργασίας με βάση τους πρότυπους χρόνους αναμονής και μεταφοράς (transit times). Οι τελευταίοι αυτοί χρόνοι είναι ιστορικοί μέσοι όροι, οι οποίοι συνήθως αποθηκεύονται σε πίνακες της μορφής «Από – Σε» (από κέντρο εργασίας σε κέντρο εργασίας).

Οι χρόνοι διέλευσης χρησιμοποιούνται για τον χρονικό προγραμματισμό των εντολών είτε «προς τα εμπρός» (forward scheduling) από την ημερομηνία δυνατής έναρξης της εντολής, είτε «προς τα πίσω» (backward scheduling) από την προθεσμία παράδοσης. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται ημερομηνίες έναρξης και λήξης των φάσεων κατεργασίας το «νωρίτερο» και το «αργότερο». Η χρονική τους απόσταση αποτελεί το περιθώριο ασφαλείας (buffer) που χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας των μηχανών. Η παραβίαση του περιθωρίου ασφαλείας, σημαίνει αυτόματα και παραβίαση της τελικής προθεσμίας παράδοσης ολόκληρης της εντολής παραγωγής.

- Φόρτιση Κέντρων Εργασίας

Το επόμενο βήμα του Μεσοπρόθεσμου Προγραμματισμού Δυναμικότητας, είναι ο υπολογισμός του φόρτου εργασίας που προκύπτει από τις προγραμματισμένες εντολές παραγωγής και τις απαιτήσεις σε δυναμικότητα που αυτές συνεπάγονται, για κάθε μηχανή και χρονική περίοδο του ορίζοντα προγραμματισμού. Πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα της εντολής παραγωγής με τους πρότυπους χρόνους ανά τεμάχιο και προσθέτοντας τους χρόνους προετοιμασίας (setup), υπολογίζονται οι χρόνοι φόρτισης των μηχανών. Οι χρόνοι φόρτισης επιρρίπτονται στις χρονικές περιόδους έναρξης των φάσεων κατεργασίας, όπως έχουν προκύψει από το προηγούμενο στάδιο του υπολογισμού των χρόνων διέλευσης. Έτσι, καταστρώνονται γραφικά διαγράμματα φόρτισης ανά μηχανή (ή ομάδα μηχανών).

- Εξισορρόπησης Δυναμικότητας

Στην περίπτωση κατά την οποία, η απαιτούμενη δυναμικότητα για την υλοποίηση των εντολών υπερβαίνει τη διαθέσιμη σε μια χρονική περίοδο, είναι προφανές ότι πρέπει να υπάρξουν τροποποιήσεις. Οι κύριες ενέργειες που λαμβάνουν χώρα για την εξισορρόπηση του φόρτου, είναι: (α) Απαλλαγή του κέντρου εργασίας από την εντολή που προκαλεί υπερφόρτιση, (β) Χρονική μετατόπιση μιας φάσης κατεργασίας στην ίδια μηχανή, (γ) Χρησιμοποίηση εναλλακτικής μηχανής και (δ) Συνδυασμός των ενεργειών (β) και (γ). Η χρονική μετατόπιση θα πρέπει να εφικτή, δηλαδή να μην επηρεάζει τις άλλες φάσεις κατεργασίας. Αυτό μπορεί να συμβεί αν βρίσκεται μέσα στα όρια του χρονικού περιθωρίου ασφαλείας μεταξύ της «νωρίτερης» και της «αργότερης» ημερομηνίας έναρξης της φάσης κατεργασίας.

Η εξισορρόπηση της δυναμικότητας παρά την απλή της διατύπωση, αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα της Οργάνωσης Παραγωγής, λόγω του εξαιρετικού μεγάλου πλήθους των εναλλακτικών λύσεων. Για την επίλυσή του, συνήθως χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διάλογο ανθρώπου – υπολογιστή (Interactive). Η επιλογή δοκιμαστικών λύσεων γίνεται από το χειριστή του προγράμματος CRP, ενώ ο Η/Υ διενεργεί με ταχύτητα τους απαραίτητους υπολογισμούς σε κατάσταση προσομοίωσης (what if simulation), για την παρουσίαση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Το πρόβλημα μπορεί επίσης να επιλυθεί αλγοριθμικά με μεθόδους Μαθηματικού Προγραμματισμού ή/και άλλες τεχνικές της Επιχειρησιακής Έρευνας. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι: (α) η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των απόλυτων διαφορών μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής φόρτισης για όλες τις μηχανές και όλες τις χρονικές περιόδους και (β) η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των αποκλίσεων της συσσωρευτικής πραγματικής φόρτισης από την επιθυμητή. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά το CRP.

Η εφικτότητα του προγράμματος παραγωγής, το οποίο ταυτόχρονα δεν θα παραβιάζει τις προθεσμίες παράδοσης των εντολών, μπορεί τέλος να διευθετηθεί με εξωτερικές παρεμβάσεις. Τέτοιου είδους ενέργειες περιλαμβάνουν κατάλληλες ρυθμίσεις στο MPS, υπερωριακή απασχόληση, ανάθεση υπεργολαβιών, χρησιμοποίηση εφεδρικής δυναμικότητας, παράλληλη κατεργασία μικρότερων παρτίδων (splitting), ακύρωση ή αλλαγή ποσοτήτων εντολών παραγωγής κλπ.

Πίνακας 5. Προγραμματισμός Απαιτήσεων Δυναμικότητας

	CRP: Capacity Requirements Planning
Τί;	Πρόβλεψη δυναμικότητας για όλους τους πόρους
Πώς;	Σάρωση MPS & MRP μέσω αναλυτικών οδών (φασεολόγια, μέσα παραγωγής)
Πότε;	Για Ετήσιο και Τριμηνιαίο προϋπολογισμό καθώς και εβδομαδιαίως και μηνιαίως
Γιατί;	Μετά-MRP λεπτομερής Ανάλυση
Ακρίβεια	Μεγάλη
Πολυπλοκότητα	Συνήθως ξεπερνά του MRP
Ορίζοντας Σχεδιασμού	Ίδιος με του MRP μείον τους Χρόνους Αναμονής
Υλοποίηση	Απαιτεί πολλούς υπολογιστικούς πόρους

Η όλη διαδικασία του προγραμματισμού της παραγωγής παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.

Ο Προγραμματισμός Παραγωγής (Production Scheduling) παίρνει τις προβλέψεις των πωλήσεων και των παραγγελιών και τις χρησιμοποιεί με τα μέγιστα εφικτά περιθώρια αποθεματοποίησης χτίζοντας ένα λεπτομερέστατο πρόγραμμα παραγωγής. Το πρόγραμμα αυτό καθορίζει μια παραγγελμένη ποσότητα για κάθε προϊόν με ανεξάρτητη ζήτηση κάθε προγραμματισμένη μέρα. Για πολλές βιομηχανίες ο προγραμματισμός αυτός γίνεται στο επίπεδο του τελικού προϊόντος. Παρόλα αυτά πολλές φορές υπάρχει αυξημένη ωφελιμότητα να προγραμματίζονται οι ανάγκες για τελικά προϊόντα από χαμηλότερο επίπεδο και μάλιστα να προγραμματίζονται κατά ομάδες τα υπό τμήματα που θα συνθέσουν το τελικό προϊόν.

Ο Προγραμματισμός Δυναμικότητας (Capacity Planning) χρησιμοποιείται για να διασφαλίσει ένα γρήγορο τσεκάρισμα της δυναμικότητας κάποιων κρίσιμων πόρων ώστε να διασφαλιστεί η επίτευξη του προγράμματος παραγωγής. Ο σχεδιασμός της δυναμικότητας είναι λιγότερο λεπτομερειακός από ότι είναι ο σχεδιασμός απαιτήσεων δυναμικότητας, ο οποίος είναι ένα ακόμα εκτελεστικό εργαλείο ελέγχου της δυναμικότητας μετά την διαδικασία του MRP. Ο προγραμματισμός δυναμικότητας χρησιμοποιεί τις απαιτήσεις των πόρων για κάθε τελικό προϊόν του σχεδιασμού παραγωγής. Οι απαιτήσεις των πόρων δίνουν τον αριθμό των ωρών που απαιτούνται για κάθε κρίσιμο πόρο που χρησιμοποιείται για παραχθεί το τελικό προϊόν. Ο

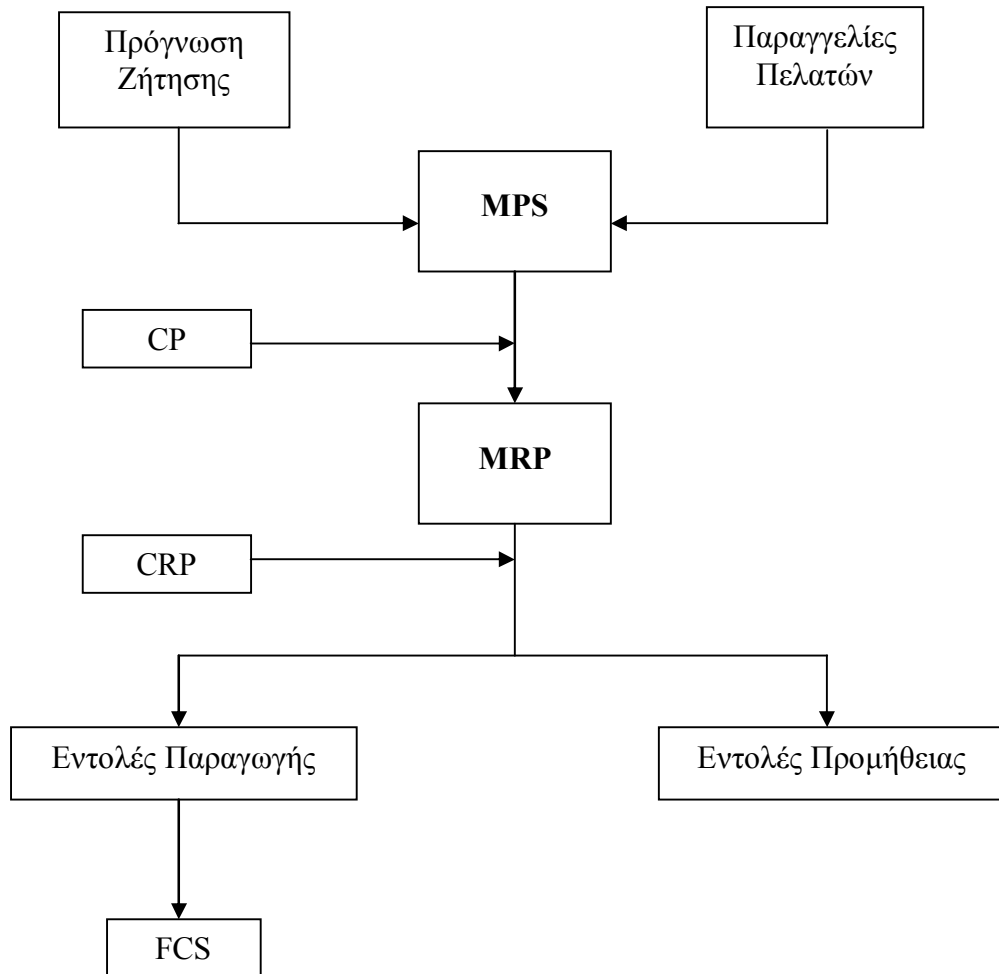
σχεδιασμός της παραγωγής περιλαμβάνει όχι μόνο τη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος αλλά και τους χρόνους για συμπληρωματικές διαδικασίες (έλεγχος μηχανών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία).

Ο προγραμματισμός δυναμικότητας είναι ακατάλληλος για βραχυπρόθεσμη χρήση, αλλά ιδανικός για παραγγελίες αρκετά μπροστά στο χρονικό ορίζοντα καθώς δε λαμβάνει υπόψη του τις διεργασίες που συμβαίνουν εκείνη ακριβώς τη στιγμή που εκτελείται ή διεργασίες που έχουν ήδη ολοκληρωθεί. Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα του CP, είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη του όλους τους απαιτούμενους πόρους για την κατασκευή ενός προϊόντος, αλλά τους πιο βασικούς.

Το CP, επιχειρεί και συνήθως καταφέρνει να εντοπίσει κατά μέσο όρο το 80% (σύμφωνα με το νόμο του Pareto) των προβλημάτων δυναμικότητας που μπορεί να εμφανιστούν στην παραγωγική διαδικασία, πριν ακόμα αναπτυχθούν τα αναλυτικά προγράμματα παραγωγής υλικών (MRP) και δυναμικότητας (CRP), τα οποία προλαμβάνουν συνήθως το υπόλοιπο 20% των προβλημάτων.

Ο Προγραμματισμός Απαιτήσεων Δυναμικότητας (Capacity Requirements Planning) παρουσιάζει μια πιο ολοκληρωμένη και λεπτομερή ένδειξη των πλάνων παραγωγής του MRP από ότι ο σχεδιασμός δυναμικότητας. Συγκεκριμένα εμπεριέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα συμπεριλαμβανομένων των προγραμματισμένων παραγγελιών, των δρομολογημένων δεδομένων καθώς και την δυναμικότητα και τους χρόνους ανταπόκρισης (lead times) για όλες τις διαδικασίες. Παρά το όνομα του οι απαιτήσεις σχεδιασμού δυναμικότητας δεν δημιουργούν πεπερασμένες αναλύσεις δυναμικότητας (σχεδιασμός με αρχή και τέλος) αλλά λειτουργούν σαν μια ατέρμονη παροχή δεδομένων αυξομειούμενων ανάλογα με τις προβλέψεις και την ήδη δρομολογημένη παραγωγή (συγκρίνεται με τα έτοιμα προς πώληση προϊόντα) λαμβάνοντας υπόψη τους χρόνους ανταπόκρισης κάθε κέντρου παραγωγής.

Η διαδικασία του προγραμματισμού της παραγωγής συνήθως ολοκληρώνεται με την εκτέλεση του προγραμματισμού πεπερασμένης δυναμικότητας (FCS –Finite Capacity Scheduling). Στη φάση αυτή, επιτυγχάνεται λεπτομερής χρονικός προγραμματισμός των εργασιών, όπου το υποσύστημα FCS, με τη βοήθεια διαφόρων κριτηρίων και τη χρήση ειδικών αλγορίθμων, «φορτώνει» όλες τις ανοικτές εντολές παραγωγής στις μηχανές και στα κέντρα εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς δυναμικότητας των πόρων αλλά και τις εναλλακτικές δυνατότητες δρομολόγησης των εντολών στις διάφορες μηχανές/κέντρα εργασίας.



Σχήμα 7. Διαδικασία Προγραμματισμού Παραγωγής

2.4.2 Προγραμματισμός Παραγωγικών Πόρων (MRP II)

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στα τέλη της δεκαετίας του '70 εμφανίστηκε το MRP II που κατά την American Production and Inventory Control Society (APICS) είναι μια μέθοδος αποτελεσματικού προγραμματισμού όλων των παραγωγικών πόρων που χρησιμοποιεί μια βιομηχανική επιχείρηση.

Για την επιτυχή εφαρμογή ενός συστήματος MRP II, τα ανωτέρω υποσυστήματα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα αλληλοενημέρωσης μέσω ανατροφοδότησης των πληροφοριών (feedback), ώστε ανά πάσα στιγμή όλοι οι πόροι της παραγωγής να συνεργάζονται αρμονικά και να δουλεύουν για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Η ροή των βασικών πληροφοριών καθώς και η δομή ενός συστήματος MRP II, φαίνονται διαγραμματικά στο Σχήμα 8.¹³

¹³ Wallace J. Hopp & Mark L. Spearman, *Factory Physics, Second Edition, Mc Graw-Hill International Editions, 2000*

2.5 Αποθέματα

2.5.1 Σκοπός των Αποθεμάτων

Στην ερώτηση αν η αποθήκευση των προϊόντων είναι απαραίτητη, θα μπορούσε κανείς να απαντήσει ότι ναι είναι. Στην περίπτωση που η ζήτηση για τα προϊόντα μιας εταιρίας ήταν γνωστή και τα προϊόντα μπορούσαν να προωθηθούν άμεσα έτσι ώστε να καλυφθεί η ζήτηση, τότε θεωρητικά δεν υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση των προϊόντων. Παρόλα αυτά, δεν είναι ούτε οικονομικό ούτε πρακτικό για μία εταιρία να λειτουργεί με αυτό τον τρόπο αφού η ζήτηση συνήθως δεν μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλη ακρίβεια. Γι' αυτό οι εταιρίες χρησιμοποιούν τα αποθέματα για τη βελτίωση του συντονισμού της ζήτησης με την προμήθεια των προϊόντων, καθώς και για την ελαχιστοποίηση των συνολικών εξόδων. Η αποθήκευση των προϊόντων αποτελεί οικονομική διευκόλυνση παρά αναγκαιότητα.

Οι εταιρίες διατηρούν αποθέματα για τέσσερις κύριους λόγους:

1. μείωση του κόστους παραγωγής και μεταφοράς των προϊόντων
2. συντονισμός της ζήτησης και της προμήθειας των προϊόντων
3. υποβοήθηση της παραγωγικής διαδικασίας
4. υποβοήθηση της διαδικασίας του marketing

1. Μείωση του κόστους παραγωγής και μεταφοράς των προϊόντων

Η αποθήκευση των προϊόντων αποτελεί επιπρόσθετο έξοδο, το οποίο όμως αντισταθμίζεται από τη μείωση των εξόδων που επιτυγχάνεται στους τομείς της μεταφοράς των προϊόντων καθώς και της παραγωγικής διαδικασίας.

2. Συντονισμός της ζήτησης και της προμήθειας των προϊόντων

Εταιρίες των οποίων τα προϊόντα παρουσιάζουν περιοδική ζήτηση αντιμετωπίζουν προβλήματα κατά το συντονισμό της προμήθειας των προϊόντων και της ζήτησης. Για παράδειγμα, εταιρίες τροφίμων που παράγουν κονσερβοποιημένα λαχανικά και φρούτα αναγκάζονται να αποθηκεύουν τα προϊόντα τους, έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιήσουν τη ζήτηση κατά τη περίοδο που τα φρούτα και λαχανικά δεν ευδοκιμούν. Γι' αυτό το λόγο, οι εταιρίες αυτές που πρέπει να προμηθεύσουν τα προϊόντα τους μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, παράγουν κατά τη διάρκεια του χρόνου σταθερές ποσότητες των προϊόντων τους και τις αποθηκεύουν με αποτέλεσμα την μείωση των εξόδων της παραγωγικής διαδικασίας. Γενικά, όποτε είναι δύσκολος

ο συντονισμός της προμήθειας των προϊόντων και της ζήτησης, τότε επιβάλλεται η αποθήκευση.

3.Υποβοήθηση της παραγωγικής διαδικασίας

Η αποθήκευση μπορεί να είναι και μέρος της παραγωγικής διαδικασίας. Η παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων, όπως τυρί, κρασί κ.α., απαιτούν μία περίοδο ωρίμανσης. Οι αποθήκες δεν εξυπηρετούν μόνο στην αποθήκευση προϊόντων κατά τη φάση αυτή της παραγωγής αλλά, στην περίπτωση που τα προϊόντα φορολογούνται, η αποθήκη μπορεί να αποτελέσει ασφάλεια τα των προϊόντων μέχρι τον καιρό της πώλησης τους. Με αυτό τον τρόπο οι εταιρίες μπορούν να καθυστερήσουν τη πληρωμή των φόρων, μέχρι τη πώληση των προϊόντων.

4.Υποβοήθηση της διαδικασίας του marketing

Ένα από τα θέματα που σχετίζονται με το μάρκετινγκ αφορά την άμεση διαθεσιμότητα των προϊόντων στην αγορά. Η αποθήκευση προσθέτει επιπλέον αξία στο προϊόν. Το προϊόν βρίσκεται κοντά στο καταναλωτή και ο χρόνος παράδοσης του μπορεί να μειωθεί ή η προμήθεια του να είναι άμεση. Η αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση των πελατών μέσω της γρηγορότερης παράδοσης των προϊόντων, μπορεί να αυξήσει τις πωλήσεις.¹⁴

2.5.2 Κατηγορίες αποθεμάτων

Τα αποθέματα μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες:

1η Κατηγορία

Τα αποθέματα που βρίσκονται στην αλυσίδα τροφοδοσίας. Είναι τα αποθέματα που βρίσκονται υπό μεταφορά μεταξύ των σημείων παράγωγης και αποθήκευσης, επειδή η μεταφορά τους δεν είναι άμεση. Στις περιπτώσεις που η μεταφορά είναι αργή ή συντελείται μεταξύ μεγάλων αποστάσεων ή διεκπεραιώνετε σε πολλά στάδια, ο όγκος των αποθεμάτων που διακινούνται στην αλυσίδα τροφοδοσίας μπορεί να υπερβαίνει τον όγκο των αποθεμάτων που βρίσκονται στα σημεία αποθήκευσης.

2η Κατηγορία

Μερικά είδη προϊόντων αποθηκεύονται με το σκεπτικό της κερδοσκοπίας. Πρώτες ύλες όπως ο χρυσός, το ασημί και ο χαλκός, αγοράζονται σε συγκεκριμένες

περιόδους τόσο επειδή οι τιμή αγοράς τους είναι ελκυστική, όσο και για να καλύψουν λειτουργικές απαιτήσεις.

3η Κατηγορία

Τα αποθέματα μπορεί να είναι κυκλικά ή αλλιώς κανονικά: Είναι τα αποθέματα που κρίνονται αναγκαία για τη κάλυψη της μέσης ζήτησης κατά τη διάρκεια περιόδων που λαμβάνουν χώρα διαδοχικοί ανεφοδιασμοί. Ο όγκος των κυκλικών αποθεμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της παραγωγής, από περιορισμούς όσον αφορά τους αποθηκευτικούς χώρους, το χρόνο υλοποίησης των ανεφοδιασμών και το κόστος αποθήκευσης.

4η Κατηγορία

Τα αποθέματα πολλές φορές δημιουργούνται ως μέσο προστασίας στη μεταβλητότητα που παρουσιάζει πολλές φορές η ζήτηση. Το απόθεμα ασφαλείας, όπως είναι γνωστό, είναι επιπρόσθετο του κανονικού αποθέματος που διατηρείτε για κάλυψη της μέσης ζήτησης. Το απόθεμα ασφαλείας καθορίζεται από στατιστικές διαδικασίες που σχετίζονται με τη μεταβλητότητα της ζήτησης και άλλων παραγόντων που σχετίζονται με τη παραγωγική διαδικασία. Ο όγκος του αποθέματος ασφαλείας εξαρτάται από τη μεταβλητότητα και από το επίπεδο της διαθέσιμης αποθηκευτικής ικανότητας. Η ακριβής πρόβλεψη είναι απαραίτητη για τη μείωση του αποθέματος ασφαλείας.

