

ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΛΑΝΟΥ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Υπό

ΣΤΑΜΑΤΗ ΑΝΔΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της χωροταξίας είναι από τα χαρακτηριστικότερα άτελώς δομημένα (ill-structured) προβλήματα, προβλήματα δηλαδή τα όποια δέν μπορούν να αποδοθούν πλήρως με αριθμητικές μεταβλητές, δέν μπορεί ο στόχος τους να αποδοθεί σαν μιá συνάρτηση και δέν υπάρχουν αλγόριθμοι που να δίνουν τη βέλτιστη λύση τους.

Η εξάρτηση της τελικής λύσης από πολλούς μη εύκολα αριθμοεκφραζόμενους παράγοντες, είναι η βασική αιτία κατάταξης του προβλήματος της χωροταξίας στην κατηγορία αυτή.

Οι μέθοδοι σχεδιασμού χωροταξικών διατάξεων βασίσθηκαν κατ' αρχάς σε ποσοτικά κριτήρια. Το κόστος μεταφοράς των μεταξύ των τμημάτων διακινουμένων ποσοτήτων, αποτελούσε σχεδόν το μοναδικό κριτήριο εξαγωγής των επιθυμητών σχέσεων γειτνιάσεων και έδινε τις προτεραιότητες τοποθέτησης κατά τον σχεδιασμό. Διαπιστώθηκε όμως ότι πέρα από τους ποσοτικούς στην πράξη επηρεάζουν τον σχεδιασμό και ποιοτικοί παράγοντες. Η αποτελεσματικότητα των βοηθητικών υπηρεσιών, ή εύκολία έποπτείας και έλέγχου, ή χρησιμοποίηση των φυσικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, ακόμα και η εξοικονόμηση ενέργειας μπορούν να εκφραστούν σαν σχέσεις γειτνιάσεως, χωρίς όμως να είναι δυνατή ή εύκολη αριθμοέκφρασή τους. Η υπό του Muther εισαχθείσα εξαβάθμια κλίμακα (A, E, I, O, U, X) βαθμολόγησης της προτεραιότητας γειτνίασης επέλυσε το πρόβλημα. αν και εισήγαγε έντονο το υποκειμενικό στοιχείο κατά το σχεδιασμό.

* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ἐπὶ τὴν ἀνάγκη καὶ τὴν ἀποδοτικότητα τῆς ἐπιχειρήσεως, ἡ ὀρθολογικὴ μορφή τῶν τμημάτων, ἡ εὐκαμψία, εὐελιξία καὶ προσαρμοστικότητα τῆς διατάξεως, ἡ συμφωνία μὲ τὴν ὀργανογραμματικὴ δομὴ τῆς ἐπιχειρήσεως καὶ ἡ ἐπεκτασιμότητα, εἶναι χαρακτηριστικοὶ παράγοντες αὐτῆς τῆς κατηγορίας. Μόλις τὰ τελευταῖα χρόνια ἄρχισαν νὰ ἐμφανίζωνται μελέτες ποὺ προσπαθοῦν νὰ ἀριθμοεκφράσουν τοὺς παραπάνω παράγοντες, μελετῶντας, τὶς ἐκ τῶν ὑστέρων ἐπιδράσεις τοὺς στὴ χωροταξικὴ διατάξει.

Ἡ πρὸς παρουσίαν ἐργασία ἀσχολεῖται μὲ τὸ σημαντικότερο ἀπὸ ὄλους τοὺς μὴ ἀριθμοεκφραζόμενους παράγοντες, αὐτὸν τῆς ἐπεκτασιμότητας.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Οἱ μέχρι στιγμῆς μέθοδοι σχεδιασμοῦ χωροταξικῶν διατάξεων ἀντιμετωπίζουν τὸ πρόβλημα στατικά. Ἐνδιαφέρονται μόνο γιὰ τὴν ὀρθολογικὴ λειτουργία τοῦ ἐργοστασίου, σύμφωνα μὲ τὰ δεδομένα ποὺ ἰσχύουν τῇ στιγμῇ τοῦ σχεδιασμοῦ. Ὁ παράγοντας χρόνος δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν.

Ἡ παραγωγή ὅμως ἑνὸς ἐργοστασίου, εἶναι μία καθ' ὅλα δυναμικὴ λειτουργία. Τὰ προϊόντα γηράσκουν σύντομα καὶ πρέπει νὰ ἀντικατασταθοῦν ἀπὸ νέα. Ἡ ζήτηση διαφοροποιεῖται συνεχῶς καὶ ἡ παραγωγή πρέπει νὰ προσαρμόζεται. Ἡ προσφερομένη τεχνολογία, ἡ ταμειακὴ ρευστότητα, ἡ ἀστοχία καὶ ἡ παλαίωση τοῦ ἐξοπλισμοῦ ἀκόμα καὶ ἡ νέα ὀργανογραμματικὴ διάρθρωση τῆς ἐπιχειρήσεως μεταβάλλουν τὶς συνιστώσες τῆς παραγωγῆς καὶ ἐπιβάλλουν μεταβολὲς στὴ χωροταξικὴ διατάξει τοῦ ἐργοστασίου. Πάνω ὅμως ἀπ' ὅλα ἡ ἀνάγκη γιὰ περισσότερα κέρδη καὶ κυρίως ἡ ἀνάγκη γιὰ πλεονεκτήματα οἰκονομίας κλίμακος — ἀπαραίτητα γιὰ τὴ συντήρησι καὶ ἐπιβίωσι τῆς ἐπιχειρήσεως — ἐπιβάλλουν τὴν συνεχῆ διεύρυνση, ποὺ κατὰ κανόνα μετατρέπεται σὲ ἐπέκτασι τῶν ὑπαρχουσῶν παραγωγικῶν ἐγκαταστάσεων. Στόχος εἶναι ἡ ἐπέκτασι νὰ γίνῃ μὲ χαμηλότερο δυνατὸ κόστος καὶ τῇ μικρότερῃ δυνατῇ ἀναστάτῳσι τοῦ συστήματος.

Ἐπεκτασιμότητα ὀρίζεται ἡ δυνατότητα προσθήκης σὲ χωροταξικὸ σχέδιο νέων τμημάτων ἀπαραιτήτων γιὰ τὴν παραγωγικὴ διαδικασίαν, μὲ τὸ μικρότερο δυνατὸ βαθμὸ ἐνοχλήσεως τοῦ ὑπάρχοντος συστήματος. Μὲ τὸν ὄρο νέο τμῆμα ἐννοεῖται εἴτε ἐντελῶς νέα δραστηριότητα, εἴτε διεύρυνση ἤδη ὑπάρχουσας.

Ἡ ἔννοια τῆς ἐπεκτασιμότητας εἶναι ἄρρηκτα δεμένη μὲ τὸν παράγοντα «μελλοντικὸς κλονισμὸς» (future shock), τοῦ ὁποῖου ἡ προοπτικὴ ἐπέμβασις εἶναι καθοριστικὴ κατὰ τὸ σχεδιασμὸ χωροταξικῶν διατάξεων. Ὁ μελλοντικὸς

κλονισμός δὲν ἐπιτρέπει ἀνάπτυξη λύσεων σύμφωνα μὲ τις γνωστὲς παραδοσιακὲς σχεδιαστικὲς τεχνικὲς, ἀλλὰ ἐπιβάλλει σχεδιασμό σὲ ἀβέβαιη καὶ χρονικὰ μεταβλητὴ βάση, χρησιμοποιώντας στοχαστικὰ καὶ ὄχι ντετερμινιστικὰ δεδομένα. Οἱ τεχνικὲς δὲν πρέπει νὰ ἔχουν μόνο τὴν ἱκανότητα νὰ προλέγουν τὰ δεδομένα περιγράφοντας τις μελλοντικὲς στοχαστικὲς ἀπαιτήσεις, ἀλλὰ ὀφείλουν ταυτόχρονα νὰ μεθοδεύουν στὸ ἀβέβαιο περιβάλλον τοῦ μέλλοντος, τὸ ὁποῖον λόγω ἀκριβῶς τῆς ἀβεβαιότητάς του δὲν εἶναι δυνατόν νὰ καθορισθεῖ ἐπακριβῶς.

