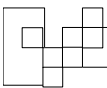
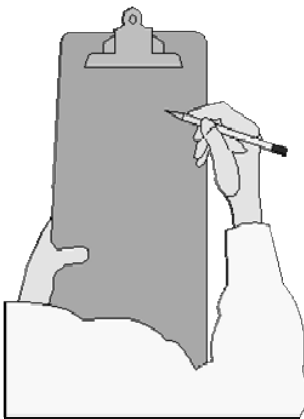


Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής

- Στόχοι, Δυσκολία και πολυπλοκότητα, Σημαντικότητα, Εμφάνιση του προβλήματος
- Μορφές χωροταξικής διάταξης
- Ανάγκες σε χώρους εργασίας
- Συστηματικός χωροταξικός σχεδιασμός
 - Αναγκαία δεδομένα
 - Μεθοδολογία συστηματικού χωροταξικού σχεδιασμού
- Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης
 - Μοντέλα βελτιστοποίησης
 - Ευρεστικοί αλγόριθμοι
 - Απλές προσεγγιστικές τεχνικές
- Σχεδίαση διακίνησης υλικών



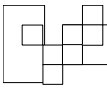
Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής ⁽¹⁾

Μέρος του γενικότερου προβλήματος σχεδιασμού παραγωγικών συστημάτων.

Αφορά τη διάταξη του παραγωγικού δυναμικού στο χώρο, με στόχο τη βέλτιστη χρήση.

Προβλήματα χωροταξίας σε εγκαταστάσεις παραγωγής:

- η επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας μονάδας παραγωγής,
- η τοποθέτηση τμημάτων (κτιρίων) μέσα στο χώρο εγκατάστασης του εργοστασίου,
- η τοποθέτηση των μέσων παραγωγής, των γραφείων και των κοινόχρηστων χώρων,
- η χωροταξία της θέσεως εργασίας.

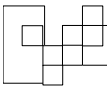


Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (2)

Στόχοι χωροταξικού σχεδιασμού

- ομαλή ροή των υλικών,
- εξασφάλιση συνθηκών για παραγωγή καλής ποιότητας προϊόντων,
- ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων (ιδίως αυτών που οφείλονται στην αποθήκευση και μεταφορά των υλικών),
- εξασφάλιση ευελιξίας του παραγωγικού συστήματος,
- ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και
- εξασφάλιση συνθηκών άνεσης και ασφάλειας στους εργαζόμενους.

Κριτήρια αξιολόγησης μεταβάλλονται ανάλογα με την παραγωγική διαδικασία (π.χ. χαλυβουργία με θερμό μέταλλο κριτήριο η ταχύτητα μετακίνησης του υλικού, μηχανουργείο κριτήριο αποτελεσματική χρησιμοποίηση των εργαλειομηχανών).



Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (3)

Δύσκολο και πολύπλοκο πρόβλημα λόγω

- έλλειψης ή της δυσκολίας υπολογισμού των αναγκαίων λεπτομερών δεδομένων,
- ύπαρξης ενός πολύ μεγάλου αριθμού εφικτών εναλλακτικών λύσεων,
- σύνδεσης του συγκεκριμένου προβλήματος με άλλα προβλήματα της παραγωγικής διαδικασίας,
- μεγέθους του προβλήματος π.χ. γραμμική διάταξη n μηχανών, δημιουργεί $n!$ εναλλακτικές λύσεις.

Δεν είναι απλά ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης (optimization) αλλά ένα πρόβλημα σχεδίασης (design) (δεν έχουν σαφώς ορισμένη βέλτιστη λύση).

Γενικά, στην πράξη πρώτα επιλύεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης και στη συνέχεια η λύση αυτή αναθεωρείται ώστε να ικανοποιούνται κάποιοι πρόσθετοι παράγοντες που δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (4)

Μέτρηση δυσκολίας του προβλήματος (Lewis & Block (1980)):

Παράμετρος κόστους w_{ij} (μεταξύ των τμημάτων i και j) $w_{ij} = f_{ij} b_{ij}$

f_{ij} ένταση ροής (μετακινήσεις/χρονική μονάδα)

b_{ij} συντελεστής κόστους μετακίνησης (κόστος/ μονάδα απόστασης)

Συντελεστής μεταβολής των w_{ij} για M τμήματα:

$$f = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M w_{ij}^2 - M^2 \bar{w}^2}{M^2 - 1} \right]^{1/2}}{\bar{w}} \quad \text{όπου} \quad \bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M w_{ij}}{M^2}$$

Πειράματα έδειξαν ότι, σε προβλήματα

- με $f > 2$ υπάρχει μια κύρια αρτηρία ροής και είναι εύκολο να λυθούν.
- με μικρές τιμές του f ($f \approx 0$) υπάρχουν πολλές διαδρομές με περίπου ίδια ροή άρα πολλές λύσεις είναι κοντά στη βέλτιστη.
- με $f \approx 1$ είναι δύσκολο και επίπονο να βρεθούν καλές λύσεις.

Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (5)

Το f δεν δηλώνει το μέγεθος του προβλήματος. Καθώς το M αυξάνει η δυσκολία μεγαλώνει.

f μεγιστοποιείται όταν ένα μόνο w_{ij} είναι μη μηδενικό και ελαχιστοποιείται όταν όλα τα w_{ij} είναι ίσα

Άρα μπορούμε να βρούμε δύο φράγματα για το f

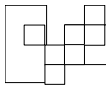
$$f_u = M \sqrt{\frac{M^2 - M + 1}{(M-1)(M^2-1)}} \quad (\text{άνω φράγμα}) \quad f_l = M \sqrt{\frac{1}{(M-1)(M^2-1)}} \quad (\text{κάτω φράγμα})$$

$f_u \uparrow M, \quad f_l \downarrow M$

M	2	5	10	20	30	50
f_u	2.00	2.34	3.20	4.46	5.50	7.07
f_l	1.15	0.51	0.34	0.23	0.19	0.14

Εισαγωγή του μεγέθους του προβλήματος στη μέτρηση δυσκολίας

$$f' = \frac{f_u - f}{f_u - f_l} \quad \text{Προβλήματα με } f' \text{ κοντά στο } 0 \text{ ή } 1 \text{ εύκολα}$$



Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (6)

Παράδειγμα: (εταιρεία παραγωγής ενός ηλεκτρονικού εξαρτήματος)

Μετακινήσεις την ημέρα

Από/Προς	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	-	40	10	30	10	50
D2		-				100
D3			-			102
D4				-		100
D5			100		-	
D6	100	5	2	5	5	-

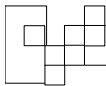
$$\bar{w} = \frac{40+10+\dots+5}{36} = 18.3056$$

$$\sum w_{ij}^2 = 55.683$$

$$f = \frac{\left[\frac{55.683 - 36(18.3056)^2}{35} \right]^{1/2}}{18.3056} = 1.9285$$

