

ΧΡΟΝΟ-ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Η/Υ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διοίκηση Παραγωγής & Συστημάτων Υπηρεσιών
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Περιεχόμενα

- Φύση και Σπουδαιότητα του Χρον-προγραμματισμού Παραγωγής
- Προγραμματισμός Εργασιών σε Μηχανές
- Έλεγχος Παραγωγικής Διαδικασίας (Shop-floor Control)
- Αρχές Προγραμματισμού Κέντρων Εργασίας

Κέντρο Εργασίας

3

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Χώρος εντός μίας επιχείρησης όπου πραγματοποιείται οργάνωση των παραγωγικών πόρων και εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών.

Μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες μηχανές ή εν γένει σύνθετο εξοπλισμό εκτέλεσης των εργασιών:

- Διάταξη Παραγωγής Κατά Παραγγελία (Job Shop)
- Διάταξη Παραγωγής Συνεχούς Ροής (Flow Shop)
- Σταθερή Διάταξη
- Διάταξη Γραμμής Συναρμολόγησης
- Διάταξη GTC - Group Technology Cell

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 1/6

4

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- Δρομολόγηση εργασιών (sequencing)
- Χρονο - Δρομολόγηση εργασιών (scheduling)
- Παραγωγή Πλάνων (time-tabling)
- Χρονο - Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων (fleet scheduling)
- Προγραμματισμός Ανθρώπων (Shifting / Rostering)
- Κοπή / Ανάμιξη Υλικών (cutting stock / mixing)
- Δημιουργία / Διαχείριση Χαρτοφυλακίου (portfolio management)
- ... κ.λπ.

Περιλαμβάνει

- Εργασίες
- Πόρους
- Κανόνες & Περιορισμοί
- Κριτήρια

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 2/6

5

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Εργασίες:

- Παραγωγή Αγαθών
- Δρομολόγηση Μεταφορών
- Εξαγωγή Χρονο-προγραμμάτων
- Κοπή / Ανάμιξη Υλικών
- Δημιουργία Χαρτοφυλακίων
- Διαχείριση Αποθεμάτων

Διακρίνονται σε:

- Συνεχείς / Διακριτές
- Χρονικά Εξαρτημένες / Ανεξάρτητες
- Χωρικά Εξαρτημένες / Ανεξάρτητες
- Διακοπτόμενες / Μη διακοπτόμενες
- Εφάπαξ / Επαναλαμβανόμενες

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 3/6

6

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Πόροι:

- Άνθρωποι
- Μηχανές
- Πρώτες Ύλες
- «Διαστάσεις»

Διακρίνονται σε:

- Σταθεροί / Εναλλάξιμοι
- Ανανεώσιμοι / Αναλώσιμοι / Μεταβλητής Κατάστασης
- Απλοί / Πολλαπλοί

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 4/6

7

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Κανόνες & Περιορισμοί:

- Ανταποκρίνονται σε Φυσικά, Παραγωγικά, Λειτουργικά, Οργανωτικά, Κοινωνικά,..., κ.λπ. χαρακτηριστικά του προβλήματος
- Καθορίζουν τον τρόπο εκτέλεσης των εργασιών
- Σε αλγοριθμικό επίπεδο, καθορίζουν το υποσύνολο των επιτρεπτών συνδυασμών των τιμών των μεταβλητών του προβλήματος
- Στη γενική περίπτωση η ύπαρξη περιορισμών και κανόνων διευκολύνει την εξεύρεση λύσης καθώς περιορίζει σημαντικά το πεδίο τιμών των εφικτών λύσεων.

Διακρίνονται σε:

- Ισχυρούς
- Ασθενείς
- Προτιμήσεις

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 5/6

8

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Κριτήρια:

- Ενσωματώνουν τις προτιμήσεις και επιθυμίες της διοίκησης σχετικά με τη παραγωγή
- Επιτρέπουν την αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων
- Αποτελούν μέρος της αντικειμενικής συνάρτησης

Το Πρόβλημα Προγραμματισμού 6/6

Σχέση Περιορισμών & Κριτηρίων:

- Κάποιες φορές οι ασθενείς περιορισμοί και τα κριτήρια είναι εναλλάξιμα!