Ἡ εὐκολία τῆς μελλοντικῆς ἐπέκτασης καὶ ἡ οἰκονομικὴ λειτουργία τοῦ σχεδιασμοῦ ἐξαρτῶνται ἀπὸ :

- τὴ δομὴ τῆς ὑπάρχουσας χωροταξικῆς διάταξης
- τὸ μέγεθος τῶν ὑπαρχόντων τμημάτων
- τὸ εἶδος τοῦ χρησιμοποιούμενου ἐξοπλισμοῦ διακίνησης.

Οἱ τρεῖς αὐτοὶ παράγοντες, ἄμεσα συνδεδεμένοι μεταξύ τους, ἐπηρεάζουν καθοριστικὰ τὴν προσαρμοστικότητα (adaptability) τοῦ χωροταξικοῦ συστήματος, πὺ ἀναλύεται σὲ διαμορφωσιμότητα (modularity) καὶ ἐλαστικότητα (flexibility).

Διαμορφωσιμότητα νοεῖται ἡ ἱκανότητα νὰ διαφοροποιηθοῦν οἱ συνιστῶσες ἐνὸς συστήματος χωρὶς νὰ μεταβληθεῖ ἡ δομὴ του, ἐνῶ ἐλαστικότητα νοεῖται ἡ ἱκανότητα νὰ διαφοροποιηθοῦν οἱ συνιστῶσες τοῦ συστήματος χωρὶς νὰ μεταβληθεῖ καθόλου τὸ ὅλο σύστημα.

Ἐνα φωτογραφικὸ ἄλμπουμ μὲ κρίκους παρουσιάζει διαμορφωσιμότητα (δυνατότητα αὐξήσεως τῆς χωρητικότητας μὲ αὐξηση τῶν φύλλων του, διαφοροποίηση δηλαδὴ τῶν συνιστῶσῶν, χωρὶς ἀλλαγὴ στὴ δομὴ). Ἐνα φωτογραφικὸ ἄλμπουμ διαστάσεων 22 X 28 παρουσιάζει ἐλαστικότητα (δυνατότητα τοποθετήσεως κάθε μεγέθους φωτογραφίας π.χ. μιᾶς μεγάλης 18 X 24 ἢ δύο μεσαίων 11 X 16 ἢ τεσσάρων μικρῶν 10 X 10, χωρὶς καμμιά ἀλλαγὴ τοῦ συστήματος). Ἐνα ἄλμπουμσταθερῆς προσδέσεως, διαστάσεων 12 X 14 δὲν παρουσιάζει οὔτε διαμορφωσιμότητα, οὔτε ἐλαστικότητα.

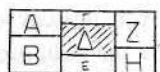
Ἡ ἱκανοποίηση τῶν ἀπαιτήσεων πὺ προσδίδουν διαμορφωσιμότητα σὲ ἓνα χωροταξικὸ σχέδιο, συνήθως συγκρούεται μὲ τὴν ἱκανοποίηση τῶν ἀπαιτήσεων πὺ προσδίδουν ἐλαστικότητα σ' αὐτό. Θὰ πρέπει ὁ σχεδιασμός νὰ ἐπιτυγχάνει τὴ χρυσὴ τομὴ πὺ ἐξασφαλίζει εὐκολία ἀντιμετώπισης ἐνδεχομένων μελλοντικῶν ἀλλαγῶν, δηλαδὴ ἐπεκτασιμότητα.

Οἱ χωροταξικὲς ἐπεμβάσεις κατὰ τὴν ἐπέκταση τμήματος μποροῦν νὰ ταξινομηθοῦν σὲ 7 κατηγορίες. Στὸ σχῆμα 1 ἐξηγεῖται κάθε κατηγορία.

α) Συμπύεση (Σχ. 1.α) : Ἐν ἡ μέχρι στιγμῆς κάλυψη τοῦ χώρου τοῦ πρὸς ἐπέκταση τμήματος εἶναι χαμηλὴ, ἡ λύση μὲ τις λιγότερες δυνατὲς ἐπεμβάσεις -

ἀναστατώσεις είναι να συμπιεσθούν οι θέσεις ἐργασίας τοῦ τμήματος ὥστε να ἰκανοποιηθῶσιν τὴν ἐπέκταση.

β) Ἐπέκταση σὲ παρακείμενο χῶρο (Σχ. 1.β.) : Συνηθίζεται νὰ ἀφήνεται



1.α



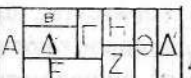
1.β



1.γ



1.δ



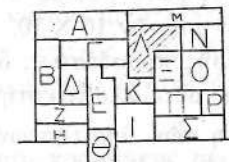
1.ε



1.στ



1.ζ



1.η



κατά την αρχική σχεδίαση κενοί χώροι για μελλοντικές επεκτάσεις, λύση με μόνο μειονέκτημα την κακή εκμετάλλευση χώρου.

γ) Τμήμα σε πλευρά επέκτασης (Σχ. 1.γ) : Στην περίπτωση αυτή χτίζεται νέο κτίριο δίπλα στο προς επέκταση τμήμα και δημιουργείται ο απαιτούμενος χώρος. Συνήθως επειδή οι κτιριακές μικροκατασκευές στοιχίζουν, κτίζεται περισσότερο εμβαδόν από το ζητούμενο, καλύπτοντας και μελλοντικές ανάγκες.

δ) Σπάσιμο τμήματος (Σχ. 1.δ) : Καθόλου σπάνια ή περίπτωση το προστιθέμενο τμήμα να μη τοποθετηθεί δίπλα στο αρχικό, αλλά ανεξάρτητα και μόνο του σε ξεχωριστή θέση, ώστε να καλύπτεται καλύτερα ή διακίνηση από και προς αυτό.

ε) Αντιμετάθεση τμήματος με άλλο της μορφής α, β, γ, δ (Σχ. 1.ε) : Με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται ή ανάγκη της επέκτασης από τμήμα που δεν μπορεί ούτε να συμπίσει, ούτε να σπάσει στα δύο, ούτε παρουσιάζει ελεύθερο χώρο σε κάποιο από αυτά που παρουσιάζουν μία από τις παραπάνω δυνατότητες.

στ) Σειρά τμημάτων που εισχωρούν το ένα μέσα στο άλλο μέχρι να προσεγγισθεί τμήμα της μορφής α, β, γ, δ, ε, (Σχ. 1.στ) : Το προς επέκταση τμήμα μεγαλώνει σε βάρος κάποιου γειτονικού του, αυτό σε βάρος κάποιου δικού του γειτονικού κ.ο.κ. διαμορφώνοντας μια αλυσίδα τμημάτων. Η αλυσίδα με το μικρότερο συνολικό κόστος επιλέγεται.