5η Κατηγορία

Τέλος, πολλές φορές η ποιότητα των αποθεμάτων χαλάει ή δεν υπάρχει πλέον ζήτηση γι' αυτά ή χάνονται όταν κρατούνται για αρκετό χρονικό διάστημα. Αυτού του είδους το απόθεμα ονομάζεται απαρχαιωμένο (obsolete) ή νεκρό (dead).¹⁴

2.5.3 Καθορισμός Ύψους Αποθέματος Ασφαλείας

Τα αποθέματα ασφαλείας εξασφαλίζουν ότι η ζήτηση θα ικανοποιείται έγκαιρα (όταν αφορούν έτοιμα προϊόντα) ή ότι δεν θα διακοπεί η παραγωγική διαδικασία (όταν αφορούν πρώτες ύλες ή ενδιάμεσα προϊόντα), αν η ζήτηση/ανάλωση του αποθέματος υπερβεί το μέσο ρυθμό που αναμένεται κατά το χρόνο αναμονής μιας παραγγελίας για την αναπλήρωση του αποθέματος. Η ύπαρξη αποθεμάτων ασφαλείας συνεπάγεται ένα αντίστοιχο κόστος αποθεματοποίησης, που οφείλεται στη δέσμευση κεφαλαίων, τη δαπάνη αποθήκευσης και τον κίνδυνο φθοράς ή απαξίωσης των αποθεμάτων, αλλά και

ένα όφελος από την εξουδετέρωση του κινδύνου μιας κατάστασης έλλειψης αποθέματος.

Ο καθορισμός του ύψους του αποθέματος ασφαλείας είναι δυνατόν να βασιστεί στην εξισορρόπηση των δύο ανωτέρω αντίρροπων συντελεστών κόστους-οφέλους. Επειδή όμως το όφελος που προκύπτει από την πρόληψη της εμφάνισης έλλειψης αποθέματος είναι γενικά δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, στην πράξη συνήθως ο καθορισμός του ύψους των αποθεμάτων ασφαλείας, βασίζεται στην έννοια του βαθμού ή επιπέδου εξυπηρέτησης του πελάτη («εσωτερικού» ή «εξωτερικού»). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, καθορίζεται ένα επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης με βάση μια κατανομή πιθανότητας για τη δημιουργία ζήτησης κατά τη διάρκεια του χρόνου αναμονής.

Για παράδειγμα, θα εξετάσουμε τη μέθοδο της συνεχούς παρακολούθησης απόθεματος ή σταθερής ποσότητας παραγγελίας της κλασικής θεωρίας διαχείρισης αποθεμάτων, θεωρώντας μεταβλητή ζήτηση η οποία ακολουθεί μια από τις γνωστές κατανομές πιθανότητας, ενώ ο χρόνος αναμονής είναι δεδομένος και σταθερός. Στην περίπτωση αυτή, το σημείο αναπαραγγελίας και το απόθεμα ασφαλείας, δίνονται από τους τύπους:

$$ROP = d \times LT + Z \times (S_d) \quad SS = Z \times (S_d) = Z \times (S_d \times \sqrt{LT})$$

d = μέση ημερήσια ζήτηση

S_d = τυπική απόκλιση της ημερήσιας ζήτησης

S_d = τυπική απόκλιση της ζήτησης στη διάρκεια του χρόνου αναμονής

LT = χρόνος αναμονής (ημέρες)

Ο αριθμός z είναι ένας συντελεστής ασφαλείας (προκύπτει από στατιστικούς πίνακες ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης) : όσο μεγαλύτερος, τόσο μεγαλύτερη είναι η βεβαιότητα ότι η ζήτηση θα ικανοποιηθεί, αν αυτή ξεπεράσει τη μέση. Αν για παράδειγμα, η ζήτηση ακολουθεί την κανονική κατανομή, τότε $z = 1$ σημαίνει ότι η ζήτηση θα καλυφθεί στο 84,13% των περιπτώσεων, ενώ το ποσοστό αυτό για $z = 2$ γίνεται 97,72% και για $z = 3$ γίνεται 99,87%.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, αν είναι γνωστή η κατανομή της πιθανότητας της ζήτησης στη διάρκεια του (σταθερού) χρόνου αναμονής, τότε για τον προσδιορισμό

του σημείου αναπαραγγελίας απαιτείται μόνο να καθορισθεί το επίπεδο εξυπηρέτησης της ζήτησης ή το αντίστοιχο επίπεδο ασφάλειας που επιδιώκεται. Ο καθορισμός του επιπέδου αυτού είναι θέμα πολιτικής της επίχειρησης.

Μέχρι τώρα, έγινε η παραδοχή ότι η ζήτηση μεταβάλλεται, ο χρόνος αναμονής παραμένει σταθερός. Όταν και οι δύο παράμετροι είναι μεταβλητές, τότε πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση και του χρόνου αναμονής. Θεωρώντας ότι οι δύο παράμετροι ακολουθούν την κανονική κατανομή και ότι είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, αν η τυπική απόκλιση του χρόνου αναμονής είναι S_{LT} , έχουμε :

$$ROP = d \times LT + Z \times (S_d) \quad SS = Z \times (S_d) = Z \times (\sqrt{LT \times S_d^2 \times d^2 \times S_{LT}^2})$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τους πιο πάνω υπολογισμούς, ορίζεται ενιαίο επίπεδο εξυπηρέτησης και για τις δύο παραμέτρους. Επίσης, στην περίπτωση κατά την οποία οι δύο παράμετροι ακολουθούν διαφορετικές κατανομές πιθανοτήτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικοί πίνακες συνδυασμένων κατανομών.

Η ύπαρξη των αποθεμάτων ασφαλείας θεωρείται απαραίτητη για την αντιμετώπιση της διακύμανσης της ζήτησης των υλικών που χαρακτηρίζονται από ανεξάρτητη ζήτηση. Στην περίπτωση των υλικών που παρουσιάζουν εξαρτημένη ζήτηση και διαχειρίζονται με την τεχνική του MRP, η αποφυγή ελλείψεων αποθέματος και υπεραποθεματοποίησης των ειδών, αντιμετωπίζονται συνήθως με την κατάλληλη προσαρμογή των χρόνων αναμονής, επίσπευση εντολών και γενικότερα με συχνές και έγκαιρες παρεμβάσεις στην προτεραιότητα εκτέλεσης τόσο των εντολών παραγωγής των ημιτέτοιμων υλικών, όσο και των παραγγελιών των προμηθευόμενων ειδών.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι η πιο συχνή προσέγγιση για τη μείωση των φαινομένων που απορρέουν από την αβεβαιότητα της ζήτησης/ανάλωσης των ειδών, είναι η χρήση αποθεμάτων ασφαλείας για τα τελικά προϊόντα. Πολύ συχνά πάντως στην καθημερινή πρακτική των επιχειρήσεων, θεωρείται σκόπιμη η διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας και για τα ενδιάμεσα και για τα αγοραζόμενα είδη, ώστε να αποφευχθούν συνεχείς παρεμβάσεις στην παραγωγική διαδικασία. Και στις δύο περιπτώσεις, ο καθορισμός του ύψους των αποθεμάτων ασφαλείας, διαμορφώνεται με βάση τη λογική που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους.¹⁴

¹⁴ Γ. Θεολόγος & Β. Μουστάκης, Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Πολυτεχνείο Κρήτης 2000

Κεφάλαιο 3

**Ανάπτυξη
Μοντέλου
Επίλυσης**

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

3.1 Λίγα λόγια για την εταιρία

Η ΒΙΟΣΕΡ Α.Ε. ιδρύθηκε στα Τρίκαλα το 1980 από μια ομάδα νέων επιστημόνων και επιτυχημένων επαγγελματιών με όραμα την δημιουργία μιας πρότυπης Ελληνικής βιομηχανίας φαρμάκων.

Οι ιδιότητες εγκαταστάσεις ολοκληρώθηκαν το 1983 και η κανονική λειτουργία τους ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 1984. Από τον επόμενο χρόνο λειτουργίας της η ΒΙΟΣΕΡ Α.Ε. πραγματοποίησε σημαντικές επενδύσεις σε σύγχρονο εξοπλισμό με σκοπό την αύξηση της παραγωγικής της δυναμικότητας και τη μείωση του κόστους σε όλους τους τομείς της. Έτσι το 1985 εγκατέστησε και νέα γραμμή παραγωγής ορών σε φιάλες Bottlerpack διπλασιάζοντας την παραγωγική της δυναμικότητα.

Το 1987 εγκατέστησε γραμμή παρασκευής και συσκευασίας εύκαμπτων σάκων 2 & 3 lit. παραμένοντας μέχρι σήμερα η μοναδική παραγωγική μονάδα των προϊόντων αυτών. Από το 1989 η εταιρεία αναπτύσσει και εμπορική δραστηριότητα αντιπροσωπεύοντας οίκους της Ευρώπης και της Αμερικής. Το 1996 άρχισε να λειτουργεί και τρίτη γραμμή παραγωγής ορών σε φιάλες Bottlerpack τριπλασιάζοντας έτσι την αρχική της παραγωγική δυναμικότητα.

Σήμερα η εταιρεία εντείνει την επενδυτική της δραστηριότητα με την εγκατάσταση νέων γραμμών παραγωγής, την τεχνολογική ολοκλήρωση των υπάρχοντων καθώς και την επέκτασή της σε νέα προϊόντα που προτίθεται να ενσωματώσει στην υπάρχουσα σειρά που διαθέτει.

Έτσι επενδύει και σε τέταρτη αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής παρεντερικών διαλυμάτων και ειδών μιας χρήσης, αυξάνοντας κατά 50% την παραγωγική της δυναμικότητα. Η επένδυση υλοποιείται σύμφωνα με τις νέες απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως Qualification, Validation όλων των γραμμών της.

Επίσης αυξάνει τους αποθηκευτικούς της χώρους, καλύπτοντας πλήρως τις αυξημένες ανάγκες για αποθήκευση και καλύτερη λειτουργία του συστήματος Logistics.

Σήμερα η ΒΙΟΣΕΡ ΑΕ με την υποστήριξη υψηλού τεχνολογικά Logistic συστήματος και με αποθηκευτικούς χώρους στα Τρίκαλα (κεντρική αποθήκη 3700 παλέτες - 3500 m²), στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη (περιφερειακές 300 & 250

παλέτες αντίστοιχα - 600 & 350 m²) είναι ικανή να καλύψει όλα τα νοσοκομεία της Ελληνικής επικράτειας στο μικρότερο δυνατό χρόνο παράδοσης, 24 ώρες για την ηπειρωτική Ελλάδα και 48 ώρες για τα νησιά.

3.2 Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας

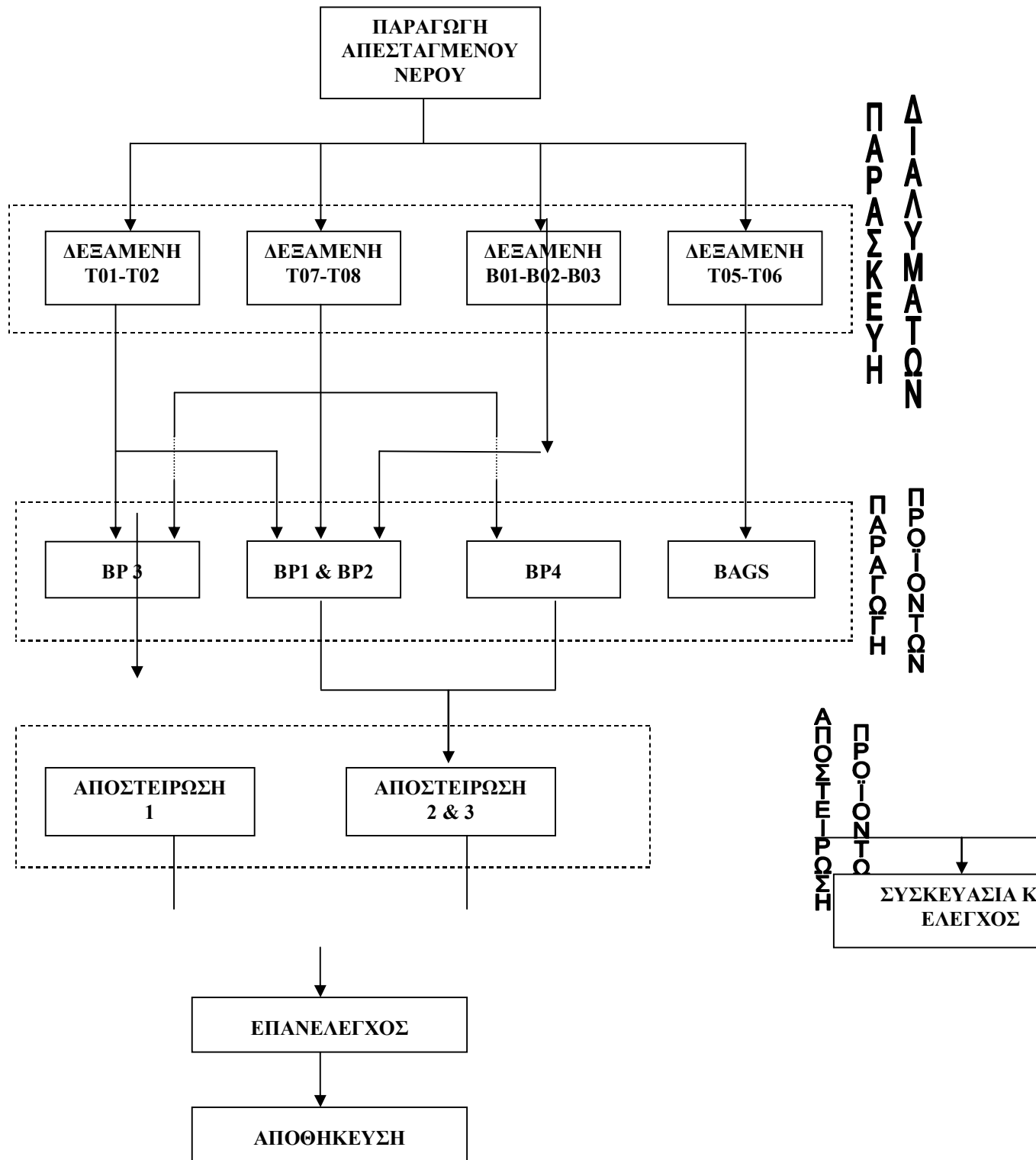
Με σκοπό τον έλεγχο και τη βελτίωση της λειτουργίας των γραμμών παραγωγής της εταιρίας, όπου είναι δυνατόν, γίνεται μια προσπάθεια με τη χρήση του Γραμμικού Προγραμματισμού για την δημιουργία ενός μοντέλου όπου θα καθορίζει το πρόγραμμα παραγωγής με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται η μελλοντική ζήτηση των προϊόντων ενώ συγχρόνως θα ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής και αποθήκευσης.

Επομένως, αρχικά δημιουργείται ένα μοντέλο με βάση την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία το οποίο επιλύεται και στη συνέχεια βάση των αποτελεσμάτων τίθονται προς μελέτη 3 σενάρια που διαφοροποιούν την παραγωγική διαδικασία με σκοπό την μείωση της πολυπλοκότητας των γραμμών παραγωγής και την αποτελεσματικότερη χρήση του εξοπλισμού και του προσωπικού.

Η παραγωγική διαδικασία της εταιρίας αποτελείται από επιμέρους διαδικασίες οι οποίες περιγράφονται παρακάτω και είναι οι εξής:

1. Επεξεργασία Νερού
2. Παρασκευή Διαλυμάτων
3. Παραγωγή Προϊόντων
4. Παραγωγή Φυσίγγων
5. Παραγωγή BAGS – CAPD
6. Παραγωγή Συσκευών

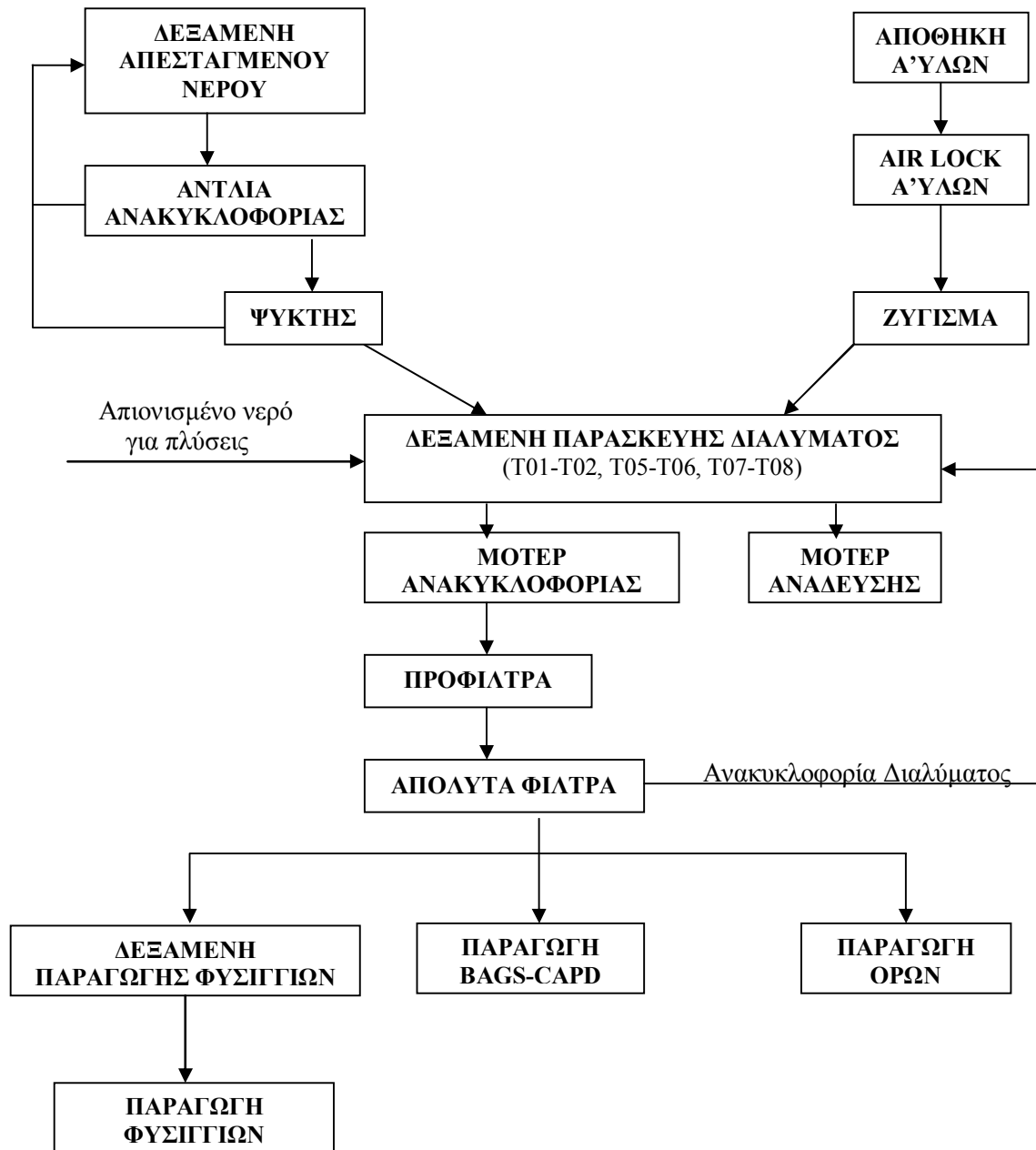
Ακολουθεί το γενικό διάγραμμα ροής της παραγωγής (σχήμα 9) και στη συνέχεια αναλυτικά διαγράμματα που αναφέρονται στις γραμμές παραγωγής που μελετήσαμε και στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο μας (σχήμα 10 και σχήμα 11).



Σχήμα 9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο διάγραμμα το νερό, που αποτελεί και το βασικό συστατικό των προϊόντων μετά την επεξεργασία του, οδηγείται σε δεξαμενές

παρασκευής των διαλυμάτων και εν συνεχεία έχουμε τις 4 γραμμές παραγωγής προϊόντων, τη γραμμή παραγωγής BAGS-CAPD και τη γραμμή παραγωγής φυσιγγίων . Η διαδικασία παρασκευής των διαλυμάτων, από τη δεξαμενή απεσταγμένου νερού μέχρι και την διάθεση των διαλυμάτων στις διάφορες γραμμές παραγωγής φαίνεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί.



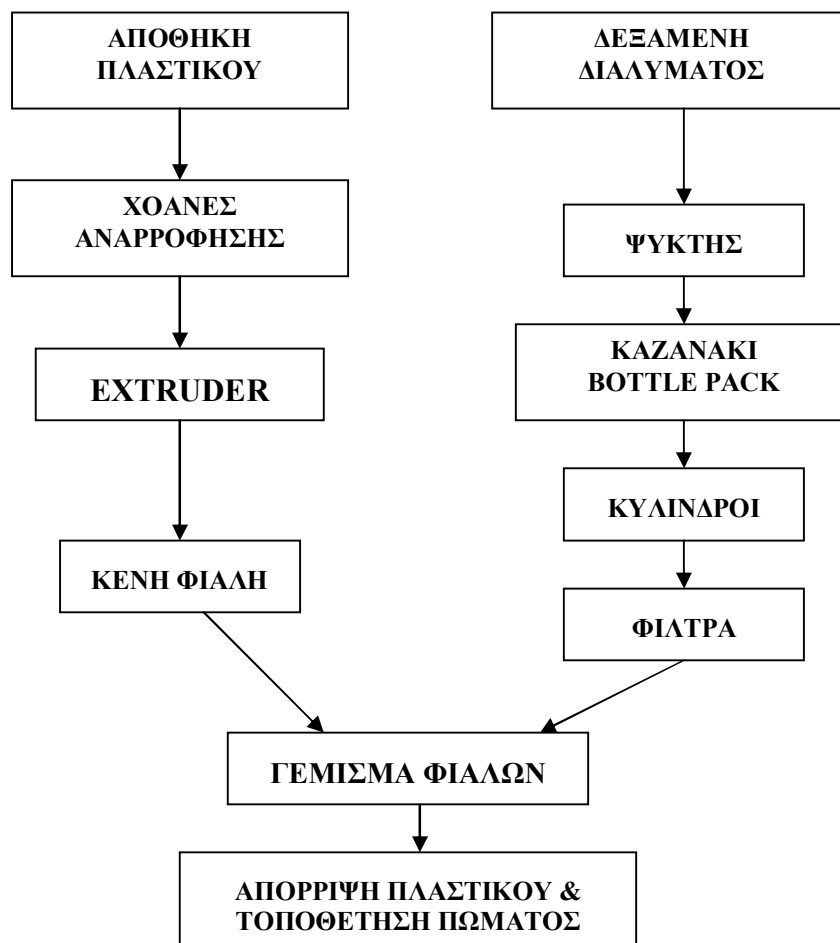
Σχήμα 10. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια υπάρχει η διαδικασία της παρασκευής προϊόντων, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο ακόλουθο διάγραμμα ροής (σχήμα 10) και η οποία

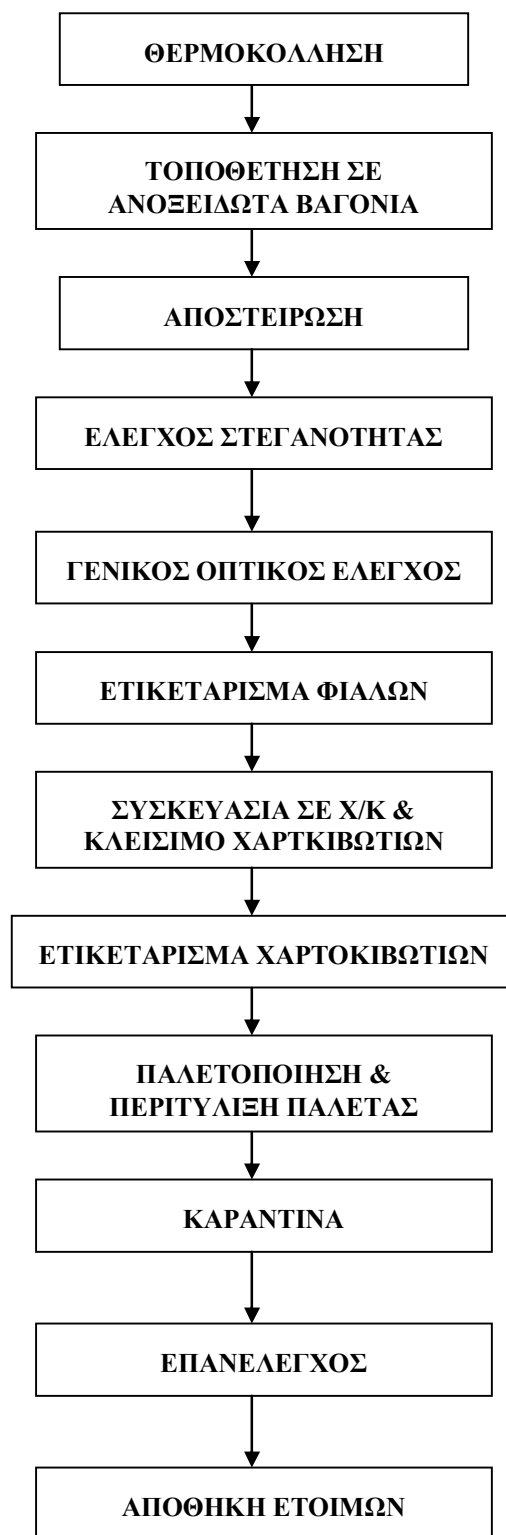
ξεκινά από την τροφοδοσία με το διάλυμα από την δεξαμενή του διαλύματος μέχρι και την αποθήκευση στην αποθήκη ετοιμών.

Η διαδικασία μορφοποίησης της φιάλης (από αδρανές πολυαιθυλένιο), της πλήρωσης αυτής με το διάλυμα και του κλεισίματος της γίνεται μέσω αυτόματων συστημάτων, τα οποία λειτουργούν ασηπτικά και χωρίς εξωτερική παρέμβαση.

Υπάρχουν 4 γραμμές παραγωγής ορρών, BP1, BP2, BP3, BP4 (BP:bottle pack) οι οποίες λειτουργούν παράλληλα στον ίδιο χώρο. Προς αποφυγή λαθών ανάμιξης (στα διάφορα στάδια παραγωγής) των προϊόντων μιας γραμμής με προϊόντα άλλων γραμμών, είτε όλες οι γραμμές δουλεύουν το ίδιο προϊόν, είτε δουλεύουν διαφορετικά προϊόντα αλλά είναι διαφορετικός ο όγκος της φιάλης που συσκευάζονται, οπότε η ανάμιξη είναι αδύνατη. Το διάγραμμα που ακολουθεί περιγράφει τη λειτουργία μιας γραμμής παραγωγής προϊόντων η οποία είναι ίδια και για τις 4 γραμμές παραγωγής προϊόντων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (συνέχεια)



Σχήμα 11. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

3.3 Διατύπωση Προβλήματος

Μελετώντας τις διαδικασίες και τα δεδομένα όλων των σταδίων της παραγωγικής μονάδας, αποφασίστηκε να εξεταστούν οι 4 γραμμές παραγωγής των προϊόντων που αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι το μοντέλο που σχεδιάστηκε μελετά αυτές τις γραμμές παραγωγής και καθορίζει το πρόγραμμα παραγωγής με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται η μελλοντική ζήτηση των προϊόντων, με το μικρότερο κόστος παραγωγής και αποθήκευσης και ταυτόχρονα με πιο αποτελεσματική χρήση του εξοπλισμού και του προσωπικού.

Τα προϊόντα που παράγονται από τις 4 γραμμές παραγωγής είναι 34 και διαφοροποιούνται είτε ως προς τη σύσταση είτε ως προς τη συσκευασία τους (1000ml, 500ml, 250ml και 100ml). Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται όλα τα παραγόμενα προϊόντα και ο αντίστοιχος συμβολισμός για κάθε προϊόν, που θα χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης .

Πίνακας 6. Αντιστοιχίες Προϊόντων και Μεταβλητών Απόφασης

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ
1	MEDICINE 1 1000 ML	X_1
2	MEDICINE 2 1000 ML	X_2
3	MEDICINE 3 1000 ML	X_3
4	MEDICINE 4 1000 ML	X_4
5	MEDICINE 5 1000 ML	X_5
6	MEDICINE 6 1000 ML	X_6
7	MEDICINE 7 1000 ML	X_7
8	MEDICINE 8 1000 ML	X_8
9	MEDICINE 9 1000 ML	X_9
10	MEDICINE 10 1000 ML	X_{10}
11	MEDICINE 11 1000 ML	X_{11}
12	MEDICINE 12 1000 ML	X_{12}
13	MEDICINE 13 1000 ML	X_{13}
14	MEDICINE 14 500 ML	X_{14}
15	MEDICINE 15 500 ML	X_{15}
16	MEDICINE 16 500 ML	X_{16}
17	MEDICINE 17 500 ML	X_{17}
18	MEDICINE 18 500 ML	X_{18}

19	MEDICINE 19 500 ML	X_{19}
20	MEDICINE 20 500 ML	X_{20}
21	MEDICINE 21 500 ML	X_{21}
22	MEDICINE 22 500 ML	X_{22}
23	MEDICINE 23 500 ML	X_{23}
24	MEDICINE 24 500 ML	X_{24}
25	MEDICINE 25 500 ML	X_{25}
26	MEDICINE 26 500 ML	X_{26}
27	MEDICINE 27 250 ML	X_{27}
28	MEDICINE 28 250 ML	X_{28}
29	MEDICINE 29 250 ML	X_{29}
30	MEDICINE 30 250 ML	X_{30}
31	MEDICINE 31 250 ML	X_{31}
32	MEDICINE 32 250 ML	X_{32}
33	MEDICINE 33 100 ML	X_{33}
34	MEDICINE 34 100 ML	X_{34}

Επειδή όμως κάθε προϊόν έχει τη δυνατότητα να παρασκευάζεται σε περισσότερες από μία δεξαμενή και στη συνέχεια συσκευάζεται σε ένα από τα 4 bottle pack ανάλογα με τη δεξαμενή που παρασκευάστηκε, η παραγόμενη ποσότητα κάθε προϊόντος που έχουμε συμβολίσει με X_i (όπου $i=1-34$) είναι τελικά ένα άθροισμα από ποσότητες που συμβολίζονται ανάλογα τη δεξαμενή που παρασκευάζονται, το bottle pack που συσκευάζονται και το χώρο που αποστειρώνονται. Ακολουθεί η ανάλυση και η επεξήγηση των συμβόλων για κάθε προϊόν.

Τα προϊόντα των 1000ml έχουν τη δυνατότητα να παρασκευάζονται σε δύο δεξαμενές, είτε την T07-T08 είτε την B01-B02-B03 και να συσκευάζονται σε δύο μηχανές Bottle Pack την BP1&2 (θεωρείται ως μία μηχανή bottle pack) και την BP4. Επομένως η συνολική παραγόμενη ποσότητα X_i για κάθε προϊόν των 1000ml προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' , \quad i = 1-13$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP4.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP4.

Επίσης τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml έχουν τη δυνατότητα να παρασκευάζονται σε δύο δεξαμενές, είτε την T01-T02 είτε την T07-T08 και να συσκευάζονται σε δύο μηχανές Bottle Pack την BP1&2 (θεωρείται ως μία μηχανή bottle pack) και την BP3. Επομένως η συνολική παραγόμενη ποσότητα X_i για κάθε προϊόν των 500ml, 250ml και 100ml προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' , \quad i = 14-34$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP3.

X_i'' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP3.

Έχοντας κάνει την πιο πάνω ανάλυση μπορούμε να ορίσουμε την αντικειμενική συνάρτηση η οποία εκφράζει το άθροισμα του κόστους παραγωγής και του κόστους αποθεμάτων και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{ C_{\text{Π}i} * (X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''') + C_{\text{ΑΠ}i} * (X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' - \zeta_i + A_i \text{ αρχής}) \}$$

όπου:

$C_{\text{Π}i}$: κόστος παραγωγής του προϊόντος i , (πίνακας 7)

$X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' = X_i$: η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος i , (ζητούμενο)

$C_{\text{ΑΠ}i}$: μέσο κόστος διατήρησης αποθέματος του προϊόντος i , (πίνακας 7)

ζ_i : η μηνιαία ζήτηση για κάθε προϊόν X_i η οποία υπολογίζεται ως

$[(\text{Ετήσια ζήτηση τεμαχίων} / 365) * 30]$, με την ετήσια ζήτηση να είναι γνωστή από ιστορικά στοιχεία της εταιρίας. (πίνακας 8)

$A_i \text{ αρχής}$: το απόθεμα για κάθε προϊόν στην αρχή του μήνα, το οποίο είναι γνωστό. (πίνακας 8)

Στον πίνακα 7 που ακολουθεί συμπεριλαμβάνονται τα στοιχεία για το κόστος παραγωγής προϊόντων και το μέσο κόστος διατήρησης αποθεμάτων ενώ στον πίνακα 8 δίδονται τα στοιχεία με το απόθεμα αρχής, την ετήσια και μηνιαία ζήτηση καθώς και το στοκ ασφαλείας που θέλουμε να τηρούμε (10 ημερών).

Πίνακας 7. Δεδομένα Κόστους Προϊόντων

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (€)	Μ.Ο. κόστους αποθεμάτων (€)
MEDICINE 1 1000 ML	X_1	0,518	0,494
MEDICINE 2 1000 ML	X_2	0,490	0,466
MEDICINE 3 1000 ML	X_3	0,534	0,503
MEDICINE 4 1000 ML	X_4	0,522	0,498
MEDICINE 5 1000 ML	X_5	0,741	0,693
MEDICINE 6 1000 ML	X_6	0,580	0,558
MEDICINE 7 1000 ML	X_7	0,510	0,488
MEDICINE 8 1000 ML	X_8	0,457	0,435
MEDICINE 9 1000 ML	X_9	0,470	0,470
MEDICINE 10 1000 ML	X_{10}	0,455	0,434
MEDICINE 11 1000 ML	X_{11}	0,478	0,456

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (€)	Μ.Ο. κόστους αποθεμάτων (€)
MEDICINE 12 1000 ML	X_{12}	0,456	0,434
MEDICINE 13 1000 ML	X_{13}	0,466	0,000
MEDICINE 14 500 ML	X_{14}	0,402	0,382
MEDICINE 15 500 ML	X_{15}	0,371	0,352
MEDICINE 16 500 ML	X_{16}	0,449	0,464
MEDICINE 17 500 ML	X_{17}	0,390	0,392
MEDICINE 18 500 ML	X_{18}	0,606	0,580
MEDICINE 19 500 ML	X_{19}	0,770	0,685
MEDICINE 20 500 ML	X_{20}	0,858	0,811
MEDICINE 21 500 ML	X_{21}	0,401	0,380
MEDICINE 22 500 ML	X_{22}	0,323	0,361
MEDICINE 23 500 ML	X_{23}	0,336	0,336
MEDICINE 24 500 ML	X_{24}	0,408	0,000
MEDICINE 25 500 ML	X_{25}	0,425	0,000
MEDICINE 26 500 ML	X_{26}	0,426	0,411
MEDICINE 27 250 ML	X_{27}	0,341	0,324
MEDICINE 28 250 ML	X_{28}	0,332	0,311
MEDICINE 29 250 ML	X_{29}	0,366	0,342
MEDICINE 30 250 ML	X_{30}	0,589	0,563
MEDICINE 31 250 ML	X_{31}	0,343	0,322
MEDICINE 32 250 ML	X_{32}	0,283	0,283
MEDICINE 33 100 ML	X_{33}	0,323	0,301
MEDICINE 34 100 ML	X_{34}	0,310	0,292

Πίνακας 8. Αρχικά Δεδομένα για τα Προϊόντα

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	S.S. 10 ΗΜΕΡΩΝ (τεμάχια)
X ₁	25.795	1.297.119	108.093	36031
X ₂	2.618	36.228	3.019	1006
X ₃	4.677	88.820	7.402	2467
X ₄	590	45.075	3.756	1252
X ₅	2.441	4.601	383	128
X ₆	182	47.269	3.939	1313
X ₇	6.432	35.686	2.974	991
X ₈	13.490	1.388.098	115.675	38558
X ₉	988	974	81	27
X ₁₀	903	362.158	30.180	10060
X ₁₁	19.519	1.275.100	106.258	35419
X ₁₂	2.634	50.093	4.174	1391
X ₁₃	0	1.957.417	163.118	0
X ₁₄	30.095	510.372	42.531	14177
X ₁₅	6.584	990.423	82.535	27512
X ₁₆	3.264	2.511	209	70
X ₁₇	0	700	58	19
X ₁₈	2.923	23.721	1.977	659
X ₁₉	2.314	10.740	895	298
X ₂₀	6.853	62.975	5.248	1749
X ₂₁	12.331	284.477	23.706	7902
X ₂₂	8.010	51.926	4.327	1442
X ₂₃	247	0	0	0
X ₂₄	0	0	0	0
X ₂₅	0	0	0	0
X ₂₆	764	19.614	1.635	545
X ₂₇	12.321	285.116	23.760	7920
X ₂₈	21.032	789.062	65.755	21918

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	S.S. 10 ΗΜΕΡΩΝ (τεμάχια)
X ₂₉	4.603	28.090	2.341	780
X ₃₀	4.063	9.957	830	277
X ₃₁	12.827	124.558	10.380	3460
X ₃₂	648	586	49	16
X ₃₃	9.401	136.126	11.344	3781
X ₃₄	16.320	1.391.639	115.970	38657

Έχοντας ορίσει τις μεταβλητές απόφασης του προβλήματός μας και την αντικειμενική συνάρτηση ακολουθεί ο καθορισμός των περιορισμών.

α) Περιορισμοί “ικανοποίησης της ζήτησης” και κάλυψης του αποθέματος ασφαλείας για κάθε προϊόν i (34 περιορισμοί):

$$X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' + A_{i \text{ αρχής}} \geq \zeta_i + SS_i \quad (1)$$

$$\text{με } X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' = X_i$$

δηλαδή η παραγόμενη ποσότητα κάθε προϊόντος συν το απόθεμά του στην αρχή του μήνα θα πρέπει να καλύπτει τη μηνιαία ζήτηση συν το απόθεμα ασφαλείας που θέλουμε να τηρείται (10 ημερών).

Π.χ. για το προϊόν X_1 ισχύει :

$$X_1' + X_1'' + X_1''' + X_1'''' + 25795 \geq 108093 + 36031$$

ή τελικά

$$X_1' + X_1'' + X_1''' + X_1'''' \geq 118329$$

β) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες ώρες λειτουργίας των “μηχανών”.

Με το όρο “μηχανές” περιγράφονται :

- Οι 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων T01-T02, T07-T08 και B01-B02-B03.
- Οι 3 μηχανές εμφιάλωσης BP1&2, BP3, BP4.
- Τα 2 σημεία αποστείρωσης ΑΠ1 και ΑΠ2&3.
- Η διαδικασία συσκευασίας και ελέγχου των προϊόντων.

Στον Πίνακα 9 που ακολουθεί υπάρχουν τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τους περιορισμούς των διαθέσιμων ωρών λειτουργίας των “μηχανών”.

Πίνακας 9. Χρόνοι παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Οι “μηχανές” λειτουργούν 24 ώρες ημερησίως για 5 μέρες την εβδομάδα. Κάθε μήνα θεωρούμε 22 εργάσιμες ημέρες επομένως οι συνολικές διαθέσιμες ώρες λειτουργίας για κάθε “μηχανή” είναι 528 ώρες (22days*24h). Στον πίνακα 9 δίδονται οι χρόνοι παραγωγής (σε ώρες) ανά μονάδα προϊόντος (τεμάχιο) για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας το οποίο καλείται “μηχανή”. Αυτοί οι χρόνοι έχουν προκύψει μετά από επεξεργασία των στοιχείων παραγωγής που υπάρχουν στους σχετικούς πίνακες που παρατίθενται στο Παράρτημα της εργασίας. Οι πίνακες αυτοί έχουν στοιχεία για την ποσότητα παραγωγής προϊόντος, το χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή της συγκεκριμένης ποσότητας, τις απαραίτητες εργατοώρες και τη φύρα προϊόντος. Από τα στοιχεία που δίδονται στον πίνακα 9 και με τον τρόπο που περιγράφεται πιο κάτω προκύπτουν οι περιορισμοί των διαθέσιμων ωρών για κάθε “μηχανή”.

Ο πίνακας 9 έχει 136 (4*34 προϊόντα) στήλες και 9 σειρές (όσες και οι διαδικασίες παραγωγής). Σε κάθε σειρά του πίνακα πολλαπλασιάζεται κάθε κελί αυτής σειράς με την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος που αντιστοιχεί σ’ αυτό κελί (του προϊόντος που αναγράφεται στην στήλη αυτού του κελιού) οπότε προκύπτουν γινόμενα, των οποίων το άθροισμα αποτελεί τον περιορισμό των διαθέσιμων ωρών λειτουργία της “μηχανής” που περιγράφει η σειρά του πίνακα. Επομένως έχουμε τους παρακάτω 9 περιορισμούς.

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M1_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (2)$$

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M2_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (3)$$

Για τη δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων B01-B02-B03:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M3_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (4)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP1&2 :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M4_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (5)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M5_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (6)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP4:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M6_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (7)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M7_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (8)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ2&3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M8_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (9)$$

Για τη συσκευασία και τον έλεγχο των ορρών:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M9_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h} \quad (10)$$

όπου:

X_{ij} : ο συμβολισμός της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος για διευκόλυνση στην μαθηματική διατύπωση του περιορισμού, με $i=1-34$ (ο αριθμός των προϊόντων) και $j=1-4$ ανάλογα με την υποκατηγορία κάθε προϊόντος X_i' , X_i'' , X_i''' και X_i'''' . Δηλαδή για $j=1$ ισχύει $X_{i1} = X_i'$, για $j=2$ ισχύει $X_{i2} = X_i''$, για $j=3$ ισχύει $X_{i3} = X_i'''$ και για $j=4$ ισχύει $X_{i4} = X_i''''$.

Π.χ. $X_{23} = X_2'''$, $X_{81} = X_8'$ ή $X_{264} = X_{26}''''$

- M1: η “μηχανή” T01-T02 και $M1_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T01-T02, δηλαδή οι τιμές της σειράς 1 του πίνακα 9.
- M2: η “μηχανή” T07-T08 και $M2_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T07-T08, δηλαδή οι τιμές της σειράς 2 του πίνακα 9.
- M3: η “μηχανή” B01-B02-B03 και $M3_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” B01-B02-B03, δηλαδή οι τιμές της σειράς 3 του πίνακα 9.
- M4: η “μηχανή” BP1&BP2 και $M4_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP1&2, δηλαδή οι τιμές της σειράς 4 του πίνακα 9.
- M5: η “μηχανή” BP3 και $M5_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 5 του πίνακα 9.
- M6: η “μηχανή” BP4 και $M6_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP4, δηλαδή οι τιμές της σειράς 6 του πίνακα 9.
- M7: η “μηχανή” ΑΠ1 και $M7_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ1, δηλαδή οι τιμές της σειράς 7 του πίνακα 9.
- M8: η “μηχανή” ΑΠ2&3 και $M8_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ2&3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 9.
- M9: η “μηχανή” ΣΥΣΚ. & ΕΛΕΓ και $M9_{4i-4+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρώσει αυτή τη διαδικασία ένα τεμάχιο προϊόντος, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 9.

Π.χ. για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02 ισχύει ο περιορισμός:

$$0 * X_1' + 0 * X_1'' + 0 * X_1''' + 0 * X_1'''' + \dots + 0,000875 * X_{14}' + 0,000875 * X_{14}'' + 0 * X_{14}''' + 0 * X_{14}'''' + 0,000875 * X_{15}' + \dots + 0,000833 * X_{27}' + 0,000833 * X_{27}'' + 0 * X_{27}''' + 0 * X_{27}'''' + \dots + 0,000686 * X_{34}' + 0,000686 * X_{34}'' + 0 * X_{34}''' + 0 * X_{34}'''' \leq 528 \text{ h}$$

Ομοίως προκύπτουν και οι υπόλοιποι περιορισμοί για κάθε “μηχανή”.