Π.χ. Η επιθυμία σεβασμού των ημερομηνιών παραγωγής και παράδοσης (deadline) ενός προϊόντος μπορεί να θεωρηθεί ταυτόχρονα περιορισμός της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και κριτήριο αξιολόγησης του προτεινόμενου πλάνου παραγωγής.

- Σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. γενετικοί αλγόριθμοι) οι ασθενείς περιορισμοί ενσωματώνονται στην αντικειμενική συνάρτηση
- Η επιλογή για το αν μια προτίμηση εμφανίζεται ως περιορισμός ή κριτήριο, ανήκει στη διοίκηση.

Προγραμματισμός Δυναμικότητας

10

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- Πεπερασμένη Δυναμικότητα
- Μη πεπερασμένη Δυναμικότητα
- Σχεδίαση «προς-τα-εμπρός»
- σχεδίαση «προς-τα-πίσω»

Τυπικές λειτουργίες Προγραμματισμού και Ελέγχου

11

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- Ανάθεση πόρων (εξοπλισμό, προσωπικό) σε εργασίες
- Καθορισμός σειράς εκτέλεσης εργασιών (δρομολόγηση)
- Εκκίνηση εκτέλεσης σχεδιασθείσας εργασίας
- Έλεγχος Παραγωγικής Διαδικασίας (Shop-floor Control)
 - ▣ Ανάλυση της κατάστασης των εκτελούμενων εργασιών
 - ▣ Επίσπευση καθυστερημένων και κρίσιμων εργασιών

Στόχοι Προγραμματισμού

12

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- Σεβασμός Προθεσμιών (due dates)
- Ελαχιστοποίηση Χρόνου Υλοποίησης Προγράμματος (Lead Time)
- Ελαχιστοποίηση Χρόνου ή Κόστους Ρύθμισης (setup) Μηχανών
- Ελαχιστοποίηση Εκκρεμοτήτων
- Μεγιστοποίηση χρήσιμότητας μηχανών (machine utilization) ή πόρων

Κριτήρια Αξιολόγησης Προγραμματισμού

13

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- Ποσοστό ολοκληρωμένων εργασιών εντός των καθορισμένων προθεσμιών (ημερομηνιών παράδοσης)
- Βελτίωση χρόνου εκτέλεσης των εργασιών
- Ποσοστό χρησιμοποιούμενων πόρων
- Ποσοστό άεργου χρόνου (ανθρώπων / μηχανών)

Προγραμματισμός Εργασιών σε Μηχανές

14

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

- N - εργασίες , 1 μηχανή- " $n/1$ "
- N - εργασίες , 2 μηχανές - " $n/2$ "
- N - εργασίες , N μηχανές - " n/n "
- N - εργασίες , M μηχανές - " n/m "

Έστω:

- T_{now} = Τρέχουσα Χρονική Στιγμή
- $T_{\text{επέξ}}$ = Απαιτούμενος χρόνος Επεξεργασίας της Εργασίας
- T_s = Χρονική Στιγμή Έναρξης της Εργασίας
- T_e = Χρονική Στιγμή Ολοκλήρωσης της Εργασίας : $T_s + T_{\text{επέξ}}$
- T_r = Χρόνος που απομένει για την Ολοκλήρωση Εργασίας = $T_e - T_{\text{now}}$
- T_{dl} = Καθορισμένη Ημερομηνία παράδοσης της Εργασίας