Υπάρχουν κάποιες ισχυρές αρτηρίες αλλά όχι μία κύρια

$$f' = \frac{f_u - f}{f_u - f_l} = \frac{2.525 - 1.9285}{2.525 - 0.4536} = 0.2879$$

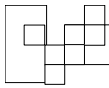


Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (7)

Γιατί είναι σημαντικό πρόβλημα:

Ο χωροταξικός σχεδιασμός επιλύει ένα σύνολο προβλημάτων όπως:

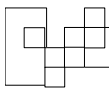
- καθυστερήσεις και άεργος χρόνος στην παραγωγή,
- διαχείριση αποθεμάτων,
- συνθήκες συνωστισμού, μπουτιλιαρίσματος σε κάποια σημεία των γραμμών παραγωγής,
- άσκοπη απασχόληση ανθρώπων με μεταφορικό έργο,
- χρονικός προγραμματισμός ροής υλικών κτλ.



Χωροταξική Διάταξη Παραγωγής (8)

Πότε εμφανίζεται:

- νέο παραγωγικό σύστημα
- αναδιευθέτηση των λειτουργιών στο χώρο σε υπάρχοντα συστήματα:
 - μεταβολή στο σχέδιο ενός εξαρτήματος ή ενός προϊόντος, που απαιτεί αλλαγή διαδικασίας παραγωγής,
 - αύξηση του όγκου παραγωγής, όταν απαιτείται προσθήκη παραγωγικού δυναμικού,
 - μείωση του όγκου παραγωγής, οπότε προκύπτει το αντίστροφο πρόβλημα,
 - έναρξη παραγωγής ενός νέου προϊόντος, οπότε χρειάζεται είτε προσθήκη δυναμικού στα υπάρχοντα τμήματα είτε δημιουργία ενός νέου τμήματος,
 - μεταφορά ενός τμήματος από μία θέση σε μία άλλη, οπότε δίνεται η ευκαιρία να διορθωθούν τυχόν λάθη ή αδυναμίες στην υπάρχουσα χωροταξία,
 - αντικατάσταση παλιού εξοπλισμού,
 - αλλαγή στη μέθοδο παραγωγής.



Μορφές Χωροταξικής Διάταξης (1)

Διάταξη κατά προϊόν (Γραμμή παραγωγής)

- Διάταξη του εξοπλισμού σύμφωνα με τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος.
- Μαζική παραγωγή περιορισμένου αριθμού προϊόντων

Λειτουργική διάταξη (ή χωροταξία τύπου διαδικασίας).

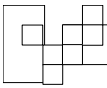
- Οι μηχανές ή οι υπηρεσίες του ίδιου τύπου χωροθετούνται μαζί σε γειτονικές θέσεις.
- Παραγωγή μικρού όγκου και μεγάλης ποικιλίας προϊόντων.

Διάταξη σταθερής θέσης

- Το προϊόν δε μετακινείται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά αντίθετα μεταβάλλεται η θέση του παραγωγικού δυναμικού (εξοπλισμός, διαδικασίες).

Διάταξη κατά ομάδες

- Διαμέριση του συνολικού παραγωγικού συστήματος σε μικρότερα ανεξάρτητα υποσυστήματα. Ο εξοπλισμός διατάσσεται σε ομάδες, όχι απαραίτητα ομοειδείς. Βασικό κριτήριο ομαδοποίησης αποτελεί η λειτουργία των μηχανών και τα φασεολόγια κατεργασίας προϊόντων.



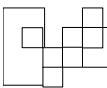
Μορφές Χωροταξικής Διάταξης (2)

Υβριδική διάταξη

Παράδειγμα: είναι δυνατή η παραγωγή των εξαρτημάτων σε διάταξη κατά ομάδες και η συναρμολόγηση σε τελικό προϊόν σε διάταξη κατά προϊόν.

Η υβριδική χωροταξική διάταξη παρουσιάζει σημαντικότερες σχεδιαστικές δυσκολίες, αλλά προσφέρει αρκετά περισσότερα πλεονεκτήματα, εκμεταλλευόμενη τα καλά στοιχεία κάθε συστήματος.

Τα συστήματα χωροταξικής διάταξης που αναφέρθηκαν σπάνια συναντώνται αυτοτελή, αλλά συνήθως εμφανίζονται με τη μορφή μιας μικτής διάταξης. Μια βιομηχανία που αναπτύσσεται αυξάνοντας τον όγκο και την ποικιλία των παραγόμενων προϊόντων, ανακαλύπτει συνήθως ότι κανένα από τα προηγούμενα χωροταξικά συστήματα παραγωγής δεν είναι σε θέση να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της.



Ανάγκες σε χώρους εργασίας

Υπολογισμός των πραγματικών επιφανειών εργασίας (ένα από τα βασικότερα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος της χωροταξικής διάταξης) για

➤ τον εξοπλισμό (μηχανή = κέντρο παραγωγής που αποτελείται από την ίδια τη μηχανή, τον απαραίτητο γι αυτήν πρόσθετο εξοπλισμό, καθώς και την απαραίτητη επιφάνεια γύρω από αυτήν (πραγματικές διαστάσεις του εξοπλισμού)

➤ τις μετακινήσεις (διάδρομοι: ενδομηματικοί και διαμηματικοί αναγκαίοι αλλά «νεκροί» χώροι. Επιδιώκεται ελαχιστοποίηση του εμβαδού τους, μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσής τους)

➤ βοηθητικοί χώροι υποστηρίζουν και υποβοηθούν τις λειτουργίες του εργοστασίου:

- γραφεία στο χώρο παραγωγής (για επιβλέποντες, μηχανικούς κτλ),
- τμήματα συντήρησης για εξοπλισμό παραγωγής και μετακίνησης υλικών,
- χώροι για επιθεώρηση προϊόντων,
- τμήματα εργαλείων (για παραγωγή, επισκευή ή αποθήκευση),
- χώροι εξυπηρέτησης πελατών και
- χώροι φόρτωσης και εκφόρτωσης α' υλών και τελικών προϊόντων.

➤ το προσωπικό θέσεις εργασίας, λοιπούς βοηθητικούς χώρους εξυπηρέτησης του προσωπικού: χώροι υγιεινής, χώροι φύλαξης προσωπικών αντικειμένων και ιματισμού, ιατρεία και χώροι πρώτων βοηθειών, χώροι διαλείμματος και ανάπαυσης, χώροι σίτισης και χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων.