ζ) Σειρά αντιμεταθέσεων τμημάτων μέχρι να προσεγγισθεί τμήμα της όροφης α, β, γ, δ, (Σχ. 1.ζ) : Είναι η δυσκολότερη περίπτωση λόγω του όγκου των συνδυασμών, που πρέπει να εκτελεσθούν για να επιλεγεί η καλύτερη λύση. Μειονέκτημα επίσης της λύσης, ότι καταστρέφεται ή δομή του υπάρχοντος χωροταξικού σχεδίου.

Οι περιπτώσεις α, β, γ, δ, είναι άπλες, ενώ οι ε, στ, ζ απαιτούν αλγόριθμο που να επιλέξει την ποιά χαμηλόκοστη ανά περίπτωση λύση. Δυστυχώς συνηθέστερες είναι μάλλον οι περιπτώσεις ε, στ, ζ παρά οι α, β, γ, δ, γεγονός που κάνει την επέκταση μιὰ από τις δυσκολότερες χωροταξικές αποφάσεις.

Η λύση της σπονδυλικής στήλης που παρουσιάζεται στο σχήμα Ι είναι λύση που όλα τα τμήματά της υπάγονται κατά την επέκταση στη μορφή τύπου γ,

παρουσιάζουν δηλαδή και ύψηλη διαμορφωσιμότητα και ύψηλη ελαστικότητα. Η ευκολία της επέκτασης επέβαλλε τη συχνή εφαρμογή της λύσης σπονδυλική στήλη, ιδίως δε δυναμικά εργοστάσια, σε βάρος της οικονομικότερης διακίνησης υλικών.

Τὸ πρόβλημα «ἐπέκταση ἑνὸς χωροταξικοῦ σχεδίου» ἔχει ἀπασχολήσει τὰ τελευταῖα χρόνια πολλοὺς μελετητές. Στὶς περισσότερες περιπτώσεις ἐξετάζεται σὰν εἰδική περίπτωση τοῦ γενικώτερου προβλήματος τοῦ χωροταξικοῦ σχεδιασμοῦ. Οἱ τεχνικὲς ποὺ ἔχουν ἀναπτυχθεῖ εἶναι ὅλες μαθηματικὲς καὶ στηρίζονται στὶς τελευταῖες προόδους τοῦ χώρου τῆς ἐπιχειρησιακῆς ἔρευνας. Πολλὲς ἀπ' αὐτὲς ἔδωσαν τὶς βασικὲς ἰδέες γιὰ τὴν κατασκευὴ τῶν πρώτων προγραμμάτων Η/Υ.

Οἱ τεχνικὲς αὐτὲς ἀναπτύχθηκαν κυρίως τὴν περίοδο 1963 - 1968 ἀπὸ τοὺς Gilmore, Lawler, Koopman, Hillier, Moore, Francis, Bindschedler, Pritsker, Chare κ.ἄ.

Ἔνα σημαντικό στοιχεῖο στὶς τεχνικὲς αὐτὲς εἶναι ὁ τρόπος μέτρησης τῆς ἀπόστασης μεταφορᾶς μεταξὺ δύο θέσεων. Ἄν ζητεῖται ἡ ἀπόσταση μεταξὺ δύο σημείων X (x, y) καὶ P (α, β) τότε ὑπάρχουν οἱ ἑξῆς περιπτώσεις :

α) Ἡ εὐθύγραμμη ἀπόσταση :

$$d(X, p) = [(x - \alpha)^2 + (y - \beta)]^{\frac{1}{2}}$$

β) ἡ ὀρθογωνικὴ ἀπόσταση :

$$d(X, p) = [x - \alpha] + [y - \beta]$$

γ) ἡ ἀπόσταση τοῦ προβλήματος βαρύτητας :

$$d(X, p) = (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2$$

Ἀπὸ αὐτὲς ἡ πρώτη ἀφορᾶ μεταφορᾶς μὲ Conveyors, ἐνῶ δὲν βρίσκει ἐφαρμογὴ στὶς περιπτώσεις, ποὺ ἡ μεταφορὰ γίνεται μὲ περνοφόρα ὀχήματα.

Ἡ ποῖο συνήθης περίπτωση γιὰ τὰ προβλήματα βιομηχανικῆς χωροταξίας εἶναι ἡ δευτέρη, ἐνῶ ἡ τρίτη ἀφορᾶ εἰδικὴ περίπτωση προβλημάτων τοποθέτησης.

Τὰ προβλήματα αὐτὰ ὁμαδοποιοῦνται στὶς παρακάτω κατηγορίες :

α) Τοποθέτησις ἑνὸς νέου τμήματος

Στὴ γενικὴ θεώρηση τοῦ προβλήματος ποὺ ἀκολουθεῖ δίνονται n ὑπάρχοντα τμήματα ἢ δραστηριότητες τοποθετημένα σὲ γνωστὰ σημεία P_1, \dots, P_m καὶ

ὅτι τὸ νέο τμήμα τοποθετεῖται στὴ θέση τοῦ σημείου X. Ἐὰν $d(X, P_i)$ ἡ ἀπόσταση μεταφορᾶς καὶ w_i ὁ συντελεστὴς βαρῦτητας μεταξὺ X καὶ P_i τότε τὸ ὅλικό κόστος μεταφορᾶς μεταξὺ τοῦ νέου τμήματος καὶ τῶν ὑπαρχόντων δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση :

$$f(X) = \sum_{i=1}^m W_i d(X, P_i)$$

καὶ γιὰ ὀρθογωνικὴ ἀπόσταση μεταφορᾶς

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m W_i (|x - a_i| + |y - \beta_i|)$$

Στόχος εἶναι ἡ ἐλαχιστοποίηση τῆς ἀντικειμενικῆς συνάρτησης μὲ τὴν εὐρεση τοῦ κατάλληλου σημείου X (x, y). Ἡ βέλτιστη τοποθέτηση ἀντιστοιχεῖ κατὰ τὰ γνωστὰ στὴ «median location» τῆς διεθνοῦς βιβιογραφίας. Στὴν περίπτωση ποῦ ἡ βέλτιστη τοποθέτηση δὲν ἀνταποκρίνεται στὶς ἀπαιτήσεις τοῦ προβλήματος, ἡ βέλτιστη δυνατὴ θέση βρίσκεται μὲ τὴν τεχνικὴ τῶν ἰσοαποτελεσματικῶν καμπυλῶν. Ὅρίζονται σὰν ἰσοαποτελεσματικὲς καμπύλες τῶν ὁποίων ὅλα τὰ σημεία δίνουν στὴν $f(x, y)$ σταθερὲς τιμὲς ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὰ x καὶ y. Οἱ ἰσοαποτελεσματικὲς ἀναφέρονται σὰν μιὰ ποιτὴ ποῦ συνδέεται μὲ τὴν ἐκλογή τῆς ὀχι βέλτιστης λύσης.

Βασικὸ μειονέτημα τῆς μεθόδου εἶναι ὅτι θεωρεῖ τὰ τμήματα σημειακὰ (χωρὶς ἐπιφάνεια), ἐνῶ ἡ εἰσαγωγή τῶν ἰσοαποτελεσματικῶν στὴ μέθοδο ἐπεκτείνει τὰ ὅρια ἐφαρμογῆς τῆς.