Κανόνες Απόδοσης Προτεραιοτήτων για Δρομολόγηση Εργασιών 1/2

15

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

1. First-come, first-served (FCFS)
2. Ελάχιστος Χρόνος Εκτέλεσης - ΕΧΕ (SPT) : $T_{επεξ} = \min$
3. Αυστηρότερη (κοντινότερη) προθεσμία παράδοσης : $T_{dl} = \min$
4. Μικρότερο χρόνο έναρξης εκτέλεσης : $T_s = \min$
5. Μικρότερος χρόνος χαλάρωσης (Slack Time Remaining) : $T_{dl} - T_e$

Κανόνες Απόδοσης Προτεραιοτήτων για Δρομολόγηση Εργασιών 2/2

16

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

6. Μικρότερος χρόνος χαλάρωσης (ανα εργασία) : $STR / \text{σύνολο εργασιών}$

7. Smallest critical ratio (CR) : $(T_{dl} - T_{now}) / \text{σύνολο εργάσιμων ημερών}$

8. Smallest queue ratio (QR) : $(STR / \text{χρόνο αναμονής})$

9. Last come, first served (LCFS)

10. Τυχαία σειρά δρομολόγησης

Παραδείγματα Δρομολόγησης n-Εργασιών σε Μία Μηχανή 1/4

17

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

First-come, first-served (FCFS)

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης
A	4	5
B	7	10
C	3	6
D	1	4

4-εργασίες, 1-μηχανή

Προγραμματισμός FCFS

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης	Πραγματική Ημερομηνία	Καθυστέρηση
A	4	5	4	0
B	7	10	11	+1
C	3	6	14	+8
D	1	4	15	+11

$ΜΚ = (0+1+8+11) / 4 = 5$ ημέρες

Παραδείγματα Δρομολόγησης n-Εργασιών σε Μία Μηχανή 2/4

18

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Ελάχιστος Χρόνος Εκτέλεσης (ΕΧΕ)

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης
A	4	5
B	7	10
C	3	6
D	1	4

4-εργασίες, 1-μηχανή

Προγραμματισμός ΕΧΕ

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης	Πραγματική Ημερομηνία	Καθυστέρηση
D	1	4	1	0
C	3	6	4	+0
A	4	5	8	+3
B	7	10	15	+5

$MK = (0+0+3+5) / 4 = 2$ ημέρες

Παραδείγματα Δρομολόγησης n-Εργασιών σε Μία Μηχανή 3/4

19

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Last-Come, First-Served (LCFS)

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης
A	4	5
B	7	10
C	3	6
D	1	4

4-εργασίες, 1-μηχανή

Προγραμματισμός LCFS

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης	Πραγματική Ημερομηνία	Καθυστέρηση
D	1	4	1	+0
C	3	6	4	+0
B	7	10	11	+1
A	4	5	15	+10

$ΜΚ = (0+0+1+10) / 4 = 2.75$ ημέρες

Παραδείγματα Δρομολόγησης n-Εργασιών σε Μία Μηχανή 4/4

20

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Αυστηρότερη (κοντινότερη) προθεσμία (ΑΠ)

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης
A	4	5
B	7	10
C	3	6
D	1	4

4-εργασίες, 1-μηχανή

Προγραμματισμός ΑΠ

Εργασίες	Χρόνος Επεξεργασίας	Ημερομηνία Παράδοσης	Πραγματική Ημερομηνία	Καθυστέρηση
D	1	4	1	0
A	4	5	5	+0
C	3	6	8	+2
B	7	10	15	+5

$ΜΚ = (0+0+2+5) / 4 = 1.75$ ημέρες

Αξιολόγηση Κανόνων Προτεραιότητας

Μέθοδος	Μέση Καθυστέρηση
FCFS	5,00
EXE	2,00
LCFS	2,75
ΑΠ	1,75

Η μέθοδος Ελάχιστου Χρόνου Εκτέλεσης θεωρείται -παρά την εξαιρετική απλότητά της- ως μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους απόδοσης προτεραιοτήτων για τη δρομολόγηση εργασιών

Δρομολόγηση n-Εργασιών σε Δύο Μηχανές 1/5

Κανόνας του Johnson

1. Καταγραφή χρόνων επεξεργασίας εργασιών από τις μηχανές A και B.
2. Επιλογή του συντομότερου χρόνου επεξεργασίας
3. Εάν ο χρόνος επεξεργασίας αναφέρεται στην πρώτη μηχανή τότε η αντίστοιχη εργασία εκτελείται πρώτη από όλες. Αν αναφέρεται στη δεύτερη μηχανή η εργασία εκτελείται τελευταία.
4. Εξαίρεση της εργασίας και επανάληψη των βημάτων 2 και 3 έως ότου δρομολογηθούν όλες οι εργασίες.