Συστηματική χωροταξική διάταξη (1)

Πλήθος προτύπων και διαφορετικών προσεγγίσεων για την αντιμετώπιση της χωροταξίας παραγωγικών συστημάτων

Συστηματικός Χωροταξικός Σχεδιασμός (Systematic Layout Planning) R. Muther (1960): έμφαση στους ποιοτικούς παράγοντες. Απλή με ιδιαίτερη επιτυχία.

Τα βασικά στάδια εφαρμογής:

- Φάση 1 (Καθορισμός θέσης εγκατάστασης)

Αφορά ένα υπάρχον κτίριο σε περίπτωση ανασχεδιασμού της παραγωγής ή ένα νέο κτίριο σε περίπτωση νέων εγκαταστάσεων ή επέκτασης αυτών.

- Φάση 2 (Ανάπτυξη γενικού χωροταξικού σχεδίου)

Περιλαμβάνει τον καθορισμό της ροής των υλικών, τις ειδικές απαιτήσεις γειτνίασης, τις ανάγκες σε χώρους, τους διαθέσιμους χώρους, τη μορφή της χωροταξικής διάταξης. Δημιουργία γενικών εναλλακτικών χωροταξικών σχεδίων, τα οποία αξιολογούνται με βάση ένα σύνολο ποιοτικών και ποσοτικών κριτηρίων.

- Φάση 3 (Ανάπτυξη λεπτομερούς χωροταξικού σχεδίου)

Αναλυτικό χωροταξικό σχέδιο με λεπτομερείς πληροφορίες για τη διάταξη κάθε μεμονωμένου μηχανήματος, πρόσθετου εξοπλισμού κτλ.

- Φάση 4 (Εφαρμογή)

Έγκριση από τα εμπλεκόμενα άτομα ή ομάδες. Περιέχει κάθε δυνατή λεπτομέρεια. Έλεγχος ορθής υλοποίησης του προτεινόμενου σχεδίου, και πιθανές προτάσεις βελτίωσης και αναθεώρησης.



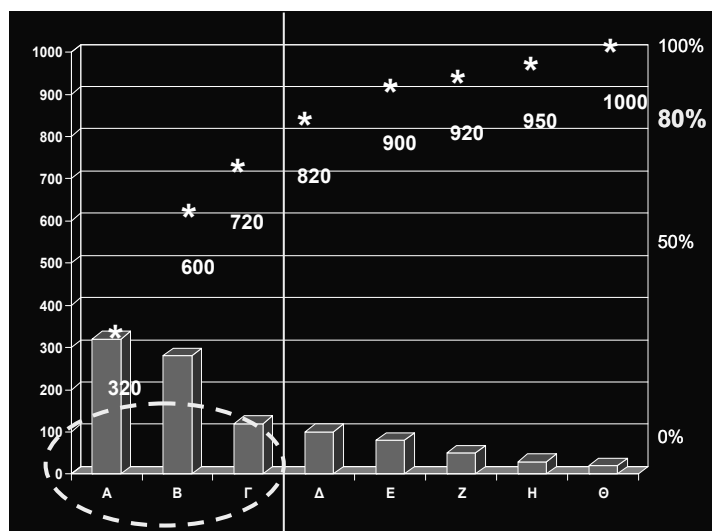
Συστηματική χωροταξική διάταξη (2)

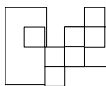
Αναγκαία δεδομένα

- Προϊόν (τι παράγεται)
- Ποσότητα (σε τι ποσότητες παράγεται)
- Διαδρομή/πορεία (πως παράγεται)
- Υπηρεσίες υποστήριξης (με τι παράγεται)
- Χρόνος/μεταφορά (πότε παράγεται και πως μετακινούνται τα προϊόντα)

Το 80% της παραγωγής αφορά
το 20% των προϊόντων

Προϊόν	Όγκος παραγωγής
A	320
B	280
Γ	120
Δ	100
E	80
Z	30
H	20
...	50



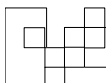


Συστηματική χωροταξική διάταξη (3)

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτεί την ανάλυση ροής και δραστηριοτήτων. Η ανάλυση ροής αφορά τα ποσοτικά δεδομένα για την κίνηση (υλικών, ανθρώπων) μεταξύ τμημάτων ή θέσεων παραγωγής, ενώ η ανάλυση δραστηριοτήτων αφορά κυρίως τους ποιοτικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση των τμημάτων.

Διαγράμματα ροής διαδικασιών (flow process chart): Παρουσιάζει γραφικά τις διαφορετικές εργασίες που υφίσταται ένα προϊόν σε όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Περιλαμβάνει το σύνολο των διεργασιών για κάθε κομμάτι του προϊόντος, τον αριθμό των κομματιών, τους τυπικούς χρόνους των διεργασιών, καθώς και τον πιθανό τρόπο μετακίνησης του.

Διάγραμμα ροής (flow diagram): Είναι μια απλή απεικόνιση που δείχνει τις διεργασίες και τη σειρά που αυτές πραγματοποιούνται σε κάποια υπάρχουσα ή προτεινόμενη διάταξη. Μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό μη αναγκαίων διεργασιών ή μετακινήσεων.



Συστηματική χωροταξική διάταξη (4)

Ποιοτικά δεδομένα ιδιαίτερα χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου είναι δύσκολη η συλλογή αναλυτικής ποσοτικής πληροφορίας. Το διάγραμμα γειτνίασης (relationship char) είναι η βασική μορφή αναπαράστασης της συγκεκριμένης πληροφορίας και περιλαμβάνει δεδομένα που εκφράζουν το πόσο αναγκαία είναι η γειτνίαση δύο τμημάτων ή θέσεων εργασίας.

κωδικός προτεραιότητας

Σύμβολο	Ανάγκη γειτνίασης
A	Απόλυτα αναγκαία
E	Ιδιαίτερα σημαντική
I	Σημαντική
O	Κανονική
U	Αδιάφορη
X	Ανεπιθύμητη
Z	Πολύ Ανεπιθύμητη

κωδικός αιτιολόγησης

Κωδικός	Αιτία
1	Ροή υλικών
2	Ευκολία εποπτείας
3	Κοινό προσωπικό
4	Αναγκαία επαφή
5	Διευκόλυνση

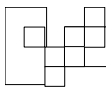


1 Γραφεία										
2 Επιστάτης	0									
3 Αίθουσα συνεδριάσεων	4	E								
4 Ταχυδρομείο δεμάτων	1	5	0							
5 Αποστολή κομματιών	5	0	3	U						
6 Χώρος κομματιών προς επισκευή	U		1	U						
7 Χώρος επισκευής	U	U	2	1	U					
8 Υποδοχή	U	U	U	2	1	U				
9 Έλεγχος		0		U	2	0	U			
10 Αποθήκες	U	4	U	U	2	1	2	U		
	E		U	U	U	U	2	1	U	
	3	U	U	U	1					
	U		1	A	1					
		E	3	U						
			A	1						
	E	3								

