2^{O} ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΛΥΜΕΝΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Στο μάθημα

ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Κεφάλαιο: «*Χωροταξικός Σχεδιασμός*»

Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων
Πανεπιστήμιο Πατρών

Ανδρέας Νεάρχου
Καθηγητής

Χωροταξικός Σχεδιασμός.
Εξισορρόπηση Γραμμών Συναρμολόγησης

Το μοντέλο

Το γενικό πλαίσιο για το πρόβλημα της εξισορρόπησης γραμμών συναρμολόγησης (ΕΓΣ) καθορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Το πλήθος (***n***) των εργασιών συναρμολόγησης.
- Τις σχέσεις προήγησης μεταξύ των εργασιών που συνήθως απεικονίζονται με ένα γράφημα ή ένα δίκτυο εργασιών.
- Τους χρόνους επεξεργασίας (δηλαδή τη διάρκεια) κάθε εργασίας που συμβολίζονται με t_i ($\boldsymbol{i}$=1,2,…,$\boldsymbol{n}$).
- Το πλήθος (***m***) των σταθμών εργασίας (ή επεξεργασίας) που θα χρησιμοποιηθούν στην γραμμή
- Τον κύκλο χρόνου εργασίας (*cycle time*) που συμβολίζεται με ***c*** και αντιστοιχεί στο μέγιστο χρόνο που ο κάθε σταθμός εργασίας της γραμμής μπορεί να λειτουργήσει για την εκτέλεση των επιμέρους εργασιών συναρμολόγησης. Ο ***c*** είτε μας δίδεται κατ' ευθείαν σε ένα πρόβλημα, είτε προκύπτει μετά από υπολογισμό σύμφωνα με την σχέση

$$c = \frac{\text{χρόνος παραγωγής ανά περίοδο}}{\text{Απαιτούμενη έξοδος ανά περίοδο}}$$

- *Ο κανόνας εξισορρόπησης (balancing rule).* Είναι η μέθοδος με την οποία ανατίθενται οι εργασίες συναρμολόγηση στους σταθμούς εργασίας. Η ανάθεση γίνεται πάντα λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις προήγησης μεταξύ των εργασιών ώστε να είναι έγκυρη. Οι πιο δημοφιλείς κανόνες είναι οι εξής:
    - Longest task time (LTT): *Οι εργασίες ανατίθενται στους σταθμούς έτσι ώστε να προηγούνται αυτές με το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης (διάρκεια).*
    - Shortest task time (STT). *Οι εργασίες ανατίθενται στους σταθμούς έτσι ώστε να προηγούνται αυτές με το μικρότερο χρόνο εκτέλεσης. Δηλαδή ακολουθείται η αντίθετη λογική από τον LTT.*
    - Most following tasks (MFT): *Οι εργασίες ανατίθενται στους σταθμούς έτσι ώστε να προηγούνται αυτές που στο δίκτυο προήγησης έχουν μπροστά τους μεγαλύτερο αριθμό εργασιών. Δηλαδή, προηγούνται περισσοτέρων εργασιών.*
    - Least number of following tasks (LST). *Ανάθεση με αντίθετη λογική από αυτή του κανόνα MFT.*
    - Ranked positional weight (RPW): *Επιλέγεται πρώτη αυτή για την οποία το άθροισμα των εργασιών που ακολουθούν είναι το μέγιστο.*

Προσοχή: Αν μετά την εφαρμογή κάποιου κανόνες δύο ή περισσότερες εργασίες έχουν την ίδια προτεραιότητα, τότε η επιλογή ανάθεσης γίνεται αυθαίρετα εκτός και αν έχει οριστεί επιπρόσθετος κανόνας για επιλογή.