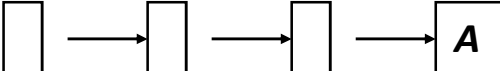
Δρομολόγηση n-Εργασιών σε Δύο Μηχανές 2/5

23

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Εργασία	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή νο 1	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή νο 2
<i>A</i>	3	2
<i>B</i>	6	8
<i>C</i>	5	6
<i>D</i>	7	4

min

Δρομολόγηση κατά Johnson: 

Δρομολόγηση n-Εργασιών σε Δύο Μηχανές 3/5

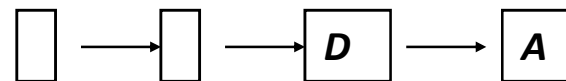
24

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Εργασία	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 1	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 2
<i>A</i>	3	2
<i>B</i>	6	8
<i>C</i>	5	6
<i>D</i>	7	4

min

Δρομολόγηση κατά Johnson:



Δρομολόγηση n-Εργασιών σε Δύο Μηχανές 4/5

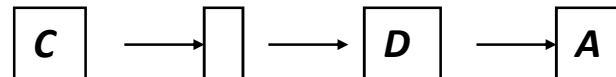
25

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Εργασία	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 1	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 2
<i>A</i>	3	2
<i>B</i>	6	8
<i>C</i>	5	6
<i>D</i>	7	4

min

Δρομολόγηση κατά Johnson:



Δρομολόγηση n-Εργασιών σε Δύο Μηχανές 5/5

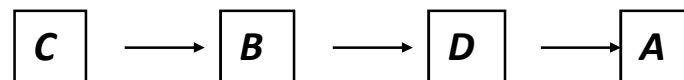
26

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.

Εργασία	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 1	Χρόνος Επεξεργασίας από Μηχανή no 2
A	3	2
B	6	8
C	5	6
D	7	4

min

Δρομολόγηση κατά Johnson:



Δρομολόγηση n-Εργασιών σε n-Μηχανές

- Το πρόβλημα συνίσταται στα εξής:
 - Υπάρχουν n «οντότητες» να μεταφερθούν σε n «προορισμούς».
 - Κάθε «οντότητα» σχετίζεται με έναν μόνο «προορισμό».
 - Μόνο ένα κριτήριο αξιολόγησης (ελάχιστο κόστος, μέγιστο κέρδος, ελάχιστος χρόνος εκτέλεσης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί
- Αποτελεί ειδική περίπτωση του «προβλήματος μεταφοράς» που επιλύεται με γραμμικό προγραμματισμό.
- Είναι βολική για προγραμματισμό ανάθεσης εργασιών σε μηχανές, ανθρώπων σε εργασίες, κ.λπ.
- Επιλύεται συστηματικά με την «Ουγγρική Μέθοδο»