2→



1. Στο διάγραμμα γειτνίασης μπορούν να ληφθούν υπόψη με εύκολο τρόπο και άλλοι πρόσθετοι παράγοντες, εκτός από δεδομένα ροής.
2. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μην υπάρχει μεγάλος αριθμός Α σχέσεων γειτνίασης (συνήθως όχι περισσότερο από 5% του συνόλου).
3. Σε γενικές γραμμές, για να είναι αξιοποιήσιμο το διάγραμμα γειτνίασης είναι επιθυμητό οι συχνότητες των καθορισμένων σχέσεων να εμφανίζονται με αύξουσα συχνότητα από το Α στο Υ: 2-5% για σχέσεις Α, 3-10% για Ε, 5-15% για Ι, 10-25% για Ο, 25-50% για Υ.
4. Σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού τμημάτων ή χώρων εργασίας είναι απαραίτητη η χρήση Η/Υ για την καταγραφή και το χειρισμό των σχέσεων γειτνίασης, λόγω του μεγάλου αριθμού τους (για η δραστηριότητες απαιτείται ο προσδιορισμός $n(n-1)/2$ σχέσεων γειτνίασης).



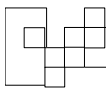
Συστηματική χωροταξική διάταξη (7)

Τα **ποσοτικά δεδομένα** ροής, καθορίζονται με τη χρήση των πινάκων «από-προς», αναφέρονται και ως διαγράμματα διαδρομών (travel charts) ή διαγράμματα φόρτου και απόστασης (load and distance charts).

Στα διαγράμματα αυτά περιλαμβάνονται αριθμοί που δείχνουν την απόσταση και το μέγεθος της ροής μεταξύ δύο τμημάτων ή δύο θέσεων παραγωγής.

ΠΡΟΣ ΑΠΟ	Αποθήκη υλικών	Πριόνι	Τόρνος	Τρυπάνι	Φρέζα	Έλεγχος	Συσκευασία	Αποθήκη έτοιμων
Αποθήκη υλικών		16	40	72	88	60	36	20
Πριόνι	16		24	56	72	44	20	36
Τόρνος	40	24		32	48	20	44	60
Τρυπάνι	72	56	32		16	36	60	76
Φρέζα	88	72	48	16		52	76	92
Έλεγχος	60	44	20	36	52		24	20
Συσκευασία	36	20	44	60	76	24		16
Αποθήκη έτοιμων	20	36	60	76	92	20	16	

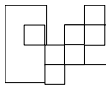
Αποστάσεις



Συστηματική χωροταξική διάταξη (8)

ΠΡΟΣ ΑΠΟ	Αποθήκη υλικών	Πριόνι	Τόρνος	Τρυπάνι	Φρέζα	Έλεγχος	Συσκευασία	Αποθήκη έτοιμων
Αποθήκη υλικών		13		3				
Πριόνι			5		8			
Τόρνος				5	11			
Τρυπάνι			3		5	8		
Φρέζα				8		16		
Έλεγχος			8				16	
Συσκευασία								16
Αποθήκη έτοιμων								

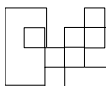
Αριθμός διαδρομών



Συστηματική χωροταξική διάταξη (9)

ΠΡΟΣ ΑΠΟ	Αποθήκη υλικών	Πριόνι	Τόρν.	Τρυπ.	Φρέζα	Έλεγχος	Συσκ.	Αποθήκη έτοιμων	ΣΥΝΟΛ
Αποθήκη υλικών		208		216					424
Πριόνι			120		576				696
Τόρνος				160	528				688
Τρυπάνι			96		80	288			464
Φρέζα				128		832			960
Έλεγχος			160				384		544
Συσκευασία								526	526
Αποθήκη έτοιμων									0
ΣΥΝΟΛΟ	0	208	376	504	1184	1120	384	556	4302

Μέγεθος ροής



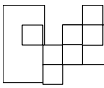
Συστηματική χωροταξική διάταξη (10)

Άλλες σημαντικές πληροφορίες που αφορούν το πρόβλημα του χωροταξικού σχεδιασμού είναι τα διαφορετικά μέτρα των αποστάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Γενικά για τον υπολογισμό των αποστάσεων λαμβάνεται υπόψη το κέντρο μάζας κάθε τμήματος ή θέσης εργασίας.

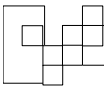
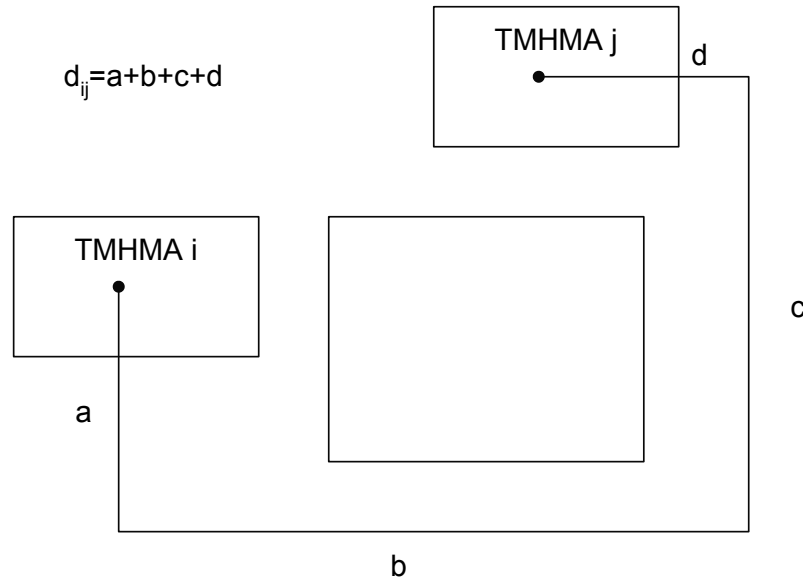
x_i , y_i συντεταγμένες του τμήματος i και x_j , y_j συντεταγμένες του τμήματος j , d_{ij} η απόσταση των δύο τμημάτων:

- Ευκλείδεια απόσταση:
$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$
- Τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση:
$$d_{ij} = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$$
- Ορθογώνια απόσταση:
$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$
- Γειτνίαση:
$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν } i \text{ και } j \text{ γειτονικές} \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$



Συστηματική χωροταξική διάταξη (11)

Άλλα μέτρα απόστασης που χρησιμοποιούνται είναι οι αποστάσεις διαδρόμου, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την πραγματική χωροταξία των τμημάτων ή μέσων παραγωγής (χρησιμοποιούνται κυρίως στη φάση αξιολόγησης του χωροταξικού σχεδίου).