β) Τοποθέτηση πολλῶν νέων τμημάτων

Τὸ πρόβλημα τυποποιεῖται ὡς ἑξῆς : Ἐστω m ὑπάρχοντα τμήματα τοποθετημένα στὶς γνωστὲς θέσεις P_1, P_2, \dots, P_m καὶ ἔστω n νέα τμήματα στὶς θέσεις X_1, X_2, \dots, X_n . Ἐὰν $d(x_j, P_i)$ καὶ $d(x_j, x_k)$ οἱ ἀποστάσεις μεταφορᾶς καὶ W_{ji} καὶ U_{jk} οἱ ἀντίστοιχοι συντελεστὲς βαρῦτητας, τότε τὸ ὅλικό κόστος διακίνησης ποῦ ἀνταποκρίνεται στὶς θέσεις X_1, \dots, X_n τῶν νέων τμημάτων δίνεται μὲ τὴ σχέση :

$$f(X_1, \dots, X_n) = \sum_{1 \leq j < k \leq n} U_{jk} d(X_j, X_k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m W_{ji} d(X_j, P_i)$$

Το πρόβλημα ανάγεται στην έκλογή των θέσεων των νέων τμημάτων $X^*_1, X^*_2, \dots, X^*_n$, έτσι ώστε το όλικό κόστος να ελαχιστοποιηθεί. Η λύση του παρουσιάζει σχετικά με το προηγούμενο δυσκολία γιατί δεν είναι εύκολο να αποδοθεί γεωμετρικά.

Το πρόβλημα είναι δυνατόν να λυθεί με την μετατροπή του σε ισοδύναμο γραμμικού προγραμματισμού. Οί Francis και White προτείνουν για τη λύση του μία σχετικά πύδ άπλη εύρεστική διαδικασία. Οί Pritsker και Chare προτείνουν έναν αλγόριθμο πού χειρίζεται μέχρι 500 ύπάρχοντα και 100 νέα τμήματα, ό όποιος όμως εξάγει άντιρεαλιστικές λύσεις.

Η μέθοδος θεωρεί τις τοποθετήσεις των νέων τμημάτων μοναδικές άφου είναι άδύνατον να άποκτηθούν ίσοαποτελεσματικές καμπύλες. Στην έπίλυση του προβλήματος με γραμμικό προγραμματισμό είναι δυνατόν να ύπάρξουν ύπό ώρισμένες προϋποθέσεις και άναχωροταξίες ύπαρχόντων τμημάτων.

γ) Διακεκριμένη τοποθέτηση

Στην περίπτωση αυτή μελετάται το πρόβλημα της τοποθέτησης πολλών νέων τμημάτων σε ένα διακεκριμένο άριθμό δυνατών θέσεων. Τα νέα τμήματα είναι δυνατόν να κατέχουν μία τυπική έπιφάνεια αλλά άγνοοδνται οί μεταξύ τους συναλλαγές. Το πρόβλημα τυποποιείται ως εξής :

$$F(S_1, \dots, S_m) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \left(\sum_{j \in S_i} \frac{1}{A_i} d_{kj} \right)$$

όπου $k = 1, \dots, p$ οί θέσεις των ύπαρχόντων τμημάτων και $i = 1, \dots, m$ τα νέα τμήματα.

Άν ή περιοχή L όπου θα τοποθετηθούν τα νέα τμήματα ύποδιαιρεθεί σε ίσομεγέθη moduls άριθμημένα από 1, ..., n τότε ό άριθμός των moduls του τμήματος i δηλώνεται με το A_i και οί άριθμοδείκτες των moduls πού πρέπει να καταλάβει το τμήμα i με το S_i . Σάν d_{kj} όρίζεται ή άπόσταση μεταξύ του k ύπάρχοντος τμήματος και του κέντρου του j modul. Η μέθοδος έχει μικρή έφαρσιμότητα και περιορίζεται για τις περιπτώσεις πού ό συγκεκριμένος βιομηχανικός χώρος είναι άποθήκη. Το πρόβλημα είναι ή εύρεση του ελάχιστου $F(S_1, \dots, S_m)$. Μία μαθηματική λύση του προβλήματος προτείνεται από τους Francis και White.

δ) Προβλήματα τετραγωνικής άντιστοίχισης

Έστω C_{ij} οί συντελεστές κόστους διακινήσεων μεταξύ των δραστηριοτή-

των i και p , όταν αυτές τοποθετηθούν στις θέσεις j και q αντίστοιχα. Το πρόβλημα της τετραγωνικής αντιστοίχισης ορίζεται σαν το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της συνάρτησης

$$G = \sum_{ij} \sum_{pq} C_{ijpq} \cdot X_{ij} \cdot X_{pq}$$

όπου $\sum_i X_{ij} = 1$ ($j = 1, \dots, n$)

$\sum_j X_{ij} = 1$ ($i = 1, \dots, n$) και $X_{ij} = 0$ ή 1

Από τις μεθόδους επίλυσης του γενικού προβλήματος ή Gilmore - Lawler ακριβής διαδικασία είναι η μόνη που μπορεί να συνδέσει το πρόβλημα με την πρόσθεση κάποιων άλλων νέων τμημάτων. Αποτελεί άπλη εφαρμογή της γνωστής μεθόδου κλάδων και όριων Branch και Bound) και είναι δυνατόν να χειριστεί μέχρι 15 τμήματα. Οι άλλες δύο μέθοδοι επίλυσης είναι η Vollmann, Nugent, Zartlee διαδικασίες και η μέθοδος Hillier που απλά διαφέρουν μεταξύ τους στο χρόνο υπολογισμού.

Γενικά τα μοντέλα επίλυσης των προβλημάτων αυτών που αναφέρονται μέχρι σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία είναι δύσκολα και θεωρητικά με περιορισμένες δυνατότητες. Η δυνατότητα εφαρμογής τους σε πρακτικά προβλήματα είναι μηδαμινή.

ΔΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΙΔΕΑΣ-ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΡΑΦΩΝ

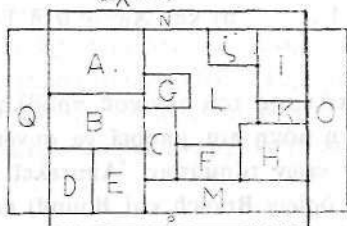
Το πρόβλημα που θα αντιμετωπισθεί είναι η πρόσθεση ενός νέου τμήματος σε ένα ήδη υπάρχον τμήμα στο χωροταξικό σχέδιο. Για την κατασκευή του αλγορίθμου απαιτούνται και ορισμένα στοιχεία από τη θεωρία των γραφών.

Γράφος G είναι μία ομάδα σημείων n κορυφών n_1, n_2, \dots, n_n (συμβολίζεται με το σύνολο N) και μία ομάδα γραμμών a_1, a_2, \dots, a_m (συμβολίζεται με το σύνολο A), που συνδέουν μερικά από τα σημεία ή κορυφές. Ο γράφος G περιγράφεται πλήρως και συμβολίζεται με το ζεύγος (N, A) . Αν τα ζευγάρια στο A είναι διατεταγμένα ονομάζονται τόξα και ο αντίστοιχος γράφος λέγεται προσανατολισμένος. Ειδ' άλλως ονομάζονται κλάδοι και ο γράφος απροσανατόλιστος. Δύο κορυφές n_i και n_j , λέγονται γειτονικές όταν $n_i n_j \in A$. Ένας γράφος $G(N, A)$ λέγεται επιπεδικός αν μπορεί να σχεδιαστεί πάνω σε ένα επίπεδο ή σφαίρα κατά τρόπο ώστε να μη τέμνονται δύο τόξα του. Μπορεί να θεωρηθεί ο πανομοιότυπος απροσανατόλιστος γράφος $G = (N, A)$. Στο σχ. 2 δίνονται ορισμένα παραδείγματα γραφών.