γ) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Στο μοντέλο θέτουμε χρονικό ορίζοντα ενός μήνα και επομένως γι' αυτό το χρονικό διάστημα οι διαθέσιμες εργατοώρες ανά στάδιο παραγωγής προκύπτουν από τον αριθμό των εργαζομένων ανά στάδιο παραγωγής επί τον ημερήσιο χρόνο εργασίας τους επί τις εργάσιμες ημέρες του μήνα. Κάθε εργαζόμενος απασχολείται 8 ώρες την ημέρα και 22 μέρες κάθε μήνα. Αναλυτικά για κάθε στάδιο της παραγωγής έχουμε τις ακόλουθες διαθέσιμες εργατοώρες:

Παρασκευή Διαλυμάτων

Υπάρχουν 3 εργαζόμενοι στην πρωινή βάρδια, 3 στην απογευματινή και 1 στη βραδινή. Επομένως οι συνολικές εργατοώρες στη διάρκεια ενός μήνα γι' αυτό το στάδιο παραγωγής είναι 1232 ($7 \text{ εργαζόμενοι} * 8 \text{ ώρες εργασίας} * 22 \text{ μέρες}$).

Παραγωγή Προϊόντων

Υπάρχουν 5 εργαζόμενοι στην πρωινή βάρδια, 4 στην απογευματινή και 3 στη βραδινή. Επομένως οι συνολικές εργατοώρες στη διάρκεια ενός μήνα γι' αυτό το στάδιο παραγωγής είναι 2112 ($12 \text{ εργαζόμενοι} * 8 \text{ ώρες εργασίας} * 22 \text{ μέρες}$).

Αποστείρωση Προϊόντων

Υπάρχουν 7 εργαζόμενοι στην πρωινή βάρδια, 6 στην απογευματινή και 4 στη βραδινή. Επομένως οι συνολικές εργατοώρες στη διάρκεια ενός μήνα γι' αυτό το στάδιο παραγωγής είναι 2992 ($17 \text{ εργαζόμενοι} * 8 \text{ ώρες εργασίας} * 22 \text{ μέρες}$).

Συσκευασία & Έλεγχος και Επανεέλεγχος

Υπάρχουν 14 εργαζόμενοι στην πρωινή βάρδια, 11 στην απογευματινή και 6 στη βραδινή. Επομένως οι συνολικές εργατοώρες στη διάρκεια ενός μήνα γι' αυτό το στάδιο παραγωγής είναι 5456 ($31 \text{ εργαζόμενοι} * 8 \text{ ώρες εργασίας} * 22 \text{ μέρες}$).

Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Από τα δεδομένα του πίνακα 10, τα οποία βασίζονται σε στοιχεία που υπάρχουν στους σχετικούς πίνακες που παρατίθενται στο Παράρτημα της εργασίας, προκύπτουν οι περιορισμοί για τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Πίνακας 10. Εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Ο πίνακας 10 έχει 136 στήλες (4*34 προϊόντα) και 10 σειρές, όσες και οι διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι το στάδιο της αποθήκευση ετοιμών προϊόντων και οι οποίες απαιτούν κάποιες εργατοώρες για την πραγματοποίησή τους. Οι περιορισμοί προκύπτουν όπως περιγράφεται παρακάτω.

Σε κάθε σειρά του πίνακα υπολογίζεται το άθροισμα των γινομένων που προκύπτουν αν πολλαπλασιαστεί κάθε κελί αυτής σειράς με την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος που αντιστοιχεί σ'αυτό κελί (του προϊόντος που αναγράφεται στην στήλη αυτού του κελιού). Επομένως έχουμε ανά σειρά του πίνακα 10 τα παρακάτω αθροίσματα γινομένων:

Σειρά 1 - Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W1_{4i-4+j} \quad (11)$$

Σειρά 2 - Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W2_{4i-4+j} \quad (12)$$

Σειρά 3 - Για τη δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων B01-B02-B03:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W3_{4i-4+j} \quad (13)$$

Σειρά 4 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP1&2 :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W4_{4i-4+j} \quad (14)$$

Σειρά 5 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W5_{4i-4+j} \quad (15)$$

Σειρά 6 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP4:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} WM6_{4i-4+j} \quad (16)$$

Σειρά 7 - Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W7_{4i-4+j} \quad (17)$$

Σειρά 8 - Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ2&3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W8_{4i-4+j} \quad (18)$$

Σειρά 9 - Για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W9_{4i-4+j} \quad (19)$$

Σειρά 10 - Για τον επανέλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W10_{4i-4+j} \quad (20)$$

όπου:

X_{ij} : ο συμβολισμός της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος για διευκόλυνση στην μαθηματική διατύπωση του περιορισμού, με $i=1-34$ (ο αριθμός των προϊόντων) και $j=1-4$ ανάλογα με την υποκατηγορία κάθε προϊόντος X_i' , X_i'' , X_i''' και X_i'''' . Δηλαδή για $j=1$ ισχύει $X_{i1} = X_i'$, για $j=2$ ισχύει $X_{i2} = X_i''$, για $j=3$ ισχύει $X_{i3} = X_i'''$ και για $j=4$ ισχύει $X_{i4} = X_i''''$.

$W1_{4i-4+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T01-T02, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 1 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

$W2_{4i-4+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T07-T08, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 2 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

$W3_{4i-4+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή B01-B02-B03, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 3 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

- W_{4i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP1&BP2, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 4 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- W_{5i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 5 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- W_{6i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP4, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 6 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- W_{7i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ1, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 7 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- W_{8i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ2&3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 8 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- W_{9i-4+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της συσκευασίας & ελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 9 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W_{10i-4+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας επαναελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 10 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

Οι εργαζόμενοι στην παρασκευή των διαλυμάτων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παρασκευής των διαλυμάτων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (11), (12) και (13) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W_{1_{4i-4+j}} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W_{2_{4i-4+j}} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W_{3_{4i-4+j}} \leq 1232 \text{ h} \quad (21)$$

Οι εργαζόμενοι στην παραγωγή των προϊόντων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 μηχανές Bottleneck, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παραγωγής των προϊόντων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (14), (15) και (16) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W4_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W5_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} WM6_{4i-4+j} \leq 2112 \text{ h} \quad (22)$$

Οι εργαζόμενοι στην διαδικασία αποστείρωσης και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 2 μηχανές αποστείρωσης, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο αποστείρωσης των προϊόντων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (17) και (18) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W7_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W8_{4i-4+j} \leq 2992 \text{ h} \quad (23)$$

Τέλος οι εργαζόμενοι για τη συσκευασία και τον έλεγχο των ορρών απασχολούνται και στον επανέλεγχο, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες γι' αυτά τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (19) και (20) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W9_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W10_{4i-4+j} \leq 5456 \text{ h} \quad (24)$$

Επομένως προκύπτουν 4 περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

δ) Περιορισμοί μη αρνητικότητας :

$$X_i', X_i'', X_i''', X_i'''' \geq 0$$

Τελικά το πρόβλημα που τίθεται προς λύση, αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και αποθεμάτων που εκφράζεται από τη παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση, έχει 34 μεταβλητές απόφασης οι οποίες υποδιαιρούνται τελικά σε 136 διαφορετικές μεταβλητές (όπως έχει εξηγηθεί πιο πάνω) και 47 περιορισμούς (εκτός από τους περιορισμούς μη αρνητικότητας) που παρουσιάζονται συγκεντρωτικά πιο κάτω.

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{ C_{\Pi i} * (X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''') + C_{\text{ΑΠ}i} * (X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' - \zeta_i + A_i \text{ αρχής}) \}$$

$$X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' + A_i \text{ αρχής} \geq \zeta_i + \text{SS}_i, i=1-34$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M1_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M2_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M3_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M4_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M5_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M6_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M7_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M8_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} M9_{4i-4+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W1_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W2_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W3_{4i-4+j} \leq 1232 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W4_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W5_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W6_{4i-4+j} \leq 2112 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W7_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W8_{4i-4+j} \leq 2992 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W9_{4i-4+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^4 X_{ij} W10_{4i-4+j} \leq 5456 \text{ h}$$

$$X_i', X_i'', X_i''', X_i'''' \geq 0$$

3.4 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Το πρόβλημα επιλύεται με τη χρήση του προγράμματος EXCEL-Solver. Η βέλτιστη λύση που προκύπτει για την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, τις ποσότητες των προϊόντων που παράγονται καθώς και για το αποθέμα κάθε κωδικού προϊόντος παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 11. Σύγκριση Βέλτιστης Αρχικής Λύσης και Παρούσας Κατάστασης

	Αρχική Λύση	Παρούσα Κατάσταση	Ποσοστό Μείωσης Κόστους
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	456.335 €	609.786 €	25,16 %
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	112.088 €	186.200 €	39,80 %
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	344.247 €	423.586 €	18,73 %

Πίνακας 12. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	163,45	528
T07-T08	182,92	528
B01-B02-B03	82,79	528
BP1&2	242,05	528
BP3	280,43	528
BP4	84,81	528
ΑΠ 1	373,40	528
ΑΠ 2&3	524,80	528
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓΧ	193,49	528

Πίνακας 13. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	336,55	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	828,21	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1230,73	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3725,27	5456

Πίνακας 14. Αποτελέσματα σχετικά με τα Προϊόντα

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₁	118.330	108.093	25.795	36.031	36.031
X ₂	1.407	3.019	2.618	1.006	1.006
X ₃	5.194	7.403	4.677	2.468	2.468
X ₄	4.419	3.756	590	1.252	1.252
X ₅	0	383	2.441	2.057	128
X ₆	5.071	3.939	182	1.313	1.313
X ₇	0	2.974	6.432	3.458	991
X ₈	140.743	115.675	13.490	38.558	38.558
X ₉	0	81	988	906	27
X ₁₀	39.337	30.180	903	10.060	10.060
X ₁₁	122.160	106.259	19.519	35.420	35.420
X ₁₂	2.932	4.175	2.634	1.391	1.391
X ₁₃	1.984	1.488	0	0	0
X ₁₄	26.613	42.531	30.095	14.177	14.177
X ₁₅	103.463	82.535	6.584	27.512	27.512
X ₁₆	0	210	3.264	3.054	70
X ₁₇	79	59	0	20	20
X ₁₈	0	1.977	2.923	946	659
X ₁₉	0	895	2.314	1.419	298
X ₂₀	144	5.248	6.853	1.749	1.749
X ₂₁	19.278	23.706	12.331	7.902	7.902
X ₂₂	0	4.327	8.010	3.682	1.442
X ₂₃	0	0	247	247	0
X ₂₄	0	0	0	0	0
X ₂₅	0	0	0	0	0
X ₂₆	1.416	1.635	764	545	545
X ₂₇	19.359	23.760	12.321	7.920	7.920
X ₂₈	66.642	65.755	21.032	21.919	21.919
X ₂₉	0	2.341	4.603	2262	780

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₃₀	0	830	4.063	3.233	277
X ₃₁	1.013	10.380	12.827	3.459	3.459
X ₃₂	0	49	648	599	16
X ₃₃	5.724	11.344	9.401	3.781	3.781
X ₃₄	138.303	115.967	16.320	38.656	38.656

Τέλος στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε προϊόν, οι παραγόμενες ποσότητες ανάλογα με τη πορεία που ακολουθούν στη παραγωγική διαδικασία.

Πίνακας 15

ΠΡΟΪΟΝ	X _i ' (τεμάχια)	X _i '' (τεμάχια)	X _i ''' (τεμάχια)	X _i '''' (τεμάχια)
X ₁	91.606	8.908	8.908	8.908
X ₂	0	0	0	1.407
X ₃	0	0	795	4.399
X ₄	0	0	21	4.398
X ₅	0	0	0	0
X ₆	0	0	673	4.398
X ₇	0	0	0	0
X ₈	84.325	18.806	18.806	18.806
X ₉	0	0	0	0
X ₁₀	7.213	10.708	10.708	10.708
X ₁₁	47.757	24.801	24.801	24.801
X ₁₂	733	733	733	733
X ₁₃	496	496	496	496
X ₁₄	17.692	7	6	8.908
X ₁₅	32.332	19.393	19.383	32.355
X ₁₆	0	0	0	0
X ₁₇	40	0	0	39
X ₁₈	0	0	0	0

X_{19}	0	0	0	0
X_{20}	72	0	0	72
X_{21}	10.357	7	7	8.907
X_{22}	0	0	0	0
X_{23}	0	0	0	0
X_{24}	0	0	0	0
X_{25}	0	0	0	0
X_{26}	708	0	0	708
X_{27}	10.438	6	7	8908
X_{28}	35.108	6.187	6.187	19.160
X_{29}	0	0	0	0
X_{30}	0	0	0	0
X_{31}	506	0	0	506
X_{32}	0	0	0	0
X_{33}	2.862	0	0	2.862
X_{34}	41.061	28.090	28.091	41.061

3.5 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στους πιο πάνω πίνακες μπορούν να παρατηρηθούν τα ακόλουθα :

- Καταρχήν υπάρχει μείωση στο συνολικό κόστος λειτουργίας της εταιρίας κατά 25,16 %, όπως και στα επιμέρους κόστη, και πιο συγκεκριμένα στο κόστος διατήρησης αποθεμάτων κατά 39,80% και στο κόστος παραγωγής κατά 18,73%.
- Στα προϊόντα όπου το αρχικό τους απόθεμα είναι υπερβολικά μεγάλο δεν υπάρχει παραγόμενη ποσότητα αφού καλύπτεται η μηνιαία ζήτησή τους και η απαιτούμενη ποσότητα που πρέπει να διατηρείται ως στοκ ασφαλείας. Τα προϊόντα αυτά είναι τα X_5 , X_7 , X_9 , X_{16} , X_{18} , X_{19} , X_{22} , X_{29} , X_{30} , και X_{32} .
- Οι διαθέσιμες μηχανώρες και εργατοώρες υπερκαλύπτουν στα περισσότερα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας τις απαιτούμενες μηχανώρες και εργατοώρες για την παραγωγή των ζητούμενων ποσοτήτων.

- Μόνο στο στάδιο της αποστείρωσης των προϊόντων παρατηρείται κάλυψη των διαθέσιμων μηχανοωρών σε ποσοστό 70% και 99% στις μηχανές ΑΠ1 και ΑΠ2&3 αντίστοιχα.
- Το μεγαλύτερο μέρος των παραγόμενων ποσοτήτων των προϊόντων 500ml, 250ml και 100ml περνά από το BP3 ανεξαρτήτα από την δεξαμενή που παρασκευάζεται το προϊόν.

Όπως αναφέρθηκε και πριν, σε μερικά προϊόντα το αρχικό απόθεμα ήταν υπερβολικά μεγάλο σε σχέση με τη ζήτηση του προϊόντος. Θέλοντας να δούμε πως λειτουργεί το μοντέλο που έχει σχεδιαστεί και τα αποτελέσματα που μας δίδει όταν πλέον έχουν εξομαλυνθεί οι ποσότητες αρχικού αποθέματος για κάθε προϊόν, υποθέτουμε ότι το αρχικό απόθεμα για κάθε προϊόν είναι ίσο με το στοκ ασφαλείας του προϊόντος – δηλαδή δεν διατηρούμε επιπλέον ποσότητα αποθέματος πέραν του στοκ ασφαλείας. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Πίνακας 16. Νέα Βέλτιστη Λύση – Προηγούμενη Βέλτιστη Λύση

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	431.680 €	456.335 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	103.588 €	112.088 €
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	328.092 €	344.247 €

Πίνακας 17. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	168,65	163,45	528
T07-T08	162,09	182,92	528
B01-B02-B03	76,66	82,79	528
BP1&2	239,18	242,05	528
BP3	253,67	280,43	528
BP4	78,05	84,81	528
ΑΠ 1	337,80	373,40	528
ΑΠ 2&3	509,27	524,80	528
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓΧ	181,46	193,49	528

Πίνακας 18. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	315,52	336,55	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	787,05	828,21	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1172,82	1230,73	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3488,74	3725,27	5456

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα συγκριτικά στοιχεία της αποδοτικότητας των εργαζομένων ανά στάδιο παραγωγής στις δύο λύσεις όπως και τα συγκριτικά στοιχεία της αποδοτικότητας των μηχανών (απαιτούμενες μηχανοώρες/ διαθέσιμες).

Πίνακας 19. Συγκριτικά Στοιχεία Ποσοστών Χρήσης των Μηχανών

ΜΗΧΑΝΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΧΡΗΣΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΗ ΝΕΑ ΛΥΣΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΧΡΗΣΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΛΥΣΗ
T01-T02	31,9 %	31 %
T07-T08	30,7 %	34,6 %
B01-B02-B03	14,5 %	15,7 %
BP1&2	45,3 %	45,8 %
BP3	48 %	53,1 %
BP4	14,8 %	16,1 %
ΑΠ 1	64 %	70,7 %
ΑΠ 2&3	96,5 %	99,4 %
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓΧ	34,4 %	36,6 %

Πίνακας 20. Συγκριτικά Στοιχεία Ποσοστών Απασχόλησης των Εργαζομένων

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΕΑ ΛΥΣΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΛΥΣΗΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	25,6 %	27,3 %
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	37,3 %	39,2 %
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ	39,2 %	41,1 %
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	63,9 %	68,3 %

Πίνακας 21. Αποτελέσματα σχετικά με τα Προϊόντα

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₁	108.094	108.094	36.031	36.031	36.031
X ₂	3.019	3.019	1.006	1.006	1.006
X ₃	7.403	7.403	2.468	2.468	2.468
X ₄	3.757	3.757	1.252	1.252	1.252
X ₅	384	384	128	128	128
X ₆	3.940	3.940	1.313	1.313	1.313
X ₇	2.974	2.974	991	991	991
X ₈	115.675	115.675	38.558	38.558	38.558
X ₉	82	82	27	27	27
X ₁₀	30.180	30.180	10.060	10.060	10.060
X ₁₁	106.259	106.259	35.420	35.420	35.420
X ₁₂	4.175	4.175	1.391	1.391	1.391
X ₁₃	1.488	1.488	496	496	496
X ₁₄	42.531	42.531	14.177	14.177	14.177
X ₁₅	82.535	82.535	27.512	27.512	27.512
X ₁₆	210	210	70	70	70
X ₁₇	59	59	20	20	20

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₁₈	1.977	1.977	659	659	659
X ₁₉	895	895	298	298	298
X ₂₀	5.248	5.248	1.749	1.749	1.749
X ₂₁	23.706	23.706	7.902	7.902	7.902
X ₂₂	4.327	4.327	3.682	3.682	1.442
X ₂₃	0	0	247	247	0
X ₂₄	0	0	0	0	0
X ₂₅	0	0	0	0	0
X ₂₆	1.635	1.635	545	545	545
X ₂₇	23.760	23.760	7.920	7.920	7.920
X ₂₈	65.755	65.755	21.919	21.919	21.919
X ₂₉	2.341	2.341	780	780	780
X ₃₀	830	830	277	277	277
X ₃₁	10.380	10.380	3.459	3.459	3.459
X ₃₂	49	49	16	16	16
X ₃₃	11.344	11.344	3.781	3.781	3.781
X ₃₄	115.967	115.967	38.656	38.656	38.656

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει να δούμε την κατανομή των ποσοτήτων που παράγονται ανά προϊόν ανάλογα με την πορεία που ακολουθούν στο διάγραμμα ροής της παραγωγής ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Έτσι λοιπόν στον πίνακα 22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη λύση του μοντέλου.

Πίνακας 22

ΠΡΟΪΟΝ	X _i ' (τεμάχια)	X _i '' (τεμάχια)	X _i ''' (τεμάχια)	X _i '''' (τεμάχια)
X ₁	88.124	6.656	6.656	6.656
X ₂	0	0	0	3.019
X ₃	0	0	2.180	5.223
X ₄	0	0	0	3.757

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'' (τεμάχια)	X_i''' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)
X_5	0	0	0	384
X_6	0	0	0	3.940
X_7	0	0	0	2.974
X_8	73.559	14.039	14.039	14.039
X_9	0	0	0	82
X_{10}	7.545	7.545	7.545	7.545
X_{11}	26.565	26.564	26.565	26.565
X_{12}	1.044	1.043	1.044	1.044
X_{13}	0	496	496	496
X_{14}	5.369	19.953	5.798	11.411
X_{15}	23.440	17.827	17.828	23.440
X_{16}	105	0	0	105
X_{17}	29	0	0	30
X_{18}	988	0	0	989
X_{19}	447	0	0	448
X_{20}	2.624	0	0	2.624
X_{21}	14.963	1.043	1.044	6.656
X_{22}	2.163	0	0	2.164
X_{23}	0	0	0	0
X_{24}	0	0	0	0
X_{25}	0	0	0	0
X_{26}	817	0	0	818
X_{27}	15.016	1.044	1.043	6.656
X_{28}	19.245	13.633	13.633	19.245
X_{29}	1.170	0	0	1.171
X_{30}	415	0	0	415
X_{31}	5.190	0	0	5.190
X_{32}	24	0	0	25
X_{33}	5.642	30	30	5.642
X_{34}	31.798	26.185	26.185	31.798

Από τα νέα στοιχεία που παρουσιάζονται στους πιο πάνω πίνακες μπορούν να παρατηρηθούν τα ακόλουθα :

- Η βέλτιστη λύση δίνει μικρότερο συνολικό κόστος αφού πλέον υπάρχει καλύτερος έλεγχος αποθεμάτων και από το ισοζύγιο κόστους λόγω της αύξησης των παραγόμενων ποσοτήτων σε κάποιους κωδικούς και την μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων σε άλλους καθώς και της μείωσης του αποθέματος σε κάποιους κωδικούς με παράλληλη αύξηση του αποθέματος σε άλλους προκύπτει μικρότερο συνολικό κόστος κατά 29,21%, μικρότερο κόστος διατήρησης αποθεμάτων κατά 44,36% και μικρότερο κόστος παραγωγής κατά 22,54%.
- Οι απαιτούμενες μηχανώρες και εργατοώρες είναι λιγότερες στην νέα λύση από αυτές της προηγούμενης λύσης, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για εφαρμογή ενός καλύτερου συστήματος προγραμματισμού παραγωγής και ελέγχου των αποθεμάτων. Στο μόνο σημείο που υπάρχει μια μικρή αύξηση στις απαιτούμενες μηχανώρες είναι στις μηχανώρες της δεξαμενής T01-T02 στην οποία παρασκευάζονται προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml και τα οποία είχαν αρχικά υψηλό απόθεμα και δεν χρειαζόταν να παράγεται κάποια ποσότητα από αυτούς τους κωδικούς αλλά πλέον μετά την εξομάλυνση στο απόθεμά τους απαιτείται να παράγεται και από αυτούς τους κωδικούς ποσότητα τουλάχιστον ίση με τη μηνιαία ζήτησή τους. Βέβαια όπως μπορούμε να δούμε οι απαιτούμενες εργατοώρες στο στάδιο της παρασκευής των διαλυμάτων έχουν μειωθεί, γεγονός που σημαίνει ότι η μείωση που επήλθε στις απαιτούμενες μηχανώρες των δεξαμενών T07-T08 και B01-B02-B03 καλύπτουν την αύξηση που παρατηρήθηκε στη δεξαμενή T01-T02.
- Όπως προκύπτει από τα συγκριτικά στοιχεία στους πίνακες 19 και 20, οι αποδοτικότητες τόσο των μηχανών όσο και των εργαζομένων στη νέα λύση είναι μικρότερες, γεγονός που σημαίνει ότι αν τελικά η εταιρία καταφέρει και λειτουργήσει τηρώντας σε όλα τα προϊόντα απόθεμα όσο το στοκ ασφαλείας τότε όχι μόνο μειώνει το συνολικό κόστος παραγωγής αλλά μπορεί να καλύψει τη ζήτηση της αγοράς χρησιμοποιώντας λιγότερες ώρες τον εξοπλισμό της και μικρότερο αριθμό ανθρώπινου δυναμικού.
- Τα προϊόντα των 1000ml με τις μεγαλύτερες ζητήσεις **X₁**, **X₈**, **X₁₀**, και **X₁₁** παράγονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους στην δεξαμενή T07-T08 και το

BP1&2 ενώ στη γραμμή T07-T08 → BP4→ΑΠ 2&3 παράγεται μικρό ποσοστό των απαιτούμενων ποσοτήτων των προϊόντων 1000ml.

- 6 προϊόντα των 1000ml παράγονται εξολοκλήρου στην γραμμή παραγωγής B01-B02-B03 → BP4 → ΑΠ 2&3
- Για τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων ποσοτήτων τους ανεξάρτητα από τη δεξαμενή παρασκευής των διαλύματων τους συσκευάζονται στην μηχανή BP3.(στον πίνακα 20, μεγαλύτερες τιμές των X_i' και X_i'''' για $i = 14-34$)

Έχοντας υπόψη μας όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις, θέτουμε προς λύση τα ακόλουθα σενάρια – προτάσεις για τον τρόπο λειτουργία της παραγωγής της εταιρίας με σκοπό να διερευνηθεί αν μπορεί να υπάρξει καλύτερη χρήση του εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού. Με γνώμονα τα παραπάνω έχουμε 3 σενάρια - προτάσεις που επιλύονται και συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους με αυτά της παρούσας κατάστασης οδηγούν σε σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

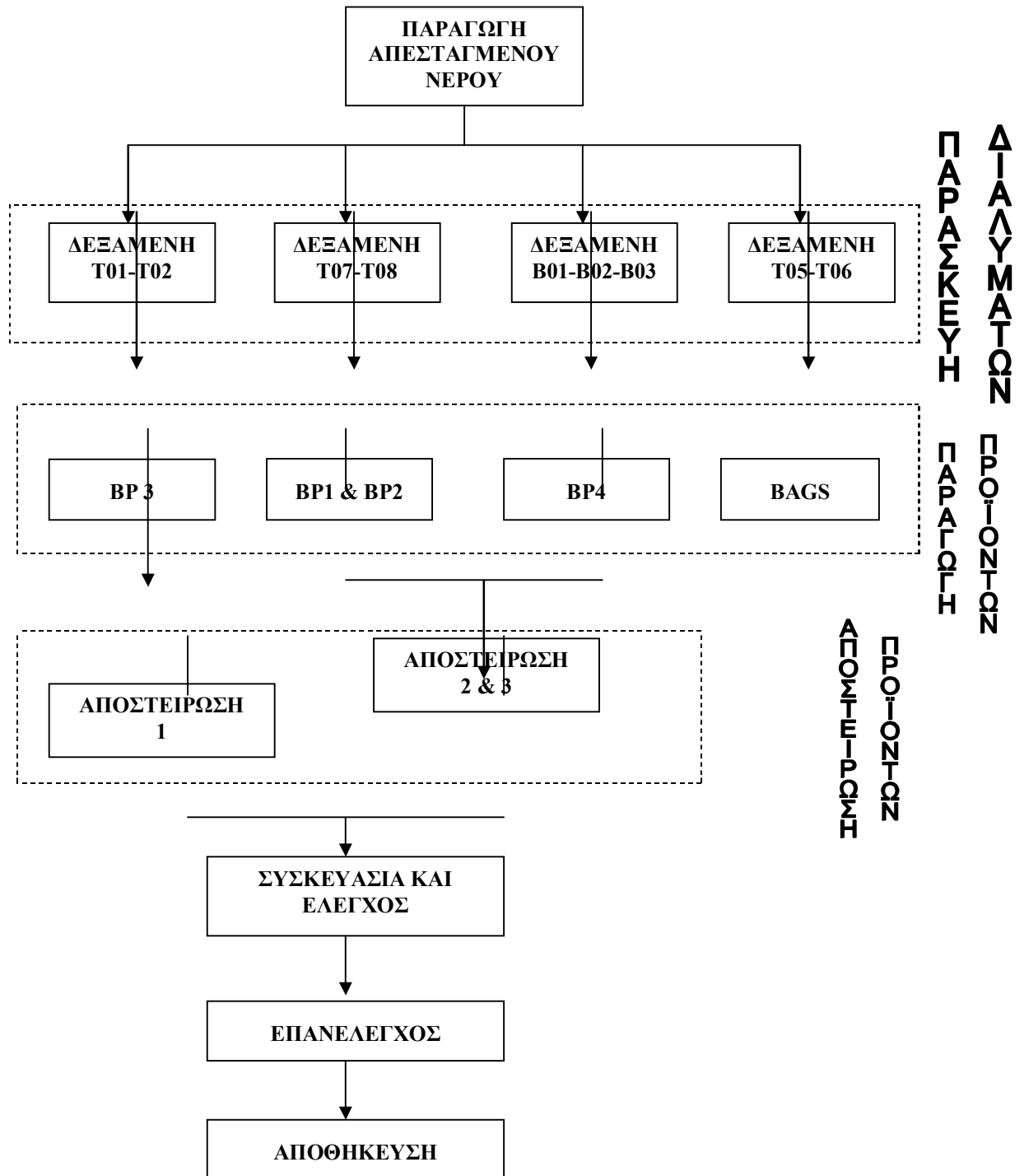
Κεφάλαιο 4

**Σενάρια
&
Προτάσεις**

4. ΣΕΝΑΡΙΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Σενάριο 1ο

Βάση αυτού του σεναρίου, οι διαφοροποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (σχήμα 12α).



Σχήμα 12α. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, θεωρείται ότι κάθε δεξαμενή συνδέεται με μία συγκεκριμένη μηχανή Bottle Pack ενώ στη συνέχεια ακολουθείται η παραγωγική διαδικασία χωρίς αλλαγές σε σχέση με το αρχικό διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στο σχήμα 9. Πιο συγκεκριμένα τα προϊόντα των 1000ml παρασκευάζονται είτε στη δεξαμενή T07-T08 είτε στην B01-B02-B03 και συσκευάζονται σε δύο μηχανές Bottle Pack, ανάλογα με τη δεξαμενή παρασκευής τους, στην BP1&2 τα προϊόντα της δεξαμενής T07-T08 και στην BP4 τα προϊόντα της δεξαμενής B01-B02-B03.

Επομένως η συνολικά παραγόμενη ποσότητα X_i για κάθε προϊόν των 1000ml δε δίδεται πλέον από την σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' \quad , \quad i = 1-13$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP4.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP4.

αλλά από τη σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i'''' \quad , \quad i = 1-13$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP4.

Επίσης τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml έχουν τη δυνατότητα να παρασκευάζονται σε δύο δεξαμενές, είτε στην T01-T02 είτε στην T07-T08 και να συσκευάζονται σε δύο μηχανές Bottle Pack, στην BP1&2 (θεωρείται ως μία μηχανή bottle pack) τα προϊόντα της δεξαμενής T07-T08 και στην BP3 τα προϊόντα της δεξαμενής T01-T02. Επομένως η συνολικά παραγόμενη ποσότητα X_i για κάθε προϊόν των 500ml, 250ml και 100ml δεν προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i'' + X_i''' + X_i'''' , \quad i = 14-34$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP3.

X_i'' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i'''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP3.

αλλά από τη σχέση:

$$X_i = X_i' + X_i''' , \quad i = 14-34$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP3.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

Η αντικειμενική συνάρτηση δεν μεταβάλλεται και ισχύει ως έχει :

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{ C_{\Pi i} * X_i + C_{\Lambda \Pi i} * X_i - \zeta_i + A_{i \text{ αρχής}} \}$$

όπου:

$C_{\Pi i}$: κόστος παραγωγής του προϊόντος i , (πίνακας 7)

X_i : η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος i , (ζητούμενο)

$C_{\Lambda \Pi i}$: μέσο κόστος διατήρησης αποθέματος του προϊόντος i , (πίνακας 7)

ζ_i : η μηνιαία ζήτηση για κάθε προϊόν X_i η οποία υπολογίζεται ως

$[(\text{Ετήσια ζήτηση τεμαχίων} / 365) * 30$, με την ετήσια ζήτηση να είναι γνωστή από ιστορικά στοιχεία της εταιρίας. (πίνακας 8)

$A_{i \text{ αρχής}}$: το απόθεμα για κάθε προϊόν στην αρχή του μήνα, το οποίο είναι γνωστό. (πίνακας 8)

Όμως υπάρχουν αλλαγές στους περιορισμούς του προβλήματος, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

α) Περιορισμοί “ικανοποίησης της ζήτησης” και κάλυψης του αποθέματος ασφαλείας για κάθε προϊόν i (34 περιορισμοί):

$$X_i + A_{i \text{ αρχής}} \geq \zeta_i + SS_i \quad (1)$$

δηλαδή η παραγόμενη ποσότητα κάθε προϊόντος συν το απόθεμά του στην αρχή του μήνα θα πρέπει να καλύπτει τη μηνιαία ζήτηση συν το απόθεμα ασφαλείας που θέλουμε να τηρείται (10 ημερών).

β) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες ώρες λειτουργίας των “μηχανών”.

Με το όρο “μηχανές” περιγράφονται :

- Οι 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων T01-T02, T07-T08 και B01-B02-B03.
- Οι 3 μηχανές εμφιάλωσης BP1&2, BP3, BP4.
- Τα 2 σημεία αποστείρωσης ΑΠ1 και ΑΠ2&3.
- Η διαδικασία συσκευασίας και ελέγχου των προϊόντων.

Στον Πίνακα 23 που ακολουθεί υπάρχουν τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τους περιορισμούς των διαθέσιμων ωρών λειτουργίας των “μηχανών”.

Πίνακας 23. Χρόνοι παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Ο πίνακας 23 έχει 68 (2*34 προϊόντα) στήλες και 9 σειρές (όσες και οι διαδικασίες παραγωγής). Σε κάθε σειρά του πίνακα πολλαπλασιάζεται κάθε κελί αυτής σειράς με την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος που αντιστοιχεί σ' αυτό κελί (του προϊόντος που αναγράφεται στην στήλη αυτού του κελιού) οπότε προκύπτουν γινόμενα, των οποίων το άθροισμα αποτελεί τον περιορισμό των διαθέσιμων ωρών λειτουργία της “μηχανής” που περιγράφει η σειρά του πίνακα. Επομένως έχουμε τους παρακάτω 9 περιορισμούς.

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M1_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (2)$$

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M2_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (3)$$

Για τη δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων B01-B02-B03:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M3_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (4)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP1&2 :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M4_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (5)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M5_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (6)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP4:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M6_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (7)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} \cdot M7_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (8)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ2&3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} \cdot M8_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (9)$$

Για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} \cdot M9_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (10)$$

όπου:

X_{ij} : ο συμβολισμός της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος για διευκόλυνση στην μαθηματική διατύπωση του περιορισμού. Πιο συγκεκριμένα ισχύει X_{ij} με $i=1-13$ και για $j=1$, $X_{i1} = X_i'$, ενώ για $j=2$ ισχύει $X_{i2} = X_i''$.

Π.χ. με $i=2$ και $j=1$ ισχύει $X_{21} = X_2'$ ή με $i=8$ και $j=2$ ισχύει $X_{82} = X_8''$

Ενώ για X_{ij} με $i=14-34$ και $j=1$, $X_{i1} = X_i'$, ενώ για $j=2$ ισχύει $X_{i2} = X_i''$

Π.χ. $i=16$ και $j=1$ $X_{161} = X_{16}'$ ή $i=28$ και $j=2$ $X_{282} = X_{28}''$

M1: η “μηχανή” T01-T02 και $M1_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T01-T02, δηλαδή οι τιμές της σειράς 1 του πίνακα 15.

M2: η “μηχανή” T07-T08 και $M2_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T07-T08, δηλαδή οι τιμές της σειράς 2 του πίνακα 15.

M3: η “μηχανή” B01-B02-B03 και $M3_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” B01-B02-B03, δηλαδή οι τιμές της σειράς 3 του πίνακα 15.

M4: η “μηχανή” BP1&2 και $M4_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP1&2, δηλαδή οι τιμές της σειράς 4 του πίνακα 15.

M5: η “μηχανή” BP3 και $M5_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 5

του πίνακα 15.

M6: η “μηχανή” BP4 και $M_{6_{2i-2+j}}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP4, δηλαδή οι τιμές της σειράς 6 του πίνακα 15.

M7: η “μηχανή” ΑΠ1 και $M_{7_{2i-2+j}}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ1, δηλαδή οι τιμές της σειράς 7 του πίνακα 15.

M8: η “μηχανή” ΑΠ2&3 και $M_{8_{2i-2+j}}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ2&3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 15.

M9: η “μηχανή” ΣΥΣΚ. & ΕΛΕΓ και $M_{9_{2i-2+j}}$ ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρώσει αυτή τη διαδικασία ένα τεμάχιο προϊόντος, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 15.

Π.χ. για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08 ισχύει ο περιορισμός:
 $0,000526 * X_1' + 0 * X_1'' + 0,000526 * X_2' + \dots + 0 * X_{14}' + 0,000263 * X_{14}'' + 0 * X_{15}' + \dots$
 $+ 0 * X_{27}' + 0,000132 * X_{27}'' + \dots + 0 * X_{34}' + 0,000053 * X_{34}'' \leq 528 \text{ h}$
 Ομοίως προκύπτουν και οι υπόλοιποι περιορισμοί για κάθε “μηχανή”.

γ) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Στο σενάριο αυτό δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στον αριθμό των εργαζομένων της εταιρίας, ούτε ανακατανομή του εργατικού δυναμικού στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας επομένως οι συνολικά διαθέσιμες εργατοώρες για κάθε στάδιο της παραγωγής παραμένουν ίδιες και είναι:

Για την Παρασκευή Διαλυμάτων – 1232 εργατοώρες

Για την Παραγωγή Προϊόντων – 2112 εργατοώρες

Για την Αποστείρωση Προϊόντων – 2992 εργατοώρες

Για τη Συσκευασία & Έλεγχος και Επανέλεγχος – 5456 εργατοώρες

Οι αλλαγές που υπάρχουν, αφορούν μόνο τον επιμέρους αριθμό που διαχωρίζονται τα 34 προϊόντα και ο οποίος είναι γι'αυτό το σενάριο 68 επιμέρους προϊόντα και όχι 136 που ήταν στο βασικό μοντέλο που παρουσιάστηκε αρχικά.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Από τα δεδομένα του πίνακα 24, προκύπτουν οι περιορισμοί για τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Πίνακας 24. Εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Ο πίνακας 24 έχει 68 στήλες (2*34 προϊόντα) και 10 σειρές, όσες και οι διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι το στάδιο της αποθήκευση ετοιμών προϊόντων. Οι περιορισμοί σχετικά με τις εργατοώρες που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των διαδικασιών της παραγωγής περιγράφονται παρακάτω.

Σε κάθε σειρά του πίνακα υπολογίζεται το άθροισμα των γινομένων που προκύπτουν αν πολλαπλασιαστεί κάθε κελί αυτής σειράς με την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος που αντιστοιχεί σ'αυτό κελί (του προϊόντος που αναγράφεται στην στήλη αυτού του κελιού). Επομένως έχουμε ανά σειρά του πίνακα 16 τα παρακάτω αθροίσματα γινομένων:

Σειρά 1 - Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W1_{2i-2+j} \quad (11)$$

Σειρά 2 - Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W2_{2i-2+j} \quad (12)$$

Σειρά 3 - Για τη δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων B01-B02-B03:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W3_{2i-2+j} \quad (13)$$

Σειρά 4 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP1&2 :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W4_{2i-2+j} \quad (14)$$

Σειρά 5 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W5_{2i-2+j} \quad (15)$$

Σειρά 6 - Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP4:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} WM6_{2i-2+j} \quad (16)$$

Σειρά 7 - Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W7_{2i-2+j} \quad (17)$$

Σειρά 8 - Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ2&3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W8_{2i-2+j} \quad (18)$$

Σειρά 9 - Για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W9_{2i-2+j} \quad (19)$$

Σειρά 10 - Για τον επανέλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W10_{2i-2+j} \quad (20)$$

όπου:

X_{ij} : όπως περιγράφηκε και πιο πάνω.

$W1_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T01-T02, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 1 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

$W2_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T07-T08, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 2 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

$W3_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή B01-B02-B03, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 3 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

$W4_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP1&BP2, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 4 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

- $W5_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 5 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W6_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP4, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 6 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W7_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ1, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 7 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W8_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ2&3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 8 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W9_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της συσκευασίας & ελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 9 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.
- $W10_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας επαναελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 10 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 10.

Οι εργαζόμενοι στην παρασκευή των διαλυμάτων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παρασκευής των διαλυμάτων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (11), (12) και (13) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W1_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W2_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W3_{2i-2+j} \leq 1232 \text{ h} \quad (21)$$

Οι εργαζόμενοι στην παραγωγή των προϊόντων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 μηχανές Bottleneck, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παραγωγής των προϊόντων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (14), (15) και (16) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W4_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W5_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} WM6_{2i-2+j} \leq 2112 \text{ h} \quad (22)$$

Οι εργαζόμενοι στην διαδικασία αποστείρωσης και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 2 μηχανές αποστείρωσης, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο αποστείρωσης των προϊόντων δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (17) και (18) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W7_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W8_{2i-2+j} \leq 2992 \text{ h} \quad (23)$$

Τέλος οι εργαζόμενοι για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων απασχολούνται και στον επανέλεγχο, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες γι' αυτά τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας δίδεται από το άθροισμα των σχέσεων (19) και (20) και είναι:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W9_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W10_{2i-2+j} \leq 5456 \text{ h} \quad (24)$$

Επομένως προκύπτουν 4 περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

δ) Περιορισμοί μη αρνητικότητας :

$$X_i' \geq 0, \text{ για } i=1-34$$

$$X_i'' \geq 0, \text{ για } i=1-13$$

$$X_i''' \geq 0, \text{ για } i=14-34$$

Τελικά το πρόβλημα που τίθεται προς λύση, αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και αποθεμάτων που εκφράζεται από τη παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση, έχει 34 μεταβλητές απόφασης οι οποίες υποδιαιρούνται τελικά σε 68 διαφορετικές μεταβλητές (όπως έχει εξηγηθεί πιο πάνω) και 47 περιορισμούς (εκτός από τους περιορισμούς μη αρνητικότητας) που παρουσιάζονται συγκεντρωτικά πιο κάτω.

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{C_{\Pi i} * X_i + C_{\text{ΑΠ}i} * X_i - \zeta_i + A_{i \text{αρχής}}\}$$

$$X_i + A_{i \text{αρχής}} \geq \zeta_i + \text{SS}_i$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M1_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M2_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M3_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M4_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M5_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M6_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M7_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M8_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M9_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W1_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W2_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W3_{2i-2+j} \leq 1232 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W4_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W5_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} WM6_{2i-2+j} \leq 2112 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W7_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W8_{2i-2+j} \leq 2992 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W9_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W10_{2i-2+j} \leq 5456 \text{ h}$$

$$X_i' \geq 0, \text{ για } i=1-34$$

$$X_i'' \geq 0, \text{ για } i=1-13$$

$$X_i''' \geq 0, \text{ για } i=14-34$$

4.1.1 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Έχοντας ορίσει την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς της, με βάση τα δεδομένα του σεναρίου 1, ακολουθεί η επίλυση του Μοντέλου με τη βοήθεια του προγράμματος EXCEL-Solver. Με τον όρο βασική λύση που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω περιγράφεται η αρχική βέλτιστη λύση του Μοντέλου που έχει παρουσιαστεί ήδη στο Κεφάλαιο 3. Έτσι λοιπόν προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Πίνακας 25. Βέλτιστη Λύση Σεναρίου 1 & Βασικής Λύσης

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	456.335 €	456.335 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	112.088 €	112.088 €
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	344.247 €	344.247 €

Πίνακας 26. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	217,73	163,45	528
T07-T08	171,28	182,92	528
B01-B02-B03	83,10	82,79	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	472,11	429,16	
BP1&2	242,85	242,05	528
BP3	276,98	280,43	528
BP4	86,00	84,81	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	605,83	607,29	
ΑΠ 1	368,64	373,40	528
ΑΠ 2&3	528,00	524,80	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	896,64	898,20	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓΧ	193,49	193,49	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	2168,07	2128,14	

Πίνακας 27. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	353,15	336,55	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	828,78	828,21	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1231,75	1230,73	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3724,53	3725,27	5456

Πίνακας 28. Αποτελέσματα σχετικά με τα Προϊόντα

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₁	118.330	108.093	25.795	36.031	36.031
X ₂	1.407	3.019	2.618	1.006	1.006
X ₃	5.194	7.403	4.677	2.468	2.468
X ₄	4.419	3.756	590	1.252	1.252
X ₅	0	383	2.441	2.057	128
X ₆	5.071	3.939	182	1.313	1.313
X ₇	0	2.974	6.432	3.458	991
X ₈	140.743	115.675	13.490	38.558	38.558
X ₉	0	81	988	906	27
X ₁₀	39.337	30.180	903	10.060	10.060
X ₁₁	122.160	106.259	19.519	35.420	35.420
X ₁₂	2.932	4.175	2.634	1.391	1.391
X ₁₃	1.984	1.488	0	0	0
X ₁₄	26.613	42.531	30.095	14.177	14.177
X ₁₅	103.463	82.535	6.584	27.512	27.512
X ₁₆	0	210	3.264	3.054	70
X ₁₇	79	59	0	20	20
X ₁₈	0	1.977	2.923	946	659
X ₁₉	0	895	2.314	1.419	298

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (τεμάχια)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΑΡΧΗΣ (τεμάχια)	ΑΠΟΘΕΜΑ ΤΕΛΟΥΣ (τεμάχια)	S.S. 10 ΜΕΡΕΣ (τεμάχια)
X ₂₀	144	5.248	6.853	1.749	1.749
X ₂₁	19.278	23.706	12.331	7.902	7.902
X ₂₂	0	4.327	8.010	3.682	1.442
X ₂₃	0	0	247	247	0
X ₂₄	0	0	0	0	0
X ₂₅	0	0	0	0	0
X ₂₆	1.416	1.635	764	545	545
X ₂₇	19.359	23.760	12.321	7.920	7.920
X ₂₈	66.642	65.755	21.032	21.919	21.919
X ₂₉	0	2.341	4.603	2262	780
X ₃₀	0	830	4.063	3.233	277
X ₃₁	1.013	10.380	12.827	3.459	3.459
X ₃₂	0	49	648	599	16
X ₃₃	5.724	11.344	9.401	3.781	3.781
X ₃₄	138.303	115.967	16.320	38.656	38.656

Τέλος στους Πίνακες 29 και 30 παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε προϊόν, οι παραγόμενες ποσότητες ανάλογα με τη πορεία που ακολουθούν στη παραγωγική διαδικασία.

Πίνακας 29. Προϊόντα των 1000ml

ΠΡΟΪΟΝ	X _i ' (τεμάχια)	X _i '''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X _i ' (τεμάχια)	X _i '''' (τεμάχια)
X ₁	100.514	17.816	X ₈	103.235	37.508
X ₂	0	1.407	X ₉	0	0
X ₃	0	5.193	X ₁₀	17.920	21.417
X ₄	0	4.419	X ₁₁	72.402	49.758
X ₅	0	0	X ₁₂	1.466	1.466
X ₆	0	5.071	X ₁₃	522	1.462
X ₇	0	0			

Πίνακας 30. Προϊόντα 500ml, 250ml και 100ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i''' (τεμάχια)
X_{14}	26.613	0	X_{25}	0	0
X_{15}	62.375	41.088	X_{26}	1.416	0
X_{16}	0	0	X_{27}	19.366	0
X_{17}	79	0	X_{28}	53.338	13.304
X_{18}	0	0	X_{29}	0	0
X_{19}	0	0	X_{30}	0	0
X_{20}	144	0	X_{31}	1.013	0
X_{21}	19.278	0	X_{32}	0	0
X_{22}	0	0	X_{33}	5.724	0
X_{23}	0	0	X_{34}	81.972	56.331
X_{24}	0	0			

4.1.2 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου 1 με αυτά της αρχικής βέλτιστης λύσης παρατηρείται ότι η βέλτιστη λύση είναι ίδια όσον αφορά το συνολικό κόστος, το κόστος διατήρησης αποθεμάτων και το κόστος παραγωγής προϊόντων.
- Οι απαιτούμενες μηχανώρες και εργατοώρες για το σενάριο 1 δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές σε σχέση με αυτές της αρχικής λύσης στα στάδια παραγωγής προϊόντων (μηχανές bottle pack), αποστείρωσης και συσκευασίας – ελέγχου αλλά υπάρχει μια σημαντική διαφορά στη φάση παρασκευής των διαλυμάτων.
- Το μεγαλύτερο μέρος των ποσοτήτων των προϊόντων 500ml, 250ml και 100ml παράγονται στη γραμμή παραγωγής T01-T02 → BP3 → ΑΠ1.

Όπως και στη αρχική επίλυση του προβλήματος έτσι και για το σενάριο αυτό, θέλοντας να μελετήσουμε τα αποτελέσματα που μας δίνει το μοντέλο όταν πλέον έχουν “εξομαλυνθεί” οι ποσότητες αρχικού αποθέματος για κάθε προϊόν, υποθέτουμε ότι το αρχικό απόθεμα για κάθε προϊόν είναι ίσο με το στοκ ασφαλείας του προϊόντος – δηλαδή δεν διατηρούμε επιπλέον ποσότητα αποθέματος πέραν του στοκ ασφαλείας.

Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της νέας βέλτιστης λύσης του αρχικού προβλήματος όταν εφαρμόστηκε η ίδια υπόθεση, δηλαδή ότι το αρχικό απόθεμα για κάθε προϊόν είναι ίσο με το στοκ ασφαλείας του προϊόντος.

Πίνακας 31. Νέα Βέλτιστη Λύση Σεναρίου 1

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	431.680 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	103.588 €
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	328.092 €

- Το συνολικό κόστος, το κόστος διατήρησης αποθεμάτων και το κόστος παραγωγής προϊόντων αυτής της λύσης είναι ίδια με τα αντίστοιχα κόστη της αρχικής λύσης. Κάτι που είναι αναμενόμενο και γι' αυτό το σενάριο αλλά και για το επόμενο αφού οι παραγόμενες ποσότητες είναι ίσες με τη ζήτηση και το απόθεμα είναι ίσο με το στοκ ασφαλείας, επομένως αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι να βρούμε μια λύση με αυτά τα κόστη αλλά με όσο το δυνατόν μικρότερες απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες.

Πίνακας 32. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	180,92	168,65	528
T07-T08	142,21	162,09	528
B01-B02-B03	95,42	76,66	528
BP1&2	233,77	239,18	528
BP3	227,58	253,67	528
BP4	98,76	78,05	528
ΑΠ 1	303,97	337,80	528
ΑΠ 2&3	534,09	509,27	528
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	181,46	528

- Στον πίνακα 32 παρατηρείται ότι η απαιτούμενες μηχανοώρες από τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ 2&3 είναι περισσότερες από τις διαθέσιμες. Για να

ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα και τηρώντας το διάγραμμα ροής του σεναρίου (σχήμα 12β) θεωρήσαμε έναν επιπλέον περιορισμό σχετικά με τα προϊόντα των 250 ml και οποίος θεωρεί ότι παράγονται προϊόντα 250 ml μόνο από τη δεξαμενή T01-T02 και αυτό για να μειώσουμε τις ποσότητες των προϊόντων που παράγονται και περνούν από το BP1&2 και στη συνέχεια από τη μηχανή αποστείρωση ΑΠ 2&3 με φυσικό επακόλουθο την μείωση των απαιτούμενων μηχανοωρών της μηχανής αποστείρωσης ΑΠ 2&3.

- Η νέα λύση που προκύπτει δεν αλλάζει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά όπως αναμενόταν αλλάζουν οι απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες 33 και 34.

Πίνακας 33. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	217,48	168,65	528
T07-T08	151,64	162,09	528
B01-B02-B03	79,58	76,66	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	448,70	407,40	
BP1&2	222,40	239,18	528
BP3	275,37	253,67	528
BP4	82,37	78,05	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	580,14	570,90	
ΑΠ 1	365,42	337,80	528
ΑΠ 2&3	489,37	509,27	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	854,79	847,06	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	181,46	528

- Από τα στοιχεία του πίνακα 33 προκύπτει ότι το σενάριο 1 απαιτεί περισσότερες μηχανοώρες ανά στάδιο παραγωγικής διαδικασίας και επομένως δεν συμφέρει την εταιρία βάση αυτών των στοιχείων να λειτουργεί όπως θεωρήθηκε στο σενάριο αυτό.

Πίνακας 34. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	328,98	315,52	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	785,34	787,05	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1168,06	1172,82	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3488,74	3488,74	5456

- Όσον αφορά τις απαιτούμενες εργατοώρες αξιοσημείωτη διαφορά υπάρχει μόνο στη φάση της παρασκευής διαλυμάτων. Σε αυτή τη φάση της παραγωγικής διαδικασίας οι απαιτούμενες εργατοώρες για το σενάριο 1 είναι περισσότερες απ' ότι στην αρχική λύση και σε συνδυασμό με την προηγούμενη παρατήρηση σχετικά με τις απαιτούμενες μηχανοώρες του σεναρίου 1 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τελικά δεν είναι συμφέρουσα η λειτουργία της εταιρίας με τον τρόπο που περιγράφηκε σ' αυτή την ενότητα της εργασίας.

Τέλος στους πίνακες 35 & 36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη λύση του μοντέλου σχετικά με την κατανομή των ποσοτήτων που παράγονται ανά προϊόν ανάλογα με την πορεία που ακολουθούν στο διάγραμμα ροής της παραγωγής.

Πίνακας 35. Προϊόντα των 1000ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)
X_1	93.560	14.534	X_8	79.071	36.604
X_2	0	3.019	X_9	0	82
X_3	0	7.403	X_{10}	11.151	19.029
X_4	0	3.757	X_{11}	63.437	42.822
X_5	0	384	X_{12}	100	4.075
X_6	0	3.940	X_{13}	744	744
X_7	0	2.974			

Πίνακας 36. Προϊόντα 500ml, 250ml και 100ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i''' (τεμάχια)
X_{14}	42.531	0	X_{25}	0	0
X_{15}	19.568	62.967	X_{26}	1.635	0
X_{16}	210	0	X_{27}	23.760	0
X_{17}	59	0	X_{28}	65.756	0
X_{18}	1977	0	X_{29}	2.341	0
X_{19}	895	0	X_{30}	830	0
X_{20}	5.248	0	X_{31}	10.380	0
X_{21}	17.344	6.363	X_{32}	49	0
X_{22}	4.328	0	X_{33}	9.931	1.413
X_{23}	0	0	X_{34}	62.243	53.724
X_{24}	0	0			

- Τα προϊόντα των 1000ml με τις μεγαλύτερες ζητήσεις X_1 , X_8 , και X_{11} παρασκευάζονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους στην δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2 ενώ 8 προϊόντα από τα 13 συνολικά των 1000ml παρασκευάζονται εξ'ολοκλήρου ή κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους στη γραμμή B01-B02-B03 → BP4→ΑΠ 2&3.
- Όλα τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml για τα οποία παράγεται κάποια ποσότητα, παράγονται είτε εξ'ολοκλήρου είτε κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους στην γραμμή παραγωγής T01-T02 → BP3 → ΑΠ 1, γεγονός που αποδεικνύει ότι η επιλογή ως σενάριο να παράγεται μέρος των προϊόντων αυτών στη γραμμή T07-T08 → BP 1&2 → ΑΠ 2&3 δεν ήταν ιδανική.

4.2 Σενάριο Νο2

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη του σεναρίου 1 καθώς και από το συμπέρασμα που προέκυψε σχετικά με τα προϊόντα 500ml, 250ml και 100ml στην αρχική λύση - Για τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων ποσοτήτων τους ανεξάρτητα από τη δεξαμενή παρασκευής των διαλύματων τους συσκευάζονται στην μηχανή BP3. (στον πίνακα 20, μεγαλύτερες τιμές των X_i' και X_i''' για $i = 14-34$) – θα λυθεί εκ νέου το πρόβλημά μας θεωρώντας ότι :

Τα προϊόντα των 1000ml παρασκευάζονται είτε στη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP1&2 → ΑΠ 2&3 είτε στην B01-B02-B03 → BP4 → ΑΠ 2&3 και επομένως ισχύει:

$$X_i = X_i' + X_i''' , \quad i = 1-13$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP1&2.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή B01-B02-B03 και περνούν από τη μηχανή BP4.

Ενώ τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml έχουν τη δυνατότητα να παρασκευάζονται είτε στην T01-T02 είτε στην T07-T08 και να συσκευάζονται μόνο στη μηχανή BP3. Επομένως η συνολικά παραγόμενη ποσότητα X_i για κάθε προϊόν των 500ml, 250ml και 100ml προκύπτει από τη σχέση:

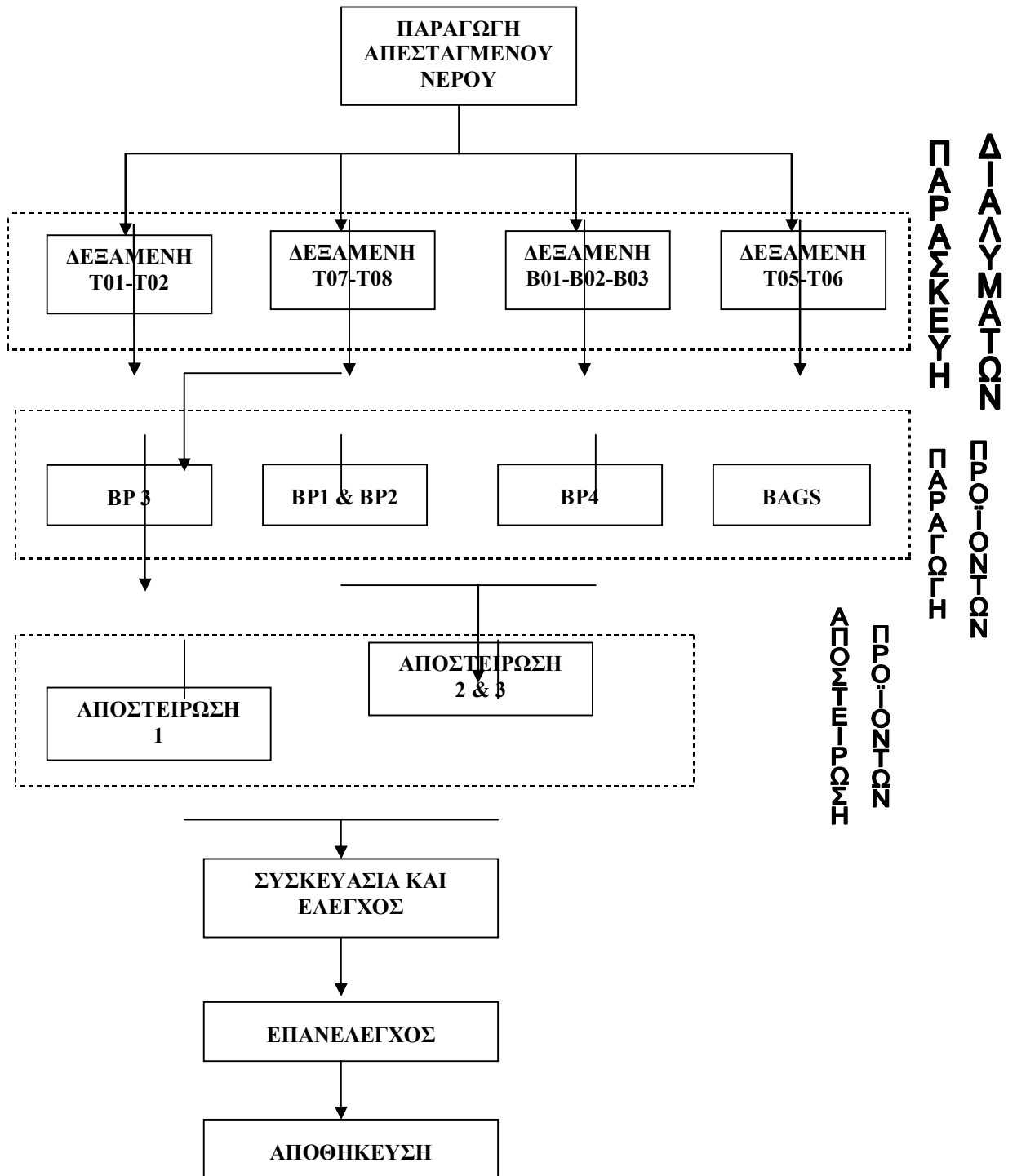
$$X_i = X_i' + X_i''' , \quad i = 14-34$$

όπου:

X_i' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T01-T02 και περνούν από τη μηχανή BP3.

X_i''' : Ο αριθμός των φιαλών του προϊόντος X_i που παρασκευάζονται στη δεξαμενή T07-T08 και περνούν από τη μηχανή BP3.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το διάγραμμα ροής της παραγωγής σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν τεθεί και ισχύουν για το σενάριο 2.



Σχήμα 12β. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η αντικειμενική συνάρτηση δεν μεταβάλλεται και ισχύει ως έχει :

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{ C_{\Pi i} * X_i + C_{\text{ΑΠ}i} * X_i - \zeta_i + A_{i \text{ αρχής}} \}$$

όπου:

$C_{\Pi i}$: κόστος παραγωγής του προϊόντος i , (πίνακας 7)

X_i : η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος i , (ζητούμενο)

$C_{\text{ΑΠ}i}$: μέσο κόστος διατήρησης αποθέματος του προϊόντος i , (πίνακας 7)

ζ_i : η μηνιαία ζήτηση για κάθε προϊόν X_i η οποία υπολογίζεται ως

$[(\text{Ετήσια ζήτηση τεμαχίων} / 365) * 30]$, με την ετήσια ζήτηση να είναι γνωστή από ιστορικά στοιχεία της εταιρίας. (πίνακας 8)

$A_{i \text{ αρχής}}$: το απόθεμα για κάθε προϊόν στην αρχή του μήνα, το οποίο είναι γνωστό. (πίνακας 8)

Όμως υπάρχουν αλλαγές στους περιορισμούς του προβλήματος, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

α) Περιορισμοί “ικανοποίησης της ζήτησης” και κάλυψης του αποθέματος ασφαλείας για κάθε προϊόν i (34 περιορισμοί):

$$X_i + A_{i \text{ αρχής}} \geq \zeta_i + SS_i \quad (1)$$

δηλαδή η παραγόμενη ποσότητα κάθε προϊόντος συν το απόθεμά του στην αρχή του μήνα θα πρέπει να καλύπτει τη μηνιαία ζήτηση συν το απόθεμα ασφαλείας που θέλουμε να τηρείται (10 ημερών).

β) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες ώρες λειτουργίας των “μηχανών”.

Με το όρο “μηχανές” περιγράφονται :

- Οι 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων T01-T02, T07-T08 και B01-B02-B03.
- Οι 3 μηχανές εμφιάλωσης BP1&2, BP3, BP4.
- Τα 2 σημεία αποστείρωσης ΑΠ1 και ΑΠ2&3.
- Η διαδικασία συσκευασίας και ελέγχου των προϊόντων.

Στον Πίνακα 37 που ακολουθεί υπάρχουν τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τους περιορισμούς των διαθέσιμων ωρών λειτουργίας των “μηχανών”.

Πίνακας 37. Χρόνοι παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Ο πίνακας 37 έχει 68 (2*34 προϊόντα) στήλες και 9 σειρές (όσες και οι διαδικασίες παραγωγής). Σε κάθε σειρά του πίνακα πολλαπλασιάζεται κάθε κελί αυτής σειράς με την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος που αντιστοιχεί σ' αυτό κελί (του προϊόντος που αναγράφεται στην στήλη αυτού του κελιού) οπότε προκύπτουν γινόμενα, των οποίων το άθροισμα αποτελεί τον περιορισμό των διαθέσιμων ωρών λειτουργία της “μηχανής” που περιγράφει η σειρά του πίνακα. Επομένως έχουμε τους παρακάτω 9 περιορισμούς.

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T01-T02:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M1_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (2)$$

Για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M2_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (3)$$

Για τη δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων B01-B02-B03:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M3_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (4)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP1&2 :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M4_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (5)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M5_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (6)$$

Για τη μηχανή εμφιάλωσης BP4:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M6_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (7)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M7_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (8)$$

Για τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ2&3:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M8_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (9)$$

Για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M9_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h} \quad (10)$$

όπου:

X_{ij} : ο συμβολισμός της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος για διευκόλυνση στην μαθηματική διατύπωση του περιορισμού. Πιο συγκεκριμένα ισχύει X_{ij} με $i=1-34$ και για $j=1$, $X_{i1} = X_i'$, ενώ για $j=2$ ισχύει $X_{i2} = X_i''$.

Π.χ. με $i=2$ και $j=1$ ισχύει $X_{21} = X_2'$ ή με $i=18$ και $j=2$ ισχύει $X_{182} = X_{18}''$

M1: η “μηχανή” T01-T02 και $M1_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T01-T02, δηλαδή οι τιμές της σειράς 1 του πίνακα 37.

M2: η “μηχανή” T07-T08 και $M2_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” T07-T08, δηλαδή οι τιμές της σειράς 2 του πίνακα 37.

M3: η “μηχανή” B01-B02-B03 και $M3_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” B01-B02-B03, δηλαδή οι τιμές της σειράς 3 του πίνακα 37.

M4: η “μηχανή” BP1&2 και $M4_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP1&2, δηλαδή οι τιμές της σειράς 4 του πίνακα 37.

M5: η “μηχανή” BP3 και $M5_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 5 του πίνακα 37.

M6: η “μηχανή” BP4 και $M6_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” BP4, δηλαδή οι τιμές της σειράς 6

του πίνακα 37.

M7: η “μηχανή” ΑΠ1 και $M7_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ1, δηλαδή οι τιμές της σειράς 7 του πίνακα 37.

M8: η “μηχανή” ΑΠ2&3 και $M8_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για την αποστείρωση ενός τεμαχίου προϊόντος από τη “μηχανή” ΑΠ2&3, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 37.

M9: η “μηχανή” ΣΥΣΚ. & ΕΛΕΓΚ. και $M9_{2i-2+j}$ ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρώσει αυτή τη διαδικασία ένα τεμάχιο προϊόντος, δηλαδή οι τιμές της σειράς 8 του πίνακα 37.

Π.χ. για την δεξαμενή παρασκευής διαλυμάτων T07-T08 ισχύει ο περιορισμός:
 $0,000526 * X_1' + 0 * X_1'' + 0,000526 * X_2' + \dots + 0 * X_{14}' + 0,000263 * X_{14}'' + 0 * X_{15}' + \dots$
 $+ 0 * X_{27}' + 0,000132 * X_{27}'' + \dots + 0 * X_{34}' + 0,000053 * X_{34}'' \leq 528 \text{ h}$
 Ομοίως προκύπτουν και οι υπόλοιποι περιορισμοί για κάθε “μηχανή”.

γ) Περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Στο σενάριο αυτό δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στον αριθμό των εργαζομένων της εταιρίας, ούτε ανακατανομή του εργατικού δυναμικού στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας επομένως οι συνολικά διαθέσιμες εργατοώρες για κάθε στάδιο της παραγωγής παραμένουν ίδιες και είναι:

Για την Παρασκευή Διαλυμάτων – 1232 εργατοώρες

Για την Παραγωγή Προϊόντων – 2112 εργατοώρες

Για την Αποστείρωση Προϊόντων – 2992 εργατοώρες

Για τη Συσκευασία & Έλεγχος και Επανεέλεγχος – 5456 εργατοώρες

Οι αλλαγές που υπάρχουν, αφορούν μόνο τον επιμέρους αριθμό που διαχωρίζονται τα 34 προϊόντα και ο οποίος είναι γι' αυτό το σενάριο 68 επιμέρους προϊόντα.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Από τα δεδομένα του πίνακα 38, προκύπτουν οι περιορισμοί για τις διαθέσιμες εργατοώρες.

Πίνακας 38. Εργατοώρες ανά μονάδα προϊόντος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας

Ο πίνακας 38 έχει 68 στήλες (2*34 προϊόντα) και 10 σειρές, όσες και οι διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι το στάδιο της αποθήκευση ετοιμών προϊόντων. Οι περιορισμοί σχετικά με τις εργατοώρες που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των διαδικασιών της παραγωγής περιγράφονται παρακάτω.

Οι εργαζόμενοι στην παρασκευή των διαλυμάτων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 δεξαμενές παρασκευής διαλυμάτων, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παρασκευής των διαλυμάτων δίδεται από τη σχέση :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W1_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W2_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W3_{2i-2+j} \leq 1232 \text{ h} \quad (11)$$

Οι εργαζόμενοι στην παραγωγή των προϊόντων και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 3 μηχανές Bottleneck, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο παραγωγής των προϊόντων δίδεται από τη σχέση :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W4_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W5_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W6_{2i-2+j} \leq 2112 \text{ h} \quad (12)$$

Οι εργαζόμενοι στην διαδικασία αποστείρωσης και οι διαθέσιμες εργατοώρες αυτών αφορούν και τις 2 μηχανές αποστείρωσης, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες στο στάδιο αποστείρωσης των προϊόντων δίδεται από τη σχέση:

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W7_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W8_{2i-2+j} \leq 2992 \text{ h} \quad (13)$$

Τέλος οι εργαζόμενοι για τη συσκευασία και τον έλεγχο των προϊόντων απασχολούνται και στον επανέλεγχο, άρα ο περιορισμός ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες γι' αυτά τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας δίδεται από τη σχέση :

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W9_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W10_{2i-2+j} \leq 5456 \text{ h} \quad (14)$$

Επομένως προκύπτουν 4 περιορισμοί ως προς τις διαθέσιμες εργατοώρες.

όπου:

X_{ij} : όπως περιγράφηκε και πιο πάνω.

$W1_{2i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T01-T02, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 1 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.

- W_{2i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή T07-T08, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 2 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{3i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στη δεξαμενή B01-B02-B03, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 3 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{4i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP1&BP2, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 4 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{5i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 5 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{6i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο BP4, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 6 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{7i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ1, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 7 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{8i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της αποστείρωσης στη μηχανή ΑΠ2&3, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 8 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- W_{9i-2+j} : οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της συσκευασίας & ελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 9 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.
- $W_{10i-2+j}$: οι εργατοώρες που απαιτούνται ανά τεμάχιο προϊόντος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας επαναελέγχου, δηλαδή η αριθμητική τιμή του κελιού της σειράς 10 και της αντίστοιχης στήλης στον πίνακα 38.

δ) Περιορισμοί μη αρνητικότητας :

$$X_i', X_i'' \geq 0, \text{ για } i=1-34$$

Τελικά το πρόβλημα που τίθεται προς λύση, εκφράζεται από τη παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση, έχει 34 μεταβλητές απόφασης οι οποίες υποδιαιρούνται τελικά σε 68 διαφορετικές μεταβλητές (όπως έχει εξηγηθεί πιο πάνω) και 47

περιορισμούς (εκτός από τους περιορισμούς μη αρνητικότητας) που παρουσιάζονται συγκεντρωτικά πιο κάτω.

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{34} \{C_{\Pi i} * X_i + C_{\Delta \Pi i} * X_i - \zeta_i + A_{i \text{ αρχής}}\}$$

$$X_i + A_{i \text{ αρχής}} \geq \zeta_i + SS_i$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M1_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M2_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M3_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M4_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M5_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M6_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M7_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M8_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} M9_{2i-2+j} \leq 528 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W1_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W2_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W3_{2i-2+j} \leq 1232 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W4_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W5_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} WM6_{2i-2+j} \leq 2112 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W7_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W8_{2i-2+j} \leq 2992 \text{ h}$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W9_{2i-2+j} + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^2 X_{ij} W10_{2i-2+j} \leq 5456 \text{ h}$$

$$X_i', X_i'' \geq 0, \text{ για } i=1-34$$

4.2.1 Επίλυση του Προβλήματος & Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Με βάση τα νέα δεδομένα του σεναρίου 2, επιλύεται το Μοντέλο με το πρόγραμμα EXCEL-Solver και τα αποτελέσματά του παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες συγκριτικά με τα αποτελέσματα της αρχικής βέλτιστης λύσης που έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3 της εργασίας.

Πίνακας 39. Βέλτιστη Λύση Σεναρίου 2

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	456.335 €	456.335 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	112.088 €	112.088 €
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	344.247 €	344.247 €

Πίνακας 40. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	171,70	163,45	528
T07-T08	143,82	182,92	528
B01-B02-B03	120,52	82,79	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	436,04	429,16	
BP1&2	137,61	242,05	528
BP3	389,26	280,43	528
BP4	124,74	84,81	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	651,61	607,29	
ΑΠ 1	516,47	373,40	528
ΑΠ 2&3	422,15	524,80	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	938,62	898,20	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓΧ	193,49	193,49	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	2219,76	2128,14	

Πίνακας 41. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	323,57	336,55	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	815,83	828,21	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1185,13	1230,73	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3726,01	3725,27	5456
ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΩΡΩΝ	6050,54	6120,76	

Τέλος στον Πίνακα 42 παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε προϊόν, οι παραγόμενες ποσότητες ανάλογα με τη πορεία που ακολουθούν στη παραγωγική διαδικασία.

Πίνακας 42. Προϊόντα των 1000ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)
X_1	69.587	48.743	X_{18}	0	0
X_2	0	1.407	X_{19}	0	0
X_3	2.596	2.597	X_{20}	0	144
X_4	2.209	2.210	X_{21}	9.639	9.639
X_5	0	0	X_{22}	0	0
X_6	2.536	2.535	X_{23}	0	0
X_7	0	0	X_{24}	0	0
X_8	70.372	70.373	X_{25}	0	0
X_9	0	0	X_{26}	0	1.416
X_{10}	19.668	19.669	X_{27}	9.115	10.244
X_{11}	61.080	61.080	X_{28}	31.077	35.556
X_{12}	1.466	1.466	X_{29}	0	0
X_{13}	992	992	X_{30}	0	0
X_{14}	9.347	17.266	X_{31}	0	1.013
X_{15}	84.767	18.696	X_{32}	0	0
X_{16}	0	0	X_{33}	0	5.724
X_{17}	0	79	X_{34}	69.151	69.152

4.2.2 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

- Η βέλτιστη λύση της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίδια με την αρχική λύση του προβλήματος.
- Αν και οι απαιτούμενες μηχανοώρες για το σενάριο 2 είναι περισσότερες από αυτές της αρχικής λύσης, οι απαιτούμενες εργατοώρες είναι λιγότερες από αυτές της αρχικής λύσης. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως φαίνεται και από τον πίνακα 42 τα προϊόντα των 1000ml έχουν την τάση να παράγονται ισόποσα και από της δύο πιθανές γραμμές παραγωγής ενώ και λόγω των αρχικών παραδοχών του σεναρίου τα προϊόντα των 500ml, 250ml και 100ml δεν περνούν από τη μηχανή BP1&2 αλλά μόνο από την BP3. Σαν συνέπεια των παραπάνω έχουμε ανακατανομή των απαιτούμενων μηχανοωρών και εργατοωρών και πιο συγκεκριμένα “μεταφορά” μηχανοωρών και εργατοωρών κατά κύριο λόγο από τη δεξαμενή T07-T08 προς τη δεξαμενή B01-B02-B03, από τη μηχανή BP1&2 προς τη μηχανή BP3 και από τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ 2&3 προς τη μηχανή ΑΠ 1. Επειδή οι λόγοι των απαιτούμενων μηχανοωρών ανά τεμάχιο προϊόντος στις αρχικές μηχανές (T07-T08, BP1&2 και ΑΠ2&3) είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους λόγους των μηχανών (B01-B02-B03, BP3 και ΑΠ1) τελικά έχουμε αύξηση των απαιτούμενων μηχανοωρών. Το αντίθετο συμβαίνει με τους λόγους των απαιτούμενων εργατοωρών ανά τεμάχιο προϊόντος και έτσι καταληγούμε σε λιγότερες απαιτούμενες εργατοώρες.
- Όσον αφορά τις παραγόμενες ποσότητες παρατηρείται ότι για τους περισσότερους κωδικούς υπάρχει μια ισοκατανομή των ποσοτήτων τους και στις δύο πιθανές γραμμές παραγωγής που ακολουθεί κάθε κωδικός. Οι ποσότητες των κωδικών X_2 , X_{17} , X_{20} , X_{26} , X_{31} και X_{33} παράγονται εξολοκλήρου από μία γραμμή παραγωγής ενώ η ποσότητα για των κωδικό X_{15} (ο κωδικός των 500ml με την μεγαλύτερη απαιτούμενη ποσότητα) παράγεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της από μία γραμμή παραγωγής.

Στη συνέχεια εξετάζουμε την περίπτωση όπου το αρχικό απόθεμα για κάθε προϊόν είναι ίσο με το στοκ ασφαλείας του προϊόντος – δηλαδή δεν διατηρούμε επιπλέον ποσότητα αποθέματος πέραν του στοκ ασφαλείας. Σ’ αυτή την περίπτωση

έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της νέας βέλτιστης λύσης του αρχικού προβλήματος.

Πίνακας 43. Νέα Βέλτιστη Λύση Σεναρίου 2

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	431.680 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	103.588 €
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	328.092 €

- Το συνολικό κόστος, το κόστος διατήρησης αποθεμάτων και το κόστος παραγωγής προϊόντων αυτής της λύσης είναι ίδια με τα αντίστοιχα κόστη της αρχικής λύσης. Κάτι που είναι αναμενόμενο, επομένως αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι να βρούμε μια λύση με αυτά τα κόστη αλλά με όσο το δυνατόν μικρότερες απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες.

Πίνακας 44. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	146,37	528
T07-T08	126,64	528
B01-B02-B03	116,43	528
BP1&2	109,56	528
BP3	401,74	528
BP4	120,51	528
ΑΠ 1	535,15	528
ΑΠ 2&3	370,38	528
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	528

- Στον πίνακα 44 παρατηρείται ότι οι απαιτούμενες μηχανοώρες από τη μηχανή αποστείρωσης ΑΠ1 είναι περισσότερες από τις διαθέσιμες. Για να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα και τηρώντας το διάγραμμα ροής του σεναρίου (σχήμα 12β) θέτουμε τις ακόλουθες προϋποθέσεις ανά περίπτωση για να οδηγηθούμε στην ιδανική τελική λύση.

1η Περίπτωση

Αλλάζουμε τα δεδομένα σχετικά με τα προϊόντα των 250 ml και πιο συγκεκριμένα θεωρούμε ότι τα προϊόντα των 250 ml παράγονται μόνο από τη γραμμή παραγωγής T07-T08→ BP1&2→ ΑΠ2&3 (μόνο Χ_i'') με στόχο την μείωση των απαιτούμενων μηχανοωρών της μηχανής αποστείρωσης ΑΠ 1.

- Η νέα λύση που προκύπτει δεν αλλάζει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά όπως αναμενόταν αλλάζουν οι απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες 45 και 46.

Πίνακας 45. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ
T01-T02	123,52	168,65	528
T07-T08	136,26	162,09	528
B01-B02-B03	111,13	76,66	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	370,91	407,40	
BP1&2	176,67	239,18	528
BP3	294,91	253,67	528
BP4	115,02	78,05	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	586,60	570,90	
ΑΠ 1	396,35	337,80	528
ΑΠ 2&3	468,96	509,27	528
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	865,32	847,06	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	181,46	528
ΣΥΝΟΛΟ ΜΗΧ/ΡΩΝ	2004,29	2006,81	

- Από τα στοιχεία του πίνακα 45 προκύπτει ότι το σενάριο 2 σε σχέση με την αντίστοιχη αρχική βέλτιστη λύση απαιτεί λιγότερες μηχανοώρες για τη φάση της παρασκευής των διαλυμάτων, περισσότερες μηχανοώρες στη φάση των bottle pack και της αποστείρωσης των προϊόντων και τον ίδιο αριθμό

μηχανοωρών στη φάση της συσκευασίας και ελέγχου. Συνολικά όμως απαιτεί λιγότερες μηχανοώρες.

Πίνακας 46. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	286,57	315,52	1232
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	780,58	787,04	2112
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1145,24	1172,81	2992
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3488,76	3488,72	5456
ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΩΡΩΝ	5701,15	5764,09	

- Όσον αφορά τις απαιτούμενες εργατοώρες για αυτή την περίπτωση του σεναρίου 2 παρατηρείται ότι σε όλες τις επιμέρους φάσεις της παραγωγής είναι λιγότερες από αυτές της αντίστοιχης αρχικής βέλτιστης λύσης.
- Βάσει των 2 παραπάνω παρατηρήσεων μπορούμε να πούμε ότι η λύση του σεναρίου 2 είναι η καλύτερη δυνατή και ως τιμή αντικειμενικής συνάρτησης και ως προς τη μικρότερη δυνατή απαίτηση εξοπλισμού και εργατικού δυναμικού.

Όσον αφορά τις παραγόμενες ποσότητες των προϊόντων – συνολικά είναι ίδιες και για το σενάριο που εξετάζουμε και για την αρχική λύση – ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή αυτών των ποσοτήτων ανάλογα με τη γραμμή παραγωγής που ακολουθούν και η οποία παρουσιάζεται στους πίνακες 47 & 48.

Πίνακας 47. Προϊόντα 250ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_1''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_1''' (τεμάχια)
X_{27}	23.760	X_{30}	830
X_{28}	65.756	X_{31}	10.380
X_{29}	2.341	X_{32}	49

Πίνακας 48. Προϊόντα των 1000ml, 500ml και 100ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_1' (τεμάχια)	X_1'''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_1' (τεμάχια)	X_1'''' (τεμάχια)
X_1	85.218	22.876	X_{15}	52.952	29.583
X_2	0	3.019	X_{16}	0	210
X_3	0	7.403	X_{17}	0	59
X_4	0	3.757	X_{18}	0	1.977
X_5	38	346	X_{19}	447	448
X_6	0	3.940	X_{20}	2.624	2.624
X_7	0	2.974	X_{21}	11.262	12.445
X_8	58.697	56.978	X_{22}	2.164	2.164
X_9	82	0	X_{23}	0	0
X_{10}	15.090	15.090	X_{24}	0	0
X_{11}	32.937	73.322	X_{25}	0	0
X_{12}	0	4.175	X_{26}	799	836
X_{13}	744	744	X_{33}	5.672	5.672
X_{14}	26.360	16.171	X_{34}	51.163	64.804

- Για τα προϊόντα των 1000ml ($X_1 - X_{13}$) προκύπτει ότι το σύνολο των τεμαχίων που παράγονται από κάθε γραμμή παραγωγής είναι περίπου το ίδιο – 192.806 τεμάχια στη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP 1&2 → ΑΠ 2&3 και 194.624 τεμάχια στη γραμμή B01-B02-B03 → BP4→ΑΠ 2&3.
- Το ίδιο ισχύει και για τα προϊόντα των 500 & 100ml αν εξαιρέσουμε το προϊόν X_{15} το οποίο κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του παράγεται από τη γραμμή παραγωγής T01-T02 → BP3 → ΑΠ 1 και το οποίο αν συνυπολογιστεί αλλάζει την ισορροπία των παραγόμενων τεμαχίων από κάθε γραμμή παραγωγής.
- Επομένως θα μπορούσαμε να πούμε ότι βάση αυτής της περίπτωσης του σεναρίου 2 και των προϋποθέσεων που τέθηκαν στη συνέχεια οδηγούμαστε σε μία λύση όπου έχουμε μια εξισορροπημένη χρήση των γραμμών παραγωγής.

2η Περίπτωση

Σ' αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι τα προϊόντα των 500 ml παράγονται μόνο από τη γραμμή παραγωγής T07-T08→BP1&2→ΑΠ2&3 (μόνο Χ_i''). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με αυτή την προϋπόθεση παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 49. Απαιτούμενες Μηχανώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΝΕΑΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ
T01-T02	81,89	123,52	168,65
T07-T08	175,16	136,26	162,09
B01-B02-B03	89,10	111,13	76,66
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	346,15	370,91	407,40
BP1&2	235,52	176,67	239,18
BP3	233,89	294,91	253,67
BP4	92,23	115,02	78,05
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	561,64	586,60	570,90
ΑΠ 1	296,66	396,35	337,80
ΑΠ 2&3	526,33	468,96	509,27
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	822,99	865,32	847,06
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	181,46	181,46
ΣΥΝΟΛΟ ΜΗΧ/ΡΩΝ	1912,24	2004,29	2006,81

- Από τα στοιχεία του πίνακα 49 προκύπτει ότι το σενάριο 2 σε σχέση με την αντίστοιχη αρχική βέλτιστη λύση απαιτεί λιγότερες μηχανώρες για τη φάση της παρασκευής των διαλυμάτων και τη φάση των bottle pack, περισσότερες μηχανώρες στη φάση της αποστείρωσης των προϊόντων και τον ίδιο αριθμό μηχανοωρών στη φάση της συσκευασίας και ελέγχου. Συνολικά όμως απαιτεί λιγότερες μηχανώρες.

- Επίσης οι απαιτούμενες μηχανώρες, συγκριτικά με αυτές της περίπτωσης 1, για όλες τις επιμέρους φάσεις της παραγωγής είναι λιγότερες. Επομένως η περίπτωση 2 του σεναρίου 2 όσον αφορά τις απαιτούμενες μηχανώρες είναι η ιδανικότερη.

Πίνακας 50. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	278,63	286,57	315,52
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	767,52	780,58	787,04
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1117,19	1145,24	1172,81
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3489,59	3488,76	3488,72
ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΩΡΩΝ	5652,93	5701,15	5764,09

- Όσον αφορά τις απαιτούμενες εργατοώρες για αυτή την περίπτωση του σεναρίου 2 παρατηρείται ότι σε όλες τις επιμέρους φάσεις της παραγωγής είναι λιγότερες από αυτές της αντίστοιχης αρχικής βέλτιστης λύσης και της περίπτωσης 1 του σεναρίου 2.
- Βάση των παραπάνω παρατηρήσεων μπορούμε να πούμε ότι η λύση της περίπτωσης 2 του σεναρίου 2 είναι η καλύτερη δυνατή και ως τιμή αντικειμενικής συνάρτησης και ως προς τη μικρότερη δυνατή απαίτηση εξοπλισμού και εργατικού δυναμικού.

Όσον αφορά τις παραγόμενες ποσότητες των προϊόντων – συνολικά είναι ίδιες και για το σενάριο που εξετάζουμε και για την αρχική λύση – ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή αυτών των ποσοτήτων ανάλογα με τη γραμμή παραγωγής που ακολουθούν και η οποία παρουσιάζεται στους πίνακες 51 & 52.

Πίνακας 51. Προϊόντα των 1000ml, 250ml και 100ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i' (τεμάχια)	X_i'''' (τεμάχια)
X_1	92.172	15.922	X_{12}	1.871	2.304
X_2	0	3.019	X_{13}	0	1.488
X_3	2.145	5.258	X_{27}	11.880	11.880
X_4	0	3.757	X_{28}	32.878	32.878
X_5	0	384	X_{29}	1.119	1.222
X_6	3.940	0	X_{30}	415	415
X_7	0	2.974	X_{31}	5.190	5.190
X_8	67.498	48.177	X_{32}	23	26
X_9	0	82	X_{33}	5.672	5.672
X_{10}	12.350	17.830	X_{34}	51.163	64.804
X_{11}	51.405	54.854			

Πίνακας 52. Προϊόντα 500ml

ΠΡΟΪΟΝ	X_i'''' (τεμάχια)	ΠΡΟΪΟΝ	X_i'''' (τεμάχια)
X_{14}	42.531	X_{21}	23.707
X_{15}	82.535	X_{22}	4.328
X_{16}	210	X_{23}	0
X_{17}	59	X_{24}	0
X_{18}	1.977	X_{25}	0
X_{19}	895	X_{26}	1.635
X_{20}	5.248		

- Από τα στοιχεία του πίνακα 51 προκύπτει ότι το σύνολο των τεμαχίων για κάθε κατηγορία προϊόντων (1000ml, 250ml και 100ml) που παράγονται από κάθε γραμμή παραγωγής είναι σχεδόν ίδιο με μικρές αποκλίσεις - δηλαδή έχουμε μια εξισορροπημένη χρήση των γραμμών παραγωγής και σ' αυτή την περίπτωση.

- Για τα προϊόντα των 1000ml, αν εξαιρέσουμε το προϊόν X_1 , παράγονται 139.209 τεμάχια στη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP 1&2 → ΑΠ 2&3 και 140.127 τεμάχια στη γραμμή B01-B02-B03 → BP4→ΑΠ 2&3.
- Για τα προϊόντα των 500ml & των 100ml, εκτός του προϊόντος X_{34} , παράγονται 57.177 τεμάχια στη γραμμή παραγωγής T01-T02 → BP3 → ΑΠ 1 και 57.283 τεμάχια στη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP 3 → ΑΠ 1.

4.3 Σενάριο Νο3

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό θεωρείται ότι η δεξαμενή T01-T02 δεν χρησιμοποιείται για την παρασκευή διαλυμάτων. Στο στάδιο παρασκευής διαλυμάτων χρησιμοποιούνται μόνο οι δεξαμενές T07-T08 και B01-B02-B03. Γι' αυτό το σενάριο εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις.

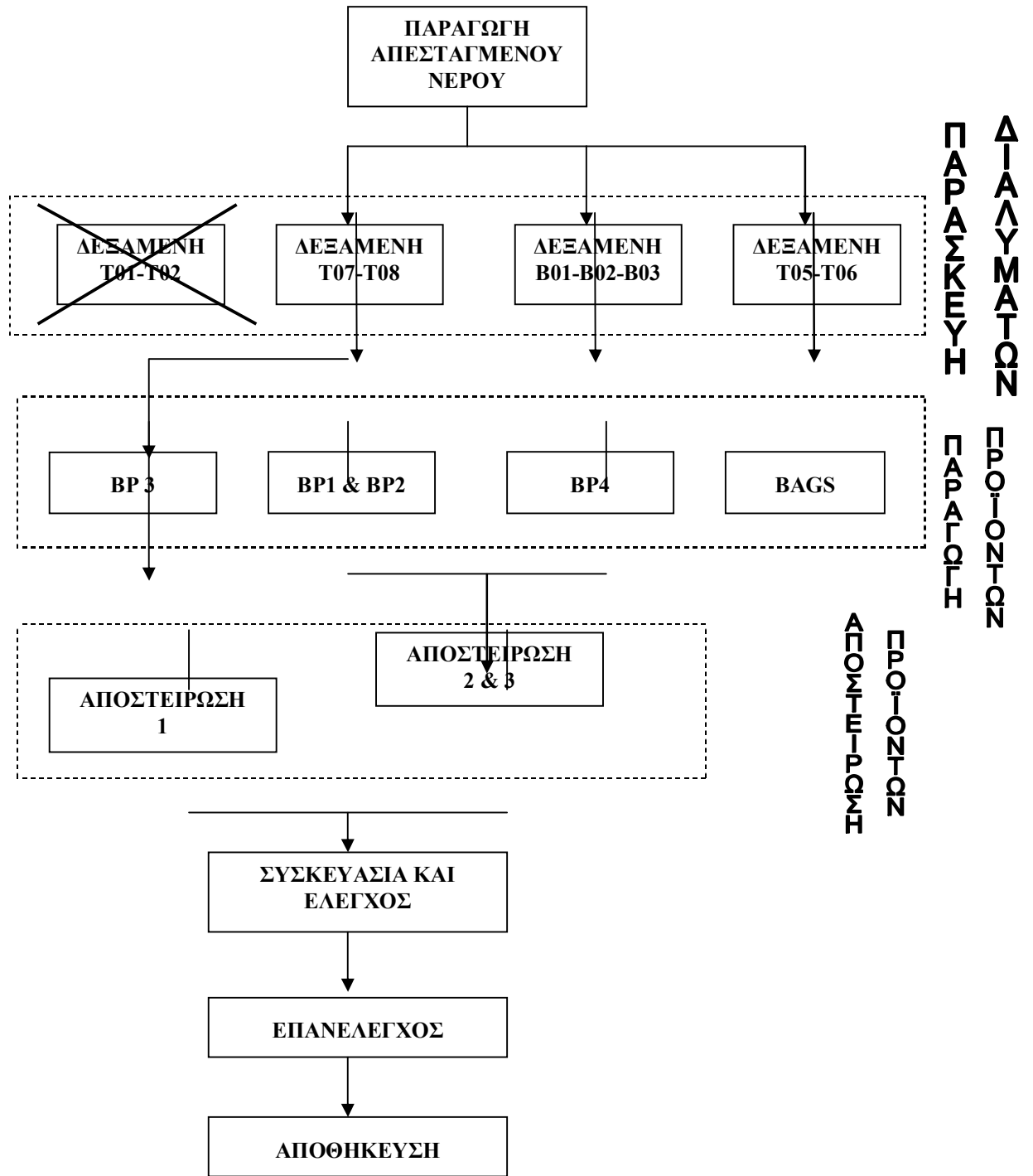
1η Περίπτωση

Τα προϊόντα των 1000ml παράγονται είτε από τη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP1&2 → ΑΠ2&3 είτε από τη γραμμή παραγωγής B01-B02-B03 → BP4 → ΑΠ2&3, τα προϊόντα των 500ml παράγονται από τη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP1&2 → ΑΠ2&3 και τα προϊόντα των 250ml και 100ml από τη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP 3 → ΑΠ 1.

2η Περίπτωση

Τα προϊόντα των 1000ml παράγονται από τη γραμμή παραγωγής B01-B02-B03 → BP4 → ΑΠ2&3, τα προϊόντα των 500ml παράγονται από τη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP1&2 → ΑΠ2&3 και τα προϊόντα των 250ml και 100ml από τη γραμμή παραγωγής T07-T08 → BP3 → ΑΠ1.

Στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 12γ) υπάρχει το διάγραμμα ροής παραγωγής για αυτό σενάριο.



Σχήμα 12γ. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.3.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων & Συμπεράσματα

Επιλύοντας εκ νέου το μοντέλο, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Όσον αφορά την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δεν αλλάζει όμως αλλάζουν οι απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες. Στους Πίνακες 53 και 54 παρουσιάζονται τα συγκριτικά στοιχεία που αφορούν τις απαιτούμενες μηχανοώρες και εργατοώρες αντίστοιχα.

Πίνακας 53. Απαιτούμενες Μηχανοώρες ανά Μηχανή

ΜΗΧΑΝΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΗΧΑΝΟΩΡΕΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
T01-T02	0	0	81,89
T07-T08	185,44	63,26	175,16
B01-B02-B03	88,59	221,22	89,10
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	274,03	284,48	346,15
BP1&2	236,06	97,39	235,52
BP3	233,89	233,89	233,89
BP4	91,69	228,97	92,23
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	561,64	560,25	561,64
ΑΠ 1	296,66	296,66	296,66
ΑΠ 2&3	526,33	526,33	526,33
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	822,99	822,99	822,99
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	181,46	181,46	181,46
ΣΥΝΟΛΟ ΜΗΧ/ΡΩΝ	1840,12	1849,18	1953,02

- Από τα στοιχεία του πίνακα 53 προκύπτει ότι και στις δύο περιπτώσεις του σεναρίου 3 οι συνολικές απαιτούμενες μηχανοώρες είναι λιγότερες από αυτές της μέχρι τώρα καλύτερης λύσης. Η διαφορά εντοπίζεται στις μηχανοώρες για τη φάση της παρασκευής των διαλυμάτων και παρατηρείται ότι στην περίπτωση 1 του σεναρίου 3 έχουμε τις λιγότερες απαιτούμενες μηχανοώρες.

Πίνακας 54. Απαιτούμενες Εργατοώρες ανά Στάδιο Παραγωγής

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 2 ^η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	260,23	200,07	278,63
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	767,49	776,55	767,52
ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	1117,19	1117,19	1117,19
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ & ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ	3489,59	3489,59	3489,59
ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΩΡΩΝ	5634,50	5583,40	5652,93

- Όσον αφορά τις απαιτούμενες εργατοώρες για τις φάσεις της αποστείρωσης, της συσκευασίας-ελέγχου και του επανελέγχου δεν παρατηρείται καμία διαφοροποίηση. Μικρή διαφορά εργατοωρών υπάρχει μεταξύ των δύο περιπτώσεων του σεναρίου 3 στη φάση παραγωγής προϊόντων, αλλά στη φάση παρασκευής διαλυμάτων υπάρχει μια σημαντική διαφορά των απαιτούμενων εργατοωρών – **στην 2^η περίπτωση του σεναρίου 3 απαιτούνται σχεδόν 60 εργατοώρες λιγότερες** – η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται η δεξαμενή B01-B02-B03 για την παρασκευή των διαλυμάτων των προϊόντων των 1000ml έναντι της δεξαμενής T07-T08, η οποία έχει μικρότερο συντελεστή απαιτούμενων εργατοωρών ανά τεμάχιο προϊόντος.
- Βάση των παραπάνω αποτελεσμάτων και παρατηρήσεων μπορούμε να πούμε ότι οι λύσεις και των δύο περιπτώσεων του σεναρίου 3 είναι καλύτερες από την καλύτερη λύση του σεναρίου 2 αφού απαιτούν λιγότερες εργατοώρες και μηχανοώρες.
- Μεταξύ των δύο περιπτώσεων του σεναρίου 3, στην 2^η περίπτωση οι απαιτούμενες εργατοώρες είναι κατά 49 ώρες λιγότερες από αυτές της 1^{ης} περίπτωσης ενώ στην 2^η περίπτωση οι απαιτούμενες μηχανοώρες είναι κατά 9 ώρες περισσότερες από αυτές της 1^{ης} περίπτωσης. Συνολικά όμως θα μπορούσαμε να πούμε ότι η λύση της 2^{ης} περίπτωσης του σεναρίου 3 είναι η καλύτερη δυνατή για την εταιρία, αφού δίνει το μικρότερο δυνατό κόστος με τη μικρότερη δυνατή απαίτηση σε εργατοώρες και μηχανοώρες.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή θα μπορούσαμε να παρουσιάσουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη όλων των λύσεων που παρουσιάστηκαν για το πρόβλημα που τέθηκε.

Αρχικά μπορούμε να επισημάνουμε ότι σε περίπτωση που η εταιρία αποφασίσει να ελέγχει καλύτερα το απόθεμά της και να τηρεί απόθεμα ανά προϊόν ίσο με το στοκ ασφαλείας κάποιων ημερών (στην εργασία μελετήθηκε η περίπτωση του στοκ ασφαλείας 10 ημερών) τότε θα παρουσιάσει μια μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας της κατά 30% περίπου.

Επίσης θα πρέπει να τονίσουμε ότι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (το ελάχιστο συνολικό κόστος παραγωγής) ήταν ίδια για όλες τις αντίστοιχες λύσεις κάτι που εξηγείται από το γεγονός ότι για κάθε προϊόν σε κάθε λύση είχαμε τις ίδιες συνολικές παραγόμενες ποσότητες και το ίδιο απόθεμα. Επομένως τα διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν και παρουσιάστηκαν στην εργασία προέκυψαν με τη λογική της ελάχιστης δυνατής χρήσης του εξοπλισμού και του προσωπικού της εταιρίας. Δηλαδή θέλαμε να έχουμε το μικρότερο κόστος παραγωγής και ταυτόχρονα τις λιγότερες απαιτούμενες μηχανωρές και εργατοώρες. Έτσι λοιπόν, με βάση τα αποτελέσματα των διάφορων λύσεων, θεωρείται ως βέλτιστη λύση αυτή που παρουσιάζεται στην 2^η περίπτωση του σεναρίου 3. Σε αυτή την περίπτωση εκτός των άλλων, η εταιρία θα παρουσιάσει μείωση των απαιτούμενων μηχανωρών κατά 13,1% και των απαιτούμενων εργατοωρών κατά 7,6% σε σχέση με τις μηχανωρές και εργατοώρες της αρχικής βέλτιστης λύσης του προβλήματος.

Τέλος ως προς την παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί η εταιρία, θα λέγαμε ότι ως προς τη γεωμετρία είναι ένα ευέλικτο σύστημα συνεχούς ροής και ως προς τον τρόπο παραγωγής είναι ένα σύστημα παραγωγής κατά παρτίδες. Η απλοποίηση του αρχικού συστήματος παραγωγής της εταιρίας όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής παραγωγής στο σχήμα 12γ οδήγησε στη τελική βέλτιστη λύση.

Παράρτημα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ και ΕΛΕΓΧΟΥ

1000ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής-h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π300	Συσκευασίας	13600	3.5	0.000257	38.5	0.002831			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ και ΕΛΕΓΧΟΥ

500ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής-h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π300	Συσκευασίας	13680	2.66	0.000194	29.2	0.002135			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ και ΕΛΕΓΧΟΥ

250ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής-h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π300	Συσκευασίας	19320	4	0.000207	44	0.002277			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ και ΕΛΕΓΧΟΥ

100ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής-h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π300	Συσκευασίας	24192	5.5	0.000227	60.5	0.002501			

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X19'+X19''+X19''' +X19''''=X19				X20'+ X20''+ X20''' + X20''''=X20				X21'+ X21''+ X21''' + X21''''=X21			
	X19'	X19''	X19'''	X19''''	X20'	X20''	X20'''	X20''''	X21'	X21''	X21'''	X21''''
T01-T02	0.00088	0.00088			0.00088	0.00088			0.00088	0.00088		
T07-T08			0.00026	0.00026			0.00026	0.00026			0.00026	0.00026
B01-B02-B03												
BP 1&2		0.0006	0.0006			0.0006	0.0006			0.0006	0.0006	
BP3	0.00103			0.00103	0.00103			0.00103	0.00103			0.00103
BP4												
ΑΠ 1	0.00146			0.00146	0.00146			0.00146	0.00146			0.00146
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096			0.00096	0.00096			0.00096	0.00096	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X22'+ X22''+ X22''' + X22''''=X22				X23'+ X23''+ X23''' + X23''''=X23				X24'+ X24''+ X24''' + X24''''=X24			
	X22'	X22''	X22'''	X22''''	X23'	X23''	X23'''	X23''''	X24'	X24''	X24'''	X24''''
T01-T02	0.00088	0.00088			0.00088	0.00088			0.00088	0.00088		
T07-T08			0.00026	0.00026			0.00026	0.00026			0.00026	0.00026
B01-B02-B03												
BP 1&2		0.0006	0.0006			0.0006	0.0006			0.0006	0.0006	
BP3	0.00103			0.00103	0.00103			0.00103	0.00103			0.00103
BP4												
ΑΠ 1	0.00146			0.00146	0.00146			0.00146	0.00146			0.00146
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096			0.00096	0.00096			0.00096	0.00096	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X25'+ X25''+ X25''' + X25''''=X25				X26'+ X26''+ X26''' + X26''''=X26				X27'+ X27''+ X27''' + X27''''=X27			
	X25'	X25''	X25'''	X25''''	X26'	X26''	X26'''	X26''''	X27'	X27''	X27'''	X27''''
T01-T02	0.00088	0.00088			0.00088	0.00088			0.00083	0.00083		
T07-T08			0.00026	0.00026			0.00026	0.00026			0.00013	0.00013
B01-B02-B03												
BP 1&2		0.0006	0.0006			0.0006	0.0006			0.0006	0.0006	
BP3	0.00103			0.00103	0.00103			0.00103	0.00104			0.00104
BP4												
ΑΠ 1	0.00146			0.00146	0.00146			0.00146	0.00135			0.00135
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096			0.00096	0.00096			0.00096	0.00096	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X28'+ X28''+ X28''' + X28''''=X28				X29'+ X29''+ X29''' + X29''''=X29				X30'+X30''+X30''' +X30''''=X30			
	X28'	X28''	X28'''	X28''''	X29'	X29''	X29'''	X29''''	X30'	X30''	X30'''	X30''''
T01-T02	0.00083	0.00083			0.00083	0.00083			0.00083	0.00083		
T07-T08			0.00013	0.00013			0.00013	0.00013			0.00013	0.00013
B01-B02-B03												
BP 1&2		0.0006	0.0006			0.0006	0.0006			0.0006	0.0006	
BP3	0.00104			0.00104	0.00104			0.00104	0.00104			0.00104
BP4												
ΑΠ 1	0.00135			0.00135	0.00135			0.00135	0.00135			0.00135
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096			0.00096	0.00096			0.00096	0.00096	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X31'+X31''+X31''' +X31''''=X31				X32'+X32''+X32''' +X32''''=X32				X33'+ X33''+ X33''' + X33''''=X33			
	X31'	X31''	X31'''	X31''''	X32'	X32''	X32'''	X32''''	X33'	X33''	X33'''	X33''''
T01-T02	0.00083	0.00083			0.00083	0.00083			0.00069	0.00069		
T07-T08			0.00013	0.00013			0.00013	0.00013			5.3E-05	5.3E-05
B01-B02-B03												
BP 1&2		0.0006	0.0006			0.0006	0.0006			0.0006	0.0006	
BP3	0.00104			0.00104	0.00104			0.00104	0.001			0.001
BP4												
ΑΠ 1	0.00135			0.00135	0.00135			0.00135	0.00124			0.00124
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096			0.00096	0.00096			0.00096	0.00096	
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00021	0.00023	0.00023	0.00023	0.00023

ΠΡΟΙΟΝΤΑ/ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	X34'+ X34''+ X34''' + X34''''=X34				ΜΕΓΙΣΤΟ Σ ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡ ΓΙΑΣ ΣΕ ΩΡΕΣ ΤΟ ΜΗΝΑ
	X34'	X34''	X34'''	X34''''	

T01-T02	0.00069	0.00069			528
T07-T08			5.3E-05	5.3E-05	528
B01-B02-B03					528
BP 1&2		0.0006	0.0006		528
BP3	0.001			0.001	528
BP4					528
ΑΠ 1	0.00124			0.00124	528
ΑΠ 2&3		0.00096	0.00096		528
ΣΥΣΚ & ΕΛΕΓ	0.00023	0.00023	0.00023	0.00023	528

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ (T01-T02, BP3)**500ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/Lt	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανοώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π10, 2	Πλύση Καζανιού	8000	14		1.5			
Π20, 2	Αποστείρωση Καζανιού	8000	14		1.5			
Π30, 2	Παραγωγή	8000	14	0.000875	7	0.000625		

Σύνολο 10

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ (T01-T02, BP3)**250ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/Lt	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανοώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π10, 2	Πλύση Καζανιού	6000	20		1.5			
Π20, 2	Αποστείρωση Καζανιού	6000	20		1.5			
Π30, 2	Παραγωγή	6000	20	0.000833	7	0.000417		

Σύνολο 10

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ (T01-T02, BP3)**100ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/Lt	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανοώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π10, 2	Πλύση Καζανιού	3500	24		1			
Π20, 2	Αποστείρωση Καζανιού	3500	24		1			
Π30, 2	Παραγωγή	3500	24	0.000686	3	0.000143		

Σύνολο 5

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ (T07-T08, BP1 & 2)

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/Lt	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π10, 3	Πλύση Καζανιού	45600	24		1.5			
Π20, 3	Αποστείρωση Καζανιού	45600	24		1.5			
Π30, 3	Παραγωγή	45600	24	0.000526	24	0.000592		

Σύνολο 27

Συσκευασία προϊόντος	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες ανα τεμάχιο
1000ml	0.000526	0.000592
500ml	0.000263	0.000296
250ml	0.000132	0.000148
100ml	0.000053	0.000059

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ (B01-B02-B03, BΡ4)

1000 ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/Lt	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανώρες ανα τεμάχιο	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα τεμάχιο	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π10, 4	Πλύση Καζανιού	21000	12		1			
Π20, 4	Αποστείρωση Καζανιού	21000	12		1			
Π30, 4	Παραγωγή	21000	12	0.000571	5	0.000333		

Συνολο 7

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗΣ 1**500ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανώρες ανα μονάδα	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π200, 1	Τοποθέτηση σε Βαγόνια	13680	14	0.001462	16	0.001316			
Π200, 2	Κλιβανισμός	13680	6		2				

Σύνολο 18

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗΣ 1**250ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανώρες ανα μονάδα	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π200, 1	Τοποθέτηση σε Βαγόνια	19320	20	0.001346	24	0.001346			
Π200, 2	Κλιβανισμός	19320	6		2				

Σύνολο 26

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗΣ 1**100ml**

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής/h	Μηχανώρες ανα μονάδα	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π200, 1	Τοποθέτηση σε Βαγόνια	24192	24	0.001240	24	0.001075			
Π200, 2	Κλιβανισμός	24192	6		2				

Σύνολο 26

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗΣ 2&3

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής	Βάση Παραγωγής	Μηχανώρες ανα μονάδα	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π200, 2&3	ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ	13600	8	0.000956	20	0.001618			
Π210, 2&3	Κλιβανισμός	13600	5		2				

Σύνολο 22

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΡΩΝ

1000ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής- h	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π400	Επανάλεγχος	220		0.5	0.002273			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΡΩΝ

500ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής- h	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π400	Επανάλεγχος	280		0.5	0.001786			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΡΩΝ

250ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής- h	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π400	Επανάλεγχος	380		0.5	0.001316			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΡΩΝ

100ml

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής/ Φιάλες	Βάση Παραγωγής- h	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα	Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
Π400	Επανάλεγχος	560		0.8	0.001429			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΒΡ 4

Σημείο Εφαρμογής	Φάση Παραγωγής	Ποσότητα Παραγωγής	Μηχανώρες ανα μονάδα	Κριτήριο Παραγωγής	Εργατοώρες	Εργατοώρες ανα μονάδα
Π100, 4	Πλύση	20400	0.000591	3	1	0.001084
Π110, 4	Αποστείρωση	20400		3	1	
Π120, 4	Παραγωγή	20400		3	20	

Σύνολο 22

1000ml

Απαιτούμενα Υλικά	Φύρα Φάσης	Φύρα Υλικών
	0	
	0	
	100	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γρηγόρης Πραστάκος, *Διοικητική Επιστήμη: Λήψη Επιχειρησιακών Αποφάσεων στην Κοινωνία της Πληροφορίας*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2000
2. Παντελής Γ. Υψηλάντης, *Επιχειρησιακή Έρευνα: Λήψη Επιχειρησιακών Αποφάσεων*, Εκδόσεις Έλλην, Αθήνα 2002
3. Βασίλης Κώστογλου, *Επιχειρησιακή Έρευνα: Μεθοδολογία, Εφαρμογές & Προβλήματα, Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2004
4. Wayne L. Winston & Munirpallam Venkataramanan, *Introduction to Mathematical Programming*, Fourth Edition 2003
5. F.S.Hillier-G.J.Lieberman, *Επιχειρησιακή Έρευνα*, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1985
6. Κώστας Παπής, *Προγραμματισμός Παραγωγής*, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα – Πειραιάς 1995
7. Βασίλης Σ. Κουϊκόγλου, *Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών*, Πολυτεχνείο Κρήτης 2002
8. Η. Τατσιόπουλος, *Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης Παραγωγής*, ΟΠΑ, Αθήνα 2001
9. Edward Silver, David Pyke & Rein Peterson, “*Inventory Management and Production Planning and Scheduling*”, John Wiley & Sons, Third Edition
10. Βασίλης Μουστάκης, *Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (MRP)*, Έκθεση για το ερευνητικό πρόγραμμα INNOREGIO: Διάδοση Τεχνολογιών Ανάπτυξης Καινοτομίας, Πολυτεχνείο Κρήτης 2000
11. Kenneth Lyons and Michael Gillingham, *Purchasing and Supply Chain Management*, Sixth edition 2003
12. John W. Toomey, “*MRP II: Planning for Manufacturing Excellence*”
13. Wallace J. Hopp & Mark L. Spearman, *Factory Physics*, Second Edition, Mc Graw-Hill International Editions, 2000
14. Γ. Θεολόγος & Β. Μουστάκης, *Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας*, Πολυτεχνείο Κρήτης 2000