Μεθοδολογία συστηματικού χωροταξικού σχεδιασμού (1)

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα γειτνίασης καθορίζουμε ένα πρώτο χωροταξικό σχέδιο. Ο πίνακας σχέσεων γειτνίασης μετατρέπεται σε έναν πίνακα κλίμακας-τιμών και αποτελεί τη βάση για τη σχετική τοποθέτηση των τμημάτων.

Παράδειγμα: (Muther)

10

Βήμα 1

10 5

Βήμα 2

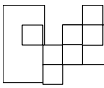
10 5
8

Βήμα 3

...

2 3 1
9 7 6
4 10 5
8

Βήμα 10



Μεθοδολογία συστηματικού χωροταξικού σχεδιασμού (2)

(Αξιολόγηση-score)

Έστω r_{ij} η σχέση ανάμεσα στα τμήματα i και j . Μπορούμε να αντιστοιχήσουμε κάποιες αυθαίρετες τιμές ανάλογα με τη σημαντικότητα της σχέσης.

Π.χ. έστω η συνάρτηση $V(r_{ij})$ με

$$V(A)=81, V(E)=27, V(I)=9, V(O)=3, V(U)=1, V(X)=-243$$

Συνολικός ρυθμός γειτνίασης:
$$TCR_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M V(r_{ij})$$

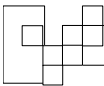
Τοποθέτηση των τμημάτων με φθίνουσα σειρά ως προς το συνολικό ρυθμό γειτνίασης. Επαναληπτικά, προσθήκη του επόμενου τμήματος σε εκείνη τη θέση ώστε

- να μεγιστοποιείτε το άθροισμα των συνολικών ρυθμών γειτνίασης των τμημάτων ή

$$\text{maximize } V = \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^M \delta_{ij} V(r_{ij}) \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν τα τμήματα } i \text{ και } j \text{ γειτονεύουν} \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

- να ελαχιστοποιείτε το άθροισμα των συνολικών ρυθμών γειτνίασης επί την απόσταση των τμημάτων

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^M V(r_{ij}) d_{ij}$$



Μεθοδολογία συστηματικού χωροταξικού σχεδιασμού (3)

Παράδειγμα: (Muther)

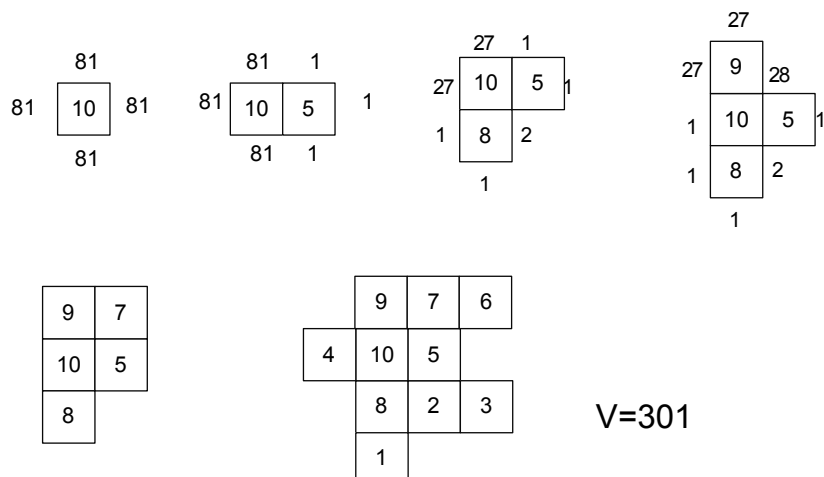
Π.χ. $i=1$

$$TCR_1 = V(O) + V(E) + V(O) + 6 \cdot V(U) = 3 + 27 + 3 + 6 \cdot 1 = 39$$

$i=2$

$$TCR_2 = 3 \cdot V(O) + 6 \cdot V(I) = 3 \cdot 3 + 6 \cdot 9 = 63$$

i	TCR _i
1	39
2	63
3	43
4	23
5	97
6	53
7	69
8	91
9	77
10	211



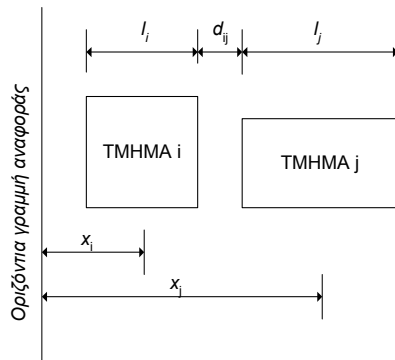
$$V=301$$

Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (1)

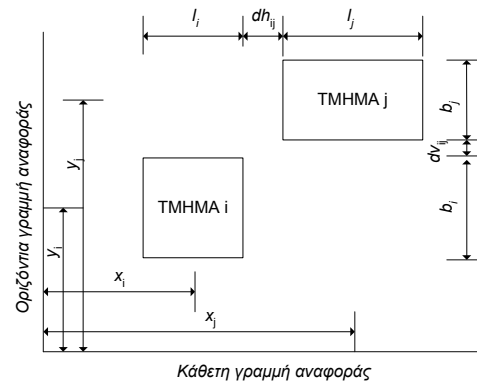
Σε γενικές γραμμές τα μοντέλα και οι τεχνικές που επιλύουν το πρόβλημα της χωροταξικής διάταξης περιλαμβάνουν είτε μοντέλα βελτιστοποίησης είτε ευρεστικούς αλγορίθμους.

Τα **μοντέλα βελτιστοποίησης** είναι σε θέση να εκτιμήσουν την βέλτιστη ή βέλτιστες λύσεις του συγκεκριμένου προβλήματος, αλλά η υπολογιστική τους δυσκολία καθιστά αρκετά δύσκολη την εφαρμογή τους σε πραγματικές περιπτώσεις.

Μονοδιάστατο πρόβλημα



Δυσδιάστατο πρόβλημα



Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (2)

Παράδειγμα: Διάταξη 3 μηχανών σε 4 διαθέσιμες θέσεις

	1	2	3	4
Πρέσα	13	10	12	11
Φρέζα	15	-	13	20
Τόρνος	7	5	10	-

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν η μηχανή } i \text{ τοποθετείτε στη θέση } j \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

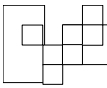
$$\min \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 c_{ij} x_{ij}$$

c_{ij} = κόστος μεταφορών που δημιουργούνται αν η μηχανή i τοποθετηθεί στη θέση j

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, 4$$

Γραμμικό $\rightarrow$ μοναδική βέλτιστη λύση

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, 4$$



Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (3)

Παράδειγμα: πρόβλημα τετραγωνικής ανάθεσης

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{αν η μηχανή } i \text{ τοποθετηθεί στη θέση } k \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

c_{ikjl} = κόστος μεταφορών που δημιουργούνται αν η μηχανή i τοποθετηθεί στη θέση k και η μηχανή j στη θέση l

π.χ. $c_{ikjl} = w_{ij} d(k, l)$ όπου

w_{ij} = κόστος μεταφοράς ανά μονάδα απόστασης (μεταξύ i και j),

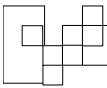
$d(k, l)$ = απόσταση μεταξύ των i και j

$$\min \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^M c_{ikjl} x_{ik} x_{jl}$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ik} = 1 \quad \text{για όλες τις θέσεις } k = 1, \dots, M$$

$$\sum_{k=1}^M x_{ik} = 1 \quad \text{για όλα τα τμήματα } i = 1, \dots, M$$

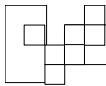
Τετραγωνικό $\rightarrow$ πιθανόν τοπικό βέλτιστο



Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (4)

Τα **μοντέλα βελτιστοποίησης** (αλγόριθμοι) για χωροταξική διάταξη, δε διαφέρουν από τα σημαντικότερα μοντέλα συνδυαστικής βελτιστοποίησης και μπορούν να χωριστούν στις επόμενες κατηγορίες:

- Αλγόριθμοι κλάδου φράγματος (branch and bound)
- Αλγόριθμοι αποσύνθεσης (decomposition)
- Αλγόριθμοι τέμνοντος επιπέδου (cutting plane).



Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (5)

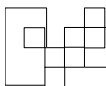
Οι **ευρεστικοί αλγόριθμοι** είναι σε θέση να παρέχουν άμεσα ικανοποιητικές λύσεις, δεδομένου του σχετικά μικρού υπολογιστικού τους φόρτου. Βασικές κατηγορίες:

➤ **Αλγόριθμοι κατασκευής:** Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι είναι σε θέση να παράγουν από την αρχή μια χωροθέτηση, ξεκινώντας από μια κενή διάταξη και τοποθετώντας επαναληπτικά όλα τα τμήματα ή τους χώρους εργασίας. Διαφορετικά κριτήρια για τον προσδιορισμό της σειράς προτεραιότητας με την οποία τα διάφορα τμήματα τοποθετούνται στο χωροταξικό σχέδιο.

➤ **Αλγόριθμοι βελτίωσης:** Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν σαν στόχο τη βελτίωση μιας αρχικής εφικτής λύσης που παρέχει ο χρήστης, μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία συστηματικής αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι αλγόριθμοι 2-Opt και 3-Opt. (Μια λύση λέγεται k-Opt αν δεν υπάρχει αντιμετάθεση k ή λιγότερων τμημάτων η οποία να δίνει βελτίωση).

➤ **Υβριδικοί αλγόριθμοι:** Οι αλγόριθμοι βελτίωσης είναι σε θέση να παρέχουν καλύτερες λύσεις, αν η αρχική λύση είναι αρκετά «κοντά» στη βέλτιστη. Οι αλγόριθμοι που περιλαμβάνουν τεχνικές τόσο για την κατασκευή μιας αρχικής εφικτής λύσης, όσο και για τη βελτίωση αυτής, ονομάζονται υβριδικοί αλγόριθμοι.

Άλλοι προχωρημένοι ευρεστικοί αλγόριθμοι (π.χ. modified penalty, simulated annealing, tabu search, maximal planar adjacency graph, genetic algorithm κτλ).



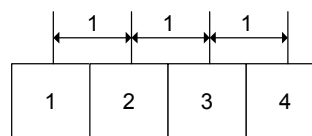
Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (6)

Απλές προσεγγιστικές τεχνικές

Μέθοδος ανταλλαγής (pair-wise exchange method) απλή προσεγγιστική τεχνική για τη βελτίωση μιας αρχικής εφικτής λύσης χωροθέτησης.

Παράδειγμα για ένα μονοδιάστατο πρόβλημα χωροθέτησης με ισομεγέθη τμήματα

Αρχική χωροθέτηση



	Ροές υλικών				Αποστάσεις (αρχική λύση)			
Από/Προς	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	10	15	20	-	1	2	3
2		-	10	5		-	1	2
3			-	5			-	1
4				-				-

Ροές υλικών και αποστάσεις τμημάτων

Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (7)

Μέτρο βελτίωσης η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς υλικών ανάμεσα σε διαφορετικές χωροθετήσεις.

Αρχική χωροθέτηση με συνολικό κόστος:

$$K_{1234}=10 \cdot 1 + 15 \cdot 2 + 20 \cdot 3 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 2 + 5 \cdot 1 = \mathbf{125 \text{ μονάδες}}$$

Γίνονται όλες οι δυνατές ανταλλαγές τμημάτων και επιλέγεται εκείνο το ζευγάρι που δίνει τη μεγαλύτερη μείωση του κόστους μεταφοράς.

Πρώτο βήμα: δυνατές ανταλλαγές 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 και 3-4 με

$$K_{2134}=105, K_{3214}=95, K_{4231}=120, K_{1324}=120, K_{1432}=105, K_{1243}=125$$

Επιλέγεται η ανταλλαγή 1-3 και η νέα χωροθέτηση **3-2-1-4** με κόστος μεταφοράς **95 μονάδες**.

Δεύτερο βήμα: 3-2, 3-1, 3-4, 2-1, 2-4, 1-4

$$K_{2314}=90, K_{1234}=125, K_{4213}=105, K_{3124}=105, K_{3412}=105, K_{3241}=110$$

Επιλέγεται η ανταλλαγή 3-2 με κόστος μεταφοράς **90 μονάδες** και η νέα χωροθέτηση είναι η **2-3-1-4**.

Τρίτο βήμα: 2-3, 2-1, 2-4, 3-1, 3-4, 1,4

$$K_{2341}=105, K_{3214}=95, K_{1324}=120, K_{2134}=105, K_{2413}=100, K_{4312}=105$$

Η διαδικασία τερματίζεται, επειδή το χαμηλότερο κόστος της 3ης επανάληψης (95 μονάδες) είναι υψηλότερο του τρέχοντος βέλτιστου κόστους (90 μονάδες).

Άρα η τελική χωροθέτηση είναι η 2-3-1-4.

Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (8)

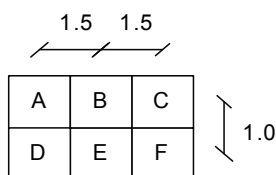
Παράδειγμα

$$w_{AD}=10$$

$$w_{CF}=10$$

$$w_{AC}=1$$

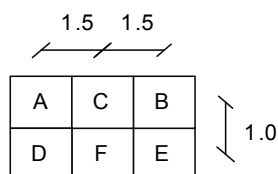
$$w_{EF}=1$$



Συνολικό κόστος

$$=w_{AD}d(A,D)+w_{CF}d(C,F)+w_{AC}d(A,C)+w_{EF}d(E,F)$$

$$=10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 1.5 = 24.5$$



Βέλτιστο συνολικό κόστος

$$=w_{AD}d(A,D)+w_{CF}d(C,F)+w_{AC}d(A,C)+w_{EF}d(E,F)$$

$$=10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 1.5 + 1 \cdot 1.5 = 23$$

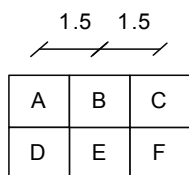
Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (9)

$$w_{AD}=10$$

$$w_{CF}=10$$

$$w_{AC}=1$$

$$w_{EF}=1$$

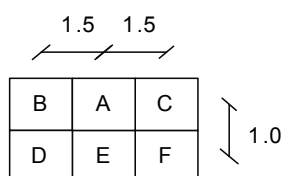


Συνολικό κόστος

$$=w_{AD}d(A,D)+w_{CF}d(C,F)+w_{AC}d(A,C)+w_{EF}d(E,F)$$

$$=10*1+10*1+1*3+1*1.5=24.5$$

Ανταλλαγή θέσεων π.χ. A-B



Συνολικό κόστος

$$=w_{AD}d(A,D)+w_{CF}d(C,F)+w_{AC}d(A,C)+w_{EF}d(E,F)$$

$$=10*2.5+10*1+1*1.5+1*1.5=38$$

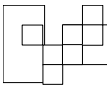
Ανταλλαγή	Συνολικό κόστος
A-B	38
A-C	84.5
A-D	25.5
A-E	31.5
A-F	63.5
B-C	38
B-D	29.5
B-E	25.5
B-F	29
C-D	62.5
C-E	28.5
C-F	26.5
D-E	41
D-F	84.5
E-F	39.5

Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (10)

Γραφική μέθοδος (graph-based construction method) βασίζεται στη θεωρία γραφημάτων και έχει ως στόχο την κατασκευή ενός γραφήματος γειτνίασης, όπου οι κόμβοι αναπαριστούν τα διάφορα τμήματα και τα τόξα τις σχέσεις άμεσης γειτνίασης (τμήματα που έχουν μια πλευρά κοινή). Για την εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να τονιστεί ότι οι αποστάσεις και οι διαστάσεις των τμημάτων δε λαμβάνονται υπόψη, ενώ τα τόξα του γραφήματος δεν πρέπει να τέμνονται.

Παράδειγμα: Βαρύτητες μεταξύ τμημάτων (οι βαρύτητες έχουν υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ροές υλικών, κόστος μετακινήσεων ή ακόμη ανάγκες γειτνίασης τμημάτων).

Τμήματα	1	2	3	4	5
1	-	9	8	10	0
2		-	12	13	7
3			-	20	0
4				-	2
5					-



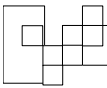
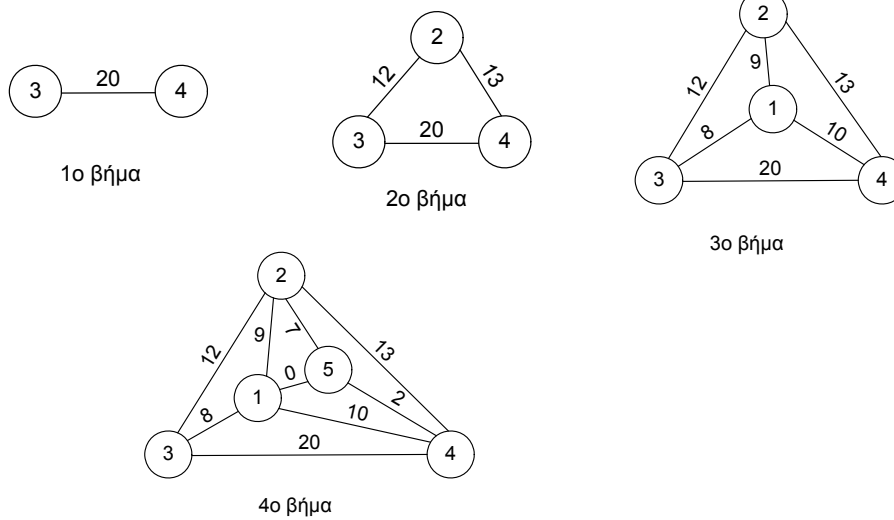
Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (11)

1ο βήμα: επιλέγουμε το ζευγάρι των τμημάτων που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βαρύτητα.

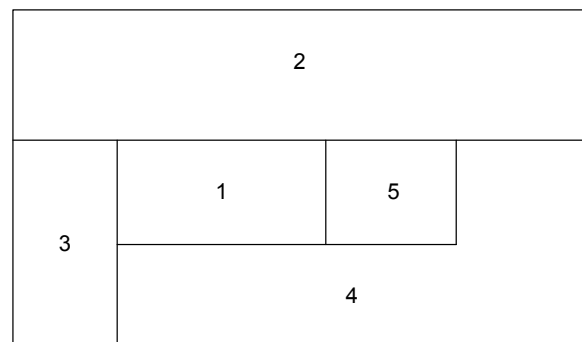
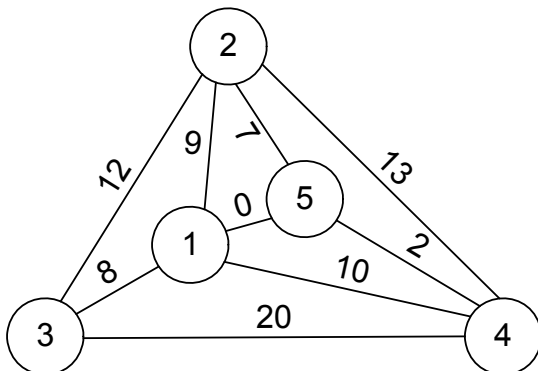
2ο βήμα: επιλέγουμε εκείνο το τμήμα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο άθροισμα βαρών με τα τμήματα που έχουν ήδη επιλεγεί.

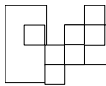
3ο βήμα: επιλέγουμε το τμήμα που έχει το μεγαλύτερο άθροισμα βαρών με τα ήδη επιλεγμένα τμήματα και το τοποθετούμε στο γράφημα στο εσωτερικό του τριγώνου που έχει δημιουργηθεί στο προηγούμενο βήμα.

Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο.



Αλγόριθμοι και μοντέλα χωροταξικής διάταξης (12)





Συστηματική χωροταξική διάταξη

Εφαρμογές Η/Υ

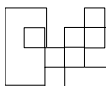
Ανάπτυξης εφαρμογών Η/Υ για την επίλυση τους των προβλημάτων χωροταξικής διάταξης

1960: αναπτύσσονται προγράμματα που χρησιμοποιούνται στη φάση της διαμόρφωσης εναλλακτικών σχεδίων. Τα πιο γνωστά: CORELAP, CRAFT, ALDEP, BLOCPAN, LOGIC, MAT, Factory (FactoryPLAN, FactoryOPT, FactoryFLOW), PLANET, SPIRAL, LayOPT, MULTIPLE.

Κοινό χαρακτηριστικό: η χρήση ενός μέτρου αποτελεσματικότητας με το οποίο χαρακτηρίζεται η αξία κάθε εναλλακτικού σχεδίου και με τη βοήθεια του οποίου προκύπτει το βέλτιστο.

Το **μέτρο αποτελεσματικότητας** μπορεί να είναι διαφορετικό στο καθένα π.χ. το συνολικό κόστος διαχείρισης των υλικών, ο βαθμός στον οποίο κάθε σχέδιο ικανοποιεί τις απαιτήσεις για γειτνίαση των διαφόρων τμημάτων κτλ.

Μερικά από αυτά τα προγράμματα δεν περιλαμβάνουν σύνθετους αλγορίθμους, αλλά εστιάζονται σε *τεχνικές προσομοίωσης*, είτε αποκλειστικά και μόνο στην παροχή σχεδιαστικών δυνατοτήτων στο χρήστη.

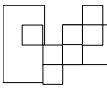


Σχεδίαση Διακίνησης Υλικών ⁽¹⁾

Το πρόβλημα του χωροταξικού σχεδιασμού έχει άμεση σχέση με μια σειρά προβλημάτων της παραγωγικής διαδικασίας (καθυστερήσεις και άεργος χρόνος στην παραγωγή, διαχείριση αποθεμάτων, συνθήκες συνωστισμού, μποτιλιαρίσματος σε κάποια σημεία των γραμμών παραγωγής, άσκοπη απασχόληση ανθρώπων με μεταφορικό έργο, χρονικός προγραμματισμός ροής υλικών κτλ).

Ισχυρισμοί:

- το κόστος διακίνησης των υλικών δημιουργεί επιβάρυνση κατά 35% του συνολικού κόστους παραγωγής,
- κατά τη διακίνηση των υλικών δημιουργούνται τα περισσότερα ατυχήματα,
- κατά τη διακίνηση των υλικών δημιουργούνται μεγάλες ζημιές στα προϊόντα,
- για να παραδοθεί ένας τόνος έτοιμων προϊόντων πρέπει να φορτωθούν, διακινηθούν, αποθηκευτούν, ξαναφορτωθούν κτλ. 50 τόνοι υλικών κτλ.



Σχεδίαση Διακίνησης Υλικών (2)

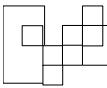
Ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων διακίνησης υλικών όσο γίνεται καλύτερα.

Η διακίνηση των υλικών δεν προσθέτει αξία στο προϊόν αλλά κοστίζει.

Το καλύτερο σύστημα διακίνησης υλικών είναι αυτό που δεν διακινεί υλικά. Πρακτικά αδύνατο. Καθορίζει όμως την επιδίωξη κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος διακίνησης των υλικών.

Ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα στο «υπάρχον περιβάλλον»

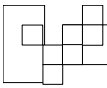
Κατάλληλη ευκαιρία αντιμετώπισης κατά τη διάρκεια του χωροταξικού σχεδιασμού.



Σχεδίαση Διακίνησης Υλικών (3)

Γενική διαδικασία:

1. οριοθετείτε όσο γίνεται καλύτερα το πρόβλημα,
2. διαμορφώνεται ένα μαθηματικό πρότυπο (μετά από αφαίρεση λεπτομερειών, χωρίς όμως να αλλοιώνεται η φύση του προβλήματος) που επιτρέπει την πρόβλεψη των συνεπειών εναλλακτικών αποφάσεων και τέλος
3. συλλέγονται στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται μαζί με το πρότυπο για την εύρεση των λύσεων.

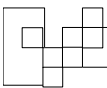


Σχεδίαση Διακίνησης Υλικών (4)

Καθοριστικά συστήματα διακίνησης υλικών

Ένα σύστημα παραγωγής από άποψη διακίνησης υλικών, αποτελείται από τις αφιετηρίες, τα τέρματα τους και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Όταν οι κινήσεις που γίνονται μέσα στο δίκτυο των τερματικών σταθμών (αφετηρία ή τέρμα) είναι απόλυτα προβλέψιμες τότε το σύστημα διακίνησης λέγεται **καθοριστικό**.

- Χρονικός σχεδιασμός του συστήματος: καθορισμός των χρόνων αφίξεων και αναχωρήσεων σε κάθε τερματικό σταθμό και τα δρομολόγια που θα ακολουθούνται.
- Αριθμός των οχημάτων (αυτοκίνητα, περionoφόρα κτλ). που απαιτούνται για να υλοποιηθεί ο χρονικός σχεδιασμός.
- Εξυπηρέτηση που εξασφαλίζεται στους τερματικούς σταθμούς,
- Εκμετάλλευση των μέσων διακίνησης των υλικών κτλ.



Σχεδίαση Διακίνησης Υλικών (5)

Στοχαστικά συστήματα διακίνησης υλικών

Συχνά στην πράξη η ροή των υλικών δεν έχει κάποια κανονική μορφή, αλλά αντίθετα παρουσιάζεται σαν **τυχαίο φαινόμενο**.

Π. χ αν παρατηρήσουμε τη ροή των υλικών σ' ένα τμήμα παραγωγής που έχει λειτουργική χωροταξική διάταξη θα διαπιστώσουμε ότι η έναρξη των μετακινήσεων των υλικών από κάποιο τερματικό σταθμό, οι ποσότητες που μετακινούνται από θέση σε θέση και οι χρόνοι μετακίνησής τους δεν είναι ούτε κανονικά ούτε περιοδικά μεγέθη, αλλά **στοχαστικά**.

Αντιμετώπιση κυρίως με **Θεωρία (Ουρών) Αναμονής** (ιδιαίτερα αποτελεσματική).

Τα προβλήματα αυτά δημιουργούνται επειδή από τη μια παρουσιάζονται ανεπιθύμητες συσσωρεύσεις υλικών στις διάφορες θέσεις και από την άλλη δεν χρησιμοποιούνται πλήρως τα διαθέσιμα μέσα διακίνησης υλικών.

Δεν μπορούμε να εξαφανίσουμε τελείως ούτε τις συσσωρεύσεις των υλικών ούτε τις αχρησίες των μέσων (προσπαθώντας να αποφύγουμε το ένα θα διογκωθεί το άλλο).

Ποιος είναι ο συνδυασμός τους που εξασφαλίζει πιο αποδοτική λειτουργία στο σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας; (βασική επιδίωξη στη θεωρία αναμονής).