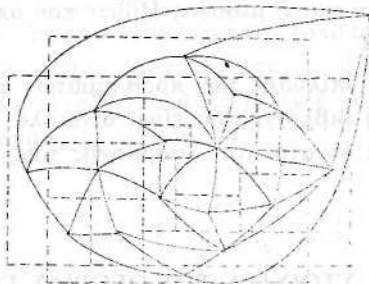
Οί Serpanen, Moore έπεχείρησαν πρώτοι νά συνδέσουν τὸ πρόβλημα τῆς βιομηχανικῆς χωροταξίας μὲ τὴ θεωρία τῶν γράφων. Ἡ βασικὴ τους διαπίστωση ὅτι τὸ χωροταξικὸ σχέδιο εἶναι δυνατόν νά ληφθεῖ σάν γράφος ἀποτελεῖ καὶ τὴν



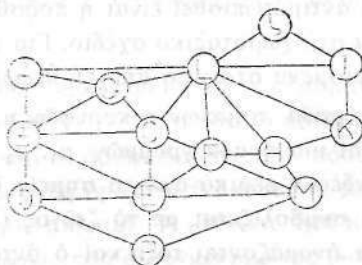
σχ.2.



3.1



3.2



3.3

πρώτη διαφοροποίηση ἀπὸ τις μέχρι τότε ὑπάρχουσες μεθόδους ἐπίλυσης. Ὁπωσδήποτε ὁ γράφος ποὺ θὰ συνδεθεῖ μὲ τὸ χωροταξικὸ σχέδιο εἶναι ἀπροσανατόλιστος. Ἐνα χωροταξικὸ σχέδιο μπορεῖ νά μελετηθεῖ σάν γράφος γειτνιάσεων ὡς ἐξῆς : Κάθε σημεῖο στὸ σχέδιο ὅπου συναντῶνται τὸ λιγότερο τρία τμήματα

παίρνεται σάν κορυφή του γράφου. Η άπεραντη επιφάνεια έξω από το χωροταξικό σχέδιο μελετάται επίσης σάν τμήμα. Οί κλάδοι του γράφου είναι τὰ ζευγάρια των κορυφών που συνδέονται με ένα τοίχο. Ένας γράφος G μπορεί να περιγραφεί από τον πίνακα διαστάσεων $(n \times n)$ $M = (m_{ij})$ όπου :

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν } (i, j) \in EA \\ 0 & \text{άλλως} \end{cases}$$

Ο πίνακας αυτός ονομάζεται μήτρα γειτνιάσεως του γράφου $G(N, A)$ και περιγράφει πλήρως τη δομή του γράφου. Οί Serpanen, Moore ονομάζουν τον πίνακα μήτρα επικοινωνίας και τον αντιστοιχούν πλήρως στο διάγραμμα συσχετισμού χώρων του Muther.

Οί περιοχές που ορίζονται με άπλους κύκλους κλάδων ονομάζονται επιφάνειες ή όψεις του G . Η περιοχή που κείται έξω από το G σε μιὰ επίπεδικη παράσταση είναι μιὰ άπεραντη επιφάνεια. Δύο επιφάνειες λέγονται ότι είναι γειτονικές όταν έχουν ένα κοινό κλάδο.

Ορίζεται σάν δυαδικός γράφος G_d ενός γράφου G εκείνος που σχηματίζεται με κορυφές σημεία εντός των επιφανειών του G (ένα σημείο για κάθε επιφάνεια) και κλάδους τις ευθείες που συνδέουν ζευγάρια κορυφών των οποίων οί αντίστοιχες επιφάνειες είναι γειτονικές. Ο δυαδικός γράφος ενός επίπεδικου είναι επίσης επίπεδικός. Ο δυαδικός του γράφου του χωροταξικού σχεδιασμού είναι γράφος που παριστάνει το διάγραμμα συσχετισμού χώρων. Οί Serpanen και Moore επιχειρούν να κατασκευάσουν το Layout μετατρέποντας ένα μη επίπεδο γράφο συσχετισμού σε επίπεδικό.

Ο δυαδικός γράφος (G_d) ενός layout όπως ορίστηκε προηγούμενα, ονομάζεται γράφος γειτνιάσεων. Ο γράφος γειτνιάσεων αντιστοιχεί στη μήτρα γειτνιάσεως και παριστάνει γειτνιάσεις μεταξύ των τμημάτων ενός δοσμένου χωροταξικού σχεδίου. Οί κορυφές αντιπροσωπεύουν τὰ τμήματα του Layout και οί κλάδοι τις γειτνιάσεις.

Η άπεραντη επιφάνεια του γράφου G αντιπροσωπεύει την επιφάνεια προς την οποία είναι δυνατόν να επεκταθεί το Layout. Στις πρακτικές εφαρμογές επειδή δεν είναι πάντα δυνατόν το Layout να επεκτείνεται προς όλες τις πλευρές χρησιμοποιούνται πλασματικά τμήματα αντιπροσωπευτικά των πλευρών επεκτάσεως.

Στο Σχ. 3 παριστάνεται γράφος G ενός χωροταξικού σχεδίου με τις τέσσερες πλευρές επεκτασιμότητας σάν τέσσερα τμήματα O, P, Q, N και R την άπεραντη επιφάνεια. Στη συνέχεια παριστάνεται ο δυαδικός και ο γράφος γειτνιάσεων με μιὰ πλευρά επεκτάσεως.

Η επέκταση που θα γίνει θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η μορφή του γρά-

φου να μην αλλάξει και οι κλάδοι που αντιπροσωπεύουν γειτνιασείς θα πρέπει κατά το δυνατόν να διατηρηθούν ἐφ' ὅσον ἡ δομὴ τοῦ Layout εἶναι καλή.

Ὁ ἀλγόριθμος πού θά ἀναπτυχθεῖ στὰ ἐπόμενα εἶναι ἔτσι κατασκευασμένος ὥστε νά μπορεῖ νά ἀναποκριθεῖ καλύτερα στήν ἀπαίτηση αὐτή.

ΔΙΑΔΡΟΜΟΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΩΣ

Ξεκινώντας ἀπ' τὸ πόσο σημαντικό εἶναι τὸ κόστος ἀναχωροταξίας καταλήγει κανεὶς εὐκόλα στὸ συμπέρασμα ὅτι θά πρέπει νά ἀποκλειστεῖ κάποια διάθεση πλήρους ἀλλαγῆς στήν τοποθέτηση τῶν τμημάτων. Ἐνισχυτικὸ τῆς ἄποψης αὐτῆς εἶναι καὶ ἡ προσπάθεια διατήρησης τῆς δομῆς τοῦ ὑπάρχοντος Layout. Ἄν ἐπομένως τὸ τμήμα G ὑπάρχει ἀνάγκη νά ἐπεκταθεῖ μετὰ τὴν πρόσθεση ἑνὸς νέου G' θά πρέπει νά ἀναζητηθεῖ ὁ οικονομικότερος τρόπος προσέγγισης τῶν G' καὶ G.

Παίρνοντας χονδρικά σὰ βασικὰ σημεῖα ἀναφορᾶς τὸ πρὸς ἐπέκταση τμήμα καὶ τὴν πλευρὰ ἢ (πλευρὲς) ἐπεκτασιμότητας, εἶναι εὐκόλο νά διαπιστωθεῖ ὅτι τὰ σημεῖα αὐτὰ εἶναι ἡ ἀφετηρία καὶ τὸ τέρμα κάποιου δρόμου πού τὰ ἐνώνει. Στὴν ἐκλογή τοῦ βέλτιστου δρόμου προσέγγισης τῶν G καὶ G' τὸ σημαντικότερο ρόλο παίζει ἡ χωροταξία τῶν τμημάτων πού περιλαμβάνονται σ' αὐτόν. Μὲ λίγα λόγια θά ἐπιδιωχθεῖ ἡ προσέγγιση τῶν G καὶ G' μέσω τῶν τμημάτων τοῦ δρόμου αὐτοῦ. Τέτοιοι δρόμοι ὑπάρχουν πάρα πολλοί. Σὲ μεγάλα χωροταξικά σχέδια μὲ πολλὰ τμήματα εἶναι ἀδύνατον νά ἐλεγχθοῦν ὅλοι. Θά πρέπει ἐπομένως νά ἀποκλειστεῖ ἀπ' τὴν ἀρχὴ ἕνας μέγας ἀριθμὸς δρόμων, οἱ ὁποῖοι θά δίνουν ὁ πωσδῆποτε κόστος πολὺ μέγало. Καὶ στὴ συνέχεια θά πρέπει νά ἐπιχειρηθεῖ ἡ ἀξιολόγησις τῶν δρόμων πού τελικὰ δὲν ἀποκλειστηκαν.

Σὲ ἕνα προσανατολισμένο γράφο κάθε ἀκολουθία τάξεων πού ἡ τελικὴ κορυφὴ τοῦ ἐνὸς εἶναι ἡ ἀρχικὴ κορυφὴ τοῦ ἐπομένου, ὀνομάζεται δρόμος. Δρόμος πού δὲν χρησιμοποιεῖ τὸ ἴδιο τόξο περισσότερο ἀπὸ μία φορὰ, λέγεται ἀπλός, ἐνῶ ἂν δὲν χρησιμοποιεῖ τὴν ἴδια κορυφὴ περισσότερο ἀπὸ μιὰ φορὰ λέγεται στοιχειώδης. Προφανῶς ἕνας στοιχειώδης δρόμος εἶναι καὶ ἀπλός, ἐνῶ τὸ ἀντίστροφο δὲν εἶναι ἀναγκαστικὸ νά ἰσχύει.

Ἄλυσίδα εἶναι τὸ ἀπροσανατόλιστο πανομοιότυπο τοῦ δρόμου καὶ ἀναφέρεται σὲ γράφους πού δὲν ἐνδιαφέρει ὁ προσανατολισμὸς τῶν τόξων τους. Κατὰ τελείως ἀνάλογο τρόπο ὀρίζονται οἱ ἀπλὲς καὶ στοιχειώδεις ἄλυσίδες.

Μερικὲς φορὲς εἶναι δυνατόν νά συνδέονται ἀριθμοὶ C_{ij} μετὰ τὰ τόξα (M_i, M_j) . Οἱ ἀριθμοὶ αὐτοὶ μποροῦν νά παριστάνουν συντελεστὲς βαρύτητας μήκη ἢ κόστη καὶ ὁ γράφος θά λέγεται τότε σταθμισμένος ὡς πρὸς τὰ τόξα.

Ἄν ἕνας ἀριθμὸς U_i συνδέεται μετὰ τὴν κορυφὴν i ἐνὸς γράφου, θά λέγεται τότε ὁ γράφος σταθμισμένος ὡς πρὸς κορυφές. Ἄν ἕνας γράφος εἶναι σταθμισμένος καὶ ὡς πρὸς τόξα καὶ ὡς πρὸς κορυφές, λέγεται ἀπλὰ σταθμισμένος.

Ἄν θεωρηθεῖ ἕνας δρόμος (r) , πού παριστάνεται μετὰ τὴν ἀκολουθία τῶν κο-

ρυφών (M_1, M_2, \dots, M_n), τὸ μήκος (ἢ κόστος) τοῦ δρόμου $I(r)$ λαμβάνεται σάν ἄθροισμα τῶν παραπάνω συντελεστῶν γιὰ τὰ τόξα ποὺ περιλαμβάνει ὁ δρόμος (r), δηλαδὴ

$$I(r) = \sum_{(n_i, n_j) \in r} c_{ij}$$

Ὅμοια μὲ τὸ μήκος ἑνὸς δρόμου ὀρίζεται καὶ τὸ μήκος (ἢ κόστος) μιᾶς ἀλυσίδας. Ἡ βασικὴ ἰδέα στὴν ὁποία στηρίζονται τὰ ἐπόμενα βασίζεται στὴν διαπίστωση ὅτι ἐνδιαφέρει σὲ ἓνα ὑπὸ ἐπέκταση χωροταξικὸ σχέδιο νὰ διατηρηθεῖ ἡ ὑπάρχουσα δομὴ του. Εἶναι εὐνόητο ὅτι αὐτὸ πάντα ἰσχύει στὶς περιπτώσεις ἑνὸς καλοῦ Layout. Ἀπ' τὴν ἄλλη πλευρὰ τὸ κόστος ἀναχωροταξίας καὶ τὸ κόστος κτιριακῆς ἐπέκτασης καθιστοῦν ἀπαγορευτικὴ τὴν πλήρη ἀναδιάρθρωση τῆς δομῆς τοῦ Layout. Ὅσο λιγότερες ἀλλαγές γίνονται στὸ ὑπάρχον Layout τόσο καλύτερα οἰκονομικὰ ἀποτελέσματα ἐξάγονται.

Αὐτὸ εἶναι δυνατό νὰ ἐπιτευχθεῖ μὲ τὴν παραδοχὴ ἑνὸς διαδρόμου κατὰ μήκος τοῦ ὁποίου μόνον θὰ γίνουν ἀλλαγές, ξεκινώντας ἀπὸ τὸ τμήμα ποὺ πρέπει νὰ ἐπεκταθεῖ καὶ καταλήγοντας στὴν πλευρὰ ἐπεκτασιμότητας. Ταυτόχρονα ἐξασφαλίζεται καὶ ἓνας ἐλάχιστος ἀριθμὸς ἀναχωροταξιῶν κατὰ μήκος τῶν τμημάτων τοῦ διαδρόμου.

Ὅρίζεται τὸ μήκος τοῦ διαδρόμου ὅπως καὶ τὸ μήκος τῆς ἀλυσίδας καὶ τοῦ δρόμου ἑνὸς γράφου. Προφανῶς τὸ μήκος ἐνέχει θέση κόστους. Καὶ σάν κόστος ὑπολογίζεται τὸ συνολικὸ κόστος ποὺ πηγάζει ἀπ' τὴν τοποθέτηση ἀπ' τὸ σχετικὸ ἄθροισμα, τοῦ κόστους διακίνησης, τοῦ κόστους ἀναχωροταξίας καὶ τοῦ κόστους κτιριακῆς ἐπέκτασης.

Τὸ μεγάλο πλῆθος τῶν ἀλυσίδων τοῦ γράφου γεινιάσεως ἑνὸς Layout ποὺ εἶναι ὅπως ὀνομάστηκαν οἱ διάδρομοι ἐπεκτάσεως εἶναι δυνατόν νὰ περιοριστεῖ μὲ τὴν ἀρχὴ τῆς συντομότερης ὁδοῦ, ποὺ διατυπώνεται ὡς ἐξῆς : Δὲν μποροῦν δύο τμήματα τοῦ διαδρόμου, γειτονικά μεταξὺ τους, νὰ εἶναι γειτονικά καὶ τὸ δύο, ἄλλου τμήματος τοῦ διαδρόμου.

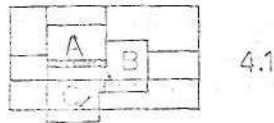
Μὲ τὴν παραδοχὴ τοῦ εὐρεστικοῦ αὐτοῦ κριτηρίου ἐπιδιώκεται ὁ ἀποκλεισμός κάποιων διαδρόμων μὲ στόχο νὰ ἐλαχιστοποιηθοῦν σὲ μιὰ πρώτη προσέγγιση ὁ ἀριθμὸς τῶν δυνατῶν διαδρόμων. Οἱ ὑπάρχοντες τελικοὶ δυνατοὶ διάδρομοι εἶναι ἐπόμενο ὅτι θὰ πρέπει νὰ ἀξιολογηθοῦν (ἀριθμοποιηθοῦν) ὥστε νὰ γίνῃ ἡ ἐκλογή τοῦ χαμηλόκοστου διαδρόμου ἐπεκτάσεως.

Ἡ ἐπέκταση κατὰ μήκος τῶν διαδρόμων γίνεται μὲ δύο τρόπους :

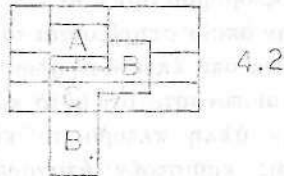
α) Τοποθέτηση τοῦ νέου τμήματος στὴ γειτονία τοῦ παλαιοῦ καὶ ἀπόθεση τῶν λοιπῶν τμημάτων κατὰ μήκος τοῦ διαδρόμου (Σχ. 4.1.)

β) Τοποθέτηση τοῦ νέου τμήματος στὴ γειτονία τοῦ παλαιοῦ καὶ ἀπόθεση κάποιων τμημάτων ἢ ἐξοδὸ τους στὴν πλευρὰ ἐπεκτασιμότητας (Σχ. 4.2.).

Σάν κριτήριο αξιολόγησης χρησιμοποιείται τὸ ὑλικὸ κόστος ἀπ' τὴν εφαρμογὴ τῆς λύσης ποὺ προτείνεται κατὰ τὸ μῆκος τοῦ διαδρόμου.



4.1



4.2

$$TC = nTC_{\delta} + TC_A + TC_K$$

ὅπου :

TC_{δ} = τὸ νέο κόστος διακίνησης ποὺ προκύπτει ἀπ' τὴν εφαρμογὴ τῆς λύσης αὐτῆς.

n = συντελεστὴς σταθμίσεως ποὺ ἐξαρτᾶται ἀπ' τὸ ἐπιτόκιο ἀναγωγῆς σὲ παρούσα ἀξία καὶ ἐπηρεάζεται ἀπ' τὶς ἐπενδύσεις καὶ τὴ διάρκεια ζωῆς τοῦ σχεδίου.

TC_A = κόστος ἀναχωροταξίας

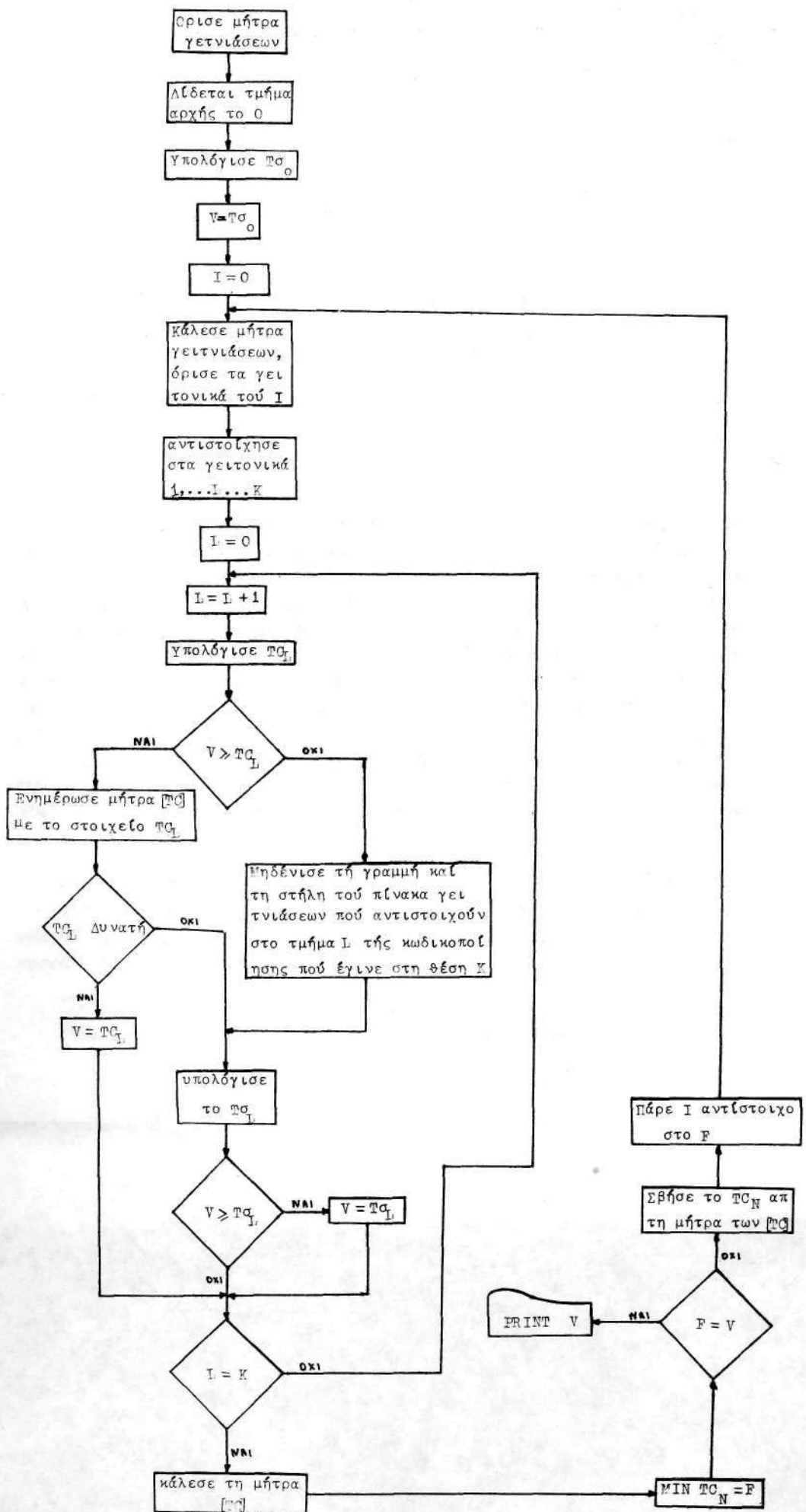
TC_K = κόστος κτιριακῆς ἐπέκτασης

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ἡ τεχνικὴ ποὺ ἀκολουθεῖ βασίζεται στὶς μεθόδους κλάδων καὶ ὀρίων (Branch and Bound) καὶ εἶναι εὐρεστικὴ. Σάν εὐρεστικὴ δέν δίνει τὴ βέλτιστη (optimum) λύση, ἀλλὰ ἡ λύση ποὺ ἀποκτᾶται εἶναι δυνατόν νὰ χαρακτηριστεῖ σάν ὑποβέλτιστη (suboptimum).

Γιὰ τὴν ἀπλούστευση τῆς εὐρεστικῆς διαδικασίας ἡ ὑπάρχουσα διάταξη καὶ τὰ περιεχόμενα σ' αὐτὴ τμήματα χωρίζονται σὲ μοναδιαῖες ἐπιφάνειες (moduls). Οἱ διαστάσεις τῶν moduls ἀντιστοιχοῦν σὲ κάποιο μῆκος ἀναφορᾶς ποὺ ἀνταποκρίνεται στὴν πλήρη ἀξιοποίηση τῶν τμηματικῶν ἐπιφανειῶν.

Ὅπου στὴ συνέχεια ἀναφέρεται ὁ ὅρος τμήμα ἢ ἐπιφάνεια τμήματος ἢ τοποθέτηση τμήματος, θὰ ἐννοεῖται σαφῶς τμήμα ποὺ συντίθεται ἀπὸ ἓνα ὀρισμένο



ἀκριβή ἀριθμὸ moduls. Ἡ παραδοχὴ αὐτὴ ἐκτὸς τῶν ἄλλων παρέχει στὸ μελετητὴ καὶ τὴ δυνατότητα παρέμβασης, ποὺ θὰ ἐξασφαλίσει ρεαλιστικότερες κατασκευές, ἔστω κι' ἂν τὸ τίμημα εἶναι ἢ ἀλλοίωση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ἀλγορίθμου.

Ἡ διαδικασία ἐπαναλαμβανόμενης τοποθέτησης ἐπιφανείας (ἴσης μὲ αὐτὴ τοῦ προστιθεμένου τμήματος) στὰ τμήματα τῶν διαδρόμων κατὰ σειρὰ θυμίζει τὸ πρόβλημα ἀντιστοίχισης ἀπὸ τὴ συνδιαστική. Ἡ μόνη διαφορὰ εἶναι ὅτι σὲ κάθε περίπτωση ἢ μήτρα τοῦ κόστους ποὺ χρησιμοποιεῖται σὰν input ἀλλάζει μὲ τὸν ἐκ νέου ὑπολογισμὸ τῶν TC_{Δ} καὶ TC_A .

Γιὰ τὴν ἐλαχιστοποίηση τοῦ φόρτου ἐργασίας ἀπὸ τὴν πλήρη μελέτη τῶν διαδρόμων ἐφαρμόζεται ἡ branch and bound διαδικασία ὅπως ὀρίζεται στὴ συνέχεια. Σκοπὸς τῆς διαδικασίας αὐτῆς εἶναι ὁ κατάλληλος ὀρισμὸς ἐνὸς πάνω καὶ ἐνὸς κάτω ὀρίου στὴ βέλτιστη ἢ σχεδὸν βέλτιστη τιμὴ τοῦ κόστους.

Οἱ παράγοντες ποὺ διαμορφώνουν τὸ κόστος ὀρίζονται ὡς ἑξῆς :

γιὰ πλήρη ἀνάπτυξη διαδρόμου :

$$TC = nTC_{\Delta} + TC_A + TC_K$$

TC_{Δ} = κόστος διακίνησης

Τὸ τμήμα ποὺ προστίθεται τοποθετεῖται στὴ γειτονία τοῦ τελευταίου τρέχοντος τμήματος τοῦ διαδρόμου καὶ τοῦ τρέχοντος γειτονικοῦ του. Ὑπολογίζονται τὰ νέα κέντρα βάρους τῶν τμημάτων καὶ ὁ πολλαπλασιασμὸς τους ἐπὶ τὸν ΑΠΟ - ΕΙΣ πίνακα δίνει τὸ τρέχον TC_{Δ} . Στὴν περίπτωσιν ποὺ τὸ τελευταῖο τμήμα τοῦ διαδρόμου δὲν εἶναι τὸ τμήμα ποὺ ὀρίζεται ἀπ' τὴν πλευρὰ ἐπεκτάσεως τὸ TC δὲν εἶναι πραγματικὸ. Καὶ αὐτὸ γιατί τὰ ὑπόλοιπα τμήματα τοῦ διαδρόμου μέχρι τὴ πλευρὰ ἐπεκτάσεως δὲν ἔχουν μελετηθεῖ καὶ τὸ γειτονικὸ τοῦ τρέχοντος τελευταίου ἔχει ἐπιφάνεια μικρότερη ἀπ' τὴν πραγματικὴ. Δυνατὴ λύση ὑπάρχει μόνον ὅταν ὁ διάδρομος τελειώσει στὴν πλευρὰ ἐπεκτασιμότητας.

Ἡ τοποθέτηση τῆς νέας ἐπιφάνειας γίνεται μὲ τέτοιο τρόπο ὥστε νὰ ἀποκτηθεῖ κατὰ τὸ δυνατόν ἕνας συνδυασμὸς ὁμοιογένειας σχήματος καὶ ἐλαχιστοκόστης τοποθέτησης. Ἄγνοεῖται τὸ μικρόκοστος ἀπ' τὴ σχετικὴ τοποθέτηση τῶν moduls στὴν ὑπ' ὄψιν θέση.

TC_A = κόστος ἀναχωροταξίας.

Αὐτὸ ἀνταποκρίνεται στὸ ἄθροισμα τοῦ κόστους ἀποκαθλώσεως τοῦ γειτονικοῦ τοῦ τρέχοντος τελευταίου καὶ τοῦ μέρους τοῦ τρέχοντος τελευταίου ποὺ προστίθεται.

TC_K = κόστος κτιριακῆς ἐπέκτασης.

Εἶναι ἀνάλογο στὸν ἀριθμὸ τῶν moduls ποὺ προστίθενται.

για μη πλήρη ανάπτυξη διαδρόμων :

$$T_{\sigma} = nT_{\sigma\Delta} + T_{\sigma A} + T_{\sigma K}$$

όπου

$T_{\sigma\Delta}$ = κόστος διακίνησης.

Υπολογίζεται με τη μέθοδο των ισοαποτελεσματικών καμπυλών, ώστε να ελαχιστοποιηθεί κατά το δυνατόν το κόστος διακίνησης με την τοποθέτησή του στην οικονομικότερη θέση στην περιφέρεια επεκτάσεως.

$T_{\sigma A}$, $T_{\sigma K}$: ομοίως όπως και στην πλήρη ανάπτυξη διαδρόμων.

Για την μη πλήρη ανάπτυξη των διαδρόμων πρέπει να διευκρινιστεί ότι το τμήμα που εξέρχεται ολόκληρο από το χωροταξικό σχέδιο δεν είναι κατ' ανάγκη το πρώτο ή και το δεύτερο τμήμα του διαδρόμου. Μπορεί να εφαρμοστεί ή πλήρης ανάπτυξη (απόθεση των τμημάτων) μέχρι οποιοδήποτε βήμα (n) και στη συνέχεια να εξαχθεί το (n + 1) τμήμα.

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν input τον βελτιωμένο γράφο γειτνιάσεων, όπως αναφέρθηκε απ' τον οποίο διαμορφώνει την αλληλουχία των τμημάτων για την κατασκευή των διαδρόμων. Παράλληλα για τον υπολογισμό των T_{σ} και T_{σ} δέχεται τη μήτρα αποστάσεων, τον πίνακα ΑΠΟ - ΕΙΣ, τη μήτρα κόστους αναχωροταξίας και τα υπόλοιπα δευτερεύοντα στοιχεία, που αναφέρθηκαν προηγουμένα. Ο γράφος γειτνιάσεων δίνεται με μητρική μορφή ως εξής : Όλα τα τμήματα που περιλαμβάνονται στους διαδρόμους αντιστοιχίζονται στους αριθμούς 0, 1, 2, ..., I, ... N όπου 0 αντιστοιχίζεται το τμήμα που ζητείται να επεκταθεί και αποτελεί το τμήμα της αρχής των διