



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΙΤΛΟΣ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ-ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ-ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ
ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (assignment model)**

**ΟΝΟΜΑ:ΛΩΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΜ:4439**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΟΣΜΑΣ ΠΑΞΙΝΟΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>Πρόλογος</i>	6
Εισαγωγή-Περιγραφή της πτυχιακής εργασίας	7
Περιεχόμενα Διδακτικών σημειώσεων	8
<i>Κεφάλαιο 1: ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ-Ευρεία περίληψη</i>	9
1.1 Εισαγωγή	10
<i>Κεφάλαιο 2: Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής</i>	11
2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Βασικές έννοιες των συστημάτων παραγωγής	12
2.2.1 Παραγωγή	12
2.2.2 Τύποι συστημάτων παραγωγής	12
2.3 Προγραμματισμός συστημάτων παραγωγής	14
2.3.1 Οι περιορισμοί κατά τον προγραμματισμό των συστημάτων παραγωγής	14
2.3.2 Εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων στον προγραμματισμό παραγωγής	16
2.4 Χρονικός Προγραμματισμός Παραγωγής	18
2.4.1 Εισαγωγή	18
2.4.2 Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής σε περιβάλλον job-shop	19
<i>Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός παραγωγής σε περιβάλλον job-shop</i>	21
3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Μοντελοποίηση του προβλήματος	23
3.3 Τρόποι επίλυσης του προβλήματος	28
3.3.1 Μέθοδοι βελτιστοποίησης	28
3.3.1.1 Αποδοτικές Μέθοδοι	28
3.3.1.2 Μαθηματικές διατυπώσεις	31
3.3.1.3 Τεχνικές BRANCH AND BOUND	32
3.3.2 Προσεγγιστικές μέθοδοι	34
3.3.2.1 Κανόνες διεκπεραίωσης προτεραιότητας (PDRS)	35
3.3.2.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι βασισμένοι στη μέθοδο BOTTLENECK	36

Κεφάλαιο 4: Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής με αναλυτικό τρόπο	38
4. Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής	39
4.1.1. Γενικά	39
4.2.1. Μέγεθος παρτίδας παραγωγής	40
4.2.1. Γενικά	40
4.2.2. Το Πρόβλημα Προγραμματισμού N/N Συστήματος (Ανάθεσης)	42
4.2.3. Πολλά προϊόντα με περιορισμούς	48
4.2.4. Παρτίδες παραγωγής και χρονικοί κύκλοι	48
4.3.1. Κατανομή εργασιών σε μέσα παραγωγής	49
4.3.2. Μέθοδος επιλύσεως (assignment model)	50
4.3.3. Παραλλαγές του προβλήματος της κατανομής	55
4.4.1. Ασκήσεις προγραμματισμού και έλεγχου παραγωγής	56
4.4.2. Λύσεις των ασκήσεων με αναλυτικό τρόπο	60

ΤΕΛΟΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ

Κεφάλαιο 5: Σχέδιο μαθήματος γενικά

73

5.1. ΓΕΝΙΚΑ – σχέδιο μαθήματος	74
5.1.2.Στοιχεία μαθήματος	75
5.2.Προετοιμασία και χρησιμοποίηση των φύλλων διδασκαλίας	79
5.2.1. Τα φύλλα διδασκαλίας και οι εφαρμογές τους- Έννοια και είδη φύλλων διδασκαλία	79
5.2.2. Φύλλα πληροφοριών	80
5.2.3. Συμπλήρωση φύλλου πληροφοριών	81
5.3.1. Φύλλα πράξης	82
5.3.2. Συμπλήρωση φύλλου πράξης	84
5.4.1. Φύλλο ελέγχου	85
5.4.2. Κατασκευή φύλλου ελέγχου	86
5.5.1. Φύλλα ανάθεσης εργασίας	87
5.5.2. Συμπλήρωση φύλλου ανάθεσης εργασίας	88
5.6.1. Φύλλα έργων	90
5.6.2.Συμπλήρωση φύλλου έργου	93
5.7.1. Διανομή φύλλων	94

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή του σχεδίου μαθήματος και των φύλλων πληροφοριών στο προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής- assignment model 95

6.1.1. Εφαρμογή του σχεδίου μαθήματος στο προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής ΣΧΕΔΙΟ_ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ.	96
6.1.2. Εφαρμογή του σχεδίου μαθήματος στο προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής <u>Φύλλα ελέγχου</u>	99
6.2 Φύλλο πληροφοριών	99
6.3 Φύλλο πράξης	103
6.3.1.Λύση άσκησης με το πρόγραμμα qsb	104
6.3.2Λύση της ίδιας άσκησης με το πρόγραμμα winqsb	109
6.4.1. Φύλλο ελέγχου- τεστ θεωρίας	112
6.4.2. Φύλλο ελέγχου –τεστ εργαστηρίου	114
6.5.1. Φύλλο ανάθεσης εργασίας	115
6.6. 1.Φύλλο έργου	116

Κεφάλαιο 7: Αναφορά για το μέλλον

118

7.1. Προοπτικές για το μέλλον	119
7.2.Βιβλιογραφία	120

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ στα πλαίσια του οικονομικού κύκλου της μηχανολογίας και του μαθήματος Ο.Δ.Β.Ε.. Η εκκίνηση της διπλωματικής εργασίας τοποθετείται χρονικά το Φεβρουάριο του 2011 και η ολοκλήρωση της τον Ιούνιο του 2011.

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αφορά αφ' ενός την επιστημονικώς θεωρητική γενική προσέγγιση του προβλήματος του προγραμματισμού και έλεγχου παραγωγής μέσω των διδακτικών σημειώσεων και αφ' ετέρου σε μεταφέρει στο περιβάλλον του assignment model γραφικά καθώς και με τη βοήθεια των προγραμμάτων qsb και winqsb για την επίλυση προβλημάτων με διάφορες μεθόδους. Επίσης πρέπει να τονιστεί και ο εκπαιδευτικός-διδακτικός στόχος της εργασίας όπου ο σπουδαστής καλείται να μπει στο ρόλο του εκπαιδευτικού αφού αναλύονται το σχέδιο μαθήματος και τα φύλλα πληροφοριών πρώτα γενικά και έπειτα εφαρμόζονται στον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής-assignment model.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή και Επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Κοσμά Παξινό για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα εκπαιδευτικό-διδακτικό αντικείμενο της μηχανολογίας και για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της εργασίας, του οποίου η συμβολή στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική. Η συνεργασία μαζί του υπήρξε ιδιαίτερα διδακτική.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αγάπη και την υποστήριξή της σε όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου διαδρομής.

Λώλος Κωνσταντίνος

Μάιος 2011

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή για τον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια γρήγορη εισαγωγή του αναγνώστη σε έννοιες που αφορούν τον προγραμματισμό παραγωγής. Παρουσιάζονται δηλαδή οι τύποι των συστημάτων παραγωγής, καθώς και το γενικό πρόβλημα του προγραμματισμού παραγωγής, με τους περιορισμούς που υπεισέρχονται και τα εργαλεία υποστήριξης των σχετικών αποφάσεων. Γίνεται επίσης μια σύντομη αναφορά στο ειδικό πρόβλημα που καλείται χρονικός προγραμματισμός παραγωγής σε περιβάλλον job-shop, καθώς είναι αυτό με το οποίο σχετίζεται όλη η υπόλοιπη εργασία.

Στο Κεφάλαιο 3, λοιπόν, γίνεται η προσέγγιση του προβλήματος του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής σε περιβάλλον job-shop (ή απλούστερα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών). Αρχικά δίνονται οι εξισώσεις που περιγράφουν το πρόβλημα, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί του. Στη συνέχεια χωρίζονται οι μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος σε προσεγγιστικές μεθόδους και μεθόδους βελτιστοποίησης, και παρουσιάζονται αναλυτικά οι δημοφιλέστερες από αυτές που κατά καιρούς έχουν προταθεί. Έτσι μεταξύ άλλων, γνωστοποιούνται οι μαθηματικές διατυπώσεις, οι τεχνικές branch & bound. Πέρα από τα ιστορικά στοιχεία και τον τρόπο λειτουργίας της κάθε μεθόδου, η μελέτη επικεντρώνεται στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα τους, με στόχο αφ' ενός την κατά το δυνατό εμφάνιση στις ιδιαιτερότητες της καθεμίας, και αφ' ετέρου σαν προσπάθεια να τονισθεί το γεγονός ότι, αν και ο χρονοπρογραμματισμός εργασιών είναι το πιο μελετημένο και καλά θεμελιωμένο μοντέλο στη ντετερμινιστική θεωρία χρονοπρογραμματισμού, παραμένει ένα από τα πιο δύσκολο να λυθούν προβλήματα.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η αναλυτικότερη προσέγγιση του προγραμματισμού και έλεγχου παραγωγής αφού παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες προβλημάτων που ενδέχεται να αντιμετωπίσουμε όπως επίσης και όλες οι μέθοδοι που μπορούμε να εφαρμόσουμε για την λύση οποιουδήποτε προβλήματος μας παρουσιαστεί.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια αναφορά στο πως πρέπει να γίνεται ένα σχέδιο μαθήματος και στο πως πρέπει να συμπληρώνονται και να προετοιμάζονται τα φύλλα διδασκαλίας γενικά, για οποιοδήποτε μάθημα.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται η εφαρμογή του σχεδίου μαθήματος και η συμπλήρωση και προετοιμασία των φύλλων διδασκαλίας πάνω στο προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής-assignment model.

Στο Κεφάλαιο 7 υπάρχει μια αναφορά για το μέλλον, η βιβλιογραφία και τα παρατήματα όπου περιλαμβάνονται όλες οι ασκήσεις της πτυχιακής εργασίας λυμένες .

ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Περιεχόμενα Διδακτικών σημειώσεων

Κεφάλαιο 1: ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ-Ευρεία περίληψη

1.1.Εισαγωγή	10
--------------	----

Κεφάλαιο 2: Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής

2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Βασικές έννοιες των συστημάτων παραγωγής	12
2.2.3 Παραγωγή	12
2.2.4 Τύποι συστημάτων παραγωγής	12
2.3 Προγραμματισμός συστημάτων παραγωγής	14
2.3.1 Οι περιορισμοί κατά τον προγραμματισμό των συστημάτων παραγωγής	14
2.3.2 Εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων στον προγραμματισμό παραγωγής	16
2.4 Χρονικός Προγραμματισμός Παραγωγής	18
2.4.1 Εισαγωγή	18
2.4.2 Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής σε περιβάλλον job-shop	19

Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός παραγωγής σε περιβάλλον job-shop

3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Μοντελοποίηση του προβλήματος	23
3.3 Τρόποι επίλυσης του προβλήματος	28
3.3.1 Μέθοδοι βελτιστοποίησης	28
3.3.1.1 Αποδοτικές Μέθοδοι	28
3.3.1.2 Μαθηματικές διατυπώσεις	31
3.3.1.3 Τεχνικές BRANCH AND BOUND	32
3.3.2 Προσεγγιστικές μέθοδοι	34
3.3.2.1 Κανόνες διεκπεραίωσης προτεραιότητας (PDRS)	35
3.3.2.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι βασισμένοι στη μέθοδο BOTTLENECK	36

Κεφάλαιο 4: Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής με αναλυτικό τρόπο

4.1.1.Γενικά	39
4.2.1. Μέγεθος παρτίδας παραγωγής	40
4.2.1. Γενικά	40
4.2.2.Το Πρόβλημα Προγραμματισμού N/N Συστήματος (Ανάθεσης)	42
4.2.3Πολλά προϊόντα με περιορισμούς	48
4.2.4. Παρτίδες παραγωγής και χρονικοί κύκλοι	48
4.3.1. Κατανομή εργασιών σε μέσα παραγωγής	49
4.3.2. Μέθοδος επιλύσεως (assignment model)	50
4.3.3. Παραλλαγές του προβλήματος της κατανομής	55
4.4.1.Ασκήσεις προγραμματισμού και έλεγχου παραγωγής	56
4.4.2.Λύσεις των ασκήσεων με αναλυτικό τρόπο	60

ΤΕΛΟΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

**ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην βιομηχανική παραγωγή, ο προγραμματισμός της παραγωγής είναι υπεύθυνος για την διεκπεραίωση των εργασιών και την κατανομή των πόρων, γεγονός που αποτελεί τον βασικό συνδετικό κρίκο-κλειδί για την διεξαγωγή του πλάνου εργασίας και της παραγωγικής διαδικασίας. Όσο μεγαλύτερη δε, είναι η κλίμακα παραγωγής, είτε όσο ευρύτερη είναι η ποικιλία της παραγωγής, τόσο πιο σημαντικός γίνεται ο ρόλος του χρονοπρογραμματισμού στην παραγωγική διαδικασία.

Παρ' ότι τα αντικείμενα παραγωγής είναι διαφορετικά για τις διάφορες παραγωγικές βιομηχανίες, τα βασικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του παραγωγικού προγράμματος είναι τα ίδια και απαιτούν την εύρεση ενός βέλτιστου προγράμματος για την κατανομή των πόρων με ένα συγκεκριμένο παραγωγικό στόχο και ορισμένους σχετικούς περιοριστικούς παράγοντες. Υπάρχουν διάφοροι παραγωγικοί στόχοι, όπως ο συντομότερος χρόνος παραγωγής, το ελάχιστο παραγωγικό κόστος, η έγκαιρη διεκπεραίωση της παραγωγής κ.τ.λ., στόχοι που επηρεάζουν, όπως είναι φυσικό, την διοίκηση και οργάνωση της παραγωγής .

Οι περιοριστικοί παράγοντες, όπως είναι ο χρόνος επεξεργασίας της κάθε διεργασίας, η προτεραιότητα του κάθε προϊόντος, η εφαρμογή και η εκμετάλλευση του εξοπλισμού, ο ρυθμός παραγωγής, οι ομάδες παραγωγής, οι ημερομηνίες παράδοσης των προϊόντων κ.τ.λ. εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της επιχείρησης, περιλαμβανομένων των αντικειμένων, του περιβάλλοντος, της τεχνολογίας και της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο προγραμματισμός παραγωγής περιλαμβάνει την προεπεξεργασία του πλάνου παραγωγής για την εισαγωγή της παραγωγικής διαδικασίας ως στατική προϋπόθεση, όπως και την μετά επεξεργασία του πλάνου εργασιών ώστε νέα προϊόντα να μπορούν να εισαχθούν στην παραγωγική διαδικασία χωρίς να διαταραχθεί η παραγωγική ροή, ως δυναμική απαίτηση. Η πρώτη περίπτωση συνήθως αναφέρεται ως στατικός προγραμματισμός, ενώ η δεύτερη ως δυναμικός προγραμματισμός.

Η εργασιακή έρευνα, τα συνδυαστικά μαθηματικά και ειδικά, οι αλγόριθμοι «branch and bound» και οι ευρετικοί μέθοδοι, έχουν όλοι συνεισφέρει τα μέγιστα στον προγραμματισμό παραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<p>ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</p>
--

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στο χρονικό προγραμματισμό παραγωγής. Αρχικά παρουσιάζεται το γενικό πρόβλημα του προγραμματισμού παραγωγής, οι περιορισμοί που υπεισέρχονται, αλλά και τα εργαλεία υποστήριξης των σχετικών αποφάσεων. Στη συνέχεια, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο ειδικό πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής, με την προσοχή μας να επικεντρώνεται στο χρονοπρογραμματισμό παραγωγής σε περιβάλλον job-shop, που είναι και το πρόβλημα που θα μας απασχολήσει σε αυτή την εργασία. Η αναφορά αυτή αποτελεί ένα είδος εισαγωγής στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα αναλυθεί εκτενέστερα το πρόβλημα και θα επιχειρηθεί η ιστορική αναφορά στους αλγόριθμους επίλυσής του, που έχουν κατά καιρούς προταθεί.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ως *παραγωγή* ορίζουμε την οργανωμένη δραστηριότητα η οποία αποσκοπεί αφ' ενός στην αύξηση της αξίας ή της χρησιμότητας των υλικών πραγμάτων και αφ' ετέρου στην παροχή υπηρεσιών.

2.2.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Κάθε σύστημα, κάθε οργανωμένο δηλαδή σύνολο στοιχείων, που παράγει προϊόντα ή υπηρεσίες ονομάζεται *παραγωγικό σύστημα*. Στο Σχήμα 2.1 δίνουμε το διάγραμμα του μοντέλου του παραγωγικού συστήματος. Τα παραγωγικά συστήματα διακρίνονται στους εξής τύπους:

- *Συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop)*

Τα συστήματα συνεχούς ροής επικεντρώνονται στην παραγωγή πεπερασμένου αριθμού τυποποιημένων τελικών προϊόντων, τα οποία προορίζονται για ευρεία κατανάλωση. Σε κάθε τελικό προϊόν αντιστοιχεί μία γραμμή παραγωγής, ενώ η ροή του εν λόγω προϊόντος σε κάθε γραμμή είναι ίδια για κάθε κομμάτι. Στην παραπάνω κατηγορία εμπίπτει και η περίπτωση στην οποία οι εισροές μετασχηματίζονται σε ένα ή περισσότερα προϊόντα.

- *Συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop)*

Τα συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία παράγουν προϊόντα των οποίων τόσο οι τελικές ιδιότητες, όσο και οι προδιαγραφές ορίζονται από τον πελάτη. Η ποικιλία των προϊόντων που δύναται να παραχθούν είναι σαφώς μεγάλη, ενώ ο όγκος

της παραγωγής διαφέρει για κάθε παραγγελία. Η ροή του προϊόντος στα συστήματα αυτά είναι επίσης διαφορετική για κάθε παραγγελία (παρτίδα παραγωγής).

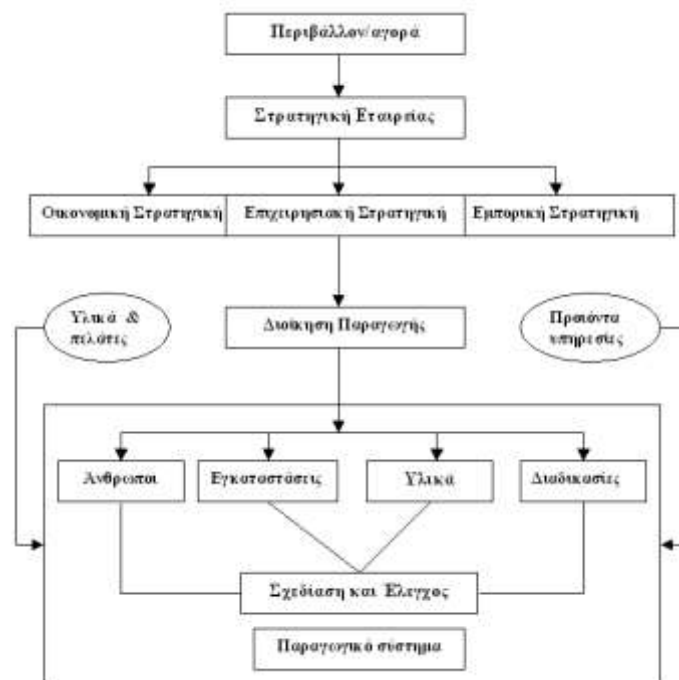
- *Συστήματα παραγωγής σε παρτίδες (batch-shop)*

Τα συστήματα παραγωγής σε παρτίδες είναι υβριδικά, καθώς έχουν χαρακτηριστικά συστημάτων τόσο συνεχούς ροής όσο και παραγωγής κατά παραγγελία. Τα τελικά προϊόντα είναι αποθηκεύσιμα και παράγονται με κοινό παραγωγικό εξοπλισμό. Προκειμένου για τη μείωση του όγκου των αποθεμάτων, και συνακόλουθα του κόστους αποθήκευσης που επιβαρύνει την παραγωγική μονάδα, η ετήσια ποσότητα που πρέπει να παραχθεί από κάθε προϊόν διαιρείται σε παρτίδες, οι οποίες διαδέχονται χρονικά η μία την άλλη.

- *Συστήματα κατασκευής έργων (Projects)*

Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας παράγουν συνήθως ένα προϊόν που προορίζεται για έναν πελάτη. Το τελικό προϊόν είναι μεγάλου μεγέθους και αξίας, και γύρω από αυτό διατάσσεται ο παραγωγικός εξοπλισμός, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μικρό βαθμό αυτοματοποίησης.

Η χωροταξική διάταξη σε κάθε ένα από τα παραπάνω παραγωγικά συστήματα καθορίζεται έτσι ώστε να είναι λειτουργική. Συγκεκριμένα, και αναφορικά με την πρώτη περίπτωση, η διάταξη των μηχανημάτων είναι γραμμική και ειδικής χρήσης. Στη δεύτερη περίπτωση, ο εξοπλισμός είναι γενικής χρήσης με γενικά περιορισμένο βαθμό αυτοματοποίησης, και διατάσσεται σε ομάδες παραγωγικών μονάδων που εκτελούν την ίδια λειτουργία.



Σχήμα 2.1
Μοντέλο Παραγωγικού Συστήματος

2.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.3.1 ΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Προγραμματισμός παραγωγής είναι η διαδικασία ανάθεσης εργασιών σε διάφορους πόρους. Συνιστά λοιπόν μια διαδικασία λήψης δύο κατηγοριών αποφάσεων: αποφάσεις χρονικής τοποθέτησης των διεργασιών και αποφάσεις κατανομής των πόρων σε κάθε διεργασία. Και οι δύο κατηγορίες αποφάσεων έχουν οικονομική διάσταση, καθώς σχετίζονται με τη διαχείριση μίας οικονομικής μονάδας.

Το συγκεντρωτικό πρόγραμμα παραγωγής αποτελεί το πλαίσιο, μέσα στο οποίο οργανώνεται και αναπτύσσεται η παραγωγική δραστηριότητα ενός συστήματος. Περιλαμβάνει ένα σύνολο στόχων που τίθενται για το σύστημα και αφορούν την παραγωγή, την απασχόληση και τα αποθέματα για κάθε περίοδο μέσα στον ορίζοντα προγραμματισμού. Οι στόχοι αυτοί συνιστούν παράλληλα και περιορισμούς του συστήματος, όσον αφορά στην παραγωγική λειτουργία. Ακόμα, οι στόχοι αυτοί αποτελούν έμμεσα στόχους και περιορισμούς και των άλλων λειτουργιών, όπως της χρηματοοικονομικής λειτουργίας ή της λειτουργίας των προμηθειών. Τα επιμέρους προγράμματα αυτών των λειτουργιών πρέπει να καταρτίζονται μέσα στο πλαίσιο που θέτει το συγκεντρωτικό πρόγραμμα παραγωγής.

Αρχικός περιορισμός της διαδικασίας προγραμματισμού είναι ο επιθυμητός όγκος της παραγωγής και ο χρόνος τοποθέτησης των τελικών προϊόντων στην αγορά, ο προσδιορισμός των οποίων γίνεται από ή σε συνεργασία με τη διοίκηση της μονάδας.

Ως άριστο μέγεθος παραγωγικής μονάδας ορίζεται το κατά προσέγγιση επίπεδο της επένδυσης, το οποίο είναι τεχνικά, οικονομικά και οργανωτικά εφικτό, ανταποκρίνεται στο μέγεθος της προβλεπόμενης ζήτησης του προϊόντος και εξασφαλίζει για τη μονάδα την παραγωγική δυναμικότητα που τείνει να ελαχιστοποιήσει το κατά μονάδα κόστος παραγωγής. Η επιλογή του «άριστου» μεγέθους γίνεται ύστερα από συγκριτική και διαδοχική προσεγγιστική ανάλυση διαφόρων εναλλακτικών μεγεθών. Οι εναλλακτικές λύσεις που είναι στην πράξη διαθέσιμες δεν είναι απεριόριστες, για τους λόγους που ακολουθούν.

Πρώτον, η κατασκευή του μηχανολογικού εξοπλισμού σε φυσικές μονάδες είναι συνήθως τυποποιημένη και περιορισμένη, σύμφωνα με τεχνικές προδιαγραφές (π.χ. ορισμένη ιπποδύναμη, ορισμένη χωρητικότητα, ορισμένο τονάζ παραγωγής). Δεύτερον, τα περιθώρια για διαβαθμίσεις ή διακρίσεις της παραγωγικής δυναμικότητας περιορίζονται από τεχνικούς περιορισμούς (indivisibilities). Είναι δηλαδή τεχνικά αδύνατο, να χωριστεί μία ενιαία μηχανολογική μονάδα σε απεριόριστο αριθμό μεγεθών. Για αυτό, τα διαθέσιμα εναλλακτικά μεγέθη του μηχανολογικού εξοπλισμού που κυκλοφορούν στην αγορά, είναι συνήθως τέσσερα: Το ελάχιστο μέγεθος (minimal plant), για την ελάχιστη παραγωγική δυναμικότητα, το μικρής ή χαμηλής κλίμακας μέγεθος (small-scale plant), το μέσης κλίμακας μέγεθος

(medium-scale plant) και το μεγάλης ή υψηλής κλίμακας μέγεθος (large-scale plant), για τη μέγιστη δυνατή παραγωγική δυναμικότητα. Στην πράξη, η επιλογή του «άριστου» μεγέθους της παραγωγικής δυναμικότητας γίνεται κατά προσέγγιση, έχει ως αφετηρία και πυξίδα προσανατολισμού την πρόβλεψη της ζήτησης των προϊόντων (όπως υπολογίζεται στην έρευνα αγοράς) και περιορίζεται στις παραπάνω τέσσερις εναλλακτικές λύσεις ή σε ενδιάμεσες θέσεις μεταξύ τους.

Οι απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων μεταφράζονται μέσω των πινάκων υλικών, των προβλέψεων και των παραγγελιών των πελατών σε απαιτήσεις για παραγωγικούς πόρους (ανθρώπινο δυναμικό, μηχανήματα, σειρά επεξεργασιών, χρόνοι παραγωγής). Ακολουθεί ο υπολογισμός της ονομαστικής και πραγματικής δυναμικότητας της παραγωγικής μονάδας, σε συνεργασία με το τμήμα προγραμματισμού των ανθρώπινων πόρων (Human Resource Management), ώστε να εξασφαλιστεί η ρεαλιστικότητα του στόχου.

Εφόσον εξασφαλιστεί ότι οι ανθρώπινοι πόροι επαρκούν, ακολουθεί ο υπολογισμός της ποσότητας των απαραίτητων πρώτων υλών. Στον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη και η διατήρηση αποθέματος ασφαλείας, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί η παραγωγική μονάδα σε περιπτώσεις όπως μερική ή ολική καταστροφή της πρώτης ύλης κατά τη μεταφορά ή την επεξεργασία, έκτακτες παραγγελίες, αδυναμία του προμηθευτή να αντεπεξέλθει στην παραγγελία κ.ο.κ. Σημειώνεται ότι η αδυναμία κάλυψης έκτακτων παραγγελιών συνεπάγεται διαφυγόντα κέρδη.

Στον ίδιο υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη η επάρκεια των αποθηκευτικών χώρων, αλλά και το κόστος αποθήκευσης και δέσμευσης κεφαλαίων, τόσο για τις πρώτες ύλες, όσο και για τα ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, είναι απαραίτητος ο χωροταξικός σχεδιασμός των αποθηκών, ώστε να διευκολύνονται οι διαδικασίες φόρτωσης και προμήθειας των επιμέρους σταδίων της παραγωγής, προς εξοικονόμηση χρόνου. Σημειώνεται ότι το τελικό προϊόν ενός σταδίου της παραγωγής συνιστά συχνά την εισροή ενός άλλου σταδίου. Το ζήτημα της ασφάλειας των εργαζομένων κατά τη μεταφορά είναι επίσης βαρύνουσας σημασίας και λαμβάνεται υπόψη στο χωροταξικό σχεδιασμό.

Η ανακύκλωση των χρησιμοποιούμενων σε μία παραγωγική διαδικασία υλικών συνιστά διαδικασία εξοικονόμησης πόρων. Σε ορισμένους παραγωγικούς κλάδους, όπως λόγου χάριν στις μεταλλουργικές εταιρείες, η ανακύκλωση αποτελεί σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού, καθώς οι επιστημονικές μέθοδοι της πυρομεταλλουργίας είναι προσανατολισμένες στη χρήση ανακυκλούμενων υλικών (scrap). Έτσι, ο υπολογισμός των απαιτούμενων πόρων γίνεται περίπλοκος, και απαιτείται συχνά η συνδρομή της προσομοίωσης για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Εξάλλου, η χρήση ανακυκλούμενων προϊόντων, απαιτεί επιπλέον διαδικασίες, όπως διαλογή, επιθεώρηση και ταξινόμηση, αλλά και επιπλέον παραγωγικό χρόνο. Το επιπλέον κόστος αποσβένεται λόγω μειωμένου κόστους απόκτησης πρώτων υλών αλλά και με τα οικονομικά οφέλη που απολαμβάνει η επιχείρηση, λόγω υιοθέτησης περιβαλλοντικά αποδεκτών μεθόδων.

Προκειμένου λοιπόν για την κατάρτιση ενός Συγκεντρωτικού Προγράμματος Παραγωγής, απαιτούνται δεδομένα όπως η δυναμικότητα του συστήματος, η προβλεπόμενη ζήτηση στον ορίζοντα προγραμματισμού για κάθε περίοδο (συνήθως κάθε μήνα), τα υπάρχοντα αποθέματα και οι γενικοί στόχοι και τα κριτήρια προγραμματισμού που θέτει η διοίκηση της μονάδας. Ο Συγκεντρωτικός Προγραμματισμός Παραγωγής είναι η δραστηριότητα με την οποία καθορίζεται το πρόγραμμα (πλάνο) της παραγωγής για το σύνολο των προϊόντων ενός παραγωγικού συστήματος, και για ένα σύνολο περιόδων. Περιλαμβάνει, όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας, τις μεσοπρόθεσμες αποφάσεις της διοίκησης για τις τιμές των βασικών μεγεθών της παραγωγής. Τα μεγέθη αυτά είναι το συνολικό ύψος της παραγωγής, της απασχόλησης και των αποθεμάτων, συνήθως σε μηνιαία βάση, που τίθενται ως στόχοι για ένα μεσοπρόθεσμο ορίζοντα προγραμματισμού. Απαραίτητη εξάλλου είναι και η γνώση των στοιχείων που αφορούν κυρίως στο κόστος της παραγωγής (κόστος εργασίας, κόστος αποθεματοποίησης, κόστος υποαποθέματος, μεταβλητό κόστος παραγωγής, κόστος μεταβολών στο επίπεδο απασχόλησης). Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορούν καταρχήν να διαμορφωθούν πολλά εναλλακτικά συγκεντρωτικά προγράμματα παραγωγής.

2.3.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η πολυπλοκότητα των αποφάσεων που σχετίζονται με τον προγραμματισμό παραγωγής έχει γίνει σαφής από την προηγούμενη ενότητα. Σε αυτήν την ενότητα γίνεται μία σύντομη αναφορά στα επιστημονικά εργαλεία υποστήριξης της λήψης αποφάσεων.

Αρχικά, και εξαιτίας της σημασίας της λειτουργίας της διαχείρισης αποθεμάτων, έχει αναπτυχθεί η Θεωρία Αποθεμάτων, που ανήκει στην επιστημονική περιοχή της Επιχειρησιακής Έρευνας. Η θεωρία αυτή εξετάζει συστηματικά τα προβλήματα που συνδέονται με τη δημιουργία και τη διαχείριση των αποθεμάτων, παρακολούθηση και στον ενώ διατίθενται σχετικά συστήματα λογισμικού που βοηθούν στη συστηματική έλεγχο των αποθεμάτων.

Μια ειδική κατηγορία συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων, είναι τα συστήματα προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών (ΠΑΥ). Τα εν λόγω συστήματα αφορούν στη διαχείριση απαραίτητων για την εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής υλικών, τα οποία είτε παραγγέλλονται από εξωτερικούς προμηθευτές, είτε κατασκευάζονται από το ίδιο το παραγωγικό σύστημα. Η ζήτηση για αυτά είναι εσωτερική, προέρχεται δηλαδή από το ίδιο το σύστημα και είναι εξαρτημένη και συχνά ασυνεχής. Τα συστήματα αυτά καθορίζουν τις ποσότητες και το χρόνο εισροής τους στο σύστημα, βασιζόμενα στις απαιτήσεις για υλικά που καθορίζονται από το σύστημα παραγωγής και όχι σε προβλέψεις.

Παρόλο αυτά, τόσο ο προγραμματισμός όσο και ο έλεγχος της παραγωγής, απαιτούν εκτιμήσεις όσον αφορά στην ποσότητα και στο χρόνο που αναμένεται να

ζητηθεί η εκροή, δηλαδή το προϊόν ενός παραγωγικού συστήματος. Κάθε σπουδαία απόφαση στις επιχειρήσεις, στρατηγικού ή τακτικού χαρακτήρα, βασίζεται και στην εκτίμηση της ζήτησης. Η ζήτηση προϊόντων ή υπηρεσιών και, συνεπώς, οι απαιτήσεις σε μηχανές, υλικά, κεφάλαια, ανθρώπινο δυναμικό και, γενικά, δυναμικότητα που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση, χαρακτηρίζεται όμως από αβεβαιότητα, γεγονός που κατέστησε αναγκαία την ανάπτυξη μεθόδων πρόβλεψης. Οι εκτιμήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση των προγραμμάτων παραγωγής, προμήθειας πρώτων υλών, απασχόλησης ανθρώπινου δυναμικού κλπ. Τα προγράμματα αυτά θα είναι τόσο περισσότερο αποτελεσματικά, σε σχέση με το σκοπό του παραγωγικού συστήματος, όσο περισσότερο αξιόπιστες είναι οι σχετικές προβλέψεις. Ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την επιλογή της μεθόδου προβλέψεων είναι το είδος των αποφάσεων που θα ληφθούν, βάσει των προβλέψεων που θα προκύψουν. Εκτός από τον παράγοντα αυτό, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου καθορίζεται από ένα σύνολο ειδικότερων παραγόντων, στους οποίους περιλαμβάνονται η ζητούμενη μορφή της πρόβλεψης, η περίοδος και ο ορίζοντας πρόβλεψης, το κόστος της μεθόδου, η επιζητούμενη ακρίβεια, η απλότητα και η ευκολία εφαρμογής και τα διαθέσιμα στοιχεία. Σημειώνεται ότι οι μέθοδοι πρόβλεψης διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες: μέθοδοι προεκβολής ή χρονοσειρών, αιτιακές μέθοδοι, και ποιοτικές μέθοδοι ή μέθοδοι κρίσης.

Τέλος, η τάση υιοθέτησης πληροφοριακών συστημάτων έχει βοηθήσει σημαντικά τα παραγωγικά συστήματα. Στα σύγχρονα εργοστάσια, υπάρχει μία κεντρική βάση δεδομένων, εύκολα προσβάσιμη, όπου αποθηκεύονται πληροφορίες για κάθε τμήμα της διαδικασίας παραγωγής προϊόντος. Συνδεδεμένα με αυτή τη βάση βρίσκονται τοπικά δίκτυα (local area networks) προσωπικών υπολογιστών, σταθμοί εργασίας και τερματικά εισαγωγής δεδομένων ώστε να μπορούν είτε να ανακτήσουν είτε να εισάγουν δεδομένα στη βάση. Η λειτουργία του χρονοπρογραμματισμού, που μελετάται σε αυτήν την εργασία, συνήθως γίνεται σε έναν προσωπικό υπολογιστή ή σε ένα σταθμό εργασίας συνδεδεμένο με την κεντρική βάση δεδομένων του εργοστασίου. Σε θέσεις-κλειδιά της παραγωγικής διαδικασίας (shop-floor terminals) βρίσκονται τερματικά που είναι συνδεδεμένα με τη βάση δεδομένων του χρονοπρογραμματισμού, ώστε να συνδέουν άλλα τμήματα με αυτή, κάνοντας την προσβάσιμη όπου απαιτείται.

2.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση της προηγούμενης ενότητας αφορά στο στρατηγικό πρόβλημα του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού της δυναμικότητας ενός συστήματος παραγωγής. Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στο πρόβλημα του προγραμματισμού των διατιθέμενων πόρων σε μεσοπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη βάση, και αφορά στα συστήματα flow-shop και job-shop. Το βραχυχρόνιο πρόγραμμα επηρεάζεται, όπως είναι αντιληπτό, από τη διαδικασία σχεδιασμού παραγωγής (production planning process) και άρα από τον μακροχρόνιο σχεδιασμό ολόκληρου του συστήματος.

Προκειμένου για την πραγματοποίηση μίας τέτοιας ανάλυσης, είναι αναγκαίος ο ορισμός των μεταβλητών σχεδιασμού, των μεταβλητών απόφασης, και βέβαια της συνάρτησης που πρόκειται να βελτιστοποιηθεί. Συγκεκριμένα, οι περιορισμοί αφορούν τη δυναμικότητα, την ακολουθία των δραστηριοτήτων που ορίζει η υπάρχουσα τεχνολογία και τις απαιτήσεις συντήρησης των μηχανών. Οι μεταβλητές απόφασης αφορούν στο μέγεθος μιας παρτίδας παραγωγής (πόσα κομμάτια ανά παρτίδα), στη φόρτωση των μηχανών (ποια παραγγελία εκτελείται σε ποια μηχανή), στη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών κλπ. Τέλος, η συνάρτηση κόστους αφορά στην πλήρωση ορισμένων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στην εξυπηρέτηση των πελατών, στην αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας, στο συνολικό κόστος λειτουργίας, στο συνολικό χρόνο λειτουργίας κλπ. Με βάση λοιπόν τη διαθέσιμη δυναμικότητα, τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων και διάφορους τεχνολογικούς και άλλους περιορισμούς, ζητείται η καλύτερη δυνατή τιμή των μεταβλητών απόφασης, δηλαδή οι τιμές που αντιστοιχούν στην καλύτερη δυνατή τιμή μιας συνάρτησης κόστους. Έτσι από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων ζητείται το «καλύτερο».

Στην περίπτωση χρονικού προγραμματισμού έργου, τα προβλήματα προγραμματισμού και οργάνωσης της εκτέλεσης συνδέονται με μεγάλο πλήθος επιμέρους δραστηριοτήτων, από την εκτέλεση και τη διαπλοκή των οποίων εξαρτάται η ολοκλήρωση του ίδιου του έργου. Οι δραστηριότητες αυτές συνδέονται μεταξύ τους με τεχνολογικές, φυσικές, οικονομικές ή άλλες σχέσεις προτεραιότητας, δηλαδή του τύπου «προηγείται – έπεται», ενώ υπόκεινται σε διάφορους περιορισμούς, π.χ. λόγω διαθέσιμων πόρων ή υπάρχοντος θεσμικού πλαισίου, που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον προγραμματισμό τους. Το ζητούμενο σε τέτοια προβλήματα μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου, η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, η ελαχιστοποίηση του κόστους για ένα δεδομένο ολικό χρόνο, η ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης για ένα δεδομένο κόστος, ή και η ελαχιστοποίηση των πόρων που αδρανούν. Οι κύριες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων είναι η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (CPM) και η τεχνική αξιολόγησης και αναθεώρησης προγράμματος (PERT).

2.4.2 ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ JOB-SHOP

Με βάση την εισαγωγή της ενότητας, είναι εφικτός ο ορισμός του όρου «χρονοπρογραμματισμός» ως «...η κατανομή δεδομένων πόρων στη διάρκεια του χρόνου με σκοπό την ολοκλήρωση ενός συνόλου εργασιών.» (Baker [1974]).

Οι τυπικές λειτουργίες του προγραμματισμού παραγωγής σε περιβάλλον job-shop, ή διαφορετικά του χρονικού προγραμματισμού εργασιών περιλαμβάνουν την ανάθεση πόρων σε εργασίες, τον καθορισμό της σειράς εκτέλεσης των εργασιών (δρομολόγηση), την εκκίνηση εκτέλεσης της σχεδιασθείσας εργασίας και τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας (ανάλυση της κατάστασης εκτελούμενων εργασιών, επίσπευση καθυστερημένων και κρίσιμων εργασιών).

Όσον αφορά τώρα στους στόχους του χρονοπρογραμματισμού εργασιών, δηλαδή σε αυτά στα οποία ο χρονοπρογραμματισμός εργασιών στοχεύει τελικά (και που δείχνουν και τη σημασία του χρονοπρογραμματισμού στην παραγωγική διαδικασία) μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- Ο σεβασμός των προθεσμιών (due dates) των εργασιών.
- Η ελαχιστοποίηση του χρόνου υλοποίησης του προγράμματος (makespan).
- Η ελαχιστοποίηση του χρόνου ή του κόστους ρύθμισης (setup) των μηχανών που εμπλέκονται στο πρόβλημα.
- Η μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης των μηχανών (machine utilization) ή των πόρων και άρα ελαχιστοποίησης του χρόνου που οι μηχανές είναι αδρανείς (idle time).

Σκόπιμο επίσης κρίνεται το να αναφερθούν κάποια κριτήρια αξιολόγησης του προγραμματισμού εργασιών, τα οποία μας δείχνουν το ποσοστό επιτυχίας του, σε σχέση πάντα με τους στόχους του προγραμματισμού για την βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι, μπορούν ενδεικτικά να αναφερθούν τα εξής κριτήρια:

- Το ποσοστό ολοκληρωμένων εργασιών εντός των καθορισμένων προθεσμιών (ημερομηνιών παράδοσης των εργασιών).
- Η βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών.
- Το ποσοστό των χρησιμοποιούμενων πόρων.
- Το ποσοστό του αεργού χρόνου (idle time) των μηχανών.

Η θεωρία χρονοπρογραμματισμού job-shop είναι μέρος της γενικής θεωρίας χρονοπρογραμματισμού (scheduling). Η έρευνα προς την κατεύθυνση κατανόησης του χρονοπρογραμματισμού έχει καταλήξει σε θεωρητικά μαθηματικά μοντέλα και σε ποικίλες μεθόδους αναζήτησης πιθανών λύσεων. Έτσι, τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού παραγωγής συνδυάζουν επιστημονικές περιοχές αρκετά διαφορετικές, όπως είναι αυτές του σχεδιασμού παραγωγής (production planning), του computer design και της παραγωγής πλάνων (timetabling). Εξάλλου, η θεωρία

και οι εφαρμογές του χρονοπρογραμματισμού παραγωγής έχουν αναπτυχθεί σημαντικά τόσο στην επιχειρησιακή έρευνα, όσο και στην τεχνητή νοημοσύνη. Παρόλα αυτά, χάρη στην προσθήκη νέων αλγορίθμων όπως αυτοί των νευρωνικών δικτύων και της εξελικτικής υπολογισιμότητας, ερευνητές από τομείς της βιολογίας, της γενετικής και της νευροφυσιολογίας, βοήθησαν πρόσφατα στην περαιτέρω μελέτη της θεωρίας της παραγωγής, δίνοντας έμφαση στην πολύπλευρη φύση αυτού του τομέα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού job-shop (Job-Shop Scheduling Problem, JSSP) ειδικότερα, θεωρείται ως ένα από τα πιο δύσκολα και από τα πλέον δημοφιλή συνδυαστικά προβλήματα στη ντετερμινιστική προγραμματιστική θεωρία καθώς εξυπηρετεί την εφαρμογή πολλών διαφορετικών τεχνικών, νέων αλλά και παλαιότερων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ JOB-SHOP**

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα που αφορά τη θεωρία του χρονοπρογραμματισμού έχει εξελιχθεί τις τελευταίες δεκαετίες και έχει αποτελέσει το θέμα πολύ εκτεταμένης βιβλιογραφίας με τεχνικές που ποικίλουν από ακατέργαστους κανόνες διεκπεραίωσης ως πολύπλοκους παράλληλους branch & bound αλγόριθμους και bottleneck heuristics. Χωρίς αυτό να προκαλεί ιδιαίτερη έκπληξη, οι προσεγγίσεις που έχουν προταθεί προέρχονται από ένα ευρύ φάσμα ερευνητών που κυμαίνεται από επιστήμονες της διοίκησης μέχρι εργάτες της παραγωγής. Μάλιστα με τον ερχομό νέων μεθοδολογιών, όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η εξελικτική υπολογιστική, στην έρευνα του χρονοπρογραμματισμού έχουν συνεισφέρει ερευνητές και από πεδία όπως η βιολογία, η γενετική και η νευροφυσιολογία, τονίζοντας έτσι την πολυπειθαρχική φύση αυτού του ερευνητικού πεδίου.

Ένα από τα πιο δημοφιλή μοντέλα στη θεωρία του χρονοπρογραμματισμού είναι αυτό του χρονοπρογραμματισμού εργασιών (job-shop scheduling) καθώς θεωρείται ότι προσφέρει μια ικανοποιητική αναπαράσταση του γενικότερου τομέα. Έχει καταφέρει να κερδίσει ισχυρή φήμη λόγω της δυσκολίας του να λυθεί και είναι πιθανώς το πιο μελετημένο και καλά θεμελιωμένο μοντέλο στη ντετερμινιστική θεωρία χρονοπρογραμματισμού, το οποίο χρησιμεύει σαν ένα συγκριτικό μοντέλο για τις διάφορες τεχνικές επίλυσης, καινούργιες αλλά και παλαιότερες.

Το κεφάλαιο αυτό είναι μια προσπάθεια θεωρητικής προσέγγισης του προβλήματος του χρονοπρογραμματισμού εργασιών. Θα ξεκινήσουμε δίνοντας τις εξισώσεις που περιγράφουν το πρόβλημα, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς του και στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μερικές από τις τεχνικές επίλυσης που κατά καιρούς έχουν προταθεί σαν μια προσπάθεια κατανόησης της λογικής, των ιδιαιτεροτήτων, των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους. Θα κλείσουμε δίνοντας μια σύγκριση των διαφόρων τεχνικών στηριζόμενη στα αποτελέσματα που έδωσαν σε κάποια χαρακτηριστικά προβλήματα δοκιμής επιδόσεων (benchmark problems) καθώς και κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

3.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τυπικά το ντετερμινιστικό πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών, το οποίο στη συνέχεια θα αναφέρεται και ως Π_j , αποτελείται από ένα πεπερασμένο σετ n εργασιών J_i $\prod_{i=1}^n$ οι οποίες πρέπει να υποστούν επεξεργασία σε ένα πεπερασμένο σετ m μηχανών M_k $\prod_{k=1}^m$. Κάθε εργασία J_i πρέπει να περάσει από κάθε μηχανή και αποτελείται από μια αλυσίδα (ή συνδυασμό) m_i διεργασιών $O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im_i}$, που πρέπει να προγραμματιστούν να υποστούν επεξεργασία με μια προκαθορισμένη σειρά, απαίτηση που καλείται περιορισμός προτεραιότητας. Υπάρχουν N διεργασίες στο σύνολο, $N = \sum_{i=1}^n m_i$. Η O_{ik} είναι η διεργασία της εργασίας J_i που πρέπει να επεξεργαστεί στη μηχανή M_k για μια μη διακοπόμενη περίοδο χρόνου τ_{ik} και καμία διεργασία δεν μπορεί να διακοπεί κατά την επεξεργασία της με σκοπό να ολοκληρωθεί αργότερα. Κάθε εργασία έχει την δική της αυτόνομη ροή μέσα στις μηχανές που είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες εργασίες. Επιπλέον, το πρόβλημα πλαισιώνεται από περιορισμούς δυναμικότητας (ή περιορισμούς διάζευξης) οι οποίοι συνομολογούν πως κάθε μηχανή μπορεί να επεξεργάζεται μόνο μια διεργασία και κάθε διεργασία μπορεί να υπόκειται επεξεργασία μόνο από μια μηχανή κάθε φορά. Αν ο χρόνος ολοκλήρωσης της J_i στη μηχανή M_k είναι C_{ik} τότε η χρονική διάρκεια, στην οποία όλες οι διεργασίες για όλες τις εργασίες θα έχουν ολοκληρωθεί αναφέρεται ως $\text{makespan } C_{\max}$. Ο ουσιαστικός στόχος του προγραμματιστή είναι να καθορίσει χρόνους έναρξης για την κάθε διεργασία, $t_{ik} \geq 0$, με στόχο την ελαχιστοποίηση του makespan , ικανοποιώντας ταυτόχρονα όλους τους περιορισμούς προτεραιότητας και δυναμικότητας. Ο στόχος μας λοιπόν μπορεί να δοθεί ως εξής:

$$C_{\max}^* = \min(C_{\max}) = \min(\max(t_{ik} + \tau_{ik}) : \forall J_i \in J, M_k \in M).$$

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως οι διαστάσεις του προβλήματος Π_j καθορίζονται ως $n \times m$ και ότι το N είναι $n \times m$ αρκεί το $m_i = m$ για κάθε εργασία $J_i \in J$ και ότι κάθε εργασία υπόκειται επεξεργασία ακριβώς μία φορά σε κάθε μηχανή. Σε μια γενικότερη μορφή του προβλήματος οι επαναλήψεις των μηχανών (ή η απουσία τους) επιτρέπονται στη δεδομένη σειρά των εργασιών $J_i \in J$ και έτσι το m_i μπορεί να είναι μεγαλύτερο (ή μικρότερο) από το m .

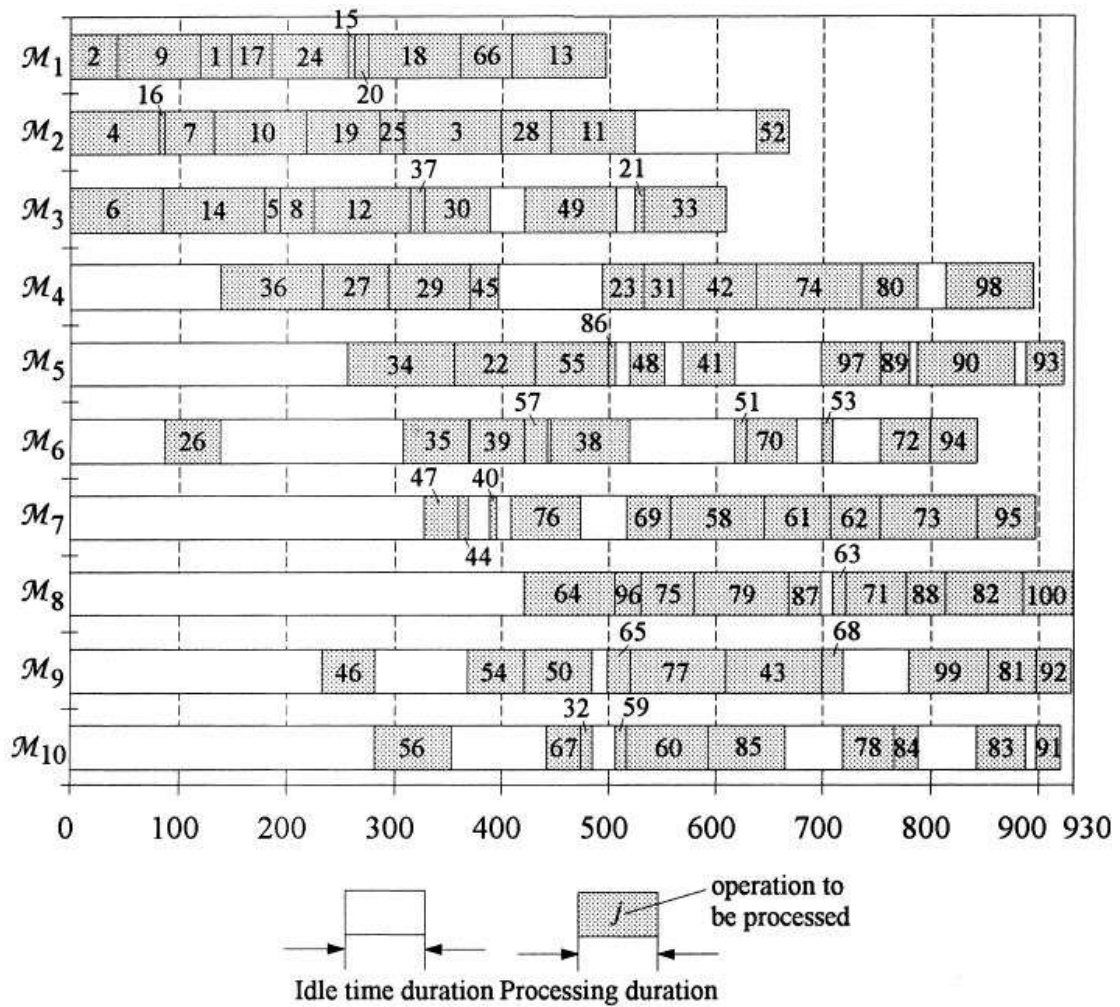
Οι απόψεις ποικίλουν σχετικά με το ποιος ήταν αυτός που πρώτος εισήγαγε το χρονοπρογραμματισμό εργασιών με τη μορφή που έχει σήμερα. Οι Roy και Sussmann (1964) ήταν οι πρώτοι που πρότειναν το διασπαστικό γραφικό μοντέλο αναπαράστασης (disjunctive graph) του Π_j και ο Balas (1969) ήταν ο πρώτος που εφάρμοσε μια απαριθμητική μέθοδο προσέγγισης βασιζόμενη στο μοντέλο αυτό. Παρ' όλα αυτά υπήρχαν και παλαιότερες εργασίες σχετικές με το Π_j . Οι Giffler και Thompson (1960) σχεδίασαν ένα πρότυπο βασιζόμενο σε ένα κανόνα ανάθεσης προτεραιότητας, ο Jackson (1956) γενίκευσε τον flow-shop αλγόριθμο του Johnson

(1954) και τον εφάρμοσε στο job-shop, ενώ οι Akers και Friedman (1955) εφάρμοσαν μια προσέγγιση βασιζόμενη στην Boolean άλγεβρα ώστε να αναπαραστήσουν τις αλληλουχίες επεξεργασίας. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι εργασίες αυτές παρέθεταν ακόμα παλαιότερες βιβλιογραφικές αναφορές, όπως για παράδειγμα οι Akers και Friedman (1955) που αναφέρονταν σε μια εργασία του 1951 σχετική με τον προγραμματισμό παραγωγής (Salvesen και Anderson, 1951). Αν και δεν μπορεί λοιπόν να ξεκαθαριστεί ποιος ήταν ο πρώτος που εισήγαγε το Π_j , είναι ευρέως παραδεκτό ότι το βιβλίο “Industrial Scheduling” των Muth και Thompson, που αντιπαρέβαλε όλες τις μέχρι τότε προσπάθειες, αποτελεί τη βάση όλων των μεταγενέστερων ερευνών.

Operation number	JOB																			
	J_1		J_2		J_3		J_4		J_5		J_6		J_7		J_8		J_9		J_{10}	
	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i
1-10	1	29	1	43	2	91	2	81	3	14	3	84	2	46	3	31	1	76	2	85
11-20	2	78	3	90	1	85	3	95	1	6	2	2	1	37	1	86	2	69	1	13
21-30	3	9	5	75	4	39	1	71	2	22	6	52	4	61	2	46	4	76	3	61
31-40	4	36	10	11	3	74	5	99	6	61	4	95	3	13	6	74	6	51	7	7
41-50	5	49	4	69	9	90	7	9	4	26	9	48	7	32	5	32	3	85	9	64
51-60	6	11	2	28	6	10	9	52	5	69	10	72	6	21	7	88	10	11	10	76
61-70	7	62	7	46	8	12	8	85	9	21	1	47	10	32	9	19	7	40	6	47
71-80	8	56	6	46	7	89	4	98	8	49	7	65	9	89	10	48	8	89	4	52
81-90	9	44	8	72	10	45	10	22	10	72	5	6	8	30	8	36	5	26	5	90
91-100	10	21	9	30	5	33	6	43	7	53	8	25	5	55	4	79	9	74	8	45

Πίνακας 3.1

Το 10x10 πρόβλημα των Fisher και Thompson (FT 10). Ένα πρόβλημα που απασχόλησε τους ερευνητές για περισσότερο από 25 χρόνια.

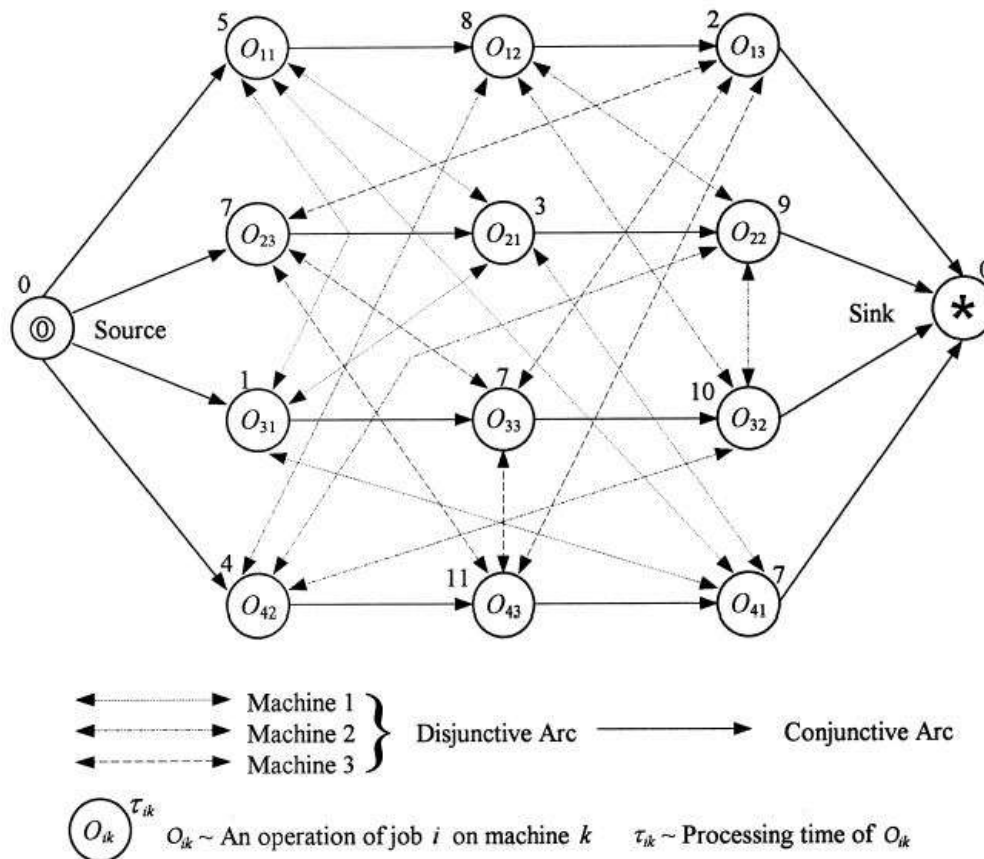


Σχήμα 3.1
Διάγραμμα Gantt της βέλτιστης λύσης του FT 10.

Μολονότι το διάγραμμα Gantt (βλ. Σχήμα 3.1) που περιγράφηκε από τους Gantt (1919), Clark (1922) και Porter (1968) παραδοσιακά αποτέλεσε την πιο δημοφιλή μέθοδο αναπαράστασης της λύσης ενός προβλήματος χρονοπρογραμματισμού εργασιών, ο Blazewicz (1996) έδειξε ότι το διασπαστικό γραφικό μοντέλο (disjunctive graph model) $G = \{N, A, E\}$ των Roy και Sussmann (1964) είναι πλέον αυτό που επικρατεί. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στο μοντέλο αυτό στηρίζεται η πλειοψηφία των μεθόδων επίλυσης του Π_j , κρίνουμε απαραίτητη μια σύντομη αναφορά στο μοντέλο αυτό με την παράλληλη επίδειξη ενός παραδείγματος (Σχήμα 3.2).

Operation number	JOB							
	J_1		J_2		J_3		J_4	
	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i	M_i	τ_i
1-4	1	5	3	7	1	1	2	4
5-8	2	8	1	3	3	7	3	11
9-12	3	2	2	9	2	10	1	7

Πίνακας 3.2
Παράδειγμα 4x3 προβλήματος.



Σχήμα 3.2

Αναπαράσταση του παραδείγματος του Πίνακα 3.2 με το διασπαστικό γραφικό μοντέλο των Roy και Sussmann.

Στο γράφο του Σχήματος 3.2, N είναι το σεν των κόμβων οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις διεργασίες που πρέπει να υποστούν επεξεργασία σε ένα σεν μηχανών M . Ενσωματωμένοι μέσα στο N είναι δυο ειδικοί (πλασματικοί) κόμβοι ο θ και ο $*$ οι οποίοι ανταποκρίνονται στην αρχική και στην τελική διεργασία αντίστοιχα

και είναι γνωστοί σαν πηγή (source) και καταβόθρα (sink): $N = \{0, 1, 2, \dots, *\}$. Το θετικό βάρος κάθε κόμβου (διεργασίας) j είναι ίσο με το χρόνο που διαρκεί η αντίστοιχη διεργασία, με $t_0 = t_* = 0$ και θεωρώντας τον αρχικό χρόνο και το χρόνο ολοκλήρωσης των δυο αυτών διεργασιών σαν τον αρχικό χρόνο και το χρόνο ολοκλήρωσης του Π_j . Το 0 είναι συνδεδεμένο με την αρχική διεργασία κάθε εργασίας και παρομοίως η τελική διεργασία κάθε εργασίας είναι συνδεδεμένη με το $*$. Κάθε στιγμή, η κάθε διεργασία j (εκτός της πηγής και της καταβόθρας) έχει ακριβώς δυο άμεσους προκατόχους και διαδόχους, τους προκατόχους της δουλειάς και της μηχανής ($JP(j)$ και $MP(j)$) και τους διαδόχους της δουλειάς και της μηχανής ($JS(j)$ και $MS(j)$).

Θεωρείται ένα σύνολο A από συνδετικούς κρίκους (conjunctive arcs) που αντιπροσωπεύουν τους περιορισμούς προτεραιότητας της κάθε εργασίας, έτσι ώστε το $(i, j) \in A$ να δηλώνει ότι η διεργασία i είναι ο προκατόχος της διεργασίας j ($i < j$) στην αλυσίδα των διεργασιών. Οι συνδετικοί αυτοί κρίκοι παριστάνονται στο Σχήμα 3.2 με συνεχείς γραμμές. Οι περιορισμοί δυναμικότητας εξασφαλίζουν πως δυο διεργασίες i και j που πρέπει να επεξεργαστούν από την ίδια μηχανή δεν μπορούν να επεξεργαστούν ταυτόχρονα. Αυτοί οι περιορισμοί αντιπροσωπεύονται από ένα όχι άμεσο άλλα οριοθετημένο σύνολο ακμών E , όπου κάθε μέλος του σχετίζεται με ένα ζευγάρι διασπαστικών κρίκων, απαιτώντας την ύπαρξη μιας μηχανής έτσι ώστε $[i, j] = (i < j), (j < i)$ και $i, j \in O$. Στο Σχήμα 3.2 οι ακμές του E παριστάνονται με διακεκομμένες γραμμές. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, ένα πρόγραμμα παραγωγής είναι μια λύση στο ακόλουθο πρόβλημα:

Ελαχιστοποίησε το t_* ($* \in N$) με τους περιορισμούς:	
$t_i - t_j \geq \tau_j$	(συνδετικός περιορισμός) $\forall i, j \in N, (i, j) \in A$
$t_j \geq 0$	(περιορισμός για τον νωρίτερο χρόνο έναρξης) $\forall i \in N$
$t_i - t_j \geq \tau_j \vee t_j - t_i \geq \tau_i$	(διαζευκτικός περιορισμός) $\forall i, j \in N, i \neq j, (i, j) \in E_k, \forall k \in M$

Πίνακας 3.3
Μαθηματική αναπαράσταση του προβλήματος

Σημαντικές παράμετροι στην διασπαστική γραφική μέθοδο είναι η κεφαλή και η ουρά της κάθε διεργασίας. Η κεφαλή, ή αλλιώς η εναρκτήρια ημερομηνία, r_j , είναι το μήκος του μακρύτερου μονοπατιού, I , από την πηγή μέχρι την έναρξη O_j και ορίζεται από την σχέση $r_j = I(0, j)$. Παρεμφερώς, το μήκος της μακρύτερης διαδρομής από την ολοκλήρωση της O_j μέχρι την καταβόθρα είναι η ουρά, q_j , και ορίζεται από την σχέση $q_j = I(j, *) - \tau_j$. Έτσι, αν ένα από τα μακρύτερα μονοπάτια του G περνάει από τις διεργασίες i και j και $i < j$ τότε $C_{\max} = I(i, j) = r_i + \tau_i + \tau_j + q_j$.

3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

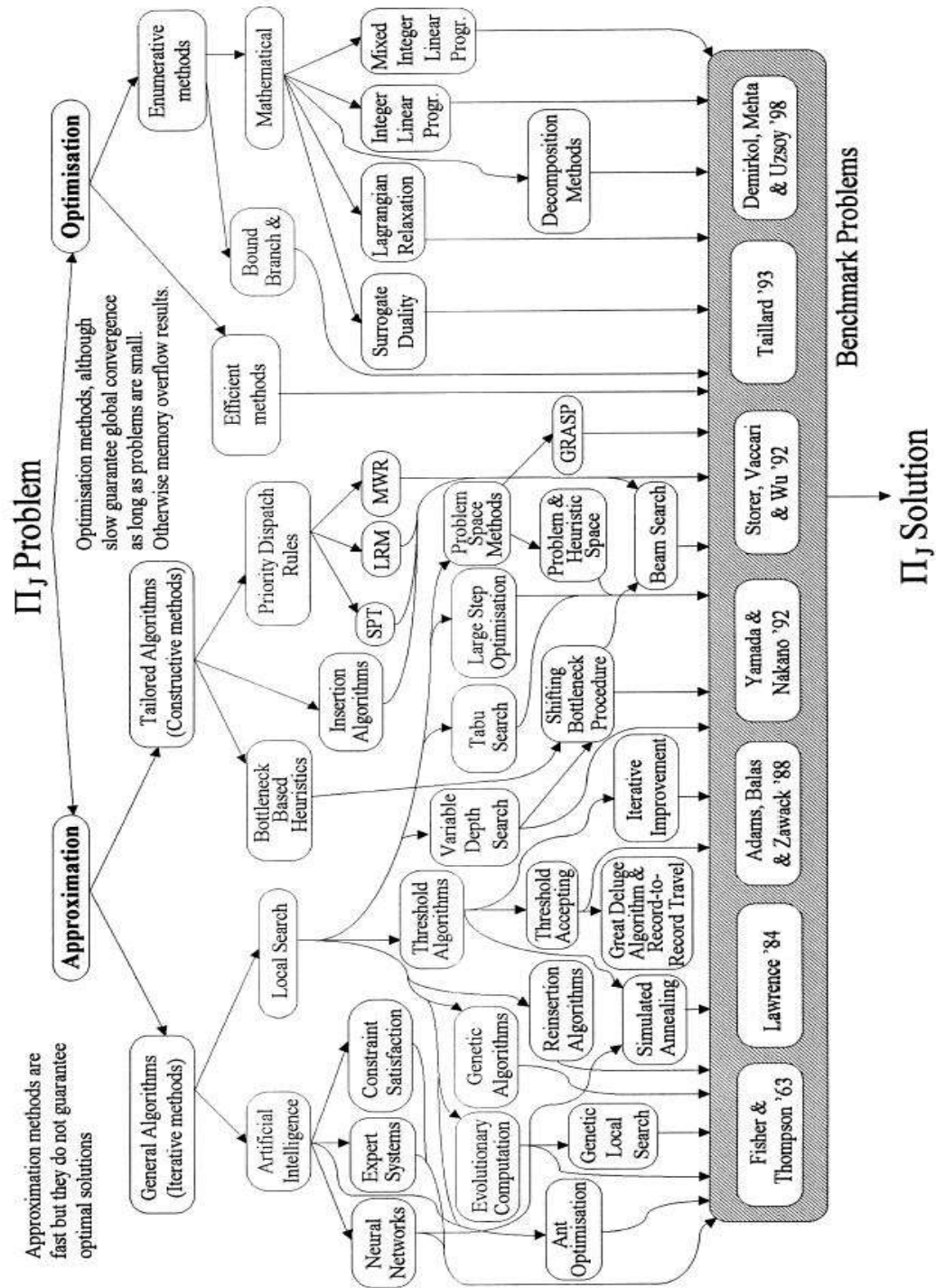
Οι μέθοδοι επίλυσης του P_j μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν είναι μέθοδοι βελτιστοποίησης, που θα δώσουν δηλαδή μια εξιδανικευμένη λύση που όμως απαιτεί πάρα πολύ χρόνο υπολογισμού ή προσεγγιστικές μέθοδοι, που θα δώσουν μια αρκετά καλή λύση σε αποδεκτό χρόνο και ανάλογα με το αν είναι κατασκευαστικές μέθοδοι, που κατασκευάζουν μια λύση αξιοποιώντας όλα τα δεδομένα του προβλήματος ή επαναληπτικές μέθοδοι που προσπαθούν να βρουν τη λύση αναδιατάσσοντας διαρκώς την αλληλουχία των εργασιών. Στο Σχήμα 3.3 της επόμενης σελίδας δίνεται γραφικά μια τέτοια κατηγοριοποίηση των μεθόδων επίλυσης καθώς και τα benchmark προβλήματα στα οποία αυτές έχουν εφαρμοστεί. Στο υπόλοιπο της παραγράφου παρουσιάζουμε αρκετές από αυτές τις μεθόδους προσπαθώντας να κάνουμε μια πρώτη προσέγγιση της λογικής και των ιδιαιτεροτήτων τους, δίνοντας παράλληλα και κάποια χρήσιμα ιστορικά στοιχεία.

3.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στις μεθόδους βελτιστοποίησης οι χρονικές απαιτήσεις αυξάνουν εκθετικά (ή στην καλύτερη περίπτωση πολυωνμικά) με το μέγεθος του υπό εξέταση προβλήματος, εκτός και αν μιλάμε για περιορισμένες εκδόσεις (ειδικές περιπτώσεις) του P_j . Οι τρεις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι μέθοδοι βελτιστοποίησης είναι οι αποδοτικές μέθοδοι, οι μαθηματικές διατυπώσεις και οι branch & bound τεχνικές και τις παρουσιάζουμε και τις τρεις στη συνέχεια.

3.3.1.1 ΑΠΟΔΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος λύνει βέλτιστα ένα δοθέν πρόβλημα με απαιτήσεις που αυξάνονται πολυωνμικά όσο αυξάνεται το μέγεθος της εισόδου. Αυτές οι μέθοδοι απλά κατασκευάζουν μια βέλτιστη λύση από τα δεδομένα του προβλήματος, ακολουθώντας κάποιο σύνολο απλών κανόνων που καθορίζουν την ακριβή σειρά της όλης διαδικασίας.



Το πρώτο παράδειγμα αποδοτικής μεθόδου και πιθανώς η πρώτη ουσιαστική προσπάθεια στην ιστορία του προγραμματισμού παραγωγής ανήκει στον Johnson (1954) ο οποίος ανέπτυξε έναν αλγόριθμο για το χρονοπρογραμματισμό παραγωγής σε περιβάλλον flow-shop με δυο μηχανές και στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου παραγωγής. Το πρόβλημα αυτό σημειογραφικά περιγράφεται σαν $n/2/F/F_{max}$ όπου κάθε εργασία πρέπει να περάσει και από τις δυο μηχανές. Αυτή η πρώτη προσπάθεια επηρέασε σημαντικά την μετέπειτα έρευνα, καθώς το κριτήριο της

ελαχιστοποίησης του makespan θεωρείται από τα σημαντικότερα. Άλλωστε, ο αλγόριθμος αυτός μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε προβλήματα $n/2/G/F_{\max}$ καθώς επίσης και σε ειδικές περιπτώσεις του $n/3/F/F_{\max}$. Μέθοδοι που προέκυψαν για το job-shop, βασιζόμενες στη μέθοδο του Johnson, ήταν αυτή του Akers (1956) για το 2xm πρόβλημα και του Jackson για την επίλυση του nx2 όπου δεν περιέχονται πάνω από δυο διεργασίες ανά εργασία. Πιο πρόσφατα, οι Hefetz και Adiri (1982) ανέπτυξαν μια αποδοτική προσέγγιση του nx2 προβλήματος όπου όλες οι διεργασίες είναι κομμάτι του συνολικού διαδικαστικού χρόνου, ενώ ο Williamson (1997) απέδειξε ότι ένα πρόγραμμα παραγωγής με εύρος τρία μπορεί να λυθεί σε πολυωνυμικό χρόνο εφόσον ο συνολικός χρόνος παραγωγής που απαιτείται από όλες τις διεργασίες σε κάθε μηχανή δεν ξεπερνά το τρία.

Παρόλο που τα αποτελέσματα για τα παραπάνω προβλήματα ήταν ικανοποιητικά και αρκετά αισιόδοξα, ο χρονοπρογραμματισμός εργασιών παρέμενε (και παραμένει) ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα με τις πιθανές του λύσεις να φτάνουν τις $(n!)^m$. Για παράδειγμα, με 20 εργασίες σε 10 μηχανές οι πιθανές λύσεις είναι 7.2651×10^{183} , μέγεθος που ξεπερνά την εικαζόμενη ηλικία του σύμπαντος σε μικροδευτερόλεπτα. Παρά το ότι πολλές από αυτές τις λύσεις δεν είναι πραγματοποιήσιμες λόγω περιορισμών προτεραιότητας και δυναμικότητας, πλήρης απαρίθμηση όλων των δυνατών ακολουθιών ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δεν είναι πρακτική. Συνέπεια όλων αυτών είναι το P_j να θεωρείται μέλος μιας μεγάλης κλάσης προβλημάτων δύσκολών στην αντιμετώπιση που είναι γνωστά σαν NP-hard προβλήματα (Non-deterministic Polynomial, NP). Κάνοντας μια σύντομη παρένθεση, θα πρέπει να αναφέρουμε πως αν x είναι το μέγεθος της εισόδου και y μια σταθερά, τότε ένα πρόβλημα με χρονικές απαιτήσεις της τάξεως $O(x^y)$ λέγεται πως έχει πολυωνυμική πολυπλοκότητα και χαρακτηρίζεται ως P. Αν αντίθετα έχει πολυπλοκότητα της τάξεως $O(y^x)$ τότε χαρακτηρίζεται ως NP-hard (εφόσον $P \neq NP$) και ο αριθμός των υπολογιστικών βημάτων του αλγορίθμου που αναλαμβάνει να λύσει το πρόβλημα αυξάνει εκθετικά με το μέγεθος της εισόδου. Η άποψη που επικρατεί είναι πως δεν θα βρεθεί ποτέ αποδοτικός αλγόριθμος που να λύνει αυτά τα δύσκολα προβλήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι και οι περισσότερες ειδικές περιπτώσεις του P_j θεωρούνται NP-hard γεγονός που το καθιστά ένα από τα πιο «απειθάρχα» μέλη της κλάσης αυτής. Αυτό τονίζεται ακόμα περισσότερο αν αναφέρουμε ότι έχουν βρεθεί αλγόριθμοι που λύνουν βέλτιστα άλλα NP παραδείγματα, όπως τυχαία παραγόμενα προβλήματα περιπλανώμενου πωλητή (Travelling Salesman Problem, TSP) με περισσότερες από 4000 πόλεις, ενώ αντίθετα μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν στρατηγικές που να εγγυώνται βέλτιστες λύσεις για P_j προβλήματα μεγέθους μεγαλύτερου από 20×10 .

Με βάση αυτές τις διαπιστώσεις, και επανερχόμενοι στο θέμα μας κλείνοντας αυτή την σύντομη παρένθεση, έγιναν προσπάθειες από διάφορους ερευνητές όπως οι Lenstra και Rinnooy Kan (1977) με στόχο την ελαχιστοποίηση των παραμέτρων και άρα και των πιθανών λύσεων. Παρόλη όμως την πρόοδο που παρατηρήθηκε από αυτήν την προσπάθεια ικανοποιητικές μέθοδοι δεν μπορούσαν να βρεθούν όταν οι παράμετροι του προβλήματος έπαιρναν τιμές $n \geq 3$ και $m \geq 3$. Ο French (1982)

μάλιστα προέβλεψε πως δεν θα αναπτυχθούν ποτέ αποδοτικοί αλγόριθμοι για την πλειοψηφία των προβλημάτων παραγωγής. Αυτό, είχε σαν αποτέλεσμα η έρευνα της βελτιστοποίησης να στραφεί σε απαριθμητικές προσεγγίσεις. Οι απαριθμητικές μέθοδοι δημιουργούν αλληλουχίες εργασιών μια-μια και χρησιμοποιούν έξυπνες τεχνικές ώστε αν κάποια μη βέλτιστη ακολουθία υποδηλώνει ότι και κάποιες άλλες αλληλουχίες, που δεν έχουν ακόμα εξεταστεί, δεν είναι βέλτιστες αυτές να αφαιρούνται και έτσι να αποτρέπεται η ανάγκη αναζήτησης σε ολόκληρο το χώρο λύσεων.

3.3.1.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΥΠΩΣΕΙΣ

Διάφοροι ερευνητές έχουν συμφωνήσει πως τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού εργασιών μπορούν να λυθούν βέλτιστα χρησιμοποιώντας μεθόδους μαθηματικού προγραμματισμού. Μια από τις πιο γνωστές μορφές μαθηματικής διατύπωσης του Π_j είναι αυτή του μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MIP) του Manne (1960). Η τεχνική MIP είναι ένα γραμμικό πρόγραμμα που αποτελείται από ένα σύνολο γραμμικών περιορισμών με μια απλή γραμμική αντικειμενική λειτουργία και μόνο επιπλέον περιορισμό κάποιες από τις μεταβλητές απόφασης (y_{ipk}) να παίρνουν ακέραιες τιμές. Δίνουμε στον Πίνακα 3.4 τη μαθηματική αναπαράσταση του προβλήματος με τους ακέραιους y_{ipk} να είναι δυαδικοί και να χρησιμοποιούνται για την έκφραση των περιορισμών διάζευξης.

Ελαχιστοποίησε το C_{max} με τους περιορισμούς:		
Χρόνοι έναρξης:	$t_{ik} \geq 0$	$\{i, p\} \in J \quad \{k, h\} \in M$
Περιορισμός προτεραιότητας:	$t_{ik} - t_{ih} \geq \tau_{ih}$	αν η O_{ih} προηγείται της O_{ik}
Διαζευκτικός περιορισμός:	$t_{pk} - t_{ik} + K(1 - y_{ipk}) \geq \tau_{ik}$	$y_{ipk} = 1$, αν O_{ik} προηγείται της O_{pk}
	$t_{ik} - t_{pk} + K(y_{ipk}) \geq \tau_{pk}$	$y_{ipk} = 0$, διαφορετικά
		με $K > (\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \tau_{ik} - \min(\tau_{ik}))$

Πίνακας 3.4 - Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (MIP).

Παρά την εννοιολογική κομψότητα της μεθόδου αυτής, ο αριθμός των ακέραιων μεταβλητών είναι πολύ μεγάλος και ακόμα και αν χρησιμοποιηθούν καλύτερες και πιο συμπυκνωμένες μορφές εξακολουθεί να είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός περιορισμών. Οι Giffler και Thompson (1960) αναφέρουν ότι τα προγράμματα ακεραίων δεν έχουν οδηγήσει σε πρακτικές μεθόδους επίλυσης ενώ ο French (1982) εκφράζει την άποψη ότι ο προγραμματισμός παραγωγής με αυτή την μορφή είναι υπολογιστικά ανέφικτος. Οι Nemhauseer, Wolsey (1988) και Blazewicz (1991) δίνουν έμφαση σε αυτές τις δυσκολίες και υποδεικνύουν πως με μαθηματικές τεχνικές δεν έχει επιτευχθεί κάποια καινοτομία στον προγραμματισμό παραγωγής. Μόνο πολύ απλοποιημένα παραδείγματα (“toy” instances) μπορούν να λυθούν μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια. Όλα αυτά υποδεικνύουν πως αποδοτικότερες τεχνικές μπορούν να βρεθούν σε άλλα γνωστικά πεδία.

Ουσιαστικά, όποια επιτυχία έχει επιτευχθεί με την χρήση των μαθηματικών τεχνικών οφείλεται στην Λαγκραντζιανή μέθοδο (Lagrangian Relaxation, LR / Lagrangian Decomposition, LD). Η LR παρέχει μια συστηματικά μέθοδο προσδιορισμού άνω ορίων για ένα συγκεκριμένο σύνολο από σύνθετα, μακροσκελή προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα έχουν το χαρακτηριστικό ότι η μετακίνηση ενός συνόλου περιορισμών οδηγεί σε ένα πολύ πιο απλό πρόβλημα. Αντιστοίχως, με την LD το πρόβλημα διασπάται σε επιμέρους μικρότερα τα οποία επιλύονται χωριστά και στο τέλος ανασυνθέτονται όλα στο αρχικό. Και αυτές οι τεχνικές όμως υποφέρουν λόγω των υπερβολικών υπολογιστικών απαιτήσεων, με τα αποτελέσματα μάλιστα να βρίσκονται συχνά πολύ μακριά από τη βέλτιστη λύση. Έγινε λοιπόν σαφές πως οι μαθηματικές τεχνικές είναι ανεπαρκείς για το Π_j , με αποτέλεσμα όταν μιλάμε για απαριθμητικές προσεγγίσεις του προβλήματος το ενδιαφέρον να επικεντρώνεται στις τεχνικές branch and bound.

3.3.1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ BRANCH AND BOUND

Οι αλγόριθμοι Branch and Bound (BB) χρησιμοποιούν μια δυναμικά κατασκευασμένη δενδρική δομή ως μέσο αναπαράστασης του χώρου λύσεων όλων των δυνατών αλληλουχιών. Η αναζήτηση αρχίζει από τον κορυφαίο κόμβο του δέντρου (ρίζα) και μια ολοκληρωτική επιλογή έχει γίνει όταν πια έχουμε φτάσει σε έναν από τους χαμηλότερους κόμβους (φύλλα). Κάθε κόμβος σε ένα επίπεδο p του δέντρου αναζήτησης αντιπροσωπεύει μια μερική διαδοχή p διεργασιών. Όπως υπονοείται και από το όνομα της μεθόδου, τόσο μια διαδικασία διακλάδωσης (branching) όσο και μια διαδικασία οριοθέτησης (bounding) εφαρμόζονται για να εκτελεστεί η αναζήτηση. Από έναν μη επιλεγμένο (ενεργό) κόμβο η διαδικασία διακλάδωσης καθορίζει το επόμενο σύνολο πιθανών κόμβων από τους οποίους θα μπορούσε να συνεχιστεί η αναζήτηση. Οι δυο πιο συνηθισμένες στρατηγικές διακλάδωσης είναι η Generating Active Schedules (GAS) και η Settling Essential Conflicts (SEC). Στην GAS κάθε κόμβος αποτελείται από ένα τμηματικό πρόγραμμα και η διαδικασία διακλάδωσης καθορίζει το σύνολο των διεργασιών που πρέπει να προσπελαστούν στη συνέχεια, ενώ η SEC διακλάδωση καθορίζει αν η διεργασία O_i

πρέπει να προσπελαστεί πριν την O_j ή αντίστροφα. Οι Barker και McMahon (1985) έδειξαν ότι η SEC στρατηγική παρέχει περισσότερη ευελιξία και γενικά είναι ανώτερη της GAS.

Η διαδικασία οριοθέτησης επιλέγει τη διεργασία που θα συνεχίσει την αναζήτηση και είναι βασισμένη σε ένα κατ' εκτίμηση κατώτατο όριο (Lower Bound, LB) και το τρέχον ανώτατο όριο (Upper Bound, UB). Στις περισσότερες BB τεχνικές, το αρχικό UB υπολογίζεται με ένα heuristic και παρέχεται πριν από την έναρξη της διαδικασίας. Αν σε οποιοδήποτε κόμβο το κατ' εκτίμηση LB βρεθεί να είναι μεγαλύτερο από το τρέχον μεγαλύτερο UB η αναζήτηση σε αυτό το μονοπάτι σταματά καθώς δεν μπορεί να βελτιωθεί το υπάρχον UB. Ως εκ τούτου η μερική επιλογή όπως και όλοι οι απόγονοί της δεν λαμβάνονται υπόψη. Μόλις ένας κόμβος φύλλο ή ένας κόμβος όπου το LB είναι μεγαλύτερο από το τρέχον καλύτερο UB βολιδοσκοπηθεί η αναζήτηση επιστρέφει (backtracks) στον ψηλότερο μη βολιδοσκοπημένο κόμβο. Η αναζήτηση σταματά όταν όλοι οι κόμβοι έχουν βολιδοσκοπηθεί.

Εκτός των στρατηγικών διακλάδωσης και οριοθέτησης, συμπερασματικοί κανόνες και προτάσεις αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι πολλών branch & bound αλγορίθμων. Συνδυάζοντας αποτελεσματικά τα τρία αυτά στοιχεία μεγάλες περιοχές του χώρου των λύσεων μπορούν να αποκλειστούν, σχετικά νωρίς, από τη διαδικασία αναζήτησης.

Η τεχνική αναζήτησης branch & bound μελετήθηκε αρχικά από τους Brooks και White (1965), Ignall και Schrage (1965) και Lomnicki (1965). Άλλες πρώιμες εργασίες που αξίζει να αναφερθούν είναι αυτές των Brown και Lomnicki (1966) και του Greenberg (1968). Ο Balas (1969) παρουσίασε μια από τις πρώτες εφαρμογές branch & bound στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών. Αυτή η εφαρμογή στηριζόταν στο γραφικό διασπαστικό μοντέλο των Roy και Sussmann και εξέταζε μόνο τις κρίσιμες διεργασίες. Άλλη μια πρώιμη εφαρμογή branch & bound αλγορίθμων στο Π_j ήταν αυτή του Florian (1971).

Οι McMahon και Florian (1975) παρουσίασαν μια από τις πρώτες επιτυχείς εφαρμογές της δημοφιλούς αποσύνθεσης μηχανών. Εδώ, η διακλάδωση αρχίζει με την εύρεση της κρίσιμης εργασίας (για παράδειγμα αυτή που προκαλεί την μέγιστη καθυστέρηση) και καθορίζει όλες τις εργασίες με ημερομηνίες παράδοσης μεγαλύτερες από την κρίσιμη εργασία. Ένας άλλος αλγόριθμος βασισμένος σε πολύ παρόμοιες αρχές είναι αυτός του Carlier (1982), όπου ο αλγόριθμος του Schrage (1970) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό ενός αρχικού προγράμματος. Μια κρίσιμη εργασία, C, και ένα κρίσιμο σετ διεργασιών, J, παράγονται από αυτή την ακολουθία και η διχοτόμηση που ορίζεται από τη θέση της C σχετικά με το J χρησιμεύει ως βάση για τον κανόνα διακλάδωσης.

Αρκετά χρόνια αργότερα, οι Carlier και Pinson (1989) υπολόγισαν το LB βασιζόμενοι στο Most Work Remaining Heuristic του Jackcon (1955). Η μηχανή με το μεγαλύτερο αρχικό lower bound, που καθορίζεται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Carlier (1982), προγραμματίζεται πρώτη. Το σετ διεργασιών εισόδου (αντίστοιχα εξόδου) σε αυτή τη μηχανή χρησιμοποιείται στην στρατηγική

διακλάδωσης, η οποία καθορίζει μια απρογραμματίστη διεργασία να εκτελεστεί πριν (μετά) από αυτό το σετ. Βελτιώσεις σε αυτή την εργασία έκαναν οι ίδιοι οι Carlier και Pinson (1990, 1994) προτείνοντας επιπλέον συμπερασματικούς κανόνες και ένα νέο σχέδιο προς βελτίωση της διακλάδωσης.

Χρησιμοποιώντας πολλούς από τους κανόνες που εφάρμοσαν οι Carlier και Pinson (1989), οι Applegate και Cook (1991) καθόρισαν το αν μια διεργασία i πρέπει να τοποθετηθεί πριν ή μετά από ένα διατεταγμένο σετ διεργασιών g (με την i προφανώς να μην ανήκει στο g). Η στρατηγική αυτή καλείται Edge-finding λόγω του ότι καθορίζει σε ποια άκρη του σετ g πρέπει να τοποθετηθεί η διεργασία i και εφαρμόζεται τόσο στην branching όσο και στην bounding στρατηγική. Η Edge-finder εφαρμόστηκε επίσης από τον Lourenco (1994) συνδυαζόμενη με LBs που προέρχονταν από αποσύνθεση του Π_j σε υπο-προβλήματα μιας μηχανής με καθυστερήσεις.

Άλλο παράδειγμα εργασίας που στηρίχτηκε στους κανόνες των Carlier και Pinson (1989) είναι η προσέγγιση των Perregaard και Clausen (1995) που τροποποίησαν τις διαδικασίες διακλάδωσης και οριοθέτησης ώστε η αναζήτηση στο χώρο λύσεων να γίνεται περισσότερο αποδοτικά. Ενδιαφέρον τέλος παρουσιάζει η παράλληλη παραλλαγή της Edge-finder που υλοποιήθηκε από τους Boyd και Burlingame (1996) που ύστερα από μια πρώτη αναζήτηση κατά βάθος χωρίζει το δέντρο απαρίθμησης σε ένα σετ δομών δεδομένων.

Αν και η μελέτη των αποτελεσμάτων που κατά καιρούς έχουν δώσει οι BB τεχνικές δείχνουν ότι έχει επιτευχθεί πρόοδος, αυτό οφείλεται περισσότερο στην εξέλιξη της διαθέσιμης τεχνολογίας και λιγότερο στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Γενικά δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλο μεγέθους προβλήματα και για να εφαρμοστούν κρίνεται απαραίτητη η πολύ καλή γνώση και κατανόηση των διαφορετικών προσεγγίσεων που έχουν προταθεί για λύση του Π_j , καθώς εξειδικευμένοι συμπερασματικοί κανόνες και διαδικασίες επιλογής απαιτούνται ώστε να βολιδοσκοπηθούν κόμβοι σε ψηλά επίπεδα του δέντρου λύσεων χωρίς διεξοδική αναζήτηση.

3.3.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αν και οι προσεγγιστικές μέθοδοι δεν εγγυώνται την εύρεση της ακριβούς λύσης, είναι σε θέση να βρουν λύσεις που πλησιάζουν τη βέλτιστη μετριάζοντας τις χρονικές απαιτήσεις, γεγονός που τις κάνει καταλληλότερες για μεγαλύτερα προβλήματα. Η σημασία των προσεγγιστικών μεθόδων υποδείχτηκε από τους Glover και Greenberg (1989) που εισηγήθηκαν ότι η κατευθυνόμενη δενδρική αναζήτηση είναι κάθε άλλο παρά αποτελεσματική για συνδυαστικά και δύσκολα προβλήματα. Επίσης υποστήριξαν ότι ευρετικοί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από τα φυσικά φαινόμενα καθώς και οι ευφυείς μέθοδοι επίλυσης είναι οι καταλληλότερες για τέτοιου είδους προβλήματα αφού κατορθώνουν να συνδυάσουν ικανοποιητικά την επιχειρησιακή έρευνα και την τεχνητή νοημοσύνη. Ευθύς αμέσως παρουσιάζουμε τέσσερις κύριες κατηγορίες προσεγγιστικών μεθόδων.

3.3.2.1 ΚΑΝΟΝΕΣ ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (PDRS)

Οι προσεγγιστικές μέθοδοι που αρχικά αναπτύχθηκαν για το P_j βασίστηκαν σε κανόνες διεκπεραίωσης προτεραιότητας λόγω της ευκολίας εφαρμογής τους από τη μια και από την άλλη λόγω των μειωμένων απαιτήσεων τους σε υπολογιστικό χρόνο. Σε κάθε διαδοχικό βήμα σε όλες τις διεργασίες που είναι έτοιμες να υποστούν επεξεργασία ανατίθεται μια προτεραιότητα και η διεργασία με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα είναι και αυτή που επιλέγεται για επεξεργασία τη δεδομένη χρονική στιγμή. Συνήθως πολλές επαναλήψεις των pdrs απαιτούνται ώστε να ληφθούν έγκυρα αποτελέσματα.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει σε μια από τις πρώτες εργασίες πάνω στους pdrs, την εργασία των Giffler και Thompson (1960) η οποία μάλιστα θεωρείται πως αποτελεί κοινή βάση για όλες τις έρευνες που ακολούθησαν. Η διαδικασία ξεκινάει επιλέγοντας την διεργασία O_j με το νωρίτερο χρόνο ολοκλήρωσης και στη συνέχεια βρίσκει όλες τις άλλες διεργασίες που χρησιμοποιούν την ίδια μηχανή (έστω M_k) και που αρχίζουν νωρίτερα από το χρόνο ολοκλήρωσης της O_j . Αυτές οι διεργασίες τοποθετούνται στο λεγόμενο σύνολο σύγκρουσης (conflict set). Μια διεργασία επιλέγεται κατόπιν από το σύνολο σύγκρουσης και προγραμματίζεται να επεξεργαστεί το νωρίτερο δυνατό. Η διαδικασία συνεχίζεται κατ' αυτό τον τρόπο μέχρι όλες οι διεργασίες να προγραμματιστούν. Οι κανόνες διεκπεραίωσης προτεραιότητας χαρακτηρίζονται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται κατά την επιλογή μιας διεργασίας από το σύνολο σύγκρουσης, ενώ η απλούστερη δυνατή είναι βέβαια η τυχαία επιλογή (δηλαδή ανάθεση τυχαίων προτεραιοτήτων στις διεργασίες).

Όπως είναι αναμενόμενο, διαφόρων ειδών κανόνες προτεραιότητας μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα οι Panwalker και Iskander (1977) συγκέντρωσαν, ταξινόμησαν και αξιολόγησαν 113 διαφορετικούς pdrs. Στον Πίνακα 3.5 της επόμενης σελίδας, δίνουμε τους πιο δημοφιλείς από αυτούς. Ένα κοινό συμπέρασμα, πάντως, που συναντάται σε πολλές εργασίες είναι ότι αν το μέτρο απόδοσης που μας απασχολεί είναι το makespan, τότε απλοί κανόνες προτεραιότητας δεν μπορούν να δώσουν ικανοποιητική λύση σε μη εξιδανικευμένες περιπτώσεις του P_j . Για παράδειγμα σε μια σχετικά πρόσφατη συγκριτική μελέτη ο Chang (1996) εκτίμησε την απόδοση 42 pdrs και κατέληξε στο ότι οι κανόνες που σχετίζονται με το γρηγορότερο χρόνο επεξεργασίας (SPT) αποδίδουν σχετικά καλά ενώ αντίθετα κανόνες που σχετίζονται με το μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας δεν αποδίδουν και τόσο καλά.

Καθώς λοιπόν μεμονωμένοι κανόνες προτεραιότητας δεν δείχνουν να αποδίδουν καλά, ειδικά αν το κριτήριο είναι η ελαχιστοποίηση του makespan, το ενδιαφέρον στράφηκε στην υλοποίηση περισσότερο πολύπλοκων ευρετικών αλγορίθμων. Η περισσότερο συνηθισμένη μέθοδος για να αυξηθεί η αποδοτικότητα αυτών των αλγορίθμων είναι ο πιθανολογικός συνδυασμός περισσότερων του ενός pdrs. Οι πρώτες τέτοιες στρατηγικές αναπτύχθηκαν από τον Crowston (1963)

ΚΑΝΟΝΑΣ	ΑΝΑΘΕΣΗ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ
SPT/TWKR	Μικρότερος λόγος χρόνου επεξεργασίας προς τη συνολική δουλειά που απομένει
SPT/TWK	Μικρότερος λόγος χρόνου επεξεργασίας προς τη συνολική δουλειά
MWKR	Περισσότερη δουλειά απομένει να γίνει
MOPR	Περισσότερες διεργασίες απομένουν
FCFS	Η διεργασία που ήρθε πρώτη επεξεργάζεται και πρώτη
LSO	Ακολουθεί η μεγαλύτερης διάρκειας διεργασία
SPT	Μικρότερος χρόνος επεξεργασίας
FHALF	Περισσότερες από τις μισές διεργασίες απομένουν
NINQ	Η επόμενη διεργασία είναι στη μηχανή με τις λιγότερες απομένουσες διεργασίες

Πίνακας 3.5

Κανόνες ανάθεσης προτεραιότητας.

καθώς και από τους Fisher και Thompson (1963). Ο Lawrence (1984) συνέκρινε την απόδοση δέκα μεμονωμένων κανόνων διεκπεραίωσης προτεραιότητας καθώς και του συνδυασμού τους και έδειξε πως τα αποτελέσματα που μπορεί να δώσει ο συνδυασμός είναι μακράν τα καλύτερα με μόνο αρνητικό στοιχείο το ότι απαιτεί και αρκετά περισσότερο χρόνο. Περισσότερο εξελιγμένες μέθοδοι χρησιμοποίησαν γενετικούς αλγόριθμους και ασαφή συλλογιστική ώστε να αποφασίζεται ποιος κανόνας προτεραιότητας πρέπει να εφαρμόζεται κάθε φορά. Επίσης μελετήθηκαν περιπτώσεις συνδυασμού των $prds$ με άλλες ισχυρότερες μεθόδους επίλυσης του Π_j , όπως για παράδειγμα κάποιες πρόσφατες beam search μέθοδοι συνδυαζόμενες με $prds$ που σαν στόχο είχαν το συγκερασμό των κανόνων διεκπεραίωσης προτεραιότητας και των branch & bound αλγορίθμων (Glover και Laguna (1997), Sabuncuoglu και Bayiz (1997) κ.α.).

3.3.2.2 ΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟ BOTTLENECK

Αν και για πολλά χρόνια η μόνη αξιόπιστη προσεγγιστική μέθοδος ήταν αυτή των κανόνων διεκπεραίωσης με προτεραιότητα που αναφέραμε παραπάνω, πρόσφατα η ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστών καθώς και η έμφαση που όλο και περισσότερο δίνεται στις πολύ προσεκτικά σχεδιασμένες τεχνικές επέτρεψαν την ανάπτυξη περισσότερο πολύπλοκων μεθόδων που μπορούν να γεφυρώσουν το κενό μεταξύ των $prds$ και των μεθόδων βελτιστοποίησης. Μια τέτοια κατηγορία αλγορίθμων είναι οι ευρετικοί αλγόριθμοι που βασίζονται σε τεχνικές bottleneck.

Παράδειγμα τέτοιου αλγορίθμου αποτελεί η διαδικασία Shifting Bottleneck Procedure (SBP) τα βήματα της οποίας είναι τα εξής: προσδιορισμός υπο-προβλημάτων, επιλογή του bottleneck, λύση υπο-προβλήματος και βελτιστοποίηση του όλου προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, το όλο πρόβλημα Π_j αναλύεται σε m διαφορετικά προβλήματα που αφορούν μια μηχανή το καθένα και επαναληπτικά λύνονται αυτά τα υπο-προβλήματα ένα κάθε φορά. Κάθε λύση σε κάθε μηχανή συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες και οι μηχανές ταξινομούνται με βάση τη λύση

τους. Η μηχανή με την μεγαλύτερη λύση θεωρείται μηχανή bottleneck. Η SBP προγραμματίζει τη μηχανή bottleneck σύμφωνα με τις μηχανές που έχουν ήδη προγραμματιστεί και αγνοεί τις μηχανές που απομένουν. Ο αλγόριθμος βασίζεται στο σκεπτικό ότι αν η bottleneck μηχανή προγραμματιστεί αργότερα θα έχει σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω επιδείνωση του makespan. Κάθε φορά που η bottleneck μηχανή προγραμματίζεται όλες οι προηγούμενα προγραμματισμένες μηχανές, υποψιαζόμενες τα περιθώρια βελτίωσης, προγραμματίζονται εκ νέου (λύνεται δηλαδή πάλι το πρόβλημα που αντιστοιχεί στην κάθε μηχανή). Ο Adams (1988) έδωσε το όνομα με το οποίο αυτή η μέθοδος είναι γνωστή μέχρι και σήμερα: SBI. Η SBI εφαρμόστηκε και στους κόμβους ενός δέντρου απαρίθμησης δίνοντας τη δυνατότητα να μελετώνται και διαφορετικές αλληλουχίες διεργασιών. Αυτή η προσέγγιση είναι γνωστή σαν SBII. Βασιζόμενοι στην SBII οι Applegate και Cook (1991) έφτιαξαν μια διαδικασία προσδιορισμού της αρχικής λύσης, γνωστή σαν Bottle-k (με το k να είναι 4, 5 ή 6) η οποία εφαρμόζει μια στρατηγική διακλάδωσης στις τελευταίες k μηχανές που δεν έχουν προγραμματιστεί. Επίσης διατυπώθηκε ο αλγόριθμος «Shuffle» με μια Edge-finding μέθοδο να αποτελεί τον πυρήνα της. Με μια αρχική αλληλουχία κατασκευασμένη από την Bottle-k, η Shuffle φτιάχνει την σειρά επεξεργασίας για μια ή στη γενικότερη περίπτωση λίγες μηχανές, με τις υπόλοιπες μηχανές να λύνονται βέλτιστα από την Edge-finding μέθοδο. Οι Dauzere-Peres, Lasserre (1993) και ο Balas (1995) ανέφεραν κάποια μειονεκτήματα της στρατηγικής του Adams (1988) και κατά συνέπεια και της παραλλαγής των Applegate και Cook (1991). Όταν η SBI καθορίζει την σειρά επεξεργασίας σε μια μηχανή είναι πιθανό να δημιουργήσει και κάποιους περιορισμούς προτεραιότητας μεταξύ ζευγών εργασιών σε κάποια άλλη απρογραμματιστή μηχανή. Αυτοί οι περιορισμοί, γνωστοί και σαν καθυστερημένοι περιορισμοί προτεραιότητας (DPCs), με δεδομένο το ότι τα υπο-προβλήματα της κάθε μηχανής είναι λιγότερο περιορισμένα απ' ότι πρέπει, μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα η πραγματικά bottleneck μηχανή να μην επιλεγεί, η πραγματικά βέλτιστη σειρά να μη βρεθεί και έτσι η SBI να δώσει αποτελέσματα πολύ μακριά από τα βέλτιστα. Τα μειονεκτήματα αυτά πάντως ξεπεράστηκαν με τη βοήθεια ευρετικών στρατηγικών που προτάθηκαν από τους Dauzere-Peres και Balas και ανέλαβαν το χειρισμό των DPCs. Η πιο πρόσφατη εργασία είναι αυτή των Balas και Vazacopoulos (1998) που στην προσπάθειά τους να ξεπεράσουν τα προβλήματα αυτά ενσωμάτωσαν μια κατευθυνόμενη μεταβλητή αναζήτηση στην SBP στρατηγική δίνοντας μια από τις καλύτερες προσεγγίσεις του είδους. Αν και μια SBP προσέγγιση απαιτεί πολύ κόπο για να προγραμματιστεί και να επιλεγούν σωστά οι παράμετροι της, δεν παύει να αποτελεί μια καλά σχεδιασμένη, διεξοδικά αναλυμένη και σχεδιασμένη τεχνική που έχει ενσωματωθεί σε πολλές εργασίες (Caseau και Laburthe 1995, Yamada και Nakano 1996, Vaessens 1996 κ.α.) και έχει βελτιώσει τα κατώτατα και τα ανώτατα όρια πολλών δύσκολων benchmark προβλημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ**

4.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Με τη σχεδίαση της συνολικής παραγωγής,, δημιουργούμε, στην πραγματικότητα, ένα μακροχρόνιο πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να δραστηριοποιηθεί η παραγωγή. Για να δραστηριοποιηθεί όμως αποτελεσματικά η παραγωγή, χρειάζεται να διαμορφώνουμε και λεπτομερειακά (βραχυχρόνια) προγράμματα παραγωγής. Στα προγράμματα αυτά περιλαμβάνουμε ότι πρέπει να γίνει για να φορτίζονται σύμμετρα και μέσα στις ικανότητες τους όλα τα μέρη της παραγωγικής διαδικασίας, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιείται κάποιο κατάλληλο κάθε φορά κριτήριο. Το κριτήριο μπορεί να είναι π.χ. η ελαχιστοποίηση του χρόνου μιας ορισμένης παραγωγικής δραστηριότητας, ή η μεγιστοποίηση της εκμεταλλεύσεως των μέσων παραγωγής, ή η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, κτλ. Βέβαια, τα προγράμματα αυτά δεν είναι αρκετό να εκπονούνται, πρέπει οπωσδήποτε να ελέγχονται συστηματικά και κατά πόσον υλοποιούνται. Προγράμματα παραγωγής χρειαζόμαστε και στις περιπτώσεις που η παραγωγική διαδικασία παράγει ένα, ή έστω λίγα προϊόντα, όπως είναι π.χ. τα ναυπηγεία, οι μεταλλοβιομηχανίες που εκτελούν ειδικές κατασκευές ύστερα από παραγγελίες, κτλ. Σ' αυτές τις περιπτώσεις τα προγράμματα παραγωγής τα εκπονούμε με τις τεχνικές της Δικτυωτής Αναλύσεως

Η άλλη ακραία περίπτωση είναι εκείνη που η παραγωγή είναι συνεχής, όπως είναι π.χ. τα ζαχαουργεία, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, κτλ. Σ' αυτές τις περιπτώσεις το πρόβλημα του προγραμματισμού) της παραγωγής είναι Ισοδύναμο με την εξισορρόπηση της γραμμής παραγωγής Στην πράξη σπάνια συναντούμε τις δυο παραπάνω μορφές παραγωγής εντελώς αμιγείς. Συνήθως όμως αποκλίνουν τόσο λίγο που για κάθε πρακτικό σκοπό δεν έχει σημασία.

Ανάμεσα στις δυο ακραίες περιπτώσεις παραγωγής, που αναφέραμε παραπάνω, υπάρχει η παραγωγή κατά παρτίδες. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της παραγωγής είναι ότι η ποσότητα που πρέπει να παραχθεί δεν είναι αρκετή για να δικαιολογεί μαζική παραγωγή. Και ακόμη, τα παραγόμενα προϊόντα δεν παράγονται κατόπιν ειδικής παραγγελίας, αλλά όπως στη μαζική παραγωγή για να αντιμετωπιστεί η προβλεπόμενη ζήτηση τους. Ο ρυθμός παραγωγής σ' αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι ίσος με το ρυθμό της ζήτησεως, όπως συμβαίνει με τη συνεχή παραγωγή, αλλά μεγαλύτερος από αυτόν.

Το πρόβλημα του προγραμματισμού και του ελέγχου της παραγωγής, είναι αρκετά δύσκολο σε όλες τις περιπτώσεις και πρέπει εξετάζουμε τις μεθόδους με τις οποίες μπορούμε να καθορίσουμε το μέγεθος της παρτίδας παραγωγής, να καταναείμουμε διάφορες εργασίες σε μέσα παραγωγής, να καθορίσουμε τη χρονική εκτέλεση εργασιών σε μέσα παραγωγής και να εξισορροπήσουμε μια γραμμή παραγωγής.

4.2. ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΤΙΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.2.1. Γενικά

Αν ο μέσος ρυθμός της ζήτησεως για ένα εξάρτημα από ένα προηγούμενο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, ή για ένα προϊόν από την αγορά, είναι πολύ μικρότερος από το ρυθμό στον οποίον μπορεί να παραχθεί αυτό από μια μηχανή ή από ένα ολόκληρο εργοστάσιο, τότε η παραγωγή δεν μπορεί να είναι συνεχής. Οπότε, πρέπει περιοδικά να αναλαμβάνεται η παραγωγή κάποιας παρτίδας, που θα ικανοποιεί τη ζήτηση μέχρις ότου αρχίσει η παραγωγή της επόμενης παρτίδας. Στα ενδιάμεσα διαστήματα πρέπει προφανώς να παράγεται κάτι άλλο.

Είναι φανερό ότι αν οι παρτίδες παραγωγής είναι μεγάλες δημιουργούνται μεγάλα αποθέματα και δεσμεύονται μεγάλα κεφάλαια που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά. Πρόσθετα από τη δέσμευση του κεφαλαίου, όταν διατηρείται απόθεμα περισσότερο από όσο είναι αναγκαίο, δημιουργούνται κι άλλες δαπάνες. Παραδείγματος χάρη η δαπάνη διατηρήσεως του αποθέματος. Από την άλλη μεριά, αν οι παρτίδες είναι μικρές δημιουργούνται μικρά αποθέματα που συχνά δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση με προφανείς οικονομικές συνέπειες. Επιπλέον η συχνή εναλλαγή της παραγωγής δημιουργεί πρόσθετες δαπάνες για την εξαρχής κάθε φορά προετοιμασία των μέσων παραγωγής. Για κάποιο λοιπόν μέγεθος της παρτίδας παραγωγής το συνολικό κόστος ικανοποίησης της ζήτησεως θα γίνεται ελάχιστο. Προφανώς, αυτό το μέγεθος πρέπει να χρησιμοποιούμε για να προγραμματίζουμε την παραγωγή μας.

Μέχρι τώρα έχει εξεταστεί ο χρονικός προγραμματισμός παραγωγής συστημάτων job-shop και flow-shop. Μια ενδιάμεση κατηγορία παραγωγικών συστημάτων αποτελούν τα συστήματα παραγωγής σε παρτίδες (batch-shop). Τέτοια είναι τα συστήματα που παράγουν έναν αριθμό διαφορετικών προϊόντων χρησιμοποιώντας τον ίδιο παραγωγικό εξοπλισμό, δηλαδή τους ίδιους επεξεργαστές. Σκοπός παραγωγής σε παρτίδες είναι η κάλυψη της ζήτησης κάθε προϊόντος περιοδικά, δηλαδή μια ποσότητα προϊόντος επαρκής για να ικανοποιηθεί η ζήτηση στο διάστημα μέχρι, να παραχθεί καινούργια παρτίδα. Οι παρτίδες επαναλαμβάνονται στην παραγωγή σε σταθερούς κύκλους μερικές φορές μέσα στη διάρκεια του έτους. Η παραγωγή σε παρτίδες μπορεί να αφορά όχι μόνο τελικά προϊόντα αλλά και ενδιάμεσα τμήματα προϊόντων, καθώς επίσης και εξαρτήματα τελικών προϊόντων. Ο χρονικός προγραμματισμός παραγωγής στα συστήματα batch-shop, έχει δύο βασικά ζητούμενα. Το πρώτο, όπως και στις περιπτώσεις των job-shop και flow-shop, είναι η δρομολόγηση της παραγωγής, και το δεύτερο σε αυτήν την περίπτωση, είναι το μέγεθος των παρτίδων κάθε προϊόντος που παράγει το σύστημα, έτσι ώστε να καλύπτεται επαρκώς η ζήτηση. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της μεθόδου του προγραμματισμού απαιτούμενων πόρων, ο υπολογισμός του βέλτιστου μεγέθους για την παρτίδα του κάθε προϊόντος σχετίζεται με τη σχέση μεταξύ κόστους αποθεματοποίησης και του κόστους προετοιμασίας της παραγωγής, δηλαδή της προετοιμασίας που απαιτείται για την αλλαγή από την παραγωγή μιας παρτίδας στην παραγωγή της επόμενης. Όσο πιο μεγάλες είναι οι παρτίδες τόσο πιο μεγάλο είναι το

κόστος αποθεματοποίησης, αλλά και τόσο μικρότερο είναι το κόστος προετοιμασίας, μιας και θα απαιτούνται λιγότερες αλλαγές κατά τη διάρκεια του χρόνου από την παραγωγή μίας παρτίδας στην επόμενη. Αντίθετα, στην περίπτωση των μικρών παρτίδων, το κόστος αποθεματοποίησης θα μειωθεί, αλλά θα αυξηθεί το κόστος προετοιμασίας μιας και θα απαιτηθεί συχνότερη παραγωγή των παρτίδων για την κάλυψη της ζήτησης. Βέβαια, στην περίπτωση αυτή των μικρών παρτίδων, υπάρχει ο κίνδυνος αν το μέγεθος της παρτίδας είναι υπερβολικά μικρό, να πρέπει να γίνεται παραγωγή της παρτίδας πολύ συχνά και να αυξηθεί τόσο πολύ ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τις συνεχείς αλλαγές από παρτίδα σε παρτίδα, ώστε μην επαρκεί η δυναμικότητα του συστήματος να καλύψει τη ζήτηση.

Για την επίλυση του προβλήματος του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής σε τέτοια συστήματα, δηλαδή την εύρεση του βέλτιστου αριθμού των κύκλων παραγωγής παρτίδων κατά τη διάρκεια του έτους, μπορεί καταρχήν να ακολουθηθεί η μέθοδος του κοινού οικονομικού κύκλου. Έτσι, αν είναι:

m το πλήθος των διαφορετικών προϊόντων που παράγονται σε παρτίδες από ένα σύστημα batch-shop,

N ο αριθμός των κύκλων σε μια περίοδο (π.χ. ένα έτος),

c_i το κόστος προετοιμασίας μιας παρτίδας του προϊόντος i , (θεωρείται σταθερό, ανεξάρτητο από τη σειρά διαδοχής των παρτίδων),

h_i το κόστος αποθήκευσης μιας μονάδας του προϊόντος i ,

R_i η συνολική ζήτηση του προϊόντος i σε όλη την περίοδο,

r_i ο ρυθμός μείωσης του αποθέματος (ή η ζήτηση) του προϊόντος i βραχυπρόθεσμα,

p_i ο ρυθμός παραγωγής του προϊόντος i βραχυπρόθεσμα

τότε το συνολικό κόστος παραγωγής δίνεται από τη σχέση

$$K(N) = \sum_{i=1}^m c_i N + \sum_{i=1}^m \frac{h_i R_i}{2 N} \left(1 - \frac{r_i}{p_i} \right)$$

Στη σχέση αυτή ο πρώτος όρος εκφράζει το συνολικό κόστος προετοιμασίας της παραγωγής των παρτίδων. Πράγματι, στη διάρκεια του έτους, κάθε προϊόν i από τα m προϊόντα θα παραχθεί σε N ίσες παρτίδες, επομένως θα προκύψει για το σύστημα ένα κόστος προετοιμασίας $c_i N$ για το προϊόν i . Για το σύνολο των m προϊόντων θα προκύψει το κόστος που εκφράζει ο πρώτος όρος του παραπάνω αθροίσματος. Ο δεύτερος όρος, άλλωστε, εκφράζει το συνολικό κόστος αποθήκευσης των m προϊόντων και προκύπτει με τον ίδιο τρόπο που προκύπτει το αντίστοιχο κόστος στην περίπτωση προϊόντων που παράγονται σε παρτίδες.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει (με παραγωγή ως προς N) ο βέλτιστος αριθμός κύκλων N_{opt} , ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

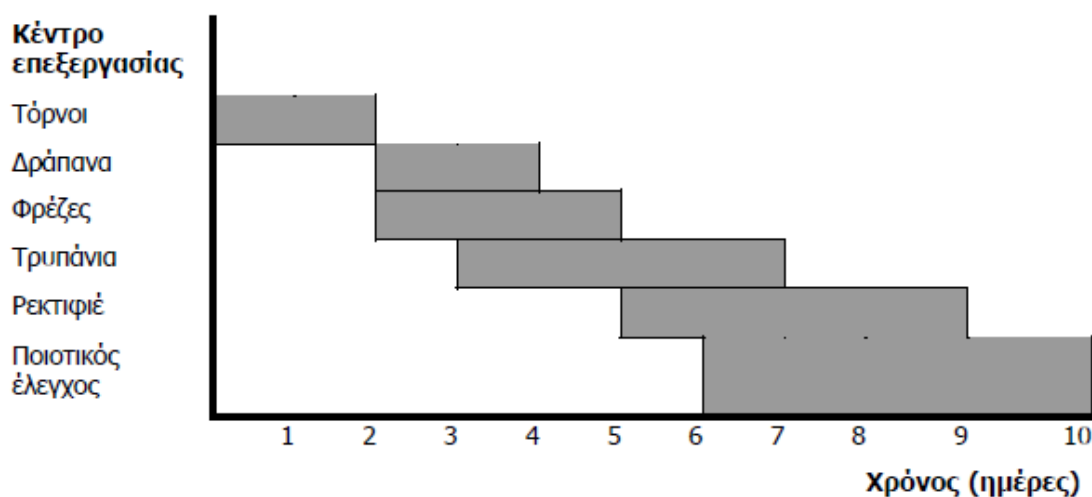
$$N_{opt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m h_i R_i (1 - r_i / p_i)}{2 \sum_{i=1}^m c_i}}$$

Έτσι, κάθε προϊόν i θα παράγεται σε παρτίδες R_i / N_{opt} κομματιών και οι παρτίδες θα απέχουν χρονικά μεταξύ τους $12 / N_{opt}$ μήνες. Είναι φανερό ότι το άθροισμα των

χρόνων προετοιμασίας συν το άθροισμα των χρόνων παραγωγής των m προϊόντων στη διάρκεια ενός κύκλου θα πρέπει να είναι το πολύ ίσο με τη διάρκεια ενός κύκλου. Αυτό αποτελεί απαίτηση για να μπορεί να εφαρμοστεί η λύση που προκύπτει με την παραπάνω μέθοδο. Διαφορετικά θα πρέπει να επιλεγεί διαφορετική διάρκεια κύκλου, συνεπώς και μέγεθος παρτίδων σε κάθε κύκλο. Θα πρέπει, επομένως, μετά τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης του προβλήματος με την παραπάνω μέθοδο, να ελεγχθεί αν η λύση αυτή είναι εφικτή. Σε μία τέτοια περίπτωση που η παραπάνω λύση $N0p^*$ δεν είναι εφικτή, μια προσέγγιση που παρέχει υποβέλτιστη λύση στο πρόβλημα, είναι η αναζήτηση, με τη μέθοδο «δοκιμή-σφάλμα», της τιμής του N που είναι στη γειτονιά του $N0p^*$, και που δίνει εφικτή λύση.

4.2.2. Το Πρόβλημα Προγραμματισμού N/N Συστήματος (Ανάθεσης)

Στα συστήματα παραγωγής job-shop, κάθε πελάτης αναθέτει στο σύστημα την παραγωγή ενός αριθμού προϊόντων, των οποίων οι προδιαγραφές έχουν καθοριστεί από τον ίδιο ή σε συνεργασία με το σύστημα. Το σύστημα διαθέτει ένα αριθμό επεξεργαστών, στους οποίους ανατίθεται η εκτέλεση των παραγγελιών. Η ανάθεση ή κατανομή των εργασιών στους επεξεργαστές του συστήματος είναι το πρόβλημα που θα αναλυθεί στη συγκεκριμένη παράγραφο. Όταν η ανάθεση αφορά εργασίες που δεν χρειάζεται να διασπαστούν σε μικρότερες ώστε να ανατεθούν σε διαφορετικούς επεξεργαστές, όταν δηλαδή κάθε εργασία ανατίθεται σε έναν επεξεργαστή, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα Gantt, που αποτελούν μια απλή μέθοδος προγραμματισμού. Σε ένα διάγραμμα Gantt, κάθε επεξεργαστής αντιστοιχεί σε μια οριζόντια γραμμή και κάθε εργασία τοποθετείται στη γραμμή του αντίστοιχου επεξεργαστή όπου θα διεκπεραιωθεί. Η τοποθέτηση γίνεται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, που έχει μήκος ανάλογο με τη διάρκεια της αντίστοιχης επεξεργασίας.



Τα διαγράμματα Gantt χρησιμοποιούνται σε απλές περιπτώσεις, με όχι μεγάλο αριθμό εργασιών, και έχουν περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά τη σχεδίαση εναλλακτικών σεναρίων ανάθεσης των επεξεργαστών. Σε ορισμένα πιο σύνθετα προβλήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ανάθεσης, που αποτελεί ειδική εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού. Για την εφαρμογή της μεθόδου της ανάθεσης απαιτείται να ισχύουν τα παρακάτω:

- Κάθε εργασία ανατίθεται σε έναν επεξεργαστή και αντιστρόφως.
- Ο αριθμός των εργασιών ισούται με τον αριθμό των επεξεργαστών.
- Οι εφικτοί συνδυασμοί αναθέσεων (σενάρια αναθέσεων των εργασιών στους επεξεργαστές) αξιολογούνται με βάση ένα δείκτη απόδοσης. Ο δείκτης αυτός είναι συνάρτηση κάποιων μεταβλητών κόστους ή οφέλους.

Έστω ότι υπάρχουν N εργασίες που πρέπει να ανατεθούν για εκτέλεση σε N διαφορετικούς επεξεργαστές. Το κόστος ολοκλήρωσης της εκτέλεσης κάθε εργασίας διαφέρει από επεξεργαστή σε επεξεργαστή λόγω των προδιαγραφών των επεξεργαστών. Η ανάθεση των εργασιών στους επεξεργαστές πρέπει να γίνει έτσι, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος που θα προκύψει από τους επεξεργαστές. Θεωρείται ένας πίνακας $N \times N$, στον οποίο περιγράφεται το κόστος της κάθε εργασίας σε κάθε έναν από τους επεξεργαστές, τότε για την εύρεση της βέλτιστης ανάθεσης ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Σε κάθε γραμμή του πίνακα, που αντιστοιχεί σε μια εργασία, αφαιρείται η μικρότερη τιμή από όλες τις τιμές της γραμμής, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τουλάχιστον μία μηδενική τιμή σε κάθε γραμμή. Προφανώς, η πιο συμφέρουσα ανάθεση της εργασίας που αντιστοιχεί στη γραμμή είναι στη μηχανή που αντιστοιχεί στο στοιχείο της γραμμής με τη μηδενική τιμή.

Βήμα 2: Όμοια, σε κάθε στήλη του πίνακα, που αντιστοιχεί σε μια μηχανή, αφαιρείται η μικρότερη τιμή από όλες τις τιμές της στήλης, με αποτέλεσμα επίσης να δημιουργείται τουλάχιστον μία μηδενική τιμή σε κάθε στήλη. Μια μηδενική τιμή σε κάποια θέση της στήλης σημαίνει προφανώς ότι η αντίστοιχη μηχανή συμφέρει να αναλάβει την εργασία που αντιστοιχεί στο στοιχείο της στήλης με τη μηδενική τιμή.

Βήμα 3: Έστω v ο ελάχιστος αριθμός γραμμών ή/και στηλών που καλύπτουν όλες τις μηδενικές τιμές. Αν ο αριθμός v ισούται με το συνολικό αριθμό των γραμμών N (άρα και των στηλών), τότε μια βέλτιστη κατανομή βρίσκεται ως εξής:

- Τα μηδενικά στοιχεία αποτελούν υποψήφιους συνδυασμούς ανάθεσης. Η εργασία κάθε γραμμής ανατίθεται σε μηχανή, που αντιστοιχεί σε στήλη με μηδενικό στοιχείο στη θέση της τομής γραμμής/ στήλης. Η στήλη απαλείφεται, πράγμα που σημαίνει ότι η αντίστοιχη μηχανή έχει αναλάβει αυτήν την εργασία, και φυσικά μόνον αυτή.
- Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες γραμμές/ στήλες, ώσπου κάθε εργασία να έχει ανατεθεί σε μια (μόνο) μηχανή και κάθε μηχανή να έχει αναλάβει μια (μόνο) εργασία.

Βήμα 4: Αν ο αριθμός v είναι μικρότερος από τον αριθμό των γραμμών N (και των στηλών), τότε δημιουργούνται πρόσθετες μηδενικές τιμές ως εξής: βρίσκεται η

μικρότερη από τις μη μηδενικές τιμές που δεν ανήκει στις n γραμμές ή/ και στήλες και αφαιρείται από τον εαυτό της και από τις υπόλοιπες τιμές του πίνακα που δεν ανήκουν στις n γραμμές ή/ και στήλες. Επίσης, η τιμή αυτή προστίθεται στις τιμές που βρίσκονται στην τομή μιας γραμμής και μιας στήλης των n γραμμών και στηλών που προσδιορίστηκαν παραπάνω. Μετά επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 και 4 μέχρις ότου ο αριθμός n να ισούται με τον αριθμό των γραμμών N (και στηλών) του πίνακα. Ο τρόπος εφαρμογής της μεθόδου ανάθεσης για την καλύτερη κατανοήση θα δειχθεί με ένα παράδειγμα. Έστω ένα εργοστάσιο που πρέπει να αναθέσει 5 εργασίες σε 5 μηχανές. Το κόστος κάθε εργασίας για την εκτέλεσή της στην εκάστοτε μηχανή παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	5	6	4	8	3
	2	6	4	9	8	5
	3	4	3	2	5	4
	4	7	2	4	5	3
	5	3	6	4	5	5

Συνολικά υπάρχουν $5! = 120$ διαφορετικοί συνδυασμοί για την ανάθεση των εργασιών. Για την βέλτιστη επιλογή συνδυασμού, δηλαδή για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εκτέλεσης όλων των εργασιών θα ακολουθηθούν τα βήματα του κανόνα ανάθεσης που περιγράφηκαν παραπάνω.

Βήμα 1: Αφαιρείται ο μικρότερος αριθμός από κάθε γραμμή.

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	2	3	1	5	0
	2	2	0	5	4	1
	3	2	1	0	3	2
	4	5	0	2	3	1
	5	0	3	1	2	2

Βήμα 2: Αφαιρείται ο μικρότερος αριθμός από κάθε στήλη.

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	2	3	1	3	0
	2	2	0	5	2	1
	3	2	1	0	1	2
	4	5	0	2	1	1
	5	0	3	1	0	2

Βήμα 3: Ο αριθμός των γραμμών που καλύπτουν όλα τα μηδενικά είναι $n=4$. Επειδή όμως ισχύει ότι το n είναι μικρότερο από τον αριθμό των εργασιών και των μηχανών δηλαδή το 5, πρέπει να εκτελεστεί το βήμα 4.

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	2	3	1	3	0
	2	2	0	5	2	1
	3	2	1	0	1	2
	4	5	0	2	1	1
	5	0	3	1	0	2

Βήμα 4: Η μικρότερη μη μηδενική τιμή του πίνακα που δεν ανήκει στις v γραμμές ή/ και

στήλες είναι η τιμή 1. Η τιμή αυτή πρέπει να αφαιρεθεί από όλες τις μη μηδενικές τιμές του πίνακα στις θέσεις που δεν καλύπτονται από τις παραπάνω 4 γραμμές/ στήλες και να προστεθεί στις τιμές που αντιστοιχούν στις θέσεις των τομών των 4 γραμμών/ στηλών του πίνακα.

Πηγή: Production and Operation Management, Chase, Aquilano, Jacobs

Βήμα 5: Ο αριθμός των γραμμών που καλύπτουν όλα τα μηδενικά είναι $v=5$. δηλαδή το v

ισούται πλέον με τον αριθμό των εργασιών/ μηχανημάτων, άρα είναι εφικτό να προκύψει ένας βέλτιστος συνδυασμός για την ανάθεση των εργασιών.

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	1	3	0	2	0
	2	1	0	4	1	1
	3	2	2	0	1	3
	4	4	0	1	0	1
	5	0	4	1	0	3

Βήμα 5: Ο αριθμός των γραμμών που καλύπτουν όλα τα μηδενικά είναι $v=5$. δηλαδή το v ισούται πλέον με τον αριθμό των εργασιών/ μηχανημάτων, άρα είναι εφικτό να προκύψει ένας βέλτιστος συνδυασμός για την ανάθεση των εργασιών.

		ΜΗΧΑΝΕΣ				
		A	B	C	D	E
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1	1	3	0	2	0
	2	1	0	4	1	1
	3	2	2	0	1	3
	4	4	0	1	0	1
	5	0	4	1	0	3

Έτσι προκύπτει ότι η εργασία 2 πρέπει να εκτελεστεί από τη μηχανή B, η εργασία 3 από την μηχανή C, άρα στην εργασία 1 απομένει να εκτελεστεί από τη μηχανή E και στην 4 από τη μηχανή D, οπότε η 5 θα εκτελεστεί από τη μηχανή A. Η λύση αυτή είναι και η μόνη πιθανή λύση για το σύστημα. Θα μπορούσε να προκύψει πίνακας, ο οποίος θα έδινε περισσότερες από μια βέλτιστες λύσεις. ΣΤα αποτελέσματα της

μεθόδου, στην τελευταία στήλη φαίνεται το κόστος για κάθε μία από τις εργασίες και το συνολικό τους το οποίο είναι και το ελάχιστο δυνατό.

<i>1</i>	\rightarrow	<i>E</i>	<i>3</i>
<i>2</i>	\rightarrow	<i>B</i>	<i>4</i>
<i>3</i>	\rightarrow	<i>C</i>	<i>2</i>
<i>4</i>	\rightarrow	<i>D</i>	<i>5</i>
<i>5</i>	\rightarrow	<i>A</i>	<u><i>3</i></u>
<i>17</i>			

Μέχρι τώρα αναλύθηκαν τα συστήματα job-shop, στα οποία απαιτούνταν η εκτέλεση N εργασιών από έναν επεξεργαστή ή η ανάθεση N εργασιών σε N επεξεργαστές. Στη συνέχεια, θα διερευνηθεί η γενική περίπτωση συστημάτων παραγωγής job-shop, όπου N εργασίες πρέπει να εκτελεστούν από M επεξεργαστές. Ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών των εργασιών αν έπρεπε να εκτελεστούν από έναν επεξεργαστή, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι $N!$. Δεδομένου όμως τώρα, ότι ο αριθμός των επεξεργαστών είναι M , ο συνολικός αριθμός των δυνατών συνδυασμών για την εκτέλεση όλων των εργασιών είναι $(N!)M$.

Αυτό σημαίνει ότι, ακόμα και για πολύ μικρά προβλήματα, στη γενική περίπτωση των συστημάτων job-shop, ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών είναι εξαιρετικά μεγάλος. Για παράδειγμα, αν το πλήθος των εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν είναι 6 και οι επεξεργαστές που είναι διαθέσιμοι είναι 3, τότε προκύπτουν συνολικά $(6!)3=373.248.000$ πιθανοί συνδυασμοί. Είναι φανερό ότι το πρόβλημα της εύρεσης του βέλτιστου από αυτούς τους συνδυασμούς είναι πολύ δύσκολο να λυθεί, ακόμα και από ένα ταχύτατο υπολογιστικό σύστημα, πόσο μάλλον για ένα σύστημα με περισσότερες από 6 εργασίες ή/και 3 επεξεργαστές, κάτι το οποίο είναι πολύ πιθανό στην πράξη

Για την επίλυση προβλημάτων χρονικού προγραμματισμού παραγωγής, στη γενική περίπτωση job-shop συστημάτων, απαιτούνται αλγόριθμοι που να δίνουν γρήγορα τη καλύτερη λύση, δηλαδή το καλύτερο συνδυασμό, σε σχέση με το επιλεγμένο κριτήριο απόδοσης. Τέτοιοι αλγόριθμοι, πράγματι, υπάρχουν για ορισμένα σχετικά απλά προβλήματα χρονικού προγραμματισμού παραγωγής, όχι όμως και για τα σύνθετα προβλήματα προγραμματισμού που συναντώνται συχνά σε παραγωγικά συστήματα και τα οποία στην πράξη παραμένουν άλυτα, από την άποψη της εύρεσης της βέλτιστης λύσης τους. Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος μπορεί να μειωθεί με τη εισαγωγή ασθενών και ισχυρών περιορισμών, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι μειώνονται κατά συνέπεια και οι δυνατοί εναλλακτικοί συνδυασμοί εργασιών σε αυτούς μόνο που θα εκπληρώνουν τους περιορισμούς αυτούς.

Στις περιπτώσεις των σύνθετων προβλημάτων προγραμματισμού, δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία αντιμετώπισής τους. Η εμπειρική γνώση μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά κανόνων που απλοποιούν τη διαδικασία επίλυσης.

Αναζητούνται συνήθως υποβέλτιστες λύσεις με τη χρήση των κανόνων καθώς και

κάποιων διαδικασιών προγραμματισμού και γραφικών, και άλλων μεθόδων. Εξαιρετικά αποτελεσματικός έχει αποδεχθεί για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων ο συνδυασμός κανόνων και τυπικών εργαλείων της επιχειρησιακής έρευνας (υβριδισμός).

Στην περίπτωση της εκτέλεσης η εργασιών από έναν επεξεργαστή, παρουσιάστηκαν 11 διαφορετικοί κανόνες για την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού για την καλύτερη εκτέλεση των εργασιών σύμφωνα με τα κριτήρια απόδοσης. Στην περίπτωση γενικού job-shop, η διαδικασία εκπόνησης χρονικού προγράμματος παραγωγής περιλαμβάνει τη χρήση των ίδιων κανόνων δρομολόγησης των εργασιών στους επεξεργαστές. Για την εφαρμογή των κανόνων αυτών εξετάζονται οι εργασίες και οι επιμέρους φάσεις που περιλαμβάνουν, ο αντίστοιχος χρόνος επεξεργασίας και οι επεξεργαστές. Ο κανόνας δρομολόγησης εφαρμόζεται όταν δύο ή περισσότερες εργασίες αναμένουν για να δρομολογηθούν σε έναν επεξεργαστή, ώστε να βρεθεί ποια έχει προτεραιότητα. Όταν τελειώσει μια φάση μιας εργασίας, η εργασία αυτή προστίθεται στις άλλες που αναμένουν να πάρουν σειρά σε άλλον επεξεργαστή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε μονάδα χρόνου, μέχρι να δρομολογηθούν όλες οι εργασίες.

Σε έρευνα των J. Kanet, J. Hayya, οι οποίοι επικεντρώθηκαν στους κανόνες που σχετίζονταν με την ημερομηνία παράδοσης, έχει προταθεί η χρήση των κανόνων της ημερομηνίας παράδοσης (DD), του ελάχιστου περιθωρίου (STR) και του κρίσιμου λόγου (CR) σε τέτοια συστήματα. Τρία κριτήρια που προτείνονται ότι πρέπει να εκπληρώνει ο κανόνας που θα επιλεγεί για συστήματα γενικού job-shop είναι:

- Να είναι σχετικά απλός κρίνοντας των μεγάλων αριθμό συνδυασμών που πρέπει να εξεταστούν.
- Να τον χαρακτηρίζει δυναμικότητα, δηλαδή να μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα στις αλλαγές που θα συμβαίνουν κατά τη διάρκεια που εκτελούνται οι εργασίες στο σύστημα. Και, Πρέπει με κάποιο τρόπο να βασίζεται στο περιθώριο που έχει η κάθε εργασία, δηλαδή στο χρόνο που απομένει μέχρι την ημερομηνία παράδοσης και στο χρόνο επεξεργασίας που απομένει για την εργασία.

4.2.3. Πολλά προϊόντα με περιορισμούς

Στην πράξη τα εργοστάσια παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα. Όταν παράγονται πολλά προϊόντα και μπορούμε να τα αντιμετωπίσουμε ανεξάρτητα από άποψη προγραμματισμού δεν έχουμε καμία δυσκολία να χρησιμοποιήσουμε τις παραπάνω σχέσεις για να καθορίσουμε το βέλτιστο μέγεθος της παρτίδας παραγωγής. Στην περίπτωση όμως που παράγουμε πολλά προϊόντα, μπορεί να εμφανίζονται κάποιοι περιορισμοί που να μη μας επιτρέπουν να τα χειριστούμε ανεξάρτητα. Συγκεκριμένα, μπορεί να έχουμε περιορισμένο χώρο, ή περιορισμένα κεφάλαια που πρέπει να διαθέσουμε για όλα τα προϊόντα, ή να είμαστε υποχρεωμένοι να παράγουμε σε ορισμένο αριθμό περιόδων ετησίως, κτλ.

Είναι φανερό ότι το πρόβλημα μας σ' αυτήν την περίπτωση απαιτεί νft προσδιορίσουμε τις παρτίδες παραγωγής Q_i , χωρίς να παραβιάζονται οι περιορισμοί. Το πρόβλημα αυτό μπορούμε να το λύσουμε με τη βοήθεια των πολλαπλασιαστών Lagrange, όπως περιγράφουμε παρακάτω. Αρχικά λύνουμε το πρόβλημα χωρίς να πάρουμε υπόψη μας τους περιορισμούς, δηλαδή βρίσκουμε τη βέλτιστη παρτίδα παραγωγής, Q_i , για κάθε προϊόν. Αν οι τιμές αυτές ικανοποιούν τους περιορισμούς οι παρτίδες είναι βέλτιστες. Αν όμως δεν ικανοποιούν τους περιορισμούς, τότε κάποιος ή όλοι οι περιορισμοί είναι ενεργοί. Σ' αυτήν την περίπτωση λύνουμε το πρόβλημα μας θεωρώντας κάθε φορά ότι μόνον ένας περιορισμός είναι ενεργός.

4.2.4. Παρτίδες παραγωγής και χρονικοί κύκλοι

Στις παραπάνω παραγράφους εξετάσαμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος της παρτίδας παραγωγής για κάθε προϊόν κάτω από διαφορετικές υποθέσεις. Επειδή δεν είναι δυνατόν κάθε προϊόν να κατασκευάζεται σε χωριστές μηχανές, πρέπει να δούμε πως οι διάφορες παρτίδες μπορούν να εκτελεστούν στα διαθέσιμα μέσα.

Ας θεωρήσουμε ως παράδειγμα την περίπτωση που έχουμε δυο προϊόντα, έστω τα A και B, που πρέπει να εκτελεστούν στην ίδια μηχανή. Τα μεγέθη των παρτίδων για τα προϊόντα A και B τα έχουμε υπολογίσει με κάποια από τις αναλύσεις που εξετάσαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Ο προγραμματισμός εκτελέσεως τους είναι αυτός που σημειώνουμε στο σχήμα. Όπως προκύπτει από το σχήμα, όταν τελειώνει η παραγωγή της παρτίδας του προϊόντος A αρχίζει η παραγωγή της παρτίδας του B, που μόλις τελειώνει αρχίζει του A, κτλ.

Έτσι, ούτε νεκρός χρόνος στη μηχανή δημιουργείται, ούτε χρειάζεται να παρεκκλίνουμε από τις βέλτιστες παρτίδες παραγωγής που υπολογίσαμε για τα προϊόντα. Βέβαια, η κατάσταση αυτή είναι μια Ιδεατή κατάσταση που μόνο σχηματικά τη δημιουργήσαμε. Στην πράξη θα παρουσιαστούν διάφορες περιπλοκές. Παραδείγματος χάρη, μπορεί το άθροισμα των χρόνων παραγωγής των παρτίδων των προϊόντων να είναι πολύ μεγαλύτερο από το διαθέσιμο χρόνο της μηχανής. Σ' αυτή την περίπτωση, είμαστε υποχρεωμένοι να υπολογίσουμε το χρονικό κύκλο

μέσα στον οποίον θα παράγονται και τα δυο προϊόντα και τα μεγέθη των παρτίδων σύμφωνα με τα οποία θα παράγονται. Τα μεγέθη αυτά βέβαια δεν πρόκειται να είναι ίσα με εκείνα που θα έχουμε υπολογίσει όταν τα προϊόντα τα θεωρούμε ανεξάρτητα.

4.3.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΕΣΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γενικά

Στην παραγωγική διαδικασία υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κατανομή εργασιών στα μέσα παραγωγής είναι υποχρεωτική από τεχνολογικούς περιορισμούς. Δηλαδή, οι εργασίες που χρειάζονται να γίνουν για να ανοιχθούν τρύπες μπορούν να γίνουν στα τρυπάνια, οι εργασίες λειάνσεως στις λειαντικές μηχανές, κτλ. Συχνά όμως έχουμε τη δυνατότητα να εκλέξουμε ανάμεσα στα μέσα παραγωγής, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση ορισμένων εργασιών στον ίδιο χρόνο. Είναι δηλαδή πιθανό, να έχουμε αρκετά τρυπάνια, τόνους κτλ. Οι αποδόσεις των μέσων παραγωγής που διατίθενται για την εκτέλεση της ίδιας εργασίας συνήθως δεν είναι οι ίδιες. Παραδείγματος χάρη, μια μηχανή δεν είναι τόσο γρήγορη όσο μια άλλη, όπως επίσης το κόστος εκτελέσεως ορισμένων εργασιών σε διαφορετικές μηχανές μπορεί να διαφέρει. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, δημιουργείται το πρόβλημα της καλύτερης κατανομής των εργασιών στα μέσα παραγωγής που διαθέτουμε

Είναι φανερό, ότι η καλύτερη κατανομή προϋποθέτει κάποιο κριτήριο αυτό μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους Εκτελέσεως των εργασιών ή ακόμη η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτελέσεως των εργασιών, κτλ.

Το πρόβλημα της κατανομής εργασιών σε μέσα παραγωγής στη γενική έκφραση του, μπορούμε να το διατυπώσουμε μαθηματικά, ως εξής: δίνονται π μέσα παραγωγής (μηχανές) και n εργασίες, καθώς επίσης και η αποτελεσματικότητα κάθε μηχανής για κάθε εργασία, δηλαδή δίνεται μια μήτρα με n^2 στοιχεία και ζητείται να γίνει η κατανομή των εργασιών στα μέσα παραγωγής, ή και αντίστροφα, έτσι που να βελτιστοποιείται η συνολική αποτελεσματικότητα.

Πρέπει να σημειώσουμε από τώρα ότι οι δυνατοί τρόποι κατανομής είναι $n!$ και ότι για $n > 10$ είναι πρακτικά αδύνατο να βρούμε όλες τις δυνατές κατανομές και να διαλέξουμε τη βέλτιστη από αυτές. Παραδείγματος χάρη, για $n = 20$, και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρειάζεται 1 msec για κάθε δυνατή κατανομή, όταν εργάζεται 8 ώρες τη μέρα και 365 μέρες το χρόνο, θα χρειαζόμασταν περίπου 250.000 χρόνια για να βρούμε τη βέλτιστη λύση. Έτσι γίνεται φανερό ότι μας χρειάζεται κάποια μέθοδος για τη γρήγορη λύση προβλημάτων αυτής της κατηγορίας.

4.3.2. Μέθοδος επιλύσεως (assignment model)

Γενικά. Τα διάφορα στάδια λύσεως του προβλήματος τα παρουσιάζουμε παράλληλα με την εφαρμογή τους σ' ένα παράδειγμα, ώστε να διευκολυνθεί η κατανόηση τους.

Ας υποθέσουμε ότι σ' ένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν πέντε εργασίες και υπάρχουν πέντε μηχανές. Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή, αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια μηχανή. Το «κόστος» εκτέλεσεως των εργασιών στις μηχανές σημειώνεται στον πίνακα 1, όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στις μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Το στοιχείο Δ3 του πίνακα σημαίνει εκτέλεση της εργασίας 3 στη μηχανή Δ με «κόστος» 310 μονάδες.

Λέγοντας «κόστος» εννοούμε όχι μόνο δραχμικό κόστος αλλά και κάτι περισσότερο αφού μπορεί να είναι π.χ. ο απαραίτητος χρόνος (δευτερόλεπτα) για την εκτέλεση των εργασιών ή οτιδήποτε άλλο

Προτού προχωρήσουμε στην παρουσίαση της μεθόδου είναι σκόπιμο να αποσαφηνίσουμε ότι δεν είναι ικανοποιητική λύση η εκτέλεση της εργασίας 1 στη μηχανή πού την εκτελεί με το μικρότερο κόστος, την 2 σ' εκείνη τη μηχανή πού την εκτελεί με το μικρότερο κόστος, την 2 σ' εκείνη τη μηχανή πού την εκτελεί επίσης με το μικρότερο κόστος, κτλ. Μια τέτοια κατανομή μπορεί συμπτωματικά να είναι η βέλτιστη, συνήθως όμως δεν είναι γιατί δημιουργούνται αντινομίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1! Κόστος εκτέλεσεως εργασιών σε μηχανές

	1	2	3	4	5
A	430	440	465	480	490
B	320	340	350	375	380
Γ	295	300	330	320	320
Δ	270	290	310	275	280
E	245	240	265	280	250

Όπως π.χ. στο παράδειγμα μας για την εκτέλεση της 1 στην A και της 2 στην B χρειάζονται $430 + 340 = 770$ μονάδες, ενώ για την 2 στην A και 1 στην B χρειάζονται $440 + 320 = 760$ μονάδες. Η σκέψη να εκτελεστεί κάθε εργασία σ' εκείνη τη μηχανή που έχει το

μικρότερο κόστος για αυτήν την εργασία, επίσης δεν οδηγεί σε αποτέλεσμα. Στο παράδειγμα μας τέσσερις εργασίες (1, 2, 3 και 5) χρειάζονται μικρότερο κόστος για την εκτέλεση τους στη μηχανή E σχετικά με οποιαδήποτε άλλη μηχανή. Δηλαδή, καμιά από αυτές τις προσπάθειες δεν οδηγεί στη βέλτιστη λύση.

Από τα παραπάνω σε συσχετισμό με όσα είπαμε γίνεται εντελώς φανερό ότι χρειαζόμαστε μια συγκεκριμένη μαθηματική διαδικασία για να βρίσκουμε γρήγορα τη βέλτιστη λύση σ' αυτήν την κατηγορία των προβλημάτων. Στη συνέχεια αναπτύσσουμε τα στάδια μιας τέτοιας διαδικασίας.

Πρώτο στάδιο. Εξετάζουμε τις στήλες της μήτρας A_0 και βρίσκουμε για κάθε στήλη j το μικρότερο στοιχείο a_{ij}^0 που το ονομάζουμε U_j^0 . Σχηματίζουμε μια νέα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.

	1	2	3	4	5
A	185	200	200	205	240
B	75	100	85	100	130
Γ	50	60	65	45	70
Δ	25	50	45	0	30
E	0	0	0	5	0

μήτρα A_1 , αντικαθιστώντας τα στοιχεία a_{ij}^1 με τα στοιχεία: $a_{ij}^1 = a_{ij} - u_i^0 - U_j^0$ για $i, j = 1, 2, \dots, n$ και $u_i^0 = 0$.

Αν βρούμε τα U_j^0 και τα αφαιρέσουμε από τα υπόλοιπα στοιχεία της στήλης τους, τότε για το παράδειγμα μας προκύπτει ο πίνακας 2.

Δεύτερο Στάδιο. Βρίσκουμε τον ελάχιστο αριθμό ευθειών γραμμών, (όχι διαγωνίων) έστω n_1 που μπορούν να περιλάβουν όλα τα μηδενικά στοιχεία της A_1 . Αν $n_1 = n$, τότε υπάρχει στη μήτρα A_1 ένα σύνολο από n μηδενικά στοιχεία, από τα οποία δε βρίσκονται δυο στην ίδια γραμμή και τα στοιχεία της A_0 στις θέσεις αυτών των n στοιχείων δίνουν τη βέλτιστη λύση.

Ο ελάχιστος αριθμός γραμμών που μπορεί να περιλάβει τα μηδενικά στοιχεία της A_1 του παραδείγματος μας είναι 2. Έτσι $n_1 = 2 < n$ ($n = 5$). Άρα δεν έχουμε βρει τη βέλτιστη λύση.

Τρίτο Στάδιο. Αν $n_1 < n$, τότε εξετάζουμε τις σειρές της A_1 και βρίσκουμε για κάθε γραμμή i , το μικρότερο στοιχείο a_{ij}^1 που το ονομάζουμε U_j^1 . Σχηματίζουμε μια νέα μήτρα A_2 αντικαθιστώντας τα στοιχεία a_{ij}^1 με τα στοιχεία:

$$a_{ij}^2 = a_{ij}^1 - u_i^1 - U_j^1 \quad \text{για } j = 1, 2, \dots, n \quad \text{και } U_j^1 = 0$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τρίτο στάδιο

	1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5	
A	0	15	15	20	55	παράδειγμα μας βρίσκουμε το κάθε σειράς της A_1 , δηλαδή το u_j^1 το αφαιρούμε από κάθε στοιχείο της σειράς i ($i = 1, 2, \dots, 5$) και βρίσκουμε την A_2 .
B	0	25	10	25	55	
Γ	5	15	20	0	25	
Δ	25	50	45	0	30	
E	0	0	0	5	0	

Τέταρτο Στάδιο. Βρίσκουμε τον ελάχιστο αριθμό των ευθειών γραμμών, έστω n_2 , που μπορούν να περιλάβουν όλα τα μηδενικά στοιχεία της A_2 . Αν $n_2 = n$, τότε υπάρχει στη μήτρα A_2 ένα σύνολο από μηδενικά, από τα οποία δε βρίσκονται δυο στην ίδια γραμμή και τα στοιχεία της A_0 σ' αυτές τις n θέσεις αποτελούν τη βέλτιστη λύση.

Στο παράδειγμα μας μπορούμε να περιλάβουμε όλα τα μηδενικά στοιχεία που βρίσκονται στις στήλες 1 και 4 και τη γραμμή E, σε τρεις ευθείες. Άρα, $n_2 = 3$ και τη βέλτιστη λύση δεν την έχουμε βρει ακόμη.

Πέμπτο Στάδιο. Αν $n_2 < \pi$, έστω h_2 το μικρότερο στοιχείο της μήτρας A_2 από αυτά που δεν βρίσκονται στις γραμμές η_2 . Αφαιρούμε το h_2 από όλα τα στοιχεία της A_2 που δεν βρίσκονται στις γραμμές η_2 και προσθέτουμε το h_2 σε όλα τα στοιχεία που βρίσκονται στις τομές -αν υπάρχουν- των γραμμών η_2 . Τη μήτρα που προκύπτει με αυτόν τον τρόπο την ονομάζουμε A_3 .

Για το παράδειγμα μας είναι $h_2 = 10$ (στοιχείο B3). Το στοιχείο αυτό το αφαιρούμε από όλα τα στοιχεία που βρίσκονται έξω από τις στήλες 1 και 4 και τη γραμμή E, και το προσθέτουμε στα στοιχεία EI και E4. Ύστερα από αυτά έχουμε τον πίνακα.4.

1	1	2	3	4	5
A	0	5	5	20	45
B	0	15	0	25	45
Γ	5	5	10	0	15
Δ	25	40	35	0	20
E	10	0	0	15	0

Έκτο Στάδιο Ελέγχουμε, όπως στο δεύτερο στάδιο κατά πόσο $n_3 = n$. Αν $n_3 = n$ τότε η λύση είναι βέλτιστη όπως είπαμε και στο τέταρτο στάδιο. Επειδή τα μηδενικά στοιχεία μπορούμε να το περιλάβουμε σε 4 γραμμές ή στήλες, δηλαδή στις 1, 3, 4 και E, το πρόβλημα δεν έχει ακόμη λυθεί.

Έβδομο Στάδιο. - Αν $n_3 < n$, τότε επαναλαμβάνουμε το πέμπτο και έκτο στάδιο. Αυτό το συνεχίζουμε μέχρις ότου στην k επανάληψη αυτών των σταδίων βρούμε $n_{k+2} = n$, οπότε η λύση είναι η βέλτιστη.

Το μικρότερο στοιχείο της μήτρας που δεν ανήκει στις στήλες 1, 3 και 4 και τη γραμμή E είναι το 5 στο A2 και Γ2. Οι στήλες 1, 3 και 4 τέμνουν τη γραμμή E στις θέσεις EI, E3 και E4, γι' αυτό προσθέτουμε το 5. Στη συνέχεια αφαιρούμε το 5 από όλα τα στοιχεία της μήτρας που δεν περιλαμβάνονται στις στήλες 1, 3 και 4 και τη γραμμή E. Τα παραπάνω δίνουν τον πίνακα 7.5.

Τα μηδενικά στοιχεία του πίνακα 7.5 δεν μπορούν να περιληφθούν σε λιγότερες από 5 γραμμές. Άρα, βρήκαμε τη λύση και αυτή είναι: η εργασία 1 να εκτελεστεί στη μηχανή A, η 2 στη Γ, η 3 στη B, η 4 στη Δ και η 5 στη μηχανή E. Η λύση αυτή δίνει ένα συνολικό κόστος $430+300+350+275+250= 1605$ μονάδες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Βέλτιστη λύση

	1	2	3	4	5	
	0	0	5	20	40	
A	0	10	0	25	40	
B	5	0	10	0	10	σημειώσουμε ότι η
Γ	25	35	35	0	15	με τη μέθοδο που
Δ	15	0	5	20	0	αναγκαστικά η μόνη.
E						

Πρέπει να
λύση που βρίσκεται
περιγράψαμε δεν είναι

Μπορεί γενικά να υπάρχουν και άλλες κατανομές, που να δίνουν το ίδιο κόστος, αλλά οπωσδήποτε δεν υπάρχει λύση, που να δίνει μικρότερο.

Οικονομική ερμηνεία της μεθόδου. Στις παραπάνω παραγράφους περιγράψαμε τα διάφορα στάδια μιας μαθηματικής διαδικασίας με την οποία μπορούμε να βρούμε τη βέλτιστη κατανομή εργασιών σε μηχανές. Αποφύγαμε να ασχοληθούμε με τις μαθηματικές αποδείξεις των διαφόρων σταδίων της για να μην απομακρυνθούμε από το πρόβλημα που μας απασχολεί. Ενώ όμως οι μαθηματικές αποδείξεις της δεν θα μας πρόσθεταν τίποτα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να ασχοληθούμε με την οικονομική ερμηνεία της μεθόδου, που στηρίζεται στην έννοια του ευκαιριακού κόστους. Το κόστος αυτό παρουσιάζεται όταν οι συντελεστές της παραγωγής γενικά δε χρησιμοποιούνται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Για να γίνει εντελώς φανερή η έννοια του ευκαιριακού κόστους, ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια μηχανή που μπορούμε να την πουλήσουμε ως μεταχειρισμένη προς 30 χιλιάδες δραχμές. Ας υποθέσουμε ακόμη ότι μπορούμε να κρατήσουμε τη μηχανή ή να την πουλήσουμε. Αν την κρατήσουμε και τη χρησιμοποιήσουμε όπως μέχρι τώρα, θα έχουμε στη διάρκεια ενός χρόνου μια καθαρή τελική οικονομική ωφέλεια, έστω, ίση με 2 χιλιάδες δραχμές. Αν την πουλήσουμε και χρησιμοποιήσουμε κατάλληλα τις 30 χιλιάδες δραχμές που θα εισπράξουμε, θα έχουμε στη διάρκεια ενός χρόνου μια καθαρή τελική οικονομική ωφέλεια, έστω, ίση με 5 χιλιάδες δραχμές. Αν λοιπόν αποφασίσουμε να κρατήσουμε τη μηχανή για ένα χρόνο θα ωφεληθούμε κατά 2 χιλιάδες, ενώ αν την πουλούσαμε θα είχαμε ωφέλεια κατά 5 χιλιάδες. Τις 3 χιλιάδες που χάνουμε κρατώντας τη μηχανή, ενώ θα μπορούσαμε να τις κερδίσουμε τις λέμε ευκαιριακό κόστος.

Γενικά, η επιλογή και υλοποίηση μιας οποιασδήποτε εναλλακτικής λύσεως αποκλείει την υλοποίηση όλων των άλλων. Αν η εναλλακτική λύση που επιλέγουμε συμβεί να μην είναι η καλύτερη από άποψη χρησιμοποίησης των συντελεστών της παραγωγής, είναι φανερό ότι δημιουργείται μια ζημιά, που ισούται προς τη διαφορά εκείνου που πραγματικά πετυχαίνεται και εκείνου που θα μπορούσε να έχει επιτευχθεί. Επομένως η εναλλακτική λύση, που έχει μηδενικό ευκαιριακό κόστος είναι η βέλτιστη. Αλλά με ποιόν τρόπο μπορούμε να μετρήσουμε το ευκαιριακό κόστος; Αυτό εκ πρώτης όψεως μπορεί να γίνει μόνον όταν είναι γνωστή η αξία της βέλτιστης εναλλακτικής λύσεως. Αλλά η αξία της είναι γνωστή μόνο όταν είναι γνωστή η βέλτιστη λύση και αν μπορούσαμε να την ξέρουμε δεν θα υπήρχε ανάγκη να

χρησιμοποιήσουμε την έννοια του ευκαιριακού κόστους. Η απάντηση στα προηγούμενα είναι ότι **Ορίζοντας** το ευκαιριακό κόστος, είμαστε σε θέση να αναζητήσουμε εκείνη την εναλλακτική λύση, που εξασφαλίζει μηδενικό ευκαιριακό κόστος και που κατά συνέπεια θα είναι η βέλτιστη. Δηλαδή είναι γνωστό, ότι η βέλτιστη λύση πρέπει να έχει ευκαιριακό κόστος μηδέν, αλλά δεν είναι γνωστό ποιά είναι αυτή. Από την άλλη μεριά, μπορούμε να αναζητήσουμε τη λύση, που έχει ευκαιριακό κόστος μηδέν κι αυτή κατά συνέπεια θα είναι η βέλτιστη.

Ας υποθέσουμε ότι μας δίνεται η παρακάτω μήτρα κόστους, όπου οι στήλες αντιστοιχούν στις μηχανές και οι γραμμές στις εργασίες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Κόστος εκτέλεσεως εργασιών σε μηχανές

	1	2	3	
A	100	150	170	κόστος να δοθεί μια δυο τρόποι για να το εναλλακτικές ενέργειες Παραδείγματος χάρη,
B	170	120	190	
Γ	180	220	150	

Ας δούμε ποιο είναι το ευκαιριακό εργασία στη μηχανή 1. Υπάρχουν βρούμε αυτό. Εξαρτάται από ποιες παίρνουμε υπόψη μας. μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η εργασία Γ εκτελείται στη μηχανή 1. Το άμεσο κόστος αυτής της κατανομής δίνεται απευθείας από τη μήτρα και είναι 180 δρχ. Υπάρχουν όμως και έμμεσα στοιχεία κόστους, που προέρχονται από το γεγονός ότι η εκτέλεση της εργασίας Γ στη μηχανή 1 αποκλείει την εκτέλεση της εργασίας Γ σε οποιαδήποτε άλλη μηχανή. Οι εναλλακτικές δυνατές εκτελέσεις της Γ από άλλες μηχανές, που αποκλείονται σαν δυνατότητες, είναι οι εναλλακτικές ενέργειες ως προς τις οποίες μετριέται το ευκαιριακό κόστος. Δηλαδή, το ευκαιριακό κόστος δημιουργείται επειδή μια διαφορετική εργασία θα μπορούσε να εκτελεστεί στη μηχανή 1. Επειδή η εκτέλεση της εργασίας Α στη μηχανή 1 έχει κόστος 100 δρχ. η εκτέλεση της Γ στη μηχανή 1 δημιουργεί ένα ευκαιριακό κόστος $180 - 100 = 80$ δρχ. Ένα ακόμη ευκαιριακό κόστος δημιουργείται επειδή η εργασία Γ θα μπορούσε να εκχωρηθεί για εκτέλεση σε μια από τις υπόλοιπες μηχανές. Είναι φανερό ότι αυτό το ευκαιριακό κόστος είναι $180 - 150 = 30$ δρχ. Το πρώτο ευκαιριακό κόστος δημιουργείται επειδή μια διαφορετική εργασία θα μπορούσε να εκτελεστεί από την ίδια μηχανή- αυτό το ονομάζουμε ευκαιριακό κόστος της εργασίας. Το δεύτερο ευκαιριακό κόστος δημιουργείται επειδή μια διαφορετική μηχανή θα μπορούσε να διατεθεί για την εκτέλεση της εργασίας 1. Αυτό το κόστος το λέμε ευκαιριακό κόστος της μηχανής.

Και τα δυο είδη του ευκαιριακού κόστους μπορούμε να τα υπολογίσουμε εύκολα. Η μήτρα του ευκαιριακού κόστους των εργασιών βρίσκεται αφαιρώντας το μικρότερο στοιχείο κόστους κάθε στήλης από όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της ίδιας στήλης. Η μήτρα του ευκαιριακού κόστους των μηχανών βρίσκεται αν αφαιρεθεί το μικρότερο στοιχείο κάθε γραμμής από όλα τα στοιχεία της ίδιας γραμμής. Έτσι για το παράδειγμα μας έχουμε :

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ευκαιριακό κόστος

	1	2	3
A	0	30	20
B	70	0	40
Γ	80	100	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ευκαιριακό κόστος

	1	2	3
A	0	50	70
B	50	0	70
Γ	30	70	0

Στο παραπάνω παράδειγμα, οι τρεις κατανομές των εργασιών στις μηχανές με μηδενικό ευκαιριακό κόστος είναι οι ίδιες για καθεμιά από τις δυο μήτρες, η A στην 1, η B στη 2 και η Γ στην 3. Όταν συμβεί αυτό το πρόβλημα έχει λυθεί μια και δεν μπορούμε να πετύχουμε περισσότερο από μηδενικό ευκαιριακό κόστος, που πραγματοποιείται με την προηγούμενη κατανομή.

Βέβαια, το προηγούμενο παράδειγμα είναι απλό επειδή το σχεδιάσαμε για να δείξουμε την οικονομική ερμηνεία της μεθόδου λύσεως του προβλήματος της κατανομής εργασιών σε μέσα παραγωγής, κι όχι για να επαναλάβουμε τη μέθοδο. Όλα τα στάδια της μεθόδου, όπως τα αναλύσαμε στις προηγούμενες παραγράφους, δεν επιδιώκουν παρά μόνο τη λύση που εξασφαλίζει μηδενικό ευκαιριακό κόστος με διάφορα τεχνάσματα.

4.3.3. Παραλλαγές του προβλήματος της κατανομής

Στο πρόβλημα της κατανομής εργασιών σε μέσα παραγωγής μπορούν να υπάρξουν οι ακόλουθες παραλλαγές:

Μήτρα $n \times m$, όπου $m \neq n$. Όσες φορές το πρόβλημα της κατανομής εμφανίζεται με τη μορφή μήτρας, όπου ο αριθμός των στηλών π.χ. είναι μικρότερος από τον αριθμό των γραμμών, μπορούμε να προσθέσουμε το αναγκαίο αριθμό στηλών με πλασματικές εργασίες, οι οποίες εννοείται ότι έχουν μηδενικό κόστος εκτελέσεως.

Αφού προσθέσουμε τις πλασματικές εργασίες, ή τα πλασματικά μέσα παραγωγής, με μηδενικά στοιχεία στις αντίστοιχες θέσεις της μήτρας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο που αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Μεγιστοποίηση. Τα παραδείγματα που χρησιμοποιήσαμε μέχρι τώρα ήταν προβλήματα ελαχιστοποίησης. Παρόλα αυτά, είναι εύκολο να διαπιστώσουμε ότι με την ίδια μέθοδο μπορούμε να λύσουμε και προβλήματα μεγιστοποίησης.

Παραδείγματος χάρη, το πρόβλημα της κατανομής προσωπικού σε εργασίες με τρόπο που να εξασφαλίζει το μέγιστο κέρδος είναι ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης. Το πρόβλημα κατανομής, αλλά με κριτήριο τη μεγιστοποίηση το λύνουμε με τη μέθοδο που, αφού όμως κάνουμε τον εξής μετασχηματισμό.

Έστω $K = \| k_{ij} \|$ η μήτρα του προβλήματος μεγιστοποίησης. Βρίσκουμε το μέγιστο στοιχείο της μήτρας K και δημιουργούμε μια μήτρα με στοιχεία που τα προσδιορίζουμε από τη σχέση

$$ay^0 = (\max k_{ij}) - k_{ij}$$

Η μήτρα με τα στοιχεία ay^0 που προκύπτουν από τη σχέση είναι η μήτρα A_0 του προβλήματος της κατανομής, αλλά με κριτήριο την ελαχιστοποίηση. Στη συνέχεια το πρόβλημα το λύνουμε κατά τα γνωστά. Η κατανομή που θα προκύψει είναι η κατανομή που μεγιστοποιεί το κριτήριο που χρησιμοποιήσαμε.

4.4.1.ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

1) Από ένα προϊόν πωλούνται 800 κομμάτια την ημέρα ενώ μπορεί να παραχθούν με ρυθμό 2000 κομμάτια την ημέρα. Είναι γνωστό ότι η αλλαγή της παραγωγής στο εργοστάσιο κοστίζει 10.000 δρχ. και το κόστος για να διατηρείται η μονάδα του προϊόντος ως απόθεμα μια μέρα είναι 10 δρχ., Ζητείται να καθορίσουμε το μέγεθος της παρτίδος που πρέπει να παράγεται κάθε μέρα.

2) Έστω ότι σε ένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν 5 διαφορετικές εργασίες και υπάρχουν 5 μηχανές, Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή, αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια μηχανή. Το κόστος εκτέλεσης των εργασιών στις μηχανές φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Να βρεθεί ποιά εργασία πρέπει να εκτελεστεί και σε ποιά μηχανή.

α/α	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
A1	430	440	465	480	490
A2	320	340	350	375	380
A ₃	295	300	330	320	320
A4	270	290	310	275	280
A ₅	245	240	265	280	250

3) Σε μια παραγωγική διαδικασία υπάρχουν δυο μηχανές A,B και πρέπει να εκτελεστούν σ'αυτές διαδοχικά 5 εργασίες. Κάθε εργασία απασχολεί τις μηχανές που φαίνονται στον κάτω πίνακα. Ζητείται να βρεθεί η βέλτιστη αλληλουχία εκτέλεσης των

Εργασία	Μηχανή A	Μηχανή B
1	6	3
2	2	7
3	10	8
4	4	2
5	11	5

4) Σε ένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν 5 εργασίες. Κάθε εργασία εκτελείται πρώτα στην M1 μετά στη M2 και τέλος στη M3. Οι χρόνοι εργασίας δίδονται στο κάτω πίνακα σε ώρες εργασίας. Να βρεθεί η σειρά με την οποία πρέπει να εκτελεστούν οι εργασίες για να ολοκληρωθούν.

Εργασία	M1	M2	M3
1	5	6	9
2	10	7	11
3	9	3	0
4	7	4	0
5	6	5	1

5) Σε ένα μηχανουργείο κατασκευάζονται 5 εξαρτήματα που συναρμολογούμενα δίνουν ένα τελικό προϊόν. Τα εξαρτήματα αυτά πρέπει να περάσουν από 4 διαφορετικές φάσεις. Στον πίνακα δίδονται οι χρόνοι κατεργασίας σε ώρες για τις διάφορες φάσεις κατεργασίας του κάθε εξαρτήματος. Δίδεται ακόμη ότι το κόστος κατεργασίας και το κόστος του νεκρού χρόνου για όλες τις φάσεις είναι 100 και 200 δρχ. ανά ώρα αντίστοιχα αν στους νεκρούς χρόνους που δημιουργούνται σε όλη την περίοδο παραγωγής των εξαρτημάτων στις φάσεις δεν μπορεί να εκτελεστεί άλλη εργασία να βρεθεί το ελάχιστο κόστος παράγωγης ενός προϊόντος.

Εξαρτήματα	Φάσεις			
	A	B	Γ	Δ
1	1	4	2	5
2	6	1	2	4
3	0.5	5	5	1
4	3	4	3	4
5	2	1	0,5	0,5

6) Μέθοδος ανάθεσης σε συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία.

Σε ένα εργοστάσιο παραγωγής, η επιχείρηση εξετάζει την ανάθεση τεσσάρων εργασιών (1,2,3 και 4) σε τέσσερις διαφορετικές μηχανές (A, B, Γ και Δ). Στον επόμενο πίνακα δίνεται ο χρόνος εκτέλεσης (ώρες) για κάθε εργασία από τις μηχανές

		Μηχανή			
		A	B	Γ	Δ
Εργασία	1	2 7	2 9	2 8	3 0
	2	3 0	2 9	2 7	2 6
	3	3 1	2 5	2 9	2 6
	4	2 9	3 1	2 5	2 8

(α) Βρείτε τη βέλτιστη ανάθεση των εργασιών στις μηχανές έτσι ώστε ο χρόνος απασχόλησης των μηχανών να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

(β) Ποιος είναι ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο η επιχείρηση θα ολοκληρώσει όλες τις εργασίες;

7) Χρονικός προγραμματισμός για γενικό σύστημα παραγωγής κατά παραγγελία.

Πέντε εργασίες πρόκειται να προγραμματισθούν σε σύστημα παραγωγής κατά παραγγελία. Οι χρόνοι επεξεργασίας (ώρες) και οι χρόνοι παράδοσης (ώρες) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Εργασία	1	2	3	4	5
Χρόνος εκτέλεσης (ώρες)	8	7	6	4	10
Χρόνος παράδοσης (ώρες)	10	15	24	28	23

Προσδιορίστε το χρόνο καθυστέρησης κάθε εργασίας και τη μέση καθυστέρηση για τα προγράμματα που προκύπτουν: (α) με τον κανόνα του ελάχιστου χρόνου επεξεργασίας και (β) με τον κανόνα του ελάχιστου περιθωρίου

8) Συγκεντρωτικός προγραμματισμός παραγωγής.

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα για μια βιομηχανική επιχείρηση για χρονικό ορίζοντα 12 μηνών, τα οποία αφορούν τις ημέρες παραγωγής ανά μήνα, τη ζήτηση (μονάδες παραγωγής) καθώς και το απόθεμα ασφαλείας, το οποίο έχει αποφασισθεί να είναι το 50% της ζήτησης του αντίστοιχου μήνα

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ημέρες παραγωγής αθροιστικά	Ζήτηση	Σωρευτική ζήτηση	Απόθεμα ασφαλείας	Σωρευτικές απαιτήσεις	Ζήτηση ανά ημέρα παραγωγής
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(4)/2	(7)=(5)+(6)	(8)=(4)/(2)
1	22	22	300	300	150	450	13,64
2	20	42	400	700	200	900	20,00
3	23	65	600	1300	300	1600	26,09
4	19	84	800	2100	400	2500	42,11
5	22	106	900	3000	450	3450	40,91
6	22	128	1100	4100	550	4650	50,00
7	20	148	700	4800	350	5150	35,00
8	23	171	400	5200	200	5400	17,39
9	11	182	300	5500	150	5650	27,27
10	22	204	200	5700	100	5800	9,09
11	22	226	200	5900	100	6000	9,09
12	18	244	100	6000	50	6050	5,56

Για την επιχείρηση δίνονται επίσης:

- 1) Η ημερήσια παραγωγική δυναμικότητα είναι 35 μονάδες παραγωγής
- 2) Η παραγωγική ικανότητα είναι δυνατό να αυξηθεί κατά 20% με υπερωριακή απασχόληση. Κάθε μονάδα παραγωγής που παράγεται με υπερωριακή απασχόληση επιβαρύνει το κόστος παραγωγής κατά 80 €
- 3) Υπάρχει αρχικό απόθεμα 230 μονάδων
- 4) Το μηνιαίο κόστος δημιουργίας αποθέματος είναι 7 € ανά μονάδα, ενώ το κόστος έλλειψης αποθέματος είναι 30 € ανά μονάδα
- 5) Το κόστος μεταβολής του επιπέδου παραγωγής ισούται με 350 € ανά μονάδα μεταβολής

Να καταρτισθούν τα εναλλακτικά προγράμματα παραγωγής για την κάλυψη της ζήτησης: (α) με σταθερό ρυθμό παραγωγής και (β) με χρήση υπερωριών και μεταβλητού ανθρώπινου δυναμικού.

4.4.2 ΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ.

1) Κάνοντας μια απλή αναφορά στον τύπο του (Q), (Ποσότητα παραγωγής) για να υπενθυμίσουμε λίγο την "λειτουργία" του. Ο τύπος είναι $Q = \frac{R}{C_1 + C_2 Q}$ όπου

— και C_2 το κόστος προετοιμασίας παράγωγης ποσότητας Q, και C_1 είναι το κόστος

της μονάδας του προϊόντος. Άρα η λύση της άσκησης δίδεται αν αντικαταστήσουμε (Σωστά !) τα στοιχεία που μας δίνει η άσκηση. Όπου

$R = 2.000$ (Μέγιστη ποσότητα Κομματιών /Ημέρα)

$K = 800$ (Πώληση Κομματιών/Ημέρα)

$C_1 = 10$ (Κόστος αποθέματος/Ημέρα)

$C_2 = 10.000$ (Κόστος αλλαγής παραγωγής)

$Q = \frac{R}{C_1 + C_2 Q} \Rightarrow Q = 1632$ Κομμάτια/Ημέρα

2) Η λύση της άσκησης είναι η κάτωθι:

a/ α	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
A1	430	440	465	480	490
A2	320	340	350	375	380
A3	295	300	330	320	320
A4	270	290	310	275	280
A5	245	240	265	280	250

1° ΒΗΜΑ

Ο πίνακας είναι τετραγωνισμένος τάξεως

$m=5$

2° ΒΗΜΑ

Βρίσκουμε το ελάχιστο στοιχείο ανά γραμμή και το αφαιρούμε από όλη την γραμμή.

α/α	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
A1	0	10	35	50	60
A2	0	20	30	55	60
A ₃	0	5	35	25	25
A4	0	20	40	5	10
A ₅	-5	-0	-25	-40	-10

Ακόμη διαγράφω τις στήλες με τα μηδέν **3^ο ΒΗΜΑ**

α/α	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
A1	0	5	10	45	50
A2	0	15	5	50	50
A3	0	0	10	20	15
A4	0	15	15	0	0
A5	5	0	0	35	0

4^ο ΒΗΜΑ

- Βρίσκω τα minimum από τα μη διαγραμμένα στοιχεία του πίνακα .
- Το αφαιρούμε από όλα τα μη διαγραμμένα στοιχεία .
- Το προσθέτω στις διασταυρώσεις γραμμών

α/α	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
A1	0	5	0	40	45
A2	0	15	5	45	45
A ₃	0	0	10	15	10
A4	5	15	15	0	0
A5	10	0	0	35	0

Με αυτό τον τρόπο έχουμε μηδέν για όλες τις μηχανές. Προσπαθούμε να συνδυάσουμε τις θέσεις των μηδέν στοιχείων με τις αντίστοιχες τιμές του αρχικού πίνακα .Έτσι κάνοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς καταλήγουμε στις εξής τιμές:

$$E_1 \cdot A_1 = 430$$

$$E_2 \cdot A_3 = 350$$

$$E_3 \cdot A_2 = 300$$

$$E_4 \cdot A_4 = 275$$

$$E_5 \cdot A_5 = 250$$

Άρα το συνολικό κόστος της παραγωγικής διαδικασίας θα είναι το άθροισμα των επιμέρους κοστών. Δηλαδή : $\Sigma.K.=430+350+300+275+250\Rightarrow\Sigma.K.=1605$

3) Κατ' αρχάς για να λύσουμε το πρόβλημα που παρουσιάζεται στην άσκηση (3) χρησιμοποιούμε την εξής διαδικασία :

1^ο Βήμα :Ελέγχουμε τις τιμές (χρόνοι κατεργασίας) και επιλέγουμε την μικρότερη τιμή. Εάν η μικρότερη τιμή βρίσκεται στην μηχανή (1) τότε η αντίστοιχη εργασία τοποθετείται πρώτη στην σειρά εκτέλεσης. Αντίθετα εάν βρίσκεται στην μηχανή (2) τοποθετείται στο τέλος.

2^ο Βήμα :Κάνουμε την ίδια ακριβώς διαδικασία και για της υπόλοιπες εργασίες έως ότου έχουν διαγραφεί όλες οι εργασίες.

Εργασία	Μηχανή Α	Μηχανή Β
1	6	3
2	-----2-----	-----7-----
3	10	8
4	-----4-----	-----2-----
5	11	5

Οι μικρότερες τιμές είναι αυτές που βρίσκονται μέσα σε κύκλο και επειδή είναι ίσες επιλέγουμε κατ' εκτίμηση μια από τις δυο. Άρα έχουμε σαν πρώτη εργασία την (2) από την μηχανή (Α).Η εργασία (4) μπαίνει αντίστοιχα στο τέλος της προτεραιότητας που δίνουμε. Έτσι έχουμε :

Εργασία	Μηχανή Α	Μηχανή Β
1	-----6-----	-----3-----
2	-----2-----	-----7-----
3	10	8
4	-----4-----	-----2-----
5	11	5

αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή(χρόνος) είναι το 3 στην μηχανή (Β) Η εργασία 1 μπαίνει στην προτελευταία θέση. Έτσι έχουμε:

Εργασία	Μηχανή Α	Μηχανή Β
1	-----6-----	-----3-----
2	-----2-----	-----7-----
3	10	8
4	-----4-----	-----2-----
5	-----11-----	-----5-----

Ομοίως έχουμε την εργασία 5 στην τρίτη από το τέλος θέση
Έχουμε : 2 , , 5 , 1 , 4.

Άρα έχουμε την εξής σειρά που θα γίνουν οι εργασίες :

2, 3, 5, 1, 4.

Ο συνολικός χρόνος που θα χρειαστεί για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες δίδεται από τον παρακάτω πίνακα :

Εργασία	Μηχανή Α	Μηχανή Β
2	0-2	2-9
3	2-12	12-20
5	12-23	23-28
1	23-29	29-12
4	29-33	33-35

Ο συνολικός χρόνος θα είναι 35 μονάδες χρόνου.

4) Η λύση της άσκησης θα γίνει με την μέθοδο *CAMPBELL*

Εργασία	M1	M2	M ₃
1	5	6	9
2	10	7	11
3	9	3	0
4	7	4	0
5	6	5	1

Κατ'αρχάς χωρίζουμε το πρόβλημα σε δυο υποπροβλήματα δηλαδή :

α : M₁ & M₃

β : M₁ + M₂ & M₂ + M₃ .

Δηλαδή πιο συγκεκριμένα θα έχουμε τον παρακάτω πίνακα και θα εφαρμόσουμε τον ίδιο τρόπο που αναλύσαμε στην ΑΣΚΗΣΗ (5) :

Εργασία	M ₁	M ₃
1	5	9
2	10	11
3	9	0
4	7	0
5	6	1

Άρα θα έχουμε την σειρά με την οποία θα γίνουν οι εργασίες 1, 2, 5, 3, 4 . ή
1, 2, 5, 4, 3 .

Εργασία	M1+M ₂	M2+M ₃
1	11	15
2	17	18
3	12	3
4	11	4
5	11	6

Άρα θα έχουμε την σειρά με την οποία θα γίνουν οι εργασίες : 1 , 2 , 5 , 4 , 3 .
Επομένως η σειρά που θα γίνουν οι εργασίες θα είναι: 1 , 2 , 5 , 4 , 3 .

Ο συνολικός χρόνος που θα χρειαστούμε για την περάτωση των εργασιών θα είναι από τον εξής πίνακα :

Εργασία	M1	M2	M3
1	0-5	5-11	11-20
2	5-15	15-22	22-33
5	15-21	21-26	26-27
4	21-28	28-32	-
3	28-37	37-40	-

Άρα ο συνολικός χρόνος που θα χρειαστούμε θα είναι 40 μονάδες χρόνου.

5)

Εξαρτήματα	A	B	Γ	Δ
1	1	4	2	5
2	6	1	2	4
3	0.5	5	5	1
4	3	4	3	4
5	2	1	0.5	0.5

Το πρόβλημα λύνεται με την μέθοδο CAMPBELL."Σπάμε" το πρόβλημα σε τρία υποπροβλήματα . 1)M_A και M_Δ 2)M_A+M_B και M_Γ+M_A 3) M_A+M_B+M_Γ και M_B+M_Γ+M_Δ

1ο υποπρόβλημα

ΕΞΑ/ΤΑ	Μ _Α	Μ _Δ
1	1	5
2	6	4
3	0.5	1
4	3	4
5	2	0.5

Με τον ίδιο τρόπο που περιγράψαμε στην άσκηση Νο5 βρίσκουμε σε αυτό το υποπρόβλημα βέλτιστη αλληλουχία 3.1.4.2.5=26 ώρες: άθροισμα των ωρών των εργασιών)

2ο υποπρόβλημα

ΕΞΑ/ΤΑ	Μ _{Α+Β}	Μ _{Γ+Δ}
1	5	7
2	7	6
3	5.5	6
4	7	7
5	3	1

Βέλτιστη αλληλουχία υποπροβλήματος 1.3.4.2.5=26.5ώρες;(άθροισμα των ωρών των εργασιών)

3 ο υποπρόβλημα.

ΕΞΑ/ΤΑ	Μ _{Α+Β+Γ}	Μ _{Β+Γ+Δ}
1	7	11
2	9	7
3	10,5	11
4	10	11
5	3,5	2

Βέλτιστη αλληλουχία υποπροβλήματος 1.4.3.2.5=25.5ώρες(άθροισμα των ωρών των εργασιών)

Επιλέγουμε ως βέλτιστη αλληλουχία όλου του προβλήματος αυτή με το μικρότερο άθροισμα ωρών εργασιών αφού έχουμε πρόβλημα ελαχιστοποίησης.

Έτσι έχουμε Βέλτιστη αλληλουχία προβλήματος 1.4.3.2.5=25.5 ώρες.

Κάνουμε τώρα τον πίνακα αρχής πέρατος εργασιών.

Εξαρτήματα	A	B	Γ	Δ
1	0-1	1-5,	5-,7	7-,12
2	1-,4	5-,9	9-,12	12-,16
3	4-4.5	9-,14	14-19	19-20
4	4.5-10.5	14-15	19-21	21-25
5	10.5-12.5	15-16	21-21.5	25-25.5

νεκροί
χρόνοι

23 1 9 11

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

$$25,5*500+(23+1+9+11)*200=21550$$

6) Λύση

Αφαίρεση μικρότερης ποσότητας σε κάθε γραμμή

		Μηχανή			
		A	B	Γ	Δ
Εργασία	1	0	2	1	3
	2	4	3	1	0
	3	6	0	4	1
	4	4	6	0	3

Αφαίρεση μικρότερης ποσότητας σε κάθε στήλη (ίδιος πίνακας)

		Μηχανή			
		A	B	Γ	Δ
Εργασία	1	0	2	1	3
	2	4	3	1	0
	3	6	0	4	1
	4	4	6	0	3

Ο ελάχιστος αριθμός γραμμών ή / και στηλών που καλύπτουν όλες τις μηδενικές τιμές : 4

		Μηχανή			
		A	B	Γ	Δ
Εργασία	1	0	2	1	3
	2	4	3	1	0
	3	6	0	4	1
	4	4	6	0	3

Συνεπώς, έχει προκύψει η βέλτιστη κατανομή:

Μηχανή A, Εργασία 1 (27 ώρες)

Μηχανή B, Εργασία 3 (25 ώρες)

Μηχανή Γ, Εργασία 4 (25 ώρες)

Μηχανή Δ, Εργασία 2 (26 ώρες)

(β) Ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο η επιχείρηση θα ολοκληρώσει όλες τις εργασίες: 27 ώρες, με την ολοκλήρωση της εργασίας στη μηχανή A (ο βραδύτερος χρόνος των τεσσάρων μηχανών).

Εργασία	Χρόνος εκτέλεσης (ώρες)			
	Μηχανή 1	Μηχανή 2	Μηχανή 3	Μηχανή 4
A	0	0	1	1
B	3	2	0	1
Γ	5	3	2	0
Δ	7	0	2	0

Βέλτιστη κατανομή

Εργασία A , Μηχανή 1

Εργασία B , Μηχανή 3

Εργασία Γ , Μηχανή 4

Εργασία Δ , Μηχανή 2

Συνολικός χρόνος απασχόλησης των μηχανών: **102 ώρες**

Ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο η επιχείρηση θα ολοκληρώσει όλες τις εργασίες: **42 ώρες**

7) Λύση

(α) κανόνας του ελάχιστου χρόνου επεξεργασίας

Σειρά εκτέλεσης εργασιών	4	3	2	1	5
Χρόνος ολοκλήρωσης (ώρες)	4	10	17	25	35
Χρόνος καθυστέρησης (ώρες)	0	0	2	15	12

Μέση καθυστέρηση: 5,8 (=29/5)

(β) κανόνας του ελάχιστου περιθωρίου

Σειρά εκτέλεσης εργασιών	1	2	5	3	4
Χρόνος ολοκλήρωσης (ώρες)	8	15	25	31	35
Χρόνος καθυστέρησης (ώρες)	0	0	2	7	7

Μέση καθυστέρηση (βραδύτερη περάτωση): 3,2 (=16/5)

8) Λύση

(α)

Μέση μηνιαία ζήτηση: 500(=6000/12)
Μέσο (σταθμισμένο) απόθεμα ασφαλείας: 255,53
Μέση ημερήσια απαίτηση: 24,80 (=6050/244)

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ημερήσια παραγωγή	Μηνιαία παραγωγή	Διαθέσιμη ποσότητα σφωρευτικά	Σφωρευτικές απαιτήσεις	Διαφορά
1	22	24,8	545,6	775,6	450	325,60
2	20	24,8	496	1271,6	900	371,60
3	23	24,8	570,4	1842	1600	242,00
4	19	24,8	471,2	2313,2	2500	-186,80
5	22	24,8	545,6	2858,8	3450	-591,20
6	22	24,8	545,6	3404,4	4650	-1245,60
7	20	24,8	496	3900,4	5150	-1249,60
8	23	24,8	570,4	4470,8	5400	-929,20
9	11	24,8	272,8	4743,6	5650	-906,40
10	22	24,8	545,6	5289,2	5800	-510,80
11	22	24,8	545,6	5834,8	6000	-165,20
12	18	24,8	446,4	6281,2*	6050	231,2

*6050+230=6280. Η μικρή διαφορά οφείλεται στη στρογγυλοποίηση του ημερήσιου ρυθμού παραγωγής (24,8 μονάδες)

Θετικές διαφορές (μεταφέρονται τον επόμενο μήνα ως απόθεμα): 1170,40

Κόστος αποθεματοποίησης (€): 8192,8

Αρνητικές διαφορές (έλλειψη αποθέματος): 5784,80

Κόστος έλλειψης αποθέματος (€): 173544,00

Συνολικό κόστος (€): 181736,80

Διορθωμένος σταθερός ρυθμός για μη έλλειψη αποθεμάτων.

Ο ρυθμός παραγωγής (σταθερός) θα πρέπει να αυξηθεί σε τιμή που υπολογίζεται ως εξής:

Από τη διαίρεση των στοιχείων της τελευταίας στήλης των αρνητικών διαφορών του παραπάνω Πίνακα με τα αντίστοιχα στοιχεία της στήλης η οποία δίνει τις ημέρες παραγωγής αθροιστικά του Πίνακα δεδομένων (τρίτη στήλη) υπολογίζεται το μέγιστο πηλίκιο, το οποίο αντιπροσωπεύει τη τιμή κατά την οποία πρέπει να αυξηθεί η

ημερήσια παραγωγή (24,8 μονάδες) έτσι ώστε να μην προκύπτουν αρνητικές διαφορές στην τελευταία στήλη του Πίνακα.

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ημέρες παραγωγής αθροιστικά	Αρνητικές διαφορές (τελευταία στήλη προηγούμενου Πίνακα)	Πηλίκο (4)/(3) (απόλυτη τιμή)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	22	22	-	-
2	20	42	-	-
3	23	65	-	-
4	19	84	-186,80	2,22
5	22	106	-591,20	5,58
6	22	128	-1245,60	9,73
7	20	148	-1249,60	8,44
8	23	171	-929,20	5,43
9	11	182	-906,40	4,98
10	22	204	-510,80	2,50
11	22	226	-165,20	0,73
12	18	244	-	-

Διορθωμένος σταθερός ρυθμός παραγωγής: $24,80+9,73=34,53$ μονάδες

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ημερήσια παραγωγή	Μηνιαία παραγωγή	Διαθέσιμη ποσότητα σωρευτικά	Σωρευτικές απαιτήσεις	Διαφορά
1	22	34,53	759,66	989,66	450	539,66
2	20	34,53	690,6	1680,26	900	780,26
3	23	34,53	794,19	2474,45	1600	874,45
4	19	34,53	656,07	3130,52	2500	630,52
5	22	34,53	759,66	3890,18	3450	440,18
6	22	34,53	759,66	4649,84	4650	-0,16
7	20	34,53	690,6	5340,44	5150	190,44
8	23	34,53	794,19	6134,63	5400	734,63
9	11	34,53	379,83	6514,46	5650	864,46
10	22	34,53	759,66	7274,12	5800	1474,12
11	22	34,53	759,66	8033,78	6000	2033,78
12	18	34,53	621,54	8655,32	6050	2605,32

Θετικές διαφορές (μεταφέρονται τον επόμενο μήνα ως απόθεμα): 11167,82

Κόστος αποθεματοποίησης (€): 78174,74

Συνολικό κόστος (€): 78174,74

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ζήτηση	Απόθεμα ασφαλείας	Συνολικές απαιτήσεις	Απαιτήσεις παραγωγής ανά μήνα	Δυναμικότητα παραγωγής	Διαφορά
(1)	(2)	(3)	(4)=(3)/2	(5)=(3)+(4)	(6)	(7)=(2)*35	(8)=(7)-(6)
1	22	300	150	450	220	770	550
2	20	400	200	600	450	700	250
3	23	600	300	900	700	805	105
4	19	800	400	1200	900	665	-235
5	22	900	450	1350	950	770	-180
6	22	1100	550	1650	1200	770	-430
7	20	700	350	1050	500	700	200
8	23	400	200	600	250	805	555
9	11	300	150	450	250	385	135
10	22	200	100	300	150	770	620
11	22	200	100	300	200	770	570
12	18	100	50	150	50	630	580

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Επιπλέον απαιτήσεις παραγωγής	Δυνατότητα επιπρόσθ. παραγωγής	Διαφορά
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4)-(3)
1	22	0	550	550
2	20	0	250	250
3	23	0	105	105
4	19	235	133 (=7*19)	-102
5	22	180	154	-26
6	22	430	154	-276

49
250
105
404

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Μηνιαία παραγωγή (κανονική)	Μηνιαία παραγωγή (υπερωρίες)	Διαθέσιμη ποσότητα σωρευτικά	Σωρευτικές απαιτήσεις	Απόθεμα για επόμενο μήνα
1	22	269		499	450	49
2	20	700		1199	900	299
3	23	805		2004	1600	404
4	19	665	133	2802	2500	302
5	22	770	154	3726	3450	276
6	22	770	154	4650	4650	0
7	20	500		5150	5150	0
8	23	250		5400	5400	0
9	11	250		5650	5650	0
10	22	150		5800	5800	0
11	22	200		6000	6000	0
12	18	280		6280	6050	230

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Μηνιαία παραγωγή (κανονική)	Μέση ημερήσια παραγωγή	Μεταβολή ρυθμού
1	22	269	12,23	
2	20	700	35,00	22,77
3	23	805	35,00	0,00
4	19	665	35,00	0,00
5	22	770	35,00	0,00
6	22	770	35,00	0,00
7	20	500	25,00	-10,00
8	23	250	10,87	-14,13
9	11	250	22,73	11,86
10	22	150	6,82	-15,91
11	22	200	9,09	2,27
12	18	280	15,56	6,46

83,41

Κόστος αποθεματοποίησης (€): 10920
Κόστος μεταβολής του ρυθμού παραγωγής(€): 29192,567
Κόστος υπερωριών (€): 35280
Συνολικό κόστος (€): 75393

ΤΕΛΟΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

**ΣΧΕΔΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
ΓΕΝΙΚΑ**

5.1 ΣΧΕΔΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

ΓΕΝΙΚΑ : Το σχέδιο μαθήματος αποτελείται από τρία κυρίως μέρη: τους διδακτικούς στόχους, τη στρατηγική με την οποία θα επιδιωχθεί η επίτευξή τους και την αξιολόγηση με την οποία θα ελεγχθεί η επίτευξη των διδακτικών στόχων.

- Οι διδακτικοί στόχοι προέρχονται από τους σκοπούς του Αναλυτικού Προγράμματος για τη συγκεκριμένη ενότητα. Αναφέρονται ή πρέπει να αναφέρονται στο οδηγό διδασκαλίας. Διατυπώνονται με ρήματα και λέξεις οι οποίες καθιστούν σαφές το επιδιωκόμενο και κατά συνέπεια διευκολύνουν το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του κριτηρίου αξιολόγησης.
- Η διδακτική στρατηγική είναι μια ακολουθία σταδίων των οποίων ο αριθμός μπορεί να αλλάζει και συνήθως είναι 3-7. Σε κάθε στάδιο επιτυγχάνεται ένας ενδιάμεσος στόχος και χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χειρισμοί από τον δάσκαλο και διαφορετικά μαθησιακά έργα. Μαθησιακά έργα είναι πχ η απάντηση σε ερώτηση, η επίλυση προβλήματος, η παρατήρηση ενός πειράματος επίδειξης, η μελέτη μιας παραγράφου και η εξαγωγή της περίληψης, ο σχεδιασμός μιας πειραματικής διάταξης, η πραγματοποίηση ενός απλού πειράματος, η συζήτηση των μαθητών σε ομάδες, κλπ. Οι χειρισμοί μπορεί να είναι η διατύπωση μιας ερώτησης, η παροχή οδηγιών, η διαχείριση ενός διαλόγου μεταξύ μαθητών, η σύντομη ανάπτυξη ενός θέματος, η υποδειγματική σχεδίαση ενός μοντέλου, η εκτέλεση ενός πειράματος επίδειξης, κλπ. Περισσότερα για τις στρατηγικές και τα εργαλεία μπορείτε να βρείτε σε βιβλία διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Στους οδηγούς διδασκαλίας περιλαμβάνεται ή πρέπει να περιλαμβάνεται μια διδακτική στρατηγική για κάθε ενότητα διδασκαλίας. Οι χειρισμοί, όποια και αν είναι η προτεινόμενη στρατηγική πρέπει να υπακούουν στην προτροπή της σύγχρονης Διδακτικής: "δίδαξε λιγότερο για να μπορέσουν οι μαθητές να κάνουν περισσότερα και να μάθουν περισσότερα". Η προτροπή αυτή απηχεί το ότι η μάθηση θεωρείται ενεργητική διαδικασία και το ότι η γνώση δεν μπορεί να μεταδοθεί από το δάσκαλο στους μαθητές.
- Η αξιολόγηση έχει ως αφετηρία τους διδακτικούς στόχους και ελέγχει το πόσο αυτοί επιτεύχθηκαν. Είναι ένα τεστ σύντομης διάρκειας στο οποίο οι διαφόρων τύπων ερωτήσεις, οι ασκήσεις, κλπ ελέγχουν το κατά πόσο επιτεύχθηκαν οι στόχοι. Ανάλογα με το αποτέλεσμα : α) προχωρούμε στο σχεδιασμό της επόμενης διδασκαλίας, β) επανερχόμεθα στο ίδιο μάθημα για επιτευχθούν οι στόχοι που δεν επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικά μαθησιακά έργα, γ) αναθεωρούμε τη διδακτική στρατηγική που ακολουθήσαμε. Το σχέδιο μαθήματος αποτελεί ένα χρήσιμο και απαραίτητο βοήθημα για την άσκηση του σπουδαστή σε όλα τα είδη διδασκαλίας.

5.1.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

- Σχέδιο μαθήματος :

Είναι στην ουσία το 'σκονάκι' του εκπαιδευτικού για να τον βοηθάει σε ότι διδάσκει. Επίσης είναι απαραίτητο να γνωρίζει το σχολείο τι διδάσκουν οι εκπαιδευτικοί στο μάθημα τους καθώς επίσης είναι απαραίτητο σε οποιαδήποτε τυχόν απουσία του εκπαιδευτικού πχ. αρρώστια, να μπορεί να τον αναπληρώσει επάξια κάποιος άλλος εκπαιδευτικός χωρίς να φανεί η απουσία του.

- Μάθημα :

Αναγράφεται πλήρως ο τίτλος του μαθήματος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό κάθε διδασκαλίας (αντικειμενικοί σκοποί του μαθήματος – στάδια).

- Όνομα :

- Τάξη : Έ Τεχνολόγων μηχανολόγων

- Αντικειμενικοί ή εκπαιδευτικοί σκοποί :

Οι αντικειμενικοί σκοποί του μαθήματος και της ωριαίας ενότητας για τη συγκεκριμένη τάξη διατυπώνονται ελεύθερα, πρέπει να μάθει ο μαθητής κάτι καινούργιο που δεν ήξερε.

Κατά τη διατύπωση των αντικειμενικών σκοπών θα πρέπει αυτοί:

- Να καλύπτονται από τον συγκεκριμένο διδακτικό χρόνο.
- Να αξιολογούνται με το κατάλληλο αντικειμενικό κριτήριο αξιολόγησης.
- Να προσφέρονται για την κάλυψη των αναγκών του μαθήματος και της διδακτικής ενότητας

Οι αντικειμενικοί ή εκπαιδευτικοί σκοποί στοχεύουν στην αλλαγή συμπεριφοράς και συγχρόνως θα πρέπει να είναι παρατηρήσιμοι και μετρήσιμοι. Περιλαμβάνουν τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- Τη συμπεριφορά που θα παρουσιάσει ο μαθητής στο τέλος του μαθήματος.
- Τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα εκδηλωθεί αυτή η συμπεριφορά.
- Το κριτήριο ελέγχου της ακρίβειας στην εκτέλεση της εργασίας, δηλαδή το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο γνώσεων και δεξιοτήτων του μαθητή.

Οι αντικειμενικοί σκοποί κάθε μαθήματος – κάθε ωριαίας ενότητας – μπορεί να είναι πάρα πολλοί.

ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τα βοηθήματα περιλαμβάνουν συνήθως 2 κριτήρια : κατά σειρά ευκολίας προσβάσεως και κατά σειρά σπουδαιότητας. Κάθε βοήθημα της βιβλιογραφίας γράφονται όλα τα στοιχεία, όπως: ο τίτλος του βιβλίου, η έκδοση, η σελίδα, η παράγραφος, ο εκδοτικός οίκος κ.λπ. Κάθε βοήθημα μπορεί να καλύπτει μια ή περισσότερες ανάγκες της διδασκαλίας σε ύλη και μέθοδο, όπως για παράδειγμα τεχνικά βιβλία και βιβλία ειδικότητας με σχέδια, κατάλληλη ορολογία, πίνακες, στατιστικές, κανονισμούς, σχεδιαγράμματα, διάφορα τεχνικά περιοδικά, προσωπικές σημειώσεις, βιβλία εφαρμογών κ.λπ.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΟΠΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

Ο εκπαιδευτικός κατασκευάζει, επιλέγει και χρησιμοποιεί για την επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών του μαθήματος τα διάφορα υλικά και εποπτικά μέσα της διδασκαλίας του, όπως πίνακες με έγχρωμες κιμωλίες, αφίσες, εικόνες, φωτογραφίες, γραφοσκόπιο με πολύχρωμες διαφάνειες, φωτοτυπίες που μοιράζονται, διάφορες κατασκευές, μηχανές προβολής ήχου και εικόνας, ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Συνδυασμός όλων των παραπάνω πολυμέσων (multimedia), καθώς και τα ίδια πραγματικά αντικείμενα.

ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

- Προετοιμασία (Διάρκεια.....)

Το στάδιο της προετοιμασίας είναι συνήθως σύντομο σε διάρκεια. Δίνεται περισσότερη προσοχή στη συγκέντρωση του συνόλου της τάξης, με σχολικά ή εξωσχολικά κίνητρα: Καλλιεργείτε η ευχάριστη παρουσίαση της προσωπικότητας του σπουδαστή (εμφάνιση, κίνηση, χειρονομίες, νεύματα, τόνος φωνής) που αποτελούν ισχυρά κίνητρα για την έναρξη της διδασκαλίας. Λαμβάνεται υπόψη η γνώση της ψυχολογικής κατάστασης των μαθητών τη στιγμή της έναρξης της διδασκαλίας (σχολική φόρτιση, εποχή, ημέρα, γεγονότα της ημέρας και χώρος), βοηθούν αποτελεσματικά τον ασκούμενο σπουδαστή να εξοικειωθεί με τις πραγματικές συνθήκες τάξης. Επιλέγει, τέλος, τον κατάλληλο προσωπικό τρόπο επικοινωνίας με τη βοήθεια όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών. Με πιο απλά λόγια προσπαθεί ο δάσκαλος να κερδίσει το μυαλό και την επιθυμία του μαθητή. Για να γίνει αυτό πιο εφικτό μπορεί ο εκπαιδευτικός να γράψει για παράδειγμα τον τίτλο του μαθήματος στον πίνακα αναφέρει ξανά το σκοπό μετά το μάθημα ώστε να μείνουν κάποια πράγματα στο μυαλό του μαθητή. Μπορεί επίσης να τονίσει και τη σημασία όσων ειπώθηκαν που αφορά τον επαγγελματικό τους προσανατολισμό. Τέλος ο εκπαιδευτικός μπορεί να επισημάνει παραδείγματα από την ιστορία και την πραγματικότητα.

- Παρουσίαση (Διάρκεια.....)

Η διάρκεια της παρουσίασης εξαρτάται στοιχεία του μαθήματος. Ο σκοπός του σταδίου της παρουσίασης είναι να εισέλθουν οι μαθητές στο χώρο της διδασκαλίας και να αντιληφθούν τους αντικειμενικούς σκοπούς της ενότητας με τη βοήθεια και προτροπή του μέλλοντα εκπαιδευτικού.

Στο στάδιο αυτό δίνεται η δυνατότητα στο σπουδαστή που θα διδάξει να καθορίσει το μέγεθος και την ποιότητα της διδακτέας ύλης, τις κατάλληλες μεθόδους διδασκαλίας, καθώς και τα κατάλληλα εποπτικά μέσα.

- Ενότητα :

Πρέπει να ανταποκρίνεται στους σκοπούς που έχω αναφέρει.

- Μέθοδοι :

Αναγράφεται ποια διδακτική μέθοδος παρουσιάζει για τη διδασκαλία της συγκεκριμένης διδακτικής ενότητας. Στη θεωρία χρησιμοποιείται η μέθοδος διάλεξης και η μέθοδος ερωτοαπαντήσεων ενώ στο εργαστήριο η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η επίδειξη.

- Μέσα :

Αναγράφονται ποια εποπτικά μέσα θα χρησιμοποιηθούν. Πρέπει με έμφαση να τονιστεί ότι είναι χρήσιμο στο σχέδιο μαθήματος να υπάρχει συσχέτιση και αντιστοιχία μεταξύ περιεχομένου – μεθόδων – μέσων διδασκαλίας.

- Εφαρμογή (Διάρκεια.....)

Στο στάδιο αυτό οι μαθητές στο σύνολό τους βιώνουν, στο μέτρο του δυνατού, τους αντικειμενικούς σκοπούς του μαθήματος. Ο εκπαιδευτικός, στη διάρκεια της διδασκαλίας παρέχει τη δυνατότητα συμμετοχής του συνόλου των μαθητών της τάξης, ώστε να πραγματοποιηθούν οι αντικειμενικοί σκοποί του μαθήματος, με τη βοήθεια των φύλλων εφαρμογής. Με πιο απλά λόγια ζητάω από τους μαθητές τι μάθανε ("από τους σκοπούς") σαν εξέταση με τη βοήθεια πάντα του εκπαιδευτικού. Δίνεται προσοχή στην ανατροφοδότηση των μαθητών, στο συγκεκριμένο, το πραγματικό, το εφαρμόσιμο στοιχείο που προκύπτει ως αποτέλεσμα του σταδίου παρουσίασης και της σχολικής πραγματικότητας.

•Έλεγχος (Διάρκεια.....)

Ο έλεγχος (αξιολόγηση) κάθε δραστηριότητας αποτελεί κάτι το αυτονόητο στην εποχή μας. Ο εκπαιδευτικός που διδάσκει, στη διαδικασία της διδασκαλίας είναι χρήσιμο – και στις μέρες μας απαραίτητο – να αξιολογεί το έργο του, σε κάθε ωριαία διδασκαλία, εφαρμόζοντας αντικειμενικούς τρόπους εξέτασης. Ο έλεγχος δηλαδή αξιολογεί τους μαθητές και τους βαθμολογεί καθώς επίσης αξιολογεί τον διδάσκοντα και τη διδασκαλία του. Στα τεχνολογικά και τεχνικά ιδίως μαθήματα οι τρόποι εξέτασης εντοπίζονται στο πώς κάτι είναι κατασκευασμένο, στο πώς λειτουργεί, πώς συντηρείται, πώς επισκευάζεται, τι έργο επιτελεί κλπ.

. Είναι χρήσιμο να τονίσουμε ότι ο χρόνος συμπλήρωσης από τους μαθητές των διαφόρων κριτηρίων αξιολόγησης (αντικειμενικά τεστ επίδοσης) είναι μικρότερος σε διάρκεια από τον αντίστοιχο χρόνο ελέγχου του σχεδίου μαθήματος.

•Ανακεφαλαίωση (Διάρκεια.....)

Το στάδιο της ανακεφαλαίωσης είναι συνήθως σύντομο σε διάρκεια και ευχάριστο για τους μαθητές. Πρέπει να αποφεύγεται η στερεότυπη επανάληψη, βήμα προς βήμα, όλου του μαθήματος κατά τη διδασκαλία. Και στο στάδιο αυτό ο εκπαιδευτικός που διδάσκει καλείται να επιλέξει έναν αποτελεσματικό τρόπο ανακεφαλαίωσης, όπως για παράδειγμα, ένα γεγονός, μια εικόνα, ένα σχήμα, ένα παράδειγμα, ένα οργανόγραμμα, μια στατιστική, μια σωστή απάντηση των μαθητών σε κάποιο καίριο ερώτημα αποτελούν μερικούς ευχάριστους και αποτελεσματικούς τρόπους ανακεφαλαίωσης

5.2.ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΛΛΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

5.2.1. Τα φύλλα διδασκαλίας και οι εφαρμογές τους- Έννοια και είδη φύλλων διδασκαλίας

Ως φύλλα διδασκαλίας χαρακτηρίζονται τα γραπτά στοιχεία, που ετοιμάζονται από έναν εκπαιδευτικό ΕΜ για να διανεμηθούν στους μαθητές του, με κύριο σκοπό να διευκολυνθούν η διδασκαλία και η μάθηση. Με την ευρύτερη έννοια, θα μπορούσαμε ίσως να πούμε γενικά, ότι φύλλα διδασκαλίας είναι όλα τα γραπτά στοιχεία, που διανέμονται στους μαθητές για συμπλήρωση του διδακτικού τους βιβλίου, ώστε να βοηθηθούν κατά τη μελέτη και την άσκηση τους σε καθένα ΕΜ, δηλαδή συμπεριλαμβανομένων και των διάφορων τεχνικών -επαγγελματικών εντύπων, φυλλαδίων, προδιαγραφών, κανονισμών κ.λ.π. Πραγματικά, πολλά από τα γραπτά αυτά στοιχεία γράφονται και διατίθενται στην κατανάλωση για να χρησιμοποιηθούν ως διδακτικά βοηθήματα, ενώ άλλα χρησιμεύουν για τον ίδιο σκοπό, έστω και αν δεν είναι αυτός ο βασικός προορισμός τους. Διευκρινίζεται πάντως, ότι από το ευρύτατο αυτό φάσμα των πάσης φύσεως γραπτών στοιχείων, που βρίσκονται στη διάθεση των μαθητών, ως φύλλα διδασκαλίας χαρακτηρίζονται κατωτέρω μόνον εκείνα, που ετοιμάζονται από ένα συγκεκριμένο εκπαιδευτικό και διανέμονται στους μαθητές μιας συγκεκριμένης τάξης, για να καλύψουν συγκεκριμένες διδακτικές ανάγκες ενός συγκεκριμένου ΕΜ. Έτσι, τα φύλλα διδασκαλίας συμπληρώνουν ουσιαστικά όλα τα άλλα διαθέσιμα ως προς το ΕΜ υπόλοιπα, βοηθήματα. Επομένως η προετοιμασία τους γίνεται από τον ίδιο τον εκπαιδευτικό ΕΜ και επιβάλλεται κυρίως στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ή δεν κυκλοφορούν πλήρη βοηθήματα, τα οποία να ικανοποιούν τις διδακτικές ανάγκες του ΕΜ. Με βάση το περιεχόμενο και το σκοπό που εξυπηρετούν, μπορούμε να διακρίνουμε τα εξής τέσσερα είδη φύλλων διδασκαλίας: 1) Φύλλα Πληροφοριών, 2) Φύλλα Πράξεων, 3) Φύλλα Έργων, 4) Φύλλα Ανάθεσης Εργασιών

Τα φύλλα διδασκαλίας είναι γραπτά στοιχεία που ετοιμάζονται από έναν εκπαιδευτικό ΕΜ για να διανεμηθούν στους μαθητές του, με κύριο στόχο να διευκολυνθούν η διδασκαλία και η μάθηση. Συνήθεις μορφές φύλλων διδασκαλίας είναι τα φύλλα πληροφοριών, τα φύλλα πράξεων, τα φύλλα έργων και τα φύλλα ανάθεσης εργασιών. Γενικοί στόχοι των φύλλων διδασκαλίας είναι η συμπλήρωση των διδακτικών βοηθημάτων, η καθοδήγηση κατά τις εφαρμογές, η ανάπτυξη πρωτοβουλίας κατά την άσκηση, η εξατομίκευση της διδασκαλίας, η αξιολόγηση των μαθητών και της διδασκαλίας, η χρησιμοποίηση μετά την αποφοίτηση και η διεύρυνση του περιεχόμενου του μαθήματος. Για την καλύτερη αξιοποίηση των φύλλων διδασκαλίας πρέπει να γνωρίζουμε ποιά πλεονεκτήματα και ποιά μειονεκτήματα μπορεί να παρουσιασθούν κατά τη χρησιμοποίησή τους σε καθεμιά συγκεκριμένη περίπτωση. Κατά την πλήρη οργάνωση ενός ΕΜ, καθένα από τα φύλλα διδασκαλίας έχει αφετηρία μια αντίστοιχη καρτέλα, προς την οποία και συσχετίζεται.

5.2.2. ΦΥΛΛΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

• Τα φύλλα πληροφοριών μπορεί να έχουν κατά περίπτωση έναν από τους εξής στόχους: συμπλήρωση του σχολικού βιβλίου, επισήμανση των κύριων σημείων μιας ενότητας, ενημέρωση των μαθητών σχετικά με το περιεχόμενο ολόκληρου του μαθήματος και διεύρυνση του περιεχόμενου του μαθήματος. Μια τυποποιημένη μορφή φύλλων πληροφοριών περιλαμβάνει στοιχεία ως προς το σχολείο και το ΕΜ, τίτλο και αριθμό του φύλλου, σκοπούς, εισαγωγικές πληροφορίες, βοηθήματα και κυρίως περιεχόμενο. Η τυποποίηση της μορφής ενός φύλλου πληροφοριών, όπως άλλωστε και των υπόλοιπων φύλλων διδασκαλίας μπορεί να γίνει από καθέναν εκπαιδευτικό ΕΜ κατά διαφορετικό τρόπο. Επισημαίνεται πάντως ότι η οποιαδήποτε τυποποίηση διευκολύνει και τον εκπαιδευτικό ΕΜ κατά την προετοιμασία των διαφόρων φύλλων και τους μαθητές κατά τη χρησιμοποίησή τους, ώστε να μπορούν να τα αξιοποιούν καλύτερα στη μελέτη τους.

(ΟΝΟΜΑ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)
(ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)
(ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ)

• **Φύλλο Πληροφοριών 'Αριθ. (ΤΙΤΛΟΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

• **ΣΚΟΠΟΙ**

• 3δ

.....
.....

• 3δ.....

•

• **ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ**

• 3δ... ..

• 3δ.....

•

• **ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ**

3δ.....

.....

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

3δ.....

•

• **ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Όσα στοιχεία βρίσκονται στο ανωτέρω υπόδειγμα μέσα σε παρένθεση θα αντικατασταθούν με τα πραγματικά στοιχεία κάθε συγκεκριμένου φύλλου, που θα γραφούν -χωρίς παρένθεση - στις αντίστοιχες θέσεις.

5.2.3. Συμπλήρωση φύλλου πληροφοριών

Η συμπλήρωση και η προετοιμασία ενός φύλλου πληροφοριών γίνεται προοδευτικά ως προς κάθε τμήμα του φύλλου, σύμφωνα με τις γενικές υποδείξεις που αναφέρονται κατωτέρω.

- **Όνομα σχολείου:** Αναγράφεται το επίσημο όνομα του σχολείου, όπως είναι γραμμένο στην προμετωπίδα των αποστελλομένων εγγράφων ή στην επίσημη σφραγίδα του σχολείου.
- **Διεύθυνση σχολείου:** Αναγράφεται η επίσημη ταχυδρομική διεύθυνση του σχολείου (οδός - αριθμός - πόλη).
- **Τίτλος μαθήματος:** Αναγράφεται ο τίτλος του ΕΜ, όπως φέρεται στο επίσημο ωρολόγιο και αναλυτικό πρόγραμμα, σύμφωνα με τα οποία διδάσκεται το αντίστοιχο ΕΜ.
- **Αριθμός φύλλου πληροφοριών:** Αν το ΕΜ έχει οργανωθεί με σύστημα καρτελών μπορεί να αναγραφεί ο αριθμός της αντίστοιχης καρτέλας πληροφοριών . Αλλά και όταν δεν έχουν ετοιμασθεί καρτέλες είναι σκόπιμο να γίνει μια αντίστοιχη κωδικοποιημένη αρίθμηση των φύλλων, ώστε να είναι εύκολη η διάκριση και η ταξινόμηση τους. Σημειώνεται πάντως, ότι η αρίθμηση γίνεται με κάποιο σύστημα κωδικοποίησης, που θα εφαρμόσει ο εκπαιδευτικός ΕΜ και όχι με τη σειρά διανομής των φύλλων, τούτο δε πρέπει να διευκρινισθεί στους μαθητές από την αρχή, για να μην υπάρξουν παρανοήσεις.
- **Τίτλος ενότητας πληροφοριών:** Αναγράφεται συνήθως ο τίτλος της αντίστοιχης ενότητας, όπως βρίσκεται στο περίγραμμα του ΕΜ), ή στην αντίστοιχη καρτέλα πληροφοριών. Στις σπάνιες περιπτώσεις, που το ίδιο φύλλο πληροφοριών καλύπτει το περιεχόμενο περισσοτέρων ενοτήτων, διαμορφώνεται αντίστοιχα ο τίτλος του φύλλου, ώστε να ανταποκρίνεται στο πραγματικό του περιεχόμενο.
- **Σκοποί:** Αναγράφονται οι συγκεκριμένοι αντικειμενικοί σκοποί του φύλλου, που είναι ίδιοι ή παράλληλοι με τους αντικειμενικούς σκοπούς της αντίστοιχης ενότητας πληροφοριών. Υπενθυμίζεται, ότι οι αντικειμενικοί σκοποί πρέπει να συγκεκριμενοποιούν τη μάθηση που αναμένεται να επέλθει από τη μελέτη του φύλλου, δηλαδή την αναμενόμενη μεταβολή συμπεριφοράς των μαθητών. Ως προς τη διατύπωση των αντικειμενικών σκοπών στα φύλλα πληροφοριών ισχύουν γενικά τα αναφερόμενα, για την αναγραφή των ΑΣΔ στο σχέδιο μαθήματος. Επειδή πάντως το φύλλο απευθύνεται στους μαθητές, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται δεύτερο πληθυντικό πρόσωπο ("θα γίνετε ικανοί να"). Αν υπάρχουν περισσότεροι σκοποί στο ίδιο φύλλο, καθένας από αυτούς γράφεται σε διαφορετική παράγραφο.

Εισαγωγικές πληροφορίες: Έχουν σκοπό να προετοιμάσουν κατάλληλα το μαθητή και να διεγείρουν το ενδιαφέρον του, για τη μελέτη του περιεχόμενου του φύλλου. Ως εισαγωγικές πληροφορίες συνήθως αναγράφονται σύντομα, αφ' ενός οι χαρακτηριστικές περιπτώσεις επαγγελματικών εφαρμογών

- των γνώσεων που περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο φύλλο και αφ' ετέρου οι γνώσεις που προαπαιτούνται για την κατανόηση του περιεχόμενου του φύλλου, με υπόδειξη αναδρομών που πρέπει να γίνουν σε προηγούμενα φύλλα ή στο σχολικό εγχειρίδιο για κάλυψη των κενών που μπορεί να υπάρχουν.
- **Βοηθήματα:** Αναγράφονται οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί από τον εκπαιδευτικό ΕΜ για τη συλλογή και τη συγκρότηση του περιεχόμενου του φύλλου. Αν οι πηγές που έχει χρησιμοποιήσει ο εκπαιδευτικός ΕΜ είναι πολλές στο φύλλο αναγράφονται ως βοηθήματα οι βασικότερες και περισσότερο προσιτές στους μαθητές. Η παραπομπή στα βοηθήματα πρέπει να είναι πλήρης, δηλαδή πρέπει να δίδονται το όνομα του συγγραφέα, ο τίτλος του βοηθήματος και οπωσδήποτε οι συγκεκριμένες σελίδες στις οποίες πρέπει να ανατρέξει ο μαθητής. Συμπληρωματικά, εφ' όσον απαιτούνται για πληρέστερη διευκρίνιση, μπορεί να δοθούν ο εκδότης, η χρονολογία και ο τόπος έκδοσης, καθώς και τυχόν άλλα στοιχεία που απαιτούνται σε ειδικές περιπτώσεις.
- **Περιεχόμενο:** Το περιεχόμενο αποτελεί το κυρίως τμήμα του φύλλου πληροφοριών, τόσο από πλευράς σημασίας, όσο και από πλευράς εκτάσεως που καταλαμβάνει, σε σχέση με τα άλλα τμήματα του. Επισημαίνεται ότι το περιεχόμενο του φύλλου πληροφοριών πρέπει να ανταποκρίνεται στο περιεχόμενο διδασκαλίας της αντίστοιχης ενότητας πληροφοριών στην τάξη και να είναι σύμφωνο με τους σκοπούς, που αναγράφονται στην αρχή του φύλλου.

5.3.1. ΦΥΛΛΑ ΠΡΑΞΕΩΝ

Ο γενικός στόχος των φύλλων πράξεων είναι η καθοδήγηση των μαθητών κατά την άσκηση τους στην εκτέλεση αντίστοιχων προς τις πράξεις δεξιοτήτων, ενώ παράλληλα μπορεί να επιτυγχάνεται και ένας από τους εξής στόχους: εξατομίκευση της άσκησης, ανάπτυξη πρωτοβουλίας κατά την άσκηση, επαγγελματική χρήση και εξειδίκευση σε ορισμένες δεξιότητες. Μια τυποποιημένη μορφή φύλλων πράξεων περιλαμβάνει στοιχεία ως προς το σχολείο και το ΕΜ, τίτλο και αριθμό του φύλλου, σκοπούς, εισαγωγικές πληροφορίες, βοηθήματα, εργαλεία και μηχανήματα απαιτούμενα κατά την εκτέλεση της πράξης και πορεία που πρέπει να ακολουθηθεί για την εκτέλεση της πράξης. Ενίοτε αναγράφονται επίσης κανόνες ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται και σημεία ελέγχου σε ενδιάμεσες βαθμίδες εκτέλεσης της πράξης, για να επιβεβαιώνεται από τον εκπαιδευτικό ΕΜ που παρακολουθεί την άσκηση, ότι δεν υπάρχουν ουσιώδεις αποκλίσεις ως προς την κανονική πορεία.

	ΟΝΟΜΑΣΧΟΛΕΙΟΥ: ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΕΙΟΥ: ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: Φύλλο Πράξης Αριθμός: ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΑΞΗΣ:
ΣΚΟΠΟΙ	
3δ .....	.....
3δ .....	.....
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	
3δ .....	.....
3δ .....	.....
ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ	
3δ .....	.....
3δ .....	.....
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ	
3δ .....	.....
3δ .....	.....
ΠΟΡΕΙΑ	
3δ .....	.....
3δ .....	.....

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Όσα στοιχεία βρίσκονται στο ανωτέρω υπόδειγμα μέσα σε παρένθεση θα αντικατασταθούν με τα πραγματικά στοιχεία κάθε συγκεκριμένου φύλλου, που θα γραφούν -χωρίς παρένθεση - στις αντίστοιχες θέσεις.

5.3.2. Συμπλήρωση φύλλου πράξης

Η συμπλήρωση και η προετοιμασία του φύλλου πράξης γίνεται προοδευτικά, ως προς κάθε τμήμα του φύλλου, σύμφωνα με τις γενικές υποδείξεις που αναφέρονται κατωτέρω

- **Όνομα σχολείου:** Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν.
- **Διεύθυνση σχολείου:** Ομοίως σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν .
- **Τίτλος μαθήματος:** Ομοίως σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν.
- **Αριθμός φύλλου πράξης:** Αν το ΕΜ έχει οργανωθεί με σύστημα καρτελών, θα αναγραφεί ο αριθμός της αντίστοιχης καρτέλας. Αλλά και όταν δεν έχουν ετοιμασθεί καρτέλες είναι σκόπιμο να γίνει μια κωδικοποιημένη αρίθμηση των φύλλων, ώστε να είναι εύκολη η διάκριση και η ταξινόμηση τους. Σημειώνεται πάντως, ότι η αρίθμηση γίνεται με κάποιο σύστημα κωδικοποίησης που θα εφαρμόσει ο εκπαιδευτικός ΕΜ και όχι με τη σειρά διανομής των φύλλων, τούτο δε πρέπει να διευκρινισθεί στους μαθητές από την αρχή, για να μην υπάρξουν παρανοήσεις.
- **Τίτλος πράξης:** Αναγράφεται συνήθως ο τίτλος της πράξης, όπως βρίσκεται στο περίγραμμα του ΕΜ ή στην αντίστοιχη καρτέλα πράξης.
- **Σκοποί:** Αναγράφονται οι συγκεκριμένοι αντικειμενικοί σκοποί του φύλλου, που είναι ίδιοι ή παράλληλοι με τους αντικειμενικούς σκοπούς της αντίστοιχης πράξης. Υπενθυμίζεται ότι οι αντικειμενικοί σκοποί πρέπει να συγκεκριμενοποιούν τη μάθηση που αναμένεται να επέλθει από τη χρησιμοποίηση του φύλλου, δηλαδή την αναμενόμενη μεταβολή συμπεριφοράς των μαθητών. Ως προς τη διατύπωση των αντικειμενικών σκοπών στα φύλλα πράξεων ισχύουν γενικά τα αναφερόμενα, για τους σκοπούς που αναγράφονται στα φύλλα πληροφοριών.
- **Εισαγωγικές πληροφορίες:** Ισχύουν σε γενικές γραμμές όσα αναφέρθηκαν, με κατάλληλη προσαρμογή τους για τις πράξεις.
- **Βοηθήματα:** Ισχύουν σε γενικές γραμμές όσα αναφέρθηκαν, με κατάλληλα προσαρμογή τους για τις πράξεις.
- **Εργαλεία και μηχανήματα:** Αναγράφονται τα ονόματα των εργαλείων και των μηχανημάτων που χρειάζεται ο μαθητής, για να εκτελέσει τις δεξιότητες που περιγράφονται στο αντίστοιχο φύλλο πράξης. Τα εργαλεία και τα μηχανήματα είναι ήδη γραμμένα στην πίσω όψη της αντίστοιχης καρτέλας πράξης. Αν απαιτείται για ορισμένα μηχανήματα και εργαλεία, αναφέρονται, εκτός από την ονομασία τους, και τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Για ορισμένες ειδικότητες, αντί των όρων "εργαλεία και μηχανήματα" μπορεί να κριθούν καταλληλότεροι οι όροι "συσκευές" ή "όργανα" (π.χ. για ορισμένες δεξιότητες των παραϊατρικών επαγγελμάτων ή της χημικής τεχνολογίας). Εξ άλλου μερικοί εκπαιδευτικοί ΕΜ θεωρούν σκόπιμο να αναγράφονται στο φύλλο πράξης και τα απαιτούμενα υλικά, έστω και αν τα υλικά αναφέρονται επίσης και στα αντίστοιχα φύλλα έργων, στα οποία γίνεται η χρησιμοποίηση των επί μέρους πράξεων. Η

αναγραφή των υλικών κρίνεται σκόπιμη κυρίως στην περίπτωση, κατά την οποία οι μαθητές θα ασκηθούν στην πράξη αυτή μεμονωμένα και όχι κατά την εκτέλεση ολοκληρωμένων εκπαιδευτικών έργων.

- **Πορεία:** Η πορεία αποτελείτο κυρίως τμήμα του φύλλου πράξης τόσο από πλευράς σημασίας, όσο και από πλευράς έκτασης που καταλαμβάνει σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα του φύλλου. Καταρχήν η πορεία του φύλλου πράξης πρέπει να είναι σύμφωνη με την επίδειξη που έγινε από τον εκπαιδευτικό ΕΜ κατά την παρουσίαση της αντίστοιχης πράξης και να ανταποκρίνεται στους σκοπούς, που αναγράφονται στην αρχή του φύλλου. Η πορεία στο φύλλο πράξης πρέπει να περιγράφεται με σαφήνεια, ακρίβεια και συντομία, σε γλώσσα ανάλογη με το γλωσσικό επίπεδο των μαθητών. Η περιγραφή της πορείας σε ένα φύλλο πράξης γίνεται με ανάλυση στις επί μέρους βαθμίδες, στις οποίες διασπάται η αντίστοιχη επαγγελματική δεξιότητα. Κάθε βαθμίδα της πράξης γράφεται σε διαφορετική παράγραφο, όλες δε οι βαθμίδες αριθμούνται κατά τη σειρά εκτέλεσης τους

5.4.1. ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το φύλλο ελέγχου είναι το test που βάζει ο εκπαιδευτικός ώστε να μπορεί να αξιολογήσει τους μαθητές του αλλά και να αξιολογηθεί ο ίδιος. Ένα test ελέγχου μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής :

- 1.Ανάπτυξης
- 2.Συμπλήρωσης
- 3.Σωστού – Λάθους
- 4.Πολλαπλής Εκλογής
- 5.Αντιστοίχισης

5.4.2.Κατασκευή φύλλου ελέγχου :

ΜΑΘΗΜΑ:

ΕΝΟΤΗΤΑ:

ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ Νο

Χρόνος εξέτασης

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

Ερώτημα 1: Να συμπληρωθούν τα παρακάτω κενά:

Δεδομένα:

Ερώτημα 2: Να συμπληρωθεί η σωστή απάντηση:

ΕΡΩΤΗΣΗ :

3 Πιθανές απαντήσεις.

A :

B :

Γ :

Ερώτημα 3: Αντιστοιχίστε τα αποτελέσματα που βρίσκονται στη **στήλη Α** με τη σωστή απάντηση της **στήλης Β**

ΣΤΗΛΗ Α

a)

c)

b)

ΣΤΗΛΗ Β

1)

2)

3)

.....
Απόκομμα:

Όνοματεπώνυμο:

Α.Μ.:

Ερώτημα 1:

Ερώτημα 2:

Ερώτημα 3:

5.5.1. ΦΥΛΛΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Τα φύλλα ανάθεσης εργασιών χρησιμοποιούνται κυρίως κατά τη διδασκαλία των θεωρητικών ΕΜ. Οι ανατιθέμενες εργασίες μπορεί να αφορούν το διδακτικό περιεχόμενο, είτε μιας μόνο ενότητας, είτε μεγάλου μέρους ή ακόμη και ολόκληρου του περιεχόμενου του ΕΜ. Υπάρχει ποικιλία ανατιθέμενων εργασιών, όπως είναι: επίλυση προβλημάτων, προγραμματισμός εκτέλεσης εργαστηριακών εφαρμογών και πειραμάτων, συλλογή τεχνικών-επαγγελματικών στοιχείων, σχεδίαση αντικειμένων υπό κλίμακα, γραφικές απεικονίσεις αλληλεξάρτησης στοιχείων, απαντήσεις σε μια σειρά ερωτήσεων κ.ο.κ. Μια τυποποιημένη μορφή φύλλων ανάθεσης εργασιών περιλαμβάνει στοιχεία ως προς το σχολείο και το ΕΜ, τίτλο και αριθμό φύλλου, οδηγίες ως προς τον τρόπο που θα εργασθεί ο μαθητής και ως προς τη μορφή που θα έχει η εργασία, πλήρη αποσαφήνιση της ανατιθέμενης εργασίας και καθορισμό της ημερομηνίας παράδοσης.

(ΟΝΟΜΑ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)

(ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)

(ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ)

Φύλλο Αναθέσεως Εργασίας 'Αριθμός..... (ΤΙΤΛΟΣ ΦΥΛΛΟΥ)

ΟΔΗΓΙΕΣ

3δ

3δ.....

3δ.....

3δ.....

ΑΝΑΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

3δ.....

3δ.....

3δ. Ημερομηνία Παράδοσης.....

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Όσα στοιχεία βρίσκονται στο ανωτέρω υπόδειγμα μέσα σε παρένθεση θα αντικατασταθούν με τα πραγματικά στοιχεία κάθε συγκεκριμένου φύλλου, που θα γραφούν -χωρίς παρένθεση - στις αντίστοιχες θέσεις.

5.5.2. Συμπλήρωση φύλλου ανάθεσης εργασίας

Η συμπλήρωση και η προετοιμασία ενός φύλλου ανάθεσης εργασίας γίνεται προοδευτικά, ως προς κάθε τμήμα του φύλλου, σύμφωνα με τις γενικές υποδείξεις που γίνονται κατωτέρω.

- **Όνομα σχολείου:** Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν
- **Διεύθυνση σχολείου:** Ομοίως σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν.
- **Αριθμός φύλλου ανάθεσης εργασίας:** Η αρίθμηση των φύλλων ανάθεσης εργασιών γίνεται σύμφωνα με κάποιο σύστημα κωδικοποίησης. Η κωδικοποιημένη αρίθμηση μπορεί να γίνεται, είτε με συσχετισμό προς τους αριθμούς των καρτελών πράξεων και πληροφοριών, των οποίων το περιεχόμενο αφορά η εργασία, είτε σε συσχετισμό προς το είδος των ανατιθέμενων εργασιών (χωριστή αρίθμηση για προβλήματα, για συλλογή τεχνικών - επαγγελματικών στοιχείων, για εκτέλεση πειραμάτων, για σχεδιαστικές εργασίες κ.λ.π., με σχετική συμβολική ένδειξη πριν από κάθε αριθμό, π.χ. ΠΡ για τα προβλήματα, Σ για τη συλλογή στοιχείων, ΠΕΙ για τα πειράματα, ΣΧ για τα σχέδια). Η κωδικοποιημένη αρίθμηση των φύλλων ανάθεσης εργασιών επιλέγεται κατά περίπτωση από τον εκπαιδευτικό ΕΜ και γίνεται με κύριο σκοπό να διευκολυνθεί η ταξινόμηση των φύλλων. Αυτό πρέπει να διευκρινισθεί στους μαθητές από την αρχή, για να μην υπάρξουν παρανοήσεις.
- **Τίτλος φύλλου:** Ο τίτλος τους φύλλου ανάθεσης εργασίας πρέπει να είναι σύντομος και περιεκτικός, ανάλογα με το είδος της εργασίας και την έκταση της διδακτέας ύλης που καλύπτεται με κάθε φύλλο. Συγκεκριμένα στον τίτλο του φύλλου αναφέρεται συνήθως, αφ'ενός μεν το είδος της εργασίας που ανατίθεται (πρόβλημα, πείραμα, συλλογή στοιχείων, σχεδίαση, γραφική απεικόνιση κ.λ.π.), αφ' ετέρου δε ο τίτλος της σχετικής ενότητας ή, αν το ίδιο φύλλο αναφέρεται σε περισσότερες ενότητες, ένας τίτλος που να εκφράζει το περιεχόμενο όλων των συναφών ενοτήτων. Στα πλαίσια λοιπόν των ανωτέρω υποδείξεων ο εκπαιδευτικός ΕΜ μπορεί να επιλέξει τον κατά την κρίση του καταλληλότερο τίτλο του φύλλου ανάθεσης εργασίας.
- **Οδηγίες:** Στη θέση αυτή του φύλλου αναγράφονται οι οδηγίες που παρέχονται στους μαθητές για να βοηθηθούν στην εκπόνηση της εργασίας. Οι οδηγίες πρέπει να είναι τόσο συγκεκριμένες όσο χρειάζεται για να ολοκληρωθεί από όλους η εργασία σωστά, αλλά αρκετά γενικές, χωρίς πολλές λεπτομέρειες, ώστε οι μαθητές να αυτενεργούν και να αναπτύσσουν πρωτοβουλία στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής στοιχεία, που αναγράφονται στη θέση αυτή του φύλλου, για να καθοδηγήσουν κατάλληλα τους μαθητές:

- (i) Σκοπιμότητα της ανάθεσης της εργασίας με έμφαση στη σημασία που έχει η εκπόνηση της από τους μαθητές, για την εκμάθηση συγκεκριμένων γνώσεων και την απόκτηση συγκεκριμένων δεξιοτήτων. Δηλαδή παρέχονται κατάλληλα κίνητρα για την εκπόνηση της εργασίας.

- (ii) Παραπομπές, για την ανεύρεση από τους μαθητές και τη μελέτη στοιχείων, που είναι απαραίτητα στην εκπόνηση της εργασίας. Οι παραπομπές γίνονται σε μνημόνευση των πηγών και συμπληρώνεται με σχετική καθοδήγηση, ως προς το τρόπο που θα χρησιμοποιηθούν οι πηγές αυτές.
- (iii) Υποδείξεις στους μαθητές, για την πορεία που θα ακολουθηθεί και για την τελική παρουσίαση της έτοιμης εργασίας. Ως προς την πορεία υπενθυμίζεται αυτό που αναφέρθηκε πιο πάνω, ότι πρέπει να καθοδηγούνται οι μαθητές, όπου πραγματικά χρειάζονται βοήθεια, χωρίς όμως να περιορίζεται η αυτενέργεια και η ανάπτυξη πρωτοβουλίας. Ως προς την παρουσίαση μπορούν να γίνουν υποδείξεις για την τελική μορφή της εργασίας, για την τήρηση ορισμένων κανονισμών ή ορισμένων ανοχών, για τη χρησιμοποίηση ορισμένου είδους χαρτιού όπου θα γραφεί η εργασία, για τη χρησιμοποίηση σχημάτων και με ποια κλίμακα σχεδίασεως, για την έκταση που πρέπει να έχει η εργασία και γενικά για κάθε στοιχείο, που κρίνει ο εκπαιδευτικός ΕΜ ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη από όλους τους μαθητές κατά την εκπόνηση της εργασίας τους.

Επίσης, κατά την κρίση του εκπαιδευτικού ΕΜ, μπορεί να χωρισθεί το μέρος αυτό των οδηγιών του φύλλου ανάθεσης εργασίας σε επί μέρους τμήματα, καθένα από τα οποία θα διευκρινίζει χωριστά τα σημεία που προαναφέρθηκαν.

- **Ανάθεση εργασίας:** Περιγράφεται με απλότητα, σαφήνεια και συντομία, ποια ακριβώς είναι η εργασία που ανατίθεται και τι ακριβώς πρέπει να κάνουν οι μαθητές. Για το μέρος αυτό του φύλλου δεν δίδονται περισσότερες λεπτομέρειες, αφού, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει μεγάλη ποικιλία μορφών με τις οποίες μπορούν να ανατεθούν οι διάφορες εργασίες. Η πλούσια διδακτική πείρα βοηθάει σημαντικά τον εκπαιδευτικό ΕΜ στο να περιγράφει την ανάθεση της εργασίας με τρόπο απλό και κατανοητό από τους μαθητές.
- **Ημερομηνία παράδοσης:** Είναι σκόπιμο να αναγράφεται, ώστε να δημιουργείται μια δέσμευση και μια έγκαιρη δραστηριοποίηση των μαθητών για την εκπόνηση της εργασίας. Κριτήριο καθορισμού της ημερομηνίας παράδοσης αποτελεί η εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για την εκπόνηση της εργασίας, σε συσχετισμό με το χρονικό προγραμματισμό διδασκαλίας του περιεχόμενου των συναφών ενοτήτων. Πάντως πρέπει να υπάρχει ελαστικότητα, ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα, γιατί εκείνο που κυρίως έχει σημασία είναι η εκπόνηση της εργασίας και όχι η τήρηση της προθεσμίας.

Τέλος σημειώνεται ότι, ως προς την αξιοποίηση των φύλλων ανάθεσης εργασιών, ισχύουν σε γενικές γραμμές όσα αναφέρθηκαν για την αξιοποίηση των φύλλων έργων, με εξαίρεση τα όσα αναφέρονται ως προς τα έργα που προορίζονται για επαγγελματική χρήση.

5.6.1. ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΩΝ

Τα φύλλα έργων αποσαφηνίζουν τα δεδομένα και τα ζητούμενα καθενός ανατιθέμενου έργου. Ανάλογα με τον ειδικό στόχο που έχει καθένα φύλλο διακρίνουμε φύλλα έργων μάθησης, φύλλα έργων για ατομική διδασκαλία και φύλλα έργων για επαγγελματική χρήση. Μια τυποποιημένη μορφή φύλλων έργων περιλαμβάνει στοιχεία ως προς το σχολείο και το ΕΜ, τίτλο και αριθμό του φύλλου, αποσαφήνιση των στοιχείων του έργου με τη βοήθεια σκίτσων, εικόνων, περιγραφικών φράσεων, αριθμητικών δεδομένων κ.ο.κ., απαιτούμενα υλικά για την εκτέλεση του έργου και σύντομη καταγραφή της πορείας που θα ακολουθηθεί για την εκτέλεση του έργου.

Ειδικές χρήσεις των φύλλων έργων.

Τα φύλλα έργων αποσαφηνίζουν τα δεδομένα και τα ζητούμενα κάθε έργου που ανατίθεται στους μαθητές, επί πλέον δε τους καθοδηγούν κατά την εκτέλεση του. Η καθοδήγηση που πρέπει να παρέχεται με ένα φύλλο έργου εξαρτάται από την εμπειρία και τις εν γένει δυνατότητες των μαθητών κατά το χρόνο που θα το χρησιμοποιήσουν. Δηλαδή στα φύλλα έργων που δίδονται στους πιο προχωρημένους μαθητές περιέχονται λιγότερες οδηγίες, αφού μπορούν μόνοι τους να αναπτύξουν πρωτοβουλία. Ανάλογα με τις ειδικές χρήσεις των φύλλων έργων, διακρίνουμε τις ακόλουθες τρεις περιπτώσεις.

- α) Φύλλα έργων μάθησης. Δίδονται σε όλους τους μαθητές, για καθένα από τα έργα, που έχει προγραμματίσει να αναθέσει ο εκπαιδευτικός ΕΜ, σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδής και εφαρμόζει. Αυτά τα φύλλα αφορούν τα έργα, που είναι φορείς διδασκαλίας νέων πράξεων και πληροφοριών, πρέπει δε να εκτελεστούν από όλους τους μαθητές. Όσα αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους εφαρμόζονται κυρίως κατά την προετοιμασία των φύλλων έργων μάθησης, που είναι τα περισσότερα και έχουν τη μεγαλύτερη σημασία στην οργάνωση του μαθήματος και στην πραγματοποίηση της διδασκαλίας.
- β) Φύλλα έργων για ατομική διδασκαλία. Όταν τα έργα μάθησης εκτελούνται στο σχολείο, συχνά ο εκπαιδευτικός ΕΜ αντιμετωπίζει το πρόβλημα, τι θα κάνει με μερικούς μαθητές, οι οποίοι ολοκληρώνουν γρήγορα το έργο που τους έχει ανατεθεί, ενώ οι υπόλοιποι μαθητές δεν έχουν ακόμη τελειώσει. Μια σωστή από διδακτική άποψη λύση είναι η ανάθεση στους μαθητές αυτούς πιο προχωρημένων και εξειδικευμένων έργων, που θα τους βοηθήσουν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες τους και το χρόνο τους. Για να μην αποσπασθεί ο εκπαιδευτικός ΕΜ από την καθοδήγηση και την παρακολούθηση των υπόλοιπων μαθητών, η ανάθεση μπορεί να γίνει με φύλλα έργων για ατομική διδασκαλία, που δίδονται σε συνδυασμό με φύλλα πράξεων για εξειδίκευση σε ορισμένες δεξιότητες.
- γ) Φύλλα έργων για επαγγελματική χρήση. Εκτός από τα έργα που εκτελούνται στο σχολείο, οι μαθητές μετά την αποφοίτησή τους θα συναντήσουν πλήθος άλλων επαγγελματικών έργων, κατά την εκτέλεση των οποίων θα ήταν σκόπιμο να καθοδηγηθούν, ως προς την πορεία που πρέπει να ακολουθήσουν. Με τη διανομή

ενός αριθμού φύλλων για τα πιο χαρακτηριστικά και συνηθισμένα επαγγελματικά έργα που θα συναντήσουν, οι μαθητές θα έχουν σχηματίσει ένα αρχείο, στο οποίο μπορούν να ανατρέχουν, όταν ως επαγγελματίες πρέπει να εκτελέσουν ένα αντίστοιχο έργο.

Μορφή φύλλου έργου

Η μορφή ενός φύλλου έργου μπορεί να σχεδιαστεί κατά περίπτωση από τον εκπαιδευτικό ΕΜ. Όπως και στα λοιπά είδη φύλλων, συνιστάται η τυποποίηση της μορφής των φύλλων έργων, για διευκόλυνση τόσο του εκπαιδευτικού ΕΜ κατά την προετοιμασία, όσο και των μαθητών κατά τη χρησιμοποίησή τους. Στο σχεδιάγραμμα φαίνεται υπόδειγμα μιας μορφής φύλλου έργου, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα τεχνικά-επαγγελματικά μαθήματα. Στη μορφή αυτή υπάρχουν τα εξής στοιχεία, που η λεπτομερειακή συμπλήρωσή τους αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

- Ενδείξεις ως προς το σχολείο και το ΕΜ (όνομα και διεύθυνση σχολείου, τίτλος ΕΜ).
- Ενδείξεις ως προς το φύλλο (αριθμός φύλλου και τίτλος έργου).
- Απεικόνιση και περιγραφή του έργου, που πρέπει να εκτελεσθεί από τους μαθητές.
- Απαιτούμενα υλικά, για την ολοκλήρωση του έργου, σύμφωνα με την περιγραφή του.
- Πορεία, που πρέπει να ακολουθηθεί κατά την εκτέλεση του αντίστοιχου έργου.

Το υπόδειγμα αυτό έχει ετοιμασθεί για περίπτωση γραφής του φύλλου με γραφομηχανή ή σε υπολογιστή και εκτυπωτή. Έτσι ενδεικτικά, κατά το ύψος έχουν τηρηθεί τα κατάλληλα διαστήματα και κατά μήκος έχει γίνει κατάλληλη τοποθέτηση των επί μέρους τίτλων ή έχει σημειωθεί στην αρχή κάθε παραγράφου ο αριθμός των διαστημάτων που θα αφεθούν κενά. Αν το φύλλο έργου γραφεί με το χέρι θα τηρηθούν ανάλογα διαστήματα και αποστάσεις.

Κατά την κρίση του εκπαιδευτικού ΕΜ το φύλλο έργου, μπορεί να συμπληρωθεί και με άλλα στοιχεία σχετικά με το περιεχόμενο του φύλλου.

(ΟΝΟΜΑ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)
(ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΕΙΟΥ)
(ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ)
Φύλλο Έργου 'Αριθ.
(ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ)

(Θέση αποσαφήνισης των στοιχείων του Έργου,
με τη βοήθεια σκίτσων, σχεδίων, εικόνων,
σύντομων περιγραφικών φράσεων, αριθμητικών
δεδομένων, πινάκων κ.λ.π.).

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

3δ

3δ.....

ΠΟΡΕΙΑ

3δ.....
.....

3δ.....
.....

3δ.....
.....

3δ.....
.....

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Όσα στοιχεία βρίσκονται στο ανωτέρω υπόδειγμα μέσα σε παρένθεση θα αντικατασταθούν με τα πραγματικά στοιχεία κάθε συγκεκριμένου φύλλου, που θα γραφούν χωρίς παρένθεση - στις αντίστοιχες θέσεις.

5.6.2. Συμπλήρωση φύλλου έργου

Η συμπλήρωση και η προετοιμασία του φύλλου έργου γίνεται προοδευτικά ως προς κάθε τμήμα του φύλλου, σύμφωνα με τις γενικές υποδείξεις που αναφέρονται κατωτέρω.

- **Όνομα σχολείου:** Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν
- **Διεύθυνση σχολείου:** Ομοίως σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν.
- **Τίτλος μαθήματος:** Ομοίως σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν.
- **Αριθμός φύλλου έργου:** Αν το ΕΜ έχει οργανωθεί με σύστημα καρτελών, θα αναγραφεί ο αριθμός της αντίστοιχης καρτέλας έργου. Αλλά και όταν δεν έχουν ετοιμασθεί καρτέλες είναι σκόπιμο να γίνει μια κωδικοποιημένη αρίθμηση των φύλλων, ώστε να είναι εύκολη η διάκριση και ταξινόμηση τους. Με ιδιαίτερη βοηθητική κωδικοποιημένη αρίθμηση θα αριθμηθούν τα συμπληρωματικά φύλλα έργων, που έχουν ετοιμασθεί για ατομική διδασκαλία και για επαγγελματική χρήση. Τονίζεται πάντως, ότι η αρίθμηση γίνεται με κάποιο σύστημα κωδικοποίησης που θα εφαρμόσει ο εκπαιδευτικός ΕΜ και όχι με τη σειρά διανομής των φύλλων, τούτο δε πρέπει να διευκρινισθεί στους μαθητές από την αρχή για να μην υπάρξουν παρανοήσεις.
- **Τίτλος έργου:** Για τα έργα που έχουν αντίστοιχες καρτέλες έργων αναγράφεται ο τίτλος του έργου, όπως βρίσκεται στην αντίστοιχη καρτέλα έργου. Για τα υπόλοιπα επιλέγεται και αναγράφεται τίτλος, που να ανταποκρίνεται στη φύση και στη μορφή του έργου.
- **Απεικόνιση και περιγραφή του έργου:** Κάτω από τον τίτλο του έργου τοποθετούνται τα στοιχεία, που είναι απαραίτητα για να αποσαφηνισθεί, ποιο ακριβώς είναι το έργο που ανατίθεται στους μαθητές για εκτέλεση. Δηλαδή πρέπει να γίνουν απόλυτα συγκεκριμένα τα δεδομένα και τα ζητούμενα στο αντίστοιχο έργο. Για την αποσαφήνιση δεδομένων και ζητούμενων χρησιμοποιούνται σκίτσα, σχέδια, φωτογραφίες, σύντομες περιγραφικές φράσεις, αριθμητικά στοιχεία, συνδυασμός των ανωτέρω ή οιοσδήποτε άλλος τρόπος, που κρίνεται ότι προσφέρεται περισσότερο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση έργου. Γενικά, ο σκοπός της απεικόνισης και της περιγραφής του έργου σε ένα φύλλο έργου, είναι να γίνει απόλυτα συγκεκριμένο και σαφές στους μαθητές, με ποια δεδομένα θα ξεκινήσουν και τι ακριβώς πρέπει να εκτελέσουν.
- **Απαιτούμενα υλικά:** Αναγράφονται οι ονομασίες και τα τυχόν ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών, που θα χρειασθεί ο μαθητής κατά την εκτέλεση του έργου, καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα από καθένα υλικό. Για όσα φύλλα έργου υπάρχουν αντίστοιχες καρτέλες έργων, στοιχεία ως προς το είδος και την ποσότητα των υλικών που απαιτούνται είναι γραμμένα στην πίσω όψη της αντίστοιχης καρτέλας έργου.

Συνήθως δεν απαιτείται αναγραφή εργαλείων, μηχανημάτων, οργάνων, συσκευών κ.λ.π. σε ένα φύλλο έργου, γιατί όλα τα ανωτέρω γράφονται στα φύλλα πράξεων,

που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεση του έργου. Πάντως, κατά την κρίση του εκπαιδευτικού ΕΜ, μπορεί να αναφερθεί και ο απαιτούμενος για την εκτέλεση του έργου εξοπλισμός (μηχανήματα, εργαλεία, όργανα κ.λ.π.), ιδίως στις περιπτώσεις που δεν έχει διανεμηθεί στους μαθητές πλήρης σειρά φύλλων πράξεων, για όλες τις πράξεις που απαιτούνται κατά την εκτέλεση του έργου.

- **Πορεία:** Στην πορεία ενός φύλλου έργου γίνεται ουσιαστικά απαρίθμηση και σύντομη περιγραφή των πράξεων που απαιτούνται, με τη σειρά εκτέλεσης τους στο έργο. Οι τίτλοι των πράξεων αυτών έχουν αναγραφεί στην πίσω όψη της αντίστοιχης καρτέλας έργου. Για καθεμιά πράξη δίδεται ο τίτλος της και γίνεται σύντομη περιγραφή του τρόπου εκτέλεσης της, χωρίς πάντως να γίνεται συστηματική ανάλυση, αφού οι σχετικές λεπτομέρειες βρίσκονται στα αντίστοιχα φύλλα πράξεων. Μπορεί μόνο να κριθεί από τον εκπαιδευτικό ΕΜ ότι είναι σκόπιμο να επαναληφθούν στο φύλλο έργου ορισμένοι κανονισμοί ασφάλειας, για να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στο θέμα της προφύλαξης από επαγγελματικούς κινδύνους. Αν υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία ελέγχου, που ο εκπαιδευτικός ΕΜ κρίνει, ότι πρέπει να τα εξετάσει κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου πριν ο μαθητής συνεχίσει, σημειώνονται στο αντίστοιχο σημείο του φύλλου έργου οι λέξεις "ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ" και προβλέπεται θέση (π.χ. ένα μικρό τετράγωνο), όπου θα γίνει από τον εκπαιδευτικό ΕΜ θεώρηση για την κανονική πορεία του έργου μέχρι το σημείο εκείνο.

5.7.1. Διανομή φύλλων

Κατά την συγγραφή των φύλλων διδασκαλίας ο εκπαιδευτικός ΕΜ πρέπει να εργασθεί μεθοδικά εφαρμόζοντας απλές υποδείξεις, ώστε τα φύλλα που θα ετοιμασθούν να εκπληρώσουν καλύτερα τον προορισμό τους. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την αναπαραγωγή των φύλλων με πλήρη αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων που υπάρχουν. Ανάλογα με το είδος και το σκοπό τους τα φύλλα διδασκαλίας μπορεί κατά περίπτωση να διανεμηθούν: στην αρχή του σχολικού έτους, μερικές ημέρες πριν από τη διδασκαλία, στην αρχή ή κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας, πριν από την εφαρμογή και την άσκηση και περί το τέλος της διδακτικής ώρας. Τα έτοιμα φύλλα διδασκαλίας μπορούν να αξιολογηθούν με βάση συγκεκριμένα κριτήρια και να γίνουν οι κατά περίπτωση κατάλληλες βελτιώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ-ASSIGNMENT MODEL.**

**6.1.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ –ΣΧΕΔΙΟ
ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ.**

**Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
Σ.Τ.Ε.Φ.
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ : Ο.Δ.Β.Ε.**

ΣΧΕΔΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

- **ΟΝΟΜΑ** : ΛΩΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
- **ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ**: 12-3-2011
- **ΘΕΜΑ**: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
- **ΕΝΟΤΗΤΑ** :ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ - ASSIGNMENT MODEL
- **ΤΑΞΗ** : Ε ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
- **ΣΚΟΠΟΙ** : Να μπορεί ο μαθητής να υπολογίζει τη βέλτιστη κατανομή εργασιών στα μέσα παραγωγής και να τα υπολογίζει με οποιαδήποτε μέθοδο όσον αφορά τον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής : γραφικά , με το πρόγραμμα qsb και με το πρόγραμμα winqsb, ώστε να βρίσκετε το χαμηλότερο κόστος σε οποιαδήποτε περίπτωση ζητηθεί.
- **ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ** : Νούμερο ένα βοήθημα είναι οι διδακτικές σημειώσεις και τα φύλλα πληροφοριών καθώς εκεί αναλύονται όλες οι μέθοδοι που χρειαζόμαστε.
- **ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΟΠΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ**: Για την σωστή κάλυψη της θεωρίας χρησιμοποιούνται τα εξής ``εργαλεία``: Projector με διαφάνειες και σχεδιαγράμματα στον πίνακα για τη κάλυψη της θεωρίας του assignment, φωτοτυπίες για μοίρασμα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές για την χρήση και εκμάθηση των προγραμμάτων qsb και winqsb καθώς επίσης μοιράζεται κι ένα cd με διάφορες λυμένες ασκήσεις.

• ΠΟΡΕΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ: (10')

Στη προετοιμασία δηλαδή στην αρχή του μαθήματος πρέπει να γραφτεί ο τίτλος του μαθήματος που θα διδαχτεί τη συγκεκριμένη μέρα. Οπωσδήποτε να αναφερθεί ο σκοπός του μαθήματος με λίγα λόγια καθώς επίσης να τονιστεί η σημασία του μαθήματος για το επάγγελμα π.χ. είναι πολύ σημαντικό για το επάγγελμα του μηχανικού το συγκεκριμένο θέμα που θα παρουσιάσουμε σήμερα καθώς όταν βγείτε στην αγορά εργασίας, ειδικά αν ασχοληθείτε με το βιομηχανικό τομέα αυτά τα πράγματα θα έχετε να αντιμετωπίσετε.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ : (60')

- **ΕΝΟΤΗΤΑ** : Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής-εύρεση βέλτιστης κατανομής- assignment model. Ξεκινάμε με απλές ασκήσεις προγραμματισμού και ελέγχου παραγωγής γραφικά, έπειτα αναλύουμε τα προγράμματα και τα εγχειρίδια τους που θα χρησιμοποιήσουμε και στη συνέχεια εφαρμόζουμε ασκήσεις προγραμματισμού και ελέγχου παραγωγής (assignment model).

- **ΜΕΘΟΔΟΣ** :Όσον αφορά τη θεωρία η μέθοδος που ακολουθείται είναι η διάλεξη μέσω διαφανειών για την επίλυση του assignment model γραφικά και γενικά η ανάλυση των διδακτικών σημειώσεων. Για το εργαστήριο η μέθοδος που ακολουθείται είναι η επίδειξη του προγράμματος qsb και winqsb.

- **ΜΕΣΑ** : Projector, ηλεκτρονικοί υπολογιστές για τα προγράμματα που θα χρησιμοποιηθούν , cd , δισκέτες, πίνακας, διαφάνειες.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ : (20')

Με βοήθεια του διδάσκοντα πάντα απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις προφορικά.

1. Ποια προγράμματα μάθαμε σήμερα να επιλύουμε?
2. Τι εννοούμε με τον όρο προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής?
3. Τι εννοούμε με τον όρο βέλτιστη λύση?
4. Ποια είναι τα βήματα που ακολουθάμε για την επίλυση μιας άσκησης γραφικά που αφορά το assignment model?

4. ΕΛΕΓΧΟΣ : (40')

Για τον έλεγχο έχουν κατασκευαστεί τεστ επίλυσης των προβλημάτων που έχουμε να αντιμετωπίσουμε στον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής για τη θεωρία και για το εργαστήριο αντίστοιχα.(βλέπε τεστ φύλλου πληροφοριών και πράξης).

5. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ : (5')

Τι είναι ο προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής γενικά, πως βρίσκουμε την βέλτιστη λύση σένα πρόβλημα assignment : γραφικά-στάδια που ακολουθούμε για την επίλυση του προβλήματος καθώς επίσης μικρή αναφορά στα προγράμματα qsb και winqsb και στη χρήση τους.

6. ΑΝΑΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : (5')

Δίνεται ο παρακάτω πίνακας :

Κόστος εκτελέσεως εργασιών σε μηχανές.

	1	2	3	4	5
A	520	330	465	245	360
B	320	440	360	275	250
Γ	245	330	330	320	320
Δ	280	290	310	270	280
E	345	440	205	380	255

Έστω ότι σε μια επιχείρηση πρέπει να εκτελεστούν πέντε εργασίες και

βιομηχανική να εκτελεστούν πέντε υπάρχον μηχανές.

Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή, αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια μηχανή. Το «κόστος» εκτελέσεως των εργασιών στις μηχανές σημειώνεται στον πίνακα, όπου (οι γραμμές αντιστοιχούν στις μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Το στοιχείο Δ5 του πίνακα σημαίνει εκτέλεση της εργασίας 5 στη μηχανή Δ με «κόστος» 280 μονάδες.

Λέγοντας «κόστος» εννοούμε όχι μόνο δραχμικό κόστος αλλά και κάτι περισσότερο αφού μπορεί να είναι π.χ. ο απαραίτητος χρόνος (δευτερόλεπτα) για την εκτέλεση των εργασιών ή οτιδήποτε άλλο

Μια τέτοια κατανομή μπορεί συμπτωματικά να είναι η βέλτιστη, συνήθως όμως δεν είναι γιατί δημιουργούνται αντινομίες. Να βρεθεί ποια εργασία πρέπει να εκτελεστεί και σε ποια μηχανή για να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό κόστος.

7. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :

Να μη χάνω χρόνο με τη λεπτομερειακή ανάλυση της θεωρίας των διδακτικών σημειώσεων ώστε να μπορώ να επιδεικνύω λεπτομερώς τα στάδια που ακολουθούμε για την επίλυση ενός προβλήματος assignment γραφικά καθώς επίσης στα προγράμματα qsb και winqsb να γίνεται επίδειξη περισσότερων ασκήσεων καθώς αυτά τα προγράμματα θέλω να τους μείνουν.

6.1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ –ΦΥΛΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

6.2 ΦΥΛΛΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΔΒΕ

**ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – assignment model.**

• Φύλλο Πληροφοριών Αριθμός 4

ΣΚΟΠΟΙ : Σε αυτή την ενότητα θα μάθετε να υπολογίζετε τη βέλτιστη κατανομή εργασιών στα μέσα παραγωγής και να τα υπολογίζετε με οποιαδήποτε μέθοδο όσον αφορά τον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής : γραφικά , με το πρόγραμμα qsb και με το πρόγραμμα winqsb, ώστε να βρίσκετε το χαμηλότερο κόστος σε οποιαδήποτε περίπτωση ζητηθεί.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ : Συνιστώ σε όλους να μελετήσετε καλά το φύλλο πληροφοριών και το φύλλο πράξης ώστε την επόμενη φορά να συζητήσουμε οποιαδήποτε τυχόν απορία έχετε καθώς η συγκεκριμένη ενότητα είναι πολύ σημαντική για το μελλοντικό σας επάγγελμα.

ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ : Για να μπορέσετε να κατανοήσετε καλύτερα τη συγκεκριμένη ενότητα το νούμερο ένα βοήθημα είναι οι διδακτικές σημειώσεις και τα φύλλα πληροφοριών καθώς εκεί αναλύονται όλες οι μέθοδοι που χρειαζόμαστε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ : Μέθοδος επιλύσεως (assignment model)

Γενικά. Τα διάφορα στάδια λύσεως του προβλήματος τα παρουσιάζουμε παράλληλα με την εφαρμογή τους σ' ένα παράδειγμα, ώστε να διευκολυνθεί η κατανόηση τους.

Ας υποθέσουμε ότι σ' ένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν πέντε εργασίες και υπάρχουν πέντε μηχανές. Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή, αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια μηχανή. Το «κόστος» εκτελέσεως των εργασιών στις μηχανές σημειώνεται στον πίνακα 1, όπου ο(γραμμές αντιστοιχούν στις μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Το στοιχείο Δ3 του πίνακα σημαίνει εκτέλεση της εργασίας 3 στη μηχανή Δ με «κόστος» 310 μονάδες.

Λέγοντας «κόστος» εννοούμε όχι μόνο δραχμικό κόστος αλλά και κάτι περισσότερο αφού μπορεί να είναι π.χ. ο απαραίτητος χρόνος (δευτερόλεπτα) για την εκτέλεση των εργασιών ή οτιδήποτε άλλο

Προτού προχωρήσουμε στην παρουσίαση της μεθόδου είναι σκόπιμο να αποσαφηνίσουμε ότι δεν είναι ικανοποιητική λύση η εκτέλεση της εργασίας 1 στη μηχανή που την εκτελεί με το μικρότερο κόστος, την 2 σ' εκείνη τη μηχανή που την εκτελεί με το μικρότερο κόστος, την 2 σ' εκείνη τη μηχανή που την εκτελεί επίσης με το μικρότερο κόστος, κτλ. Μια τέτοια κατανομή μπορεί συμπτωματικά να είναι η βέλτιστη, συνήθως όμως δεν είναι γιατί δημιουργούνται αντινομίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1! Κόστος εκτελέσεως εργασιών σε μηχανές

	1	2	3	4	5
A	430	440	465	480	490
B	320	340	350	375	380
Γ	295	300	330	320	320
Δ	270	290	310	275	280
E	245	240	265	280	250

Όπως π.χ. στο παράδειγμα μας για την εκτέλεση της 1 στην A και της 2 στην B χρειάζονται $430 + 340 = 770$ μονάδες, ενώ για την 2 στην A και 1 στην B χρειάζονται $440 + 320 = 760$ μονάδες. Η σκέψη να εκτελεστεί κάθε εργασία σ' εκείνη τη μηχανή που έχει το

μικρότερο κόστος για αυτήν την εργασία, επίσης δεν οδηγεί σε αποτέλεσμα. Στο παράδειγμα μας τέσσερις εργασίες (1, 2, 3 και 5) χρειάζονται μικρότερο κόστος για την εκτέλεση τους στη μηχανή E σχετικά με **οποιαδήποτε** άλλη μηχανή. Δηλαδή, καμιά από αυτές τις προσπάθειες δεν οδηγεί στη βέλτιστη λύση.

Από τα παραπάνω σε συσχέτισμό με όσα είπαμε γίνεται εντελώς φανερό ότι χρειαζόμαστε μια συγκεκριμένη μαθηματική διαδικασία για να βρίσκουμε γρήγορα τη βέλτιστη λύση σ' αυτήν την κατηγορία των προβλημάτων. Στη συνέχεια αναπτύσσουμε τα στάδια μιας τέτοιας διαδικασίας.

Πρώτο στάδιο. Εξετάζουμε τις στήλες της μήτρας A_0 και βρίσκουμε για κάθε στήλη j το μικρότερο στοιχείο που τό ονομάζουμε U_j^0 . Σχηματίζουμε μια νέα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.

	1	2	3	4	5
A	185	200	200	205	240
B	75	100	85	100	130
Γ	50	60	65	45	70
Δ	25	50	45	0	30
E	0	0	0	5	0

μήτρα A_1 , αντικαθιστώντας τα στοιχεία με τα στοιχεία: $a_{ij}^1 = a_{ij} - u_i^0 - U_j^0$ για $i, j = 1, 2, \dots, n$ και $u_i^0 = 0$.

Αν βρούμε τα U_j^0 και τα αφαιρέσουμε από τα υπόλοιπα στοιχεία της στήλης τους, τότε για το παράδειγμα μας προκύπτει ο πίνακας 2.

Δεύτερο Στάδιο. Βρίσκουμε τον ελάχιστο αριθμό ευθειών γραμμών, (όχι διαγωνίων) έστω n_1 που μπορούν να περιλάβουν όλα τα μηδενικά στοιχεία της A_1 . Αν $n_1 = n$, τότε υπάρχει στη μήτρα A_1 ένα σύνολο από n μηδενικά στοιχεία, από τα οποία δε βρίσκονται δυο στην ίδια γραμμή και τα στοιχεία της A_0 στις θέσεις αυτών των n στοιχείων δίνουν τη βέλτιστη λύση.

Ο ελάχιστος αριθμός γραμμών που μπορεί να περιλάβει τα μηδενικά στοιχεία της A_1 του παραδείγματός μας είναι 2. Έτσι $n_1 = 2 < n$ ($n = 5$). Άρα δεν έχουμε βρει τη βέλτιστη λύση.

Τρίτο Στάδιο. Αν $n_1 < n$, τότε εξετάζουμε τις σειρές της A_1 και βρίσκουμε για κάθε γραμμή i , το μικρότερο στοιχείο a_{ij}^1 που το ονομάζουμε U_j^1 . Σχηματίζουμε μια νέα μήτρα A_2 αντικαθιστώντας τα στοιχεία a_{ij}^1 με τα στοιχεία:

$$a_{ij}^2 = a_{ij}^1 - u_j^1 \quad \text{για } j = 1, 2, \dots, n \quad \text{και } U_j^1 = 0$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τρίτο στάδιο

	1	2	3	4	5		
Εφόσον στο	A	0	15	15	20	55	παράδειγμα μας βρίσκουμε το κάθε σειράς της A_i , αφαιρούμε από κάθε
έχουμε $n_1 < n$,	B	0	25	10	25	55	
μικρότερο στοιχείο	Γ	5	15	20	0	25	
δηλαδή το u_j^1 το	Δ	25	50	45	0	30	
στοιχείο της σειράς i ($i=1, 2, \dots, 5$) και βρίσκουμε την A_2	E	0	0	0	5	0	

Τέταρτο Στάδιο.

Βρίσκουμε τον ελάχιστο αριθμό των ευθειών γραμμών, έστω n_2 , που μπορούν να περιλάβουν όλα τα μηδενικά στοιχεία της A_2 . Αν $n_2 = n$, τότε υπάρχει στη μήτρα A_2 ένα σύνολο από μηδενικά, από τα οποία δε βρίσκονται δυο στην ίδια γραμμή και τα στοιχεία της A_0 στις αυτές τις n θέσεις αποτελούν τη βέλτιστη λύση.

Στο παράδειγμα μας μπορούμε να περιλάβουμε όλα τα μηδενικά στοιχεία που βρίσκονται στις στήλες 1 και 4 και τη γραμμή E, σε τρεις ευθείες. Άρα, $n_2 = 3$ και τη βέλτιστη λύση δεν την έχουμε βρει ακόμη.

Πέμπτο Στάδιο.

Αν $n_2 < n$, έστω h_2 το μικρότερο στοιχείο της μήτρας A_2 από αυτά που δεν βρίσκονται στις γραμμές n_2 . Αφαιρούμε το h_2 από όλα τα στοιχεία της A_2 που δεν βρίσκονται στις γραμμές n_2 και προσθέτουμε το h_2 σε όλα τα στοιχεία που βρίσκονται στις τομές -αν υπάρχουν- των γραμμών n_2 . Τη μήτρα που προκύπτει με αυτόν τον τρόπο την ονομάζουμε A_3 .

Για το παράδειγμα μας είναι $h_2 = 10$ (στοιχείο B3). Το στοιχείο αυτό το αφαιρούμε από όλα τα στοιχεία που βρίσκονται έξω από τις στήλες 1 και 4 και τη γραμμή E, και το προσθέτουμε στα στοιχεία EI και E4. Ύστερα από αυτά έχουμε τον πίνακα.4.

1	1	2	3	4	5
A	0	5	5	20	45
B	0	15	0	25	45
Γ	5	5	10	0	15
Δ	25	40	35	0	20
E	10	0	0	15	0

Έκτο Στάδιο

Ελέγχουμε, όπως στο δεύτερο στάδιο κατά πόσο $n_3 = n$. Αν $n_3 = n$ τότε η λύση είναι βέλτιστη όπως είπαμε και στο τέταρτο στάδιο. Επειδή τα μηδενικά στοιχεία μπορούμε να το περιλάβουμε σε 4 γραμμές ή στήλες, δηλαδή στις 1, 3, 4 και E, το πρόβλημα δεν έχει ακόμη λυθεί.

Έβδομο Στάδιο.

- Αν $n_3 < n$, τότε επαναλαμβάνουμε το πέμπτο και έκτο στάδιο. Αυτό το συνεχίζουμε μέχρις ότου στην k επανάληψη αυτών των σταδίων βρούμε $n_{k+2} = n$, οπότε η λύση είναι η βέλτιστη.

Το μικρότερο στοιχείο της μήτρας που δεν ανήκει στις στήλες 1, 3 και 4 και τη γραμμή E είναι το 5 στο A2 και Γ2. Οι στήλες 1, 3 και 4 τέμνουν τη γραμμή E στις θέσεις EI, E3 και E4, γι' αυτό προσθέτουμε το 5. Στη συνέχεια αφαιρούμε το 5 από όλα τα στοιχεία της μήτρας που δεν περιλαμβάνονται στις στήλες 1, 3 και 4 και τη γραμμή E. Τα παραπάνω δίνουν τον πίνακα 7.5.

Τα μηδενικά στοιχεία του πίνακα 7.5 δεν μπορούν να περιληφθούν σε λιγότερες από 5 γραμμές. Άρα, βρήκαμε τη λύση και αυτή είναι: η εργασία 1 να εκτελεστεί στη μηχανή A, η 2 στη Γ, η 3 στη B, η 4 στη Δ και η 5 στη μηχανή E. Η λύση αυτή δίνει ένα συνολικό κόστος $430+300+350+275+250= 1605$ μονάδες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Βέλτιστη λύση

	1	2	3	4	5
A	0	0	5	20	40
B	0	10	0	25	40
Γ	5	0	10	0	10
Δ	25	35	35	0	15
E	15	0	5	20	0

Πρέπει να λύση που βρίσκεται περιγράψαμε δεν είναι Μπορεί γενικά να κατανομές, που να δίνουν το ίδιο κόστος, αλλά οπωσδήποτε δεν υπάρχει λύση, που να δίνει μικρότερο.

σημειώσουμε ότι η με τη μέθοδο που αναγκαστικά η μόνη. υπάρχουν και άλλες

6.3 ΦΥΛΛΟ ΠΡΑΞΗΣ

ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΔΒΕ

**ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – assignment model.**

• **Φύλλο πράξης – εργαστήριο - Αριθμός 4**

ΣΚΟΠΟΙ : Σκοπός του εργαστηρίου είναι να μάθετε να υπολογίζετε τη βέλτιστη κατανομή εργασιών στα μέσα παραγωγής όσον αναφορά τον προγραμματισμό και έλεγχο παραγωγής και να τα υπολογίζετε με το πρόγραμμα qsb καθώς και με το πρόγραμμα winqsb , ώστε να βρίσκετε το χαμηλότερο κόστος σε οποιαδήποτε περίπτωση ζητηθεί.

ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ : το καλύτερο βοήθημα είναι το ίδιο το φύλλο πράξης καθώς έχει λυμένες ασκήσεις του προγράμματος qsb και winqsb με αναλυτικό τρόπο για την καλύτερη κατανόηση του, όπως επίσης και οι διδακτικές σημειώσεις.

ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ : Για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος θα χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικοί υπολογιστές ώστε να εξοικειωθείτε όλοι με το πρόγραμμα qsb και **winqsb** καθώς επίσης θα χρησιμοποιηθεί projector για τη διάλεξη της θεωρίας.

ΠΟΡΕΙΑ : Στην αρχή του εργαστηρίου θα λυθεί μια άσκηση με το πρόγραμμα qsb και έπειτα θα ακολουθήσουν διαφάνειες με αναλυτικές ασκήσεις του **winqsb**. Μετά από οποιαδήποτε τυχόν απορία θα ασχοληθούμε με το πρόγραμμα qsb και **winqsb** και τον τρόπο επίλυσης των προγραμμάτων για οποιοδήποτε ζήτημα μπορεί να υπολογιστεί με το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

Άσκηση

Να λύσετε την παρακάτω άσκηση με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα qsb.

Δίνεται ο παρακάτω πίνακας :

	1	2	3	4	5
A	430	440	465	480	490
B	320	340	350	375	380
Γ	295	300	330	320	320
Δ	270	290	310	275	280
E	245	240	265	280	250

Ας υποθέσουμε ότι σένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν 5 εργασίες και υπάρχουν 5 μηχανές. Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μία μόνο μηχανή. Το "κόστος" εκτελέσεων των εργασιών στις μηχανές δίνεται στον πίνακα, όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στις

μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Να βρεθεί η βέλτιστη κατανομή εργασιών στις 5 μηχανές.

6.3.1.Λύση με το πρόγραμμα qsb.

Welcome to QBS (Quantitative Business Systems)!
The following are the available management science
decision support systems from which you may choose:

Code No.	Programs	Code No.	Programs
1	-- Assignment problem	8	-- Network modeling
2	-- Decision/probability theory	9	-- Project scheduling -- CPM
3	-- Dynamic programming	10	-- Project scheduling -- PERT
4	-- Integer linear programming	11	-- Queuing system simulation
5	-- Inventory theory	12	-- Queuing theory
6	-- Linear programming	13	-- Time series forecasting
7	-- Markov process	14	-- Transportation problem
99	-- Exit from QBS	99	-- Exit from QBS

Press the up or down keys to move to the desired option, then press ENTER

1) Επιλέγω **assignment model**.

Welcome to your Assignment Problem (ASMP) Decision Support System!
The options available for ASMP are listed as follows.
If you are a first-time user, you might benefit from option 1.

Options	Functions
1	---- Overview of ASMP Decision Support System
2	---- Enter new model
3	---- Read an existing model from B disk
4	---- Display model (input) data
5	---- Solve the model
6	---- Save the model on the B disk
7	---- Modify the model
8	---- Display and print the final solution
9	---- Return to the program menu
10	---- Exit from QBS

2) Επιλέγω τον αριθμό **2 enter new model**

Press the up or down keys to move to the desired option, then press ENTER

3) please name your model using up to 6 characters?

Γράφουμε το όνομα της άσκησης.

ASMP Model Entry for 4

Please observe the following conventions when you entering a model:

- (1). Respond to the questions describing general information about the model.
- (2). Then, enter object and task names if you don't use default values.
- (3). Then, enter cost/profit coefficients for each potential assignment.
- (4). After you enter your data, press the ENTER key.
- (5). On the same screen page, you may correct errors by pressing the BACKSPACE key to move the cursor to the correct position.
- (6). When you are satisfied with the data on a page, then press SPACE BAR.
- (7). When entering the model, press the 'ESC' key to go to a previous page, press the '/' key to go to the next page.

Do you want to maximize (1) or minimize (2) criterion?(Enter 1 or 2) < 2 >

How many objects are there in your model? (Enter number ≤ 50) < 5 >

How many tasks are there in your model? (Enter number ≤ 50) < 5 >

Do you want to use the default names (O1,...,On; T1,...,Tn)(Y/N)? < Y >

- 4) Συμπληρώνουμε τα στοιχεία σύμφωνα με την εκφώνηση ώστε να καταλάβει το πρόγραμμα τι ακριβώς ζητάμε και έπειτα πατάμε space για να προχωρήσουμε παρακάτω.

Enter the Cost/Profit Coefficients of ASMP Model Page 1

Objects Tasks

O1	t1:	_____	t2:	_____	t3:	_____	t4:	_____	t5:	_____
O2	t1:	_____	t2:	_____	t3:	_____	t4:	_____	t5:	_____
O3	t1:	_____	t2:	_____	t3:	_____	t4:	_____	t5:	_____
O4	t1:	_____	t2:	_____	t3:	_____	t4:	_____	t5:	_____
O5	t1:	_____	t2:	_____	t3:	_____	t4:	_____	t5:	_____

- 5) Συμπληρώνω τον πίνακα με βάση τις μηχανές και εργασίες.

Welcome to your Assignment Problem (ASMP) Decision Support System!
The options available for ASMP are listed as follows.
If you are a first-time user, you might benefit from option 1.

Options	Functions
1 ----	Overview of ASMP Decision Support System
2 ----	Enter new model
3 ----	Read an existing model from B disk
4 ----	Display model (input) data
5 ----	Solve the model
6 ----	Save the model on the B disk
7 ----	Modify the model
8 ----	Display and print the final solution
9 ----	Return to the program menu
10 ----	Exit from QBS

Press the up or down keys to move to the desired option, then press ENTER.

6) Επιλέγω **Solve the model.**

Option Menu for Solving 4

When solving your problem, you have the option of displaying every iteration of the Hungarian method as long as your problem has less than 10 objects and 10 tasks.

The model 4 has 5 objects and 5 tasks.

Options	
1 ----	Solve with display of initial tableau
2 ----	Solve with display of each iteration
3 ----	Solve with display of final iteration
4 ----	Solve without displaying any iteration
5 ----	Return to the function menu

7) Επιλέγω **Solve with display of initial tableau**

Press the up or down keys to move to the desired option, then press ENTER.

Initial tableau

	Ob\T	t1	t2	t3	t4	t5	Cov.Ln
	O1	430.0	440.0	465.0	480.0	490.0	
	O2	320.0	340.0	350.0	375.0	380.0	
	O3	295.0	300.0	330.0	320.0	320.0	
	O4	270.0	290.0	310.0	275.0	280.0	
	O5	245.0	240.0	265.0	280.0	250.0	
	Cov.Ln						

Press any key to continue. Or 'G ' -- No stop.

Μας εμφανίζει τα στοιχεία του πίνακα που συμπληρώσαμε.

Welcome to your Assignment Problem (ASMP) Decision Support System!

The options available for ASMP are listed as follows.

If you are a first-time user, you might benefit from option 1.

Options	Functions
1 ----	Overview of ASMP Decision Support System
2 ----	Enter new model
3 ----	Read an existing model from B disk
4 ----	Display model (input) data
5 ----	Solve the model
6 ----	Save the model on the B disk
7 ----	Modify the model
8 ----	Display and print the final solution
9 ----	Return to the program menu
10 ----	Exit from QBS

8) Επιλέγω **Display and print the final solution.**

Option Menu for Displaying and Printing the Final Solution to 4
You have the following options available for displaying
or printing the final solution. If you want to print the solution,
please make sure the printer is ready.

Options

- 1 ---- Display the final solution only
 - 2 ---- Display and print the final solution
 - 3 ---- Return to the function menu
-

9) Επιλέγω **Display the final solution only.**

Press the up or down keys to move to the desired option, then press ENTER

10) Μας τυπώνει το **τελικό αποτέλεσμα.**

Summary of Assignments for 4 Page : 1

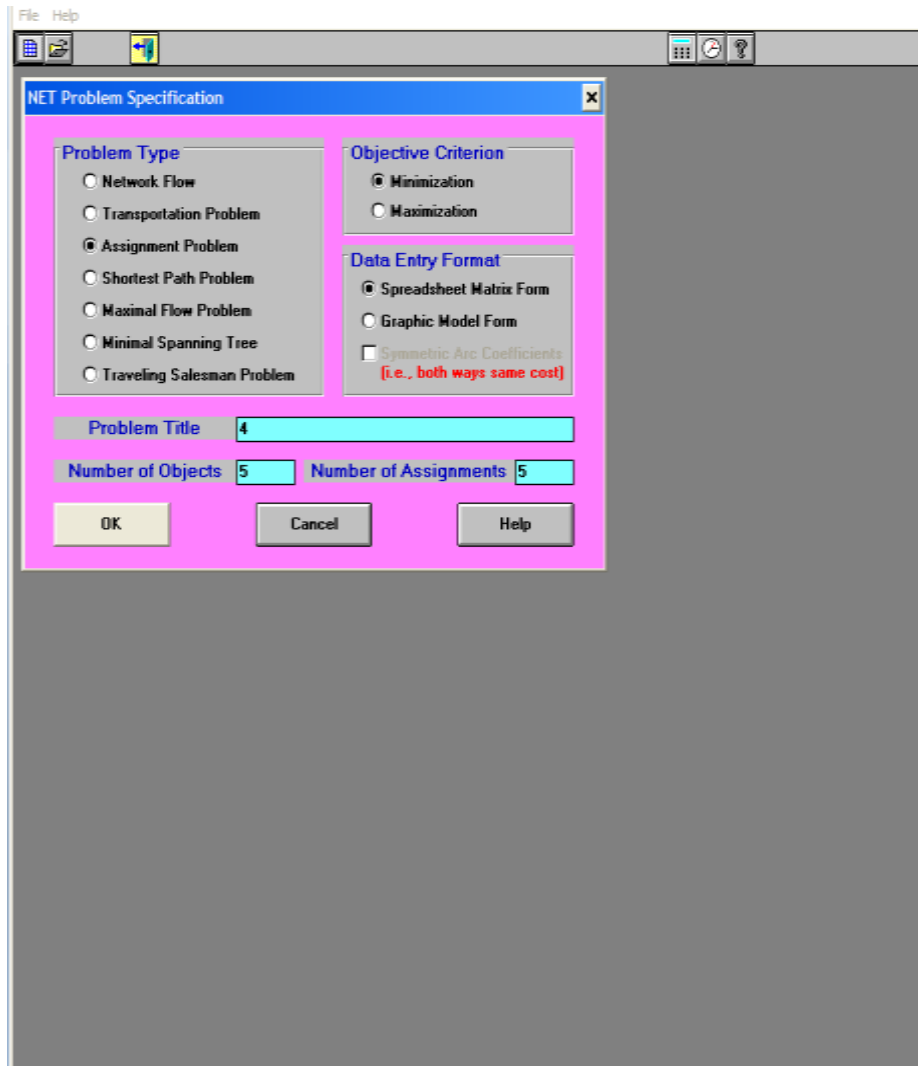
Object	Task	Object	Task
O1	t1	O4	t4
O2	t3	O5	t5
O3	t2		

Minimum value of OBJ = 1605 Total iterations = 2

Press any key to continue.

6.3.2 Λύση της ίδιας άσκησης με το πρόγραμμα winqsb.

Εφόσον έχουμε εγκαταστήσει το πρόγραμμα διαλέγουμε την επιλογή Network model. Πατάμε αριστερό κλικ στο πρώτο κουτάκι πάνω αριστερά ώστε να βγούνε οι επιλογές του menu και επιλέγουμε **Assignment problem** :



Έπειτα συμπληρώνω τα εξής στοιχεία :

- 1) **Problem title.....(Άσκηση 4)**
- 2) **Number of objects.....(5)**
- 3) **Number of assignments.....(5)**

4) Συμπληρώνω τον πίνακα με βάση τα στοιχεία μου:

The screenshot shows the 'Network Modeling' software interface. The title bar reads 'Network Modeling'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Format', 'Solve and Analyze', 'Results', 'Utilities', 'Window', 'WinQSB', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations and solving. The main window title is '4: Minimization (Assignment Problem)'. Below the title, a table is displayed with the following data:

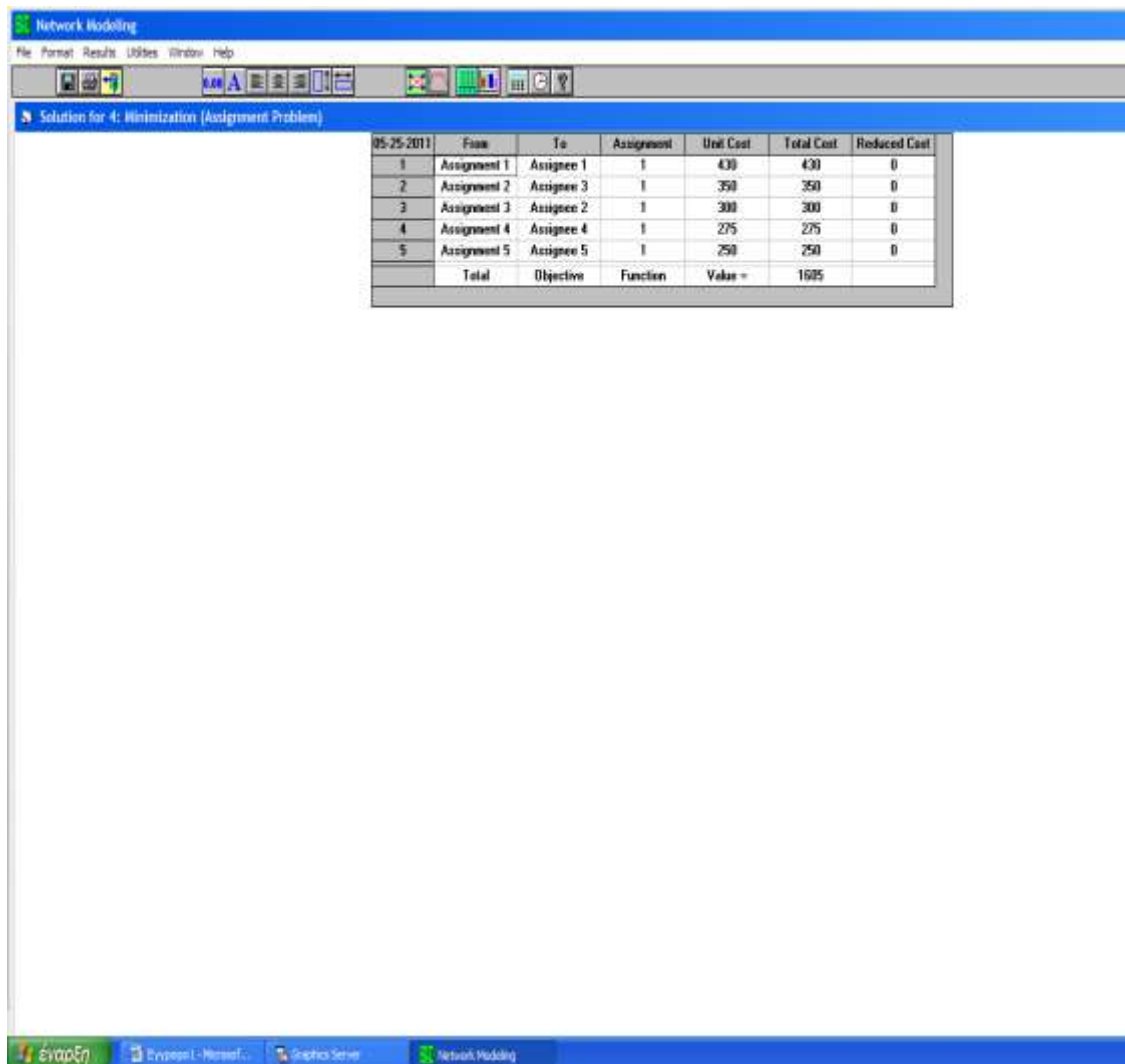
From \ To	Assignee 1	Assignee 2	Assignee 3	Assignee 4	Assignee 5
Assignment 1	430	440	465	480	490
Assignment 2	320	340	350	375	380
Assignment 3	295	300	330	320	320
Assignment 4	270	290	310	275	280
Assignment 5	245	240	265	280	250

The software interface also shows a taskbar at the bottom with the following open applications: 'έναρη', 'Εγγραφή1 - Microsoft...', 'Graphics Server', and 'Network Modeling'. The word 'NET' is displayed in a large, stylized font in the lower right area of the window.

5) Επιλέγω **Solve and analyze**

6) Έπειτα **Solve problem**

Και εμφανίζει τη λύση του προβλήματος .



The screenshot shows the 'Network Modeling' software interface. The title bar reads 'Network Modeling'. The menu bar includes 'File', 'Format', 'Results', 'Utilities', 'Window', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations and analysis. The main window displays the title 'Solution for 4: Minimization (Assignment Problem)'. Below this, a table shows the solution results. The table has columns for 'From', 'To', 'Assignment', 'Unit Cost', 'Total Cost', and 'Reduced Cost'. The data rows are as follows:

	From	To	Assignment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Assignment 1	Assignee 1	1	430	430	0
2	Assignment 2	Assignee 3	1	350	350	0
3	Assignment 3	Assignee 2	1	300	300	0
4	Assignment 4	Assignee 4	1	275	275	0
5	Assignment 5	Assignee 5	1	250	250	0
	Total	Objective Function	Value =	1605		

Η λύση αυτή δίνει ένα συνολικό κόστος 1605 μονάδες.

6.4.1. ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

TEST ΘΕΩΡΙΑΣ :

ΜΑΘΗΜΑ : Ο.Δ.Β.Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ Νο 4

Χρόνος εξέτασης 10'

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

Ερώτημα 1: Να συμπληρωθούν τα παρακάτω κενά:

Δεδομένα:

	ΜΗΧΑΝΗ Α	ΜΗΧΑΝΗ Β
1	26	30
2	33	15
3	22	24
4	39	23
5	40	18
ΣΥΝΟΛΟ	160	110

- ΠΟΣΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΧΟΥΜΕ _____
- ΠΟΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ: _____
- ΚΑΘΕ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΚΤΕΛΕΣΤΕΙ ΣΕ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΜΗΧΑΝΗ: _____
- ΑΝ ΝΑΙ ΜΕ ΙΔΙΟ Η ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ : _____
- ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ: _____

Ερώτημα 2: Να συμπληρωθεί η σωστή απάντηση:

ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ Ο ΝΕΚΡΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΗΧΑΝΗ Β ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΣΑΣ?

Α : 55 ώρες

Β : 54 ώρες

Γ : 42 ώρες

Ερώτημα 3 :

Αντιστοιχίστε τα αποτελέσματα που βρίσκονται στη **στήλη Α** με τη σωστή απάντηση της **στήλης Β** όσον αφορά το πρόγραμμα QSB

ΣΤΗΛΗ Α

- a) maximize or minimize the objective
- b) assignment problem or traveling salesman problem
- c) number of objectives/cities
- d) number of tasks
- e) to use the default names
- f) do you want to use free format

ΣΤΗΛΗ Β

- 1)N
- 2)5
- 3)2
- 4)1
- 5)Y
- 6)5

→

.....
Απόκομμα:

Όνοματεπώνυμο:

A.M.:

- Ερώτημα 1: a)
b)
c)
d)
e)

- Ερώτημα 2: A
B
Γ

- Ερώτημα 3: a)
b)
c)
d)
e)
f)

6.4.2. ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

TEST ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ :

ΜΑΘΗΜΑ : Ο.Δ.Β.Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ – ASSIGNMENT MODEL.

ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ Νο 4

Χρόνος εξέτασης 30'

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

Ερώτημα 1:

Να λύσετε την παρακάτω άσκηση με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα qsb.

Δίνεται ο παρακάτω πίνακας :

Εργασίες

Μηχανές	1	2	3	4	5	6
A	92	73	80	85	97	99
B	75	75	98	91	86	82
Γ	80	94	90	91	99	80
Δ	79	97	96	82	80	80
E	84	76	94	88	93	72
Z	76	92	74	86	73	88

Ας υποθέσουμε ότι σένα μηχανουργείο πρέπει να εκτελεστούν 6 εργασίες και υπάρχουν 6 μηχανές. Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μία μόνο μηχανή. Το "κόστος" εκτελέσεων των εργασιών στις μηχανές δίνεται στον πίνακα, όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στις μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Να βρεθεί η βέλτιστη κατανομή εργασιών στις 6 μηχανές.

Ερώτημα 2: Να λύσετε την ίδια άσκηση με τη βοήθεια του προγράμματος winqsb και να συγκρίνετε τα αποτελέσματα.

6.5 .1ΦΥΛΛΟ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ : ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΔΒΕ

**ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.**

Οδηγίες : Την επόμενη εβδομάδα θέλω να μου έχετε φέρει όλοι λυμένη την παρακάτω εργασία σε ηλεκτρονική μορφή (Microsoft office word) χρησιμοποιώντας τα προγράμματα qsb, winqsb και γραφικά (μέθοδος επίλυσης με το χέρι) .

Για οποιαδήποτε βοήθεια μπορείτε να μελετήσετε τα φύλλα πληροφοριών, τα φύλλα πράξεων και τις διδακτικές σημειώσεις.

Ανάθεση εργασίας :

Έστω ότι σε μια βιομηχανική επιχείρηση πρέπει να εκτελεστούν πέντε εργασίες και υπάρχουν πέντε μηχανές. Κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε μηχανή, αλλά με διαφορετικό κόστος. Οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν ταυτόχρονα και κάθε εργασία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια μηχανή. Το «κόστος» εκτέλεσεως των εργασιών στις μηχανές σημειώνεται στον πίνακα, όπου (οι γραμμές αντιστοιχούν στις μηχανές και οι στήλες στις εργασίες. Το στοιχείο Δ5 του πίνακα σημαίνει εκτέλεση της εργασίας 5 στη μηχανή Δ με «κόστος» 280 μονάδες.

Λέγοντας «κόστος» εννοούμε όχι μόνο δραχμικό κόστος αλλά και κάτι περισσότερο αφού μπορεί να είναι π.χ. ο απαραίτητος χρόνος (δευτερόλεπτα) για την εκτέλεση των εργασιών ή οτιδήποτε άλλο

Μια τέτοια κατανομή μπορεί συμπτωματικά να είναι η βέλτιστη, συνήθως όμως δεν είναι γιατί δημιουργούνται αντινομίες.

Να βρεθεί ποια εργασία πρέπει να εκτελεστεί και σε ποια μηχανή για να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό κόστος.

	1	2	3	4	5
A	520	330	465	245	360
B	320	440	360	275	250
Γ	245	330	330	320	320
Δ	280	290	310	270	280
E	345	440	205	380	255

Ημερομηνία τελικής παράδοσης :

6.6.1.ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΟΥ

ΣΧΟΛΗ : ΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΔΒΕ

ΕΝΟΤΗΤΑ : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΟΥ ΑΡΙΘΜΟΣ : 11

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα για μια βιομηχανική επιχείρηση για χρονικό ορίζοντα 12 μηνών, τα οποία αφορούν τις ημέρες παραγωγής ανά μήνα, τη ζήτηση (μονάδες παραγωγής) καθώς και το απόθεμα ασφαλείας, το οποίο έχει αποφασισθεί να είναι το 50% της ζήτησης του αντίστοιχου μήνα

Μήνας	Ημέρες παραγωγής	Ημέρες παραγωγής αθροιστικά	Ζήτηση	Σωρευτική ζήτηση	Απόθεμα ασφαλείας	Σωρευτικές απαιτήσεις	Ζήτηση ανά ημέρα παραγωγής
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(4)/2	(7)=(5)+(6)	(8)=(4)/(2)
1	22	22	300	300	150	450	13,64
2	20	42	400	700	200	900	20,00
3	23	65	600	1300	300	1600	26,09
4	19	84	800	2100	400	2500	42,11
5	22	106	900	3000	450	3450	40,91
6	22	128	1100	4100	550	4650	50,00
7	20	148	700	4800	350	5150	35,00
8	23	171	400	5200	200	5400	17,39
9	11	182	300	5500	150	5650	27,27
10	22	204	200	5700	100	5800	9,09
11	22	226	200	5900	100	6000	9,09
12	18	244	100	6000	50	6050	5,56

Να καταρτισθούν τα εναλλακτικά προγράμματα παραγωγής για την κάλυψη της ζήτησης: (α) με σταθερό ρυθμό παραγωγής και (β) με χρήση υπερωριών και μεταβλητού ανθρώπινου δυναμικού.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ :

Για την επιχείρηση δίνονται επίσης:

- 7) Η ημερήσια παραγωγική δυναμικότητα είναι 35 μονάδες παραγωγής
- 8) Η παραγωγική ικανότητα είναι δυνατό να αυξηθεί κατά 20% με υπερωριακή απασχόληση. Κάθε μονάδα παραγωγής που παράγεται με υπερωριακή απασχόληση επιβαρύνει το κόστος παραγωγής κατά 80 €
- 9) Υπάρχει αρχικό απόθεμα 230 μονάδων
- 10) Το μηνιαίο κόστος δημιουργίας αποθέματος είναι 7 € ανά μονάδα, ενώ το κόστος έλλειψης αποθέματος είναι 30 € ανά μονάδα
- 11) Το κόστος μεταβολής του επιπέδου παραγωγής ισούται με 350 € ανά μονάδα μεταβολής

ΠΟΡΕΙΑ : Για να μπορέσετε να λύσετε την άσκηση θα πρέπει να γνωρίζετε πολύ καλά τις διδακτικές σημειώσεις του προγραμματισμού και έλεγχου παραγωγής , καθώς επίσης καλείστε να αναζητήσετε πληροφορίες για τον συγκεντρωτικό (aggregate planning) και χρονικό προγραμματισμό .

Δίνονται ποια στοιχεία χρειάζεται να βρεθούν για την λύση της άσκησης :

1. Μέση μηνιαία ζήτηση :
2. Μέσο (σταθμισμένο) απόθεμα ασφαλείας :
3. Μέση ημερήσια απαίτηση :
4. Κόστος αποθεματοποίησης (€) :
5. Αρνητικές διαφορές (έλλειψη αποθέματος) :
6. Κόστος έλλειψης αποθέματος (€) :
7. Συνολικό κόστος (€) :
8. Διορθωμένος σταθερός ρυθμός για μη έλλειψη αποθεμάτων :
9. Ο ρυθμός παραγωγής (σταθερός) θα πρέπει να αυξήσει την τιμή του :
10. Κόστος αποθεματοποίησης (€) (με καινούργια δεδομένα) :
11. Συνολικό κόστος (€) (με καινούργια δεδομένα) :
12. Κόστος αποθεματοποίησης (€) (με καινούργια δεδομένα) :
13. Κόστος μεταβολής του ρυθμού παραγωγής(€):
14. Κόστος υπερωριών (€):
15. Συνολικό κόστος (€) :

Ημερομηνία τελικής παράδοσης :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΝΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

7.1. Προοπτικές για το μέλλον

Υπάρχουν δύο κυρίως δεδομένα, που θα σηματοδοτήσουν στο μέλλον τη μετάδοση επαγγελματικών γνώσεων και δεξιοτήτων. Πρώτο δεδομένο είναι ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των ατόμων που επιθυμούν και που απαιτείται να εκπαιδευτούν και δεύτερο δεδομένο είναι οι πολλαπλές δυνατότητες που παρέχονται με την εξέλιξη της εκπαιδευτικής τεχνολογίας. Το πρώτο δεδομένο διαμορφώνει το πρόβλημα, ενώ το δεύτερο μπορεί να βοηθήσει στην εξεύρεση ικανοποιητικών λύσεων.

Βασιζόμενοι στην παρατήρηση, ότι κατά τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια ανάπτυξη των συστημάτων εξατομικευμένης μάθησης, και μάλιστα με ικανοποιητικά αποτελέσματα, μπορούμε να πιθανολογήσουμε την εξάπλωση των συστημάτων αυτών και τη βελτίωση τους με τη βοήθεια της αναπτυσσόμενης εκπαιδευτικής τεχνολογίας. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων εξατομικευμένης μάθησης με αξιοποίηση των δυνατοτήτων της εκπαιδευτικής τεχνολογίας, δεν είναι μόνο οικονομικά, αφού με μικρό πρόσθετο κόστος εξασφαλίζεται η εκπαίδευση σημαντικά μεγαλύτερου αριθμού ατόμων, αλλά αφορούν επίσης την προσαρμογή των συστημάτων αυτών στις προσωπικές απαιτήσεις καθενός εκπαιδευόμενου, αφού του δίνουν τη δυνατότητα να εκπαιδευτεί κατά το χρόνο που διαθέτει ο ίδιος και όχι σύμφωνα με προκαθορισμένο ενιαίο ημερήσιο ή εβδομαδιαίο σχολικό πρόγραμμα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι η εξ αποστάσεως μάθηση και η ανοιχτή μάθηση, που εφαρμόζονται σε πολλές τεχνολογικά προηγμένες χώρες και μάλιστα μέχρι το επίπεδο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Άλλωστε, η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων εξατομικευμένης μετάδοσης επαγγελματικών γνώσεων δημιουργείται και από την κατά διαστήματα επιβαλλόμενη συμπληρωματική εκπαίδευση προσωπικού. Με δεδομένο ότι οι συμπληρωματικές γνώσεις και δεξιότητες διαφοροποιούνται από εκπαιδευόμενο σε εκπαιδευόμενο, πρέπει να γίνει αντίστοιχη εξατομίκευση του προγράμματος σύμφωνα με τις ανάγκες του καθενός, με προσδιορισμό των συγκεκριμένων γνώσεων και δεξιοτήτων που απαιτούνται κατά περίπτωση ή των αντίστοιχων Modules, όπως χαρακτηρίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

7.2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Διδακτική επαγγελματικών μαθημάτων- ο σχεδιασμός της διδασκαλίας. Τόμος Α.
Στυλιανός. Ι. Πλαγιανάκος.
- 2) Διδακτική επαγγελματικών μαθημάτων-ο σχεδιασμός της διδασκαλίας. Τόμος Β.
Στυλιανός. Ι. Πλαγιανάκος.
- 3) Οργάνωση και διοίκηση εργοστασίων
Ψωινός. Π. Δ.
- 4) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Εφαρμογές ευφυών τεχνικών στον προγραμματισμό παραγωγής.
- 5) Winqsb , version 2.0
Qsb , dos.
- 6) A.S.Jain, S.Meeran, A state-of-the-art review of job-shop scheduling techniques,
Department of Applied Physics, Electronic and Mechanical Engineering
University of Dundee, 1998.