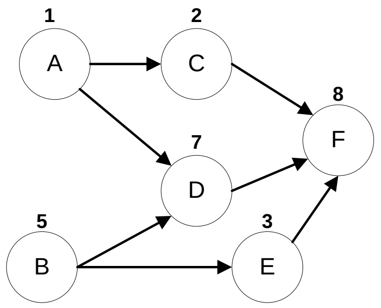
- Ο χρόνος που απαιτείται για να συναρμολογηθεί μια μονάδα τελικού προϊόντος. Είναι το άθροισμα των χρόνων όλων των εργασιών, δηλ. $\sum_{i=1}^{n} t_i = t_1 + t_2 + \ldots + t_n$
- Ο χρόνος σταθμού (*station time*) $t(S_k)$ (k=12,…,m) που είναι το άθροισμα των χρόνων των εργασιών συναρμολόγησης που ανατέθηκαν στον σταθμό *k*. Ισχύει, $t(S_k) \leq c$.
- Το φορτίο ενός σταθμού (*station load*) S_k είναι το σύνολο των εργασιών που έχουν ανατεθεί στο συγκεκριμένο σταθμό.
- Ο αδρανής χρόνος σταθμού (*idle time*) που είναι ο ανενεργός χρόνος ενός σταθμού και υπολογίζεται από την σχέση: $c - t(S_k)$.
- Ο θεωρητικά ελάχιστος αριθμός σταθμών εργασίας σε μια γραμμή συναρμολόγησης με γνωστό το ***c*** υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση $m^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{c}$.
- Η αποδοτικότητα (*efficiency*) της γραμμής υπολογίζεται από την σχέση $E = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{m.c}$.
- Η καθυστέρηση της εξισορρόπησης (*BD, balance delay*) μας δίδει τον ποσοστό του αδρανούς (χαμένου) χρόνου της γραμμής και υπολογίζεται από την σχέση *BD*=1–*E*.

Για περισσότερα διαβάστε από το Βιβλίο «Χρονικός Προγραμματισμός στη Βιομηχανία και τις Υπηρεσίες» κεφ. 7.

Λυμένες ασκήσεις για το πρόβλημα
εξισορρόπηση γραμμών συναρμολόγησης (ΕΓΣ)

Άσκηση 1:

Έστω το παρακάτω δίκτυο προήγησης εργασιών σε ένα πρόβλημα ΕΓΣ. Οι αριθμοί εκτός των κύκλων ορίζουν τη διάρκεια κάθε εργασίας σε λεπτά. Ο χρόνου κύκλου εργασίας είναι ίσος με 10 min. Να υπολογιστούν, (α) ο θεωρητικά ελάχιστος αριθμός σταθμών εργασίας στην γραμμή και (β) η αποδοτικότητα της γραμμής.



ΛΥΣΗ

(α) $m^* = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{c} = \dfrac{1+5+2+7+3+8}{10}$ =2,6 ≈ 3 σταθμοί

(β) $E = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{m.c} = \dfrac{26}{(3).(10)} = 0{,}87$.

Έτσι, η αποδοτικότητα της γραμμής με 3 σταθμούς εργασίας είναι 87%.

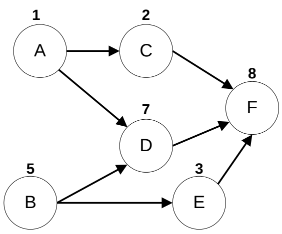
Άσκηση 2:
Θεωρώντας και πάλι το πιο πάνω πρόβλημα να γίνει εξισορρόπηση της γραμμής με τον κανόνα του μακρύτερου χρόνου εργασίας (LTT). Κατόπιν, να υπολογιστούν ο συνολικός αδρανής χρόνος της γραμμής και η αποδοτικότητας της.

ΛΥΣΗ

Με βάση τον κανόνα LTT οι εργασίες θα ανατεθούν στους σταθμούς με πρώτες αυτές που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια. Η ανάθεση για να είναι έγκυρη πρέπει να ικανοποιεί τους εξής περιορισμούς: (1) όχι παραβίαση των σχέσεων προήγησης μεταξύ των εργασιών. (2) ο χρόνος σταθμού κάθε ενός από τους σταθμούς πρέπει να είναι ≤ του c.

Τα τρία βήματα ανάθεσης εργασιών σε σταθμούς.

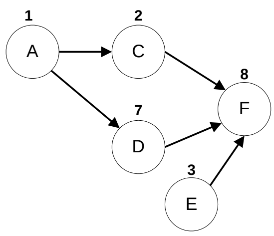
1. Άνοιξε ένα νέο σταθμό
2. Ανάθεσε εργασίες στον σταθμό λαμβάνοντας υπόψη τον κανόνα εξισορρόπησης και τους περιορισμούς εγκυρότητας της λύσης που συζητήθηκαν πιο πάνω.
3. Εφόσον ο σταθμός δεν μπορεί να δεχτεί άλλες εργασίες και υπάρχουν ακόμη κι άλλες εργασίες στην γραμμή πήγαινε στο βήμα 1.



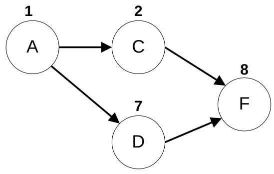
Έτσι, με βάση το διπλανό σχήμα, έχουμε:

1^{ος} σταθμός:

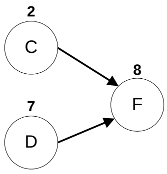
- Υποψήφιες για ανάθεση οι εργασίες {A, B}. Ανατίθεται η B γιατί έχει μεγαλύτερη διάρκεια. Έτσι, το φορτίο και ο χρόνος του σταθμού είναι: S_1 ={B} και $t(S_1)$ =5



- Υποψήφιες για ανάθεση οι εργασίες {A, E}. Ανατίθεται η E γιατί $t_E > t_A$ και έχουμε: S_1 ={B, E} και $t(S_1)$ =5+3=9.

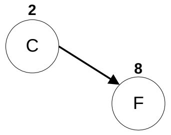


- Υποψήφια για ανάθεση η εργασία {A}. Μπορεί να ανατεθεί κι αυτή στον 1^{ο} σταθμό και έχουμε: S_1 ={B, E, A} και $t(S_1)$ =5+3+1=10.
- Ο σταθμός "γέμισε" (έπιασε το μέγιστο όριο ανάθεσης που είναι ο κύκλος c) οπόταν ανοίγουμε ένα νέο σταθμό.

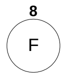


2ος σταθμός:

- Υποψήφιες για ανάθεση οι εργασίες {C, D}. Ανατίθεται η D γιατί έχει μεγαλύτερη διάρκεια από την C. Έτσι, το φορτίο και ο χρόνος του σταθμού είναι: S_2 ={D} και $t(S_2)$ =7.



- Υποψήφια για ανάθεση η εργασία {C} η οποία ανατίθεται στον 2^o σταθμό και έχουμε: S_2={D, C} και $t(S_2)$=7+2=9.
- Η επόμενη και τελευταία εργασία (F) δεν μπορεί να ανατεθεί στον 2^o σταθμό γιατί παραβιάζεται ο μέγιστος χρόνος λειτουργίας του σταθμού (πρέπει να είναι < c). Έτσι, ανοίγουμε ένα νέο σταθμό στον οποίο αναθέτουμε την F.

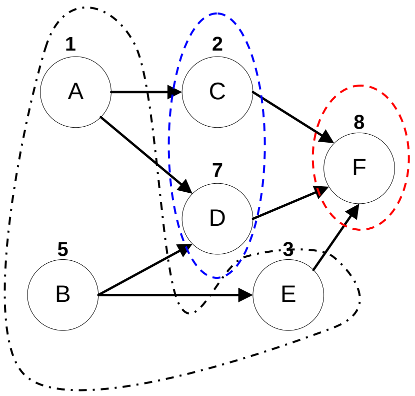


3ος σταθμός:

- S_3={F} και $t(S_3)$=8.

Έτσι, η λύση εξισορρόπησης (*balance solution*) για το πρόβλημα είναι:

S_1={B, E, A}, S_2={D, C}, S_3={F}



Άσκηση 3:
Ποιος ο συνολικός αδρανής χρόνος (χαμένος χρόνος) της γραμμής με βάση την εξισορρόπηση που επιτεύχθηκε με τον κανόνα LTT;

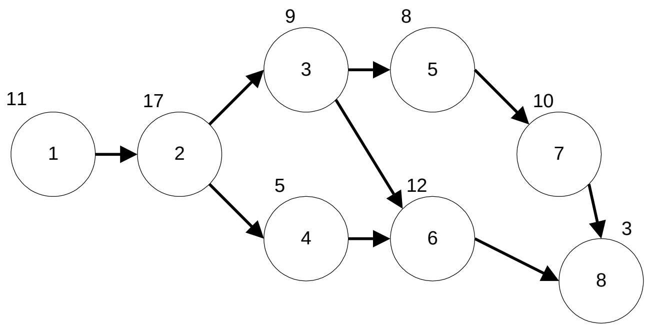
ΛΥΣΗ

Εφαρμόζοντας τον κανόνα LTT υπολογίσαμε ότι ο χρόνος κάθε σταθμού είναι αντίστοιχα:

$t(S_1)=10$, $t(S_2)=9$, $t(S_3)=8$

Ο αδρανής χρόνος κάθε σταθμού υπολογίζεται από την σχέση $c - t(S_k)$. Έτσι, οι αδρανείς χρόνοι των τριών σταθμών είναι αντίστοιχα 0, 1, και 2 λεπτά. Οπόταν ο συνολικός αδρανής χρόνος της γραμμής είναι 3 λεπτά.

Άσκηση 4:



Έστω η γραμμή συναρμολόγησης με 8 εργασίες και με σχέσεις προήγησης που δίδονται από το διπλανό σχήμα. Οι αριθμοί έξω από τους κύκλους αντιστοιχούν στη διάρκεια (σε λεπτά) κάθε εργασίας, ενώ εντός κύκλου ορίζουν την κάθε εργασία. Δηλαδή, π.χ. η εργασία 1 έχει διάρκεια 11 λεπτά, η εργασία 2 17 λεπτά, κ.ο.κ.

Αν η γραμμή πρέπει να λειτουργήσει σε τριπλή οκτάωρη βάρδια (πρωί, μεσημέρι, βράδυ) κάθε μέρα με σκοπό την παραγωγή 100 μονάδων προϊόντος ημερησίως να υπολογιστούν τα εξής:

(α) Ο ελάχιστος αριθμός σταθμών εργασίας που απαιτούνται στην γραμμή.

(β) Να εξισορροπηθεί το φορτίο της γραμμής σύμφωνα με τον κανόνα του ελάχιστου χρόνου επεξεργασίας (LTT first)..

(γ) Να υπολογιστεί η αποδοτικότητα της γραμμής, η καθυστέρηση εξισορρόπησης και ο συνολικός ανενεργός χρόνος των σταθμών.

ΛΥΣΗ

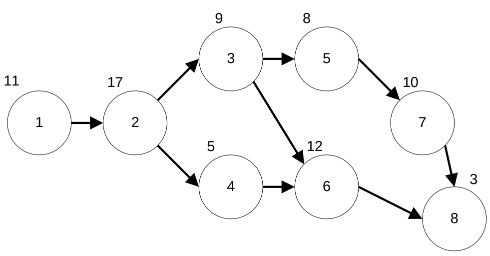
(α) Πρώτα απ' όλα πρέπει να υπολογίσουμε τον κύκλο χρόνου εργασίας. Έτσι, έχουμε:

$$c = \frac{\text{χρόνος παραγωγής ανά περίοδο}}{\text{Απαιτούμενη έξοδος ανά περίοδο}} = \frac{[(3\ \text{βάρδιες})\times(8\ \text{ώρες})\times(60\ \text{λεπτά/ωρα})]/\text{μέρα}}{40\ \text{μονάδες / μέρα}}$$

c=36 λεπτά/μονάδα.

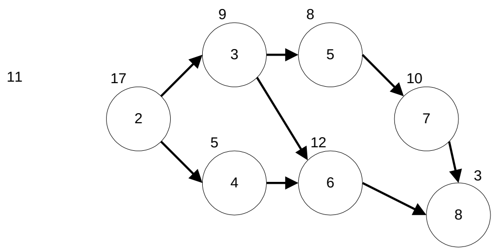
$$m^* = \frac{\sum_{i=1}^{8} t_i}{c} = \frac{75}{36} = 2{,}08 \approx 3\ \text{σταθμοί}$$

(β) Με βάση τον κανόνα STT οι εργασίες θα ανατεθούν στους σταθμούς με πρώτες αυτές που έχουν μικρότερη διάρκεια.

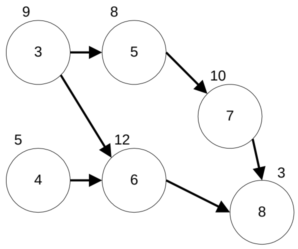


1^{ος} σταθμός:

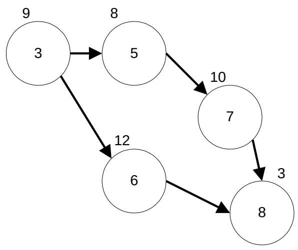
Υποψήφια για ανάθεση είναι μόνο η εργασία {1}. Έτσι, το φορτίο και ο χρόνος του σταθμού είναι: $S_1 = \{1\}$ και $t(S_1) = 11$.



Υποψήφια για ανάθεση είναι μόνο η εργασία {2}. Έτσι, το φορτίο και ο χρόνος του σταθμού είναι: S_1 ={1, 2} και $t(S_1)$ =11+17=28.



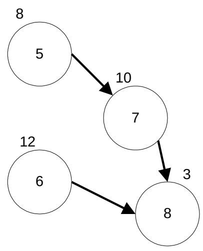
Υποψήφιες για ανάθεση είναι οι εργασίες {3,4}. Η 4 έχει μικρότερη διάρκεια και άρα αυτή θα ανατεθεί στον σταθμό. Έτσι, S_1 ={1,2,4} και $t(S_1)$ =11+17+5=33.



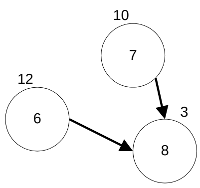
Υποψήφια για ανάθεση είναι η εργασία 3 όμως δεν μπορεί να ανατεθεί στον 1$^{\text{ο}}$ σταθμό και έτσι ανοίγουμε ένα νέο σταθμό.

2$^{\text{ος}}$ σταθμός:

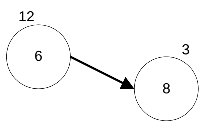
- S_2 ={3} και $t(S_2)$ =9.



- Υποψήφιες για ανάθεση είναι οι εργασίες 5 και 6. Ανατίθεται η 5 γιατί έχει μικρότερη διάρκεια. Έτσι, S_2 ={3, 5} και $t(S_2)$ =9+8=17.



- Υποψήφιες για ανάθεση είναι οι εργασίες 6 και 7. Ανατίθεται η 7 γιατί έχει μικρότερη διάρκεια. Έτσι, S_2 ={3, 5, 7} και $t(S_2)$ =9+8+10=27.



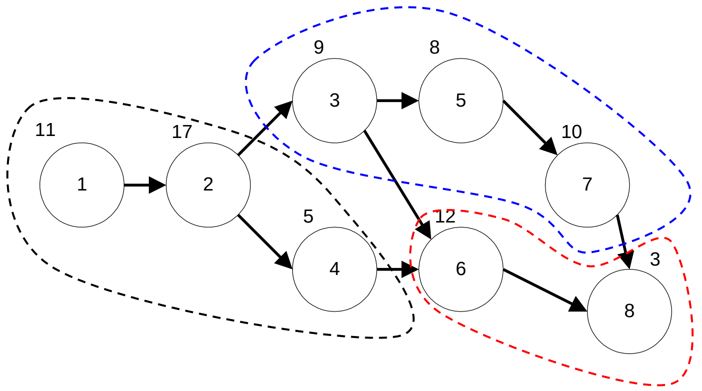
- Υποψήφια για ανάθεση είναι η εργασία 6. Αλλά δεν μπορεί να ανατεθεί στον σταθμό γι αυτό ανοίγουμε ένα νέο.

3$^{\text{ος}}$ σταθμός:

- Έχουμε, S_3 ={6} και $t(S_3)$ =12
- Τέλος, η εργασία 8 ανατίθεται και αυτή στον 3$^{\text{ο}}$ σταθμό και έχουμε: S_3 ={6, 8} και $t(S_3)$ =12+3=15**.**

Έτσι, η λύση εξισορρόπησης (*balance solution*) για το πρόβλημα είναι:

S_1={1,2,4}, S_2={3, 5, 7}, S_3={6, 8}



(γ) Υπολογισμός αποδοτικότητας γραμμής (*E*), καθυστέρηση εξισορρόπησης (*BD*) και συνολικού ανενεργού χρόνου των σταθμών.

- $E = \dfrac{\sum_{i=1}^{8} t_i}{m.c} = \dfrac{75}{(3).(36)} = 0,694$.
- *BD*=1–*E*=1–0,694 = 0,306.
- Συνολικός ανενεργός χρόνος = c– $t(S_1)$ + c– $t(S_2)$ + c– $t(S_3)$ =3+9+21=33 λεπτά.

□