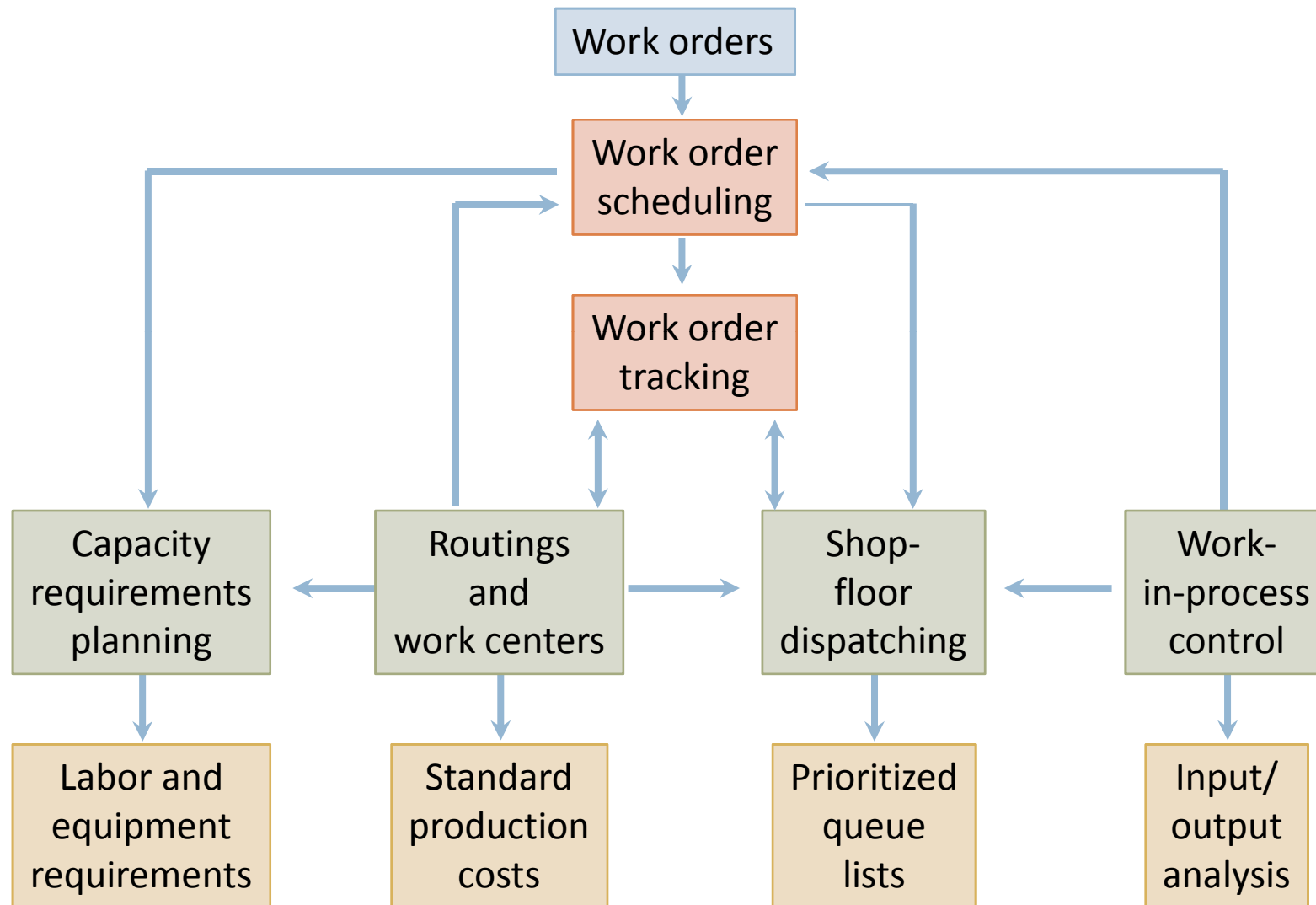
Δρομολόγηση n-Εργασιών σε m-Μηχανές

- Πολύπλοκα προβλήματα προγραμματισμού, περιλαμβάνουν πολλές μηχανές που πρέπει να επεξεργαστούν μεγάλο πλήθος εργασιών
- Στην περίπτωση m-μηχανών που επεξεργάζονται n-εργασίες, οι δυνατοί συνδυασμοί είναι $(n!)^m$. Ενδεικτικά για $n=30$ και $m=5$ έχουμε περίπου 10^{162} συνδυασμούς!
- Η πολυπλοκότητα μειώνεται με την εισαγωγή ασθενών και ισχυρών περιορισμών.
- Δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογίας αντιμετώπισής τους. Η εμπειρική γνώση μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά ευρετικών κανόνων (heuristics) που απλοποιούν τη διαδικασία επίλυσης.
- Εξαιρετικά αποτελεσματικός για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων αποδεικνύεται ο συνδυασμός ευρετικών κανόνων και τυπικών εργαλείων της επιχειρησιακής έρευνας (υβριδισμός).

Έλεγχος Παραγωγικής Διαδικασίας: Κύριες Λειτουργίες

1. Ανάθεση προτεραιότητας σε κάθε παραγγελία
2. Παρακολούθηση / καταγραφή όγκου παραγωγής
3. Ενημέρωση κεντρικών συστημάτων για την κατάσταση (status) κάθε εργασίας
4. Παραγωγή πραγματικών δεδομένων για αποτελεσματικό έλεγχο χωρητικότητας
5. Παραγωγή πραγματικών δεδομένων -ανά μηχανή- για λογιστική παρακολούθηση και έλεγχο αποθεμάτων.
6. Μέτρηση αποτελεσματικότητας, βαθμού χρησιμοποίησης και παραγωγικότητας ανθρώπων / μηχανών

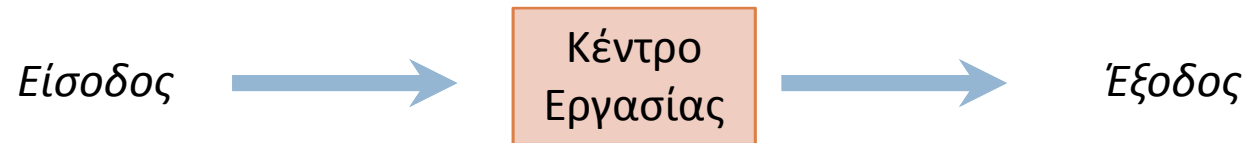
Το Σύστημα Ελέγχου Παραγωγικής Διαδικασίας της Hewlett-Packard



Έλεγχος Εισόδου / Εξόδου σε Κέντρα Εργασίας

31

Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών – Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης – Ε.Μ.Π.



- Η προγραμματισμένη «είσοδος» δεν πρέπει να υπερβαίνει την «έξοδο» του κέντρου εργασίας
- Εστιάζει την προσοχή σε περιπτώσεις «στενώσεων» (bottlenecks) της παραγωγής σε ορισμένα τμήματα.

Ανακεφαλαίωση: Αρχές Προγραμματισμού Κέντρων Εργασίας 1/2

1. Υπάρχει απευθείας αντιστοιχία μεταξύ Ροής Εργασίας και Ροής Χρημάτων.
2. Η αποτελεσματικότητα των παραγωγικών θέσεων πρέπει να μετριέται ως συνάρτηση της ευκολίας «ροής» εργασιών από τη θέση αυτή.
3. Η εκτέλεση μιας εργασίας δεν πρέπει να διακόπτεται, εφόσον αρχίσει.
4. Η ταχύτητα ροής επιτυγχάνεται με εξέταση και ορθό προγραμματισμό των εστιών στένωσης (bottleneck centers).

Ανακεφαλαίωση: Αρχές Προγραμματισμού Κέντρων Εργασίας 2/2

5. Ο προγραμματισμός πρέπει να αναθεωρείται κάθε ημέρα
6. Απαιτείται η διαρκής λήψη στοιχείων, για εργασίες που δεν περατώθηκαν
7. Όταν ή όπου αναζητηθεί τρόπος βελτίωσης της παραγωγής τελικού προϊόντος, πρέπει να γίνει έλεγχος συμβατότητας μεταξύ προτεινόμενης σχεδίασης και πραγματικής εκτέλεσης της εργασίας.
8. Δεν υπάρχουν τυπικές διαδικασίες για την επίλυση ενός προβλήματος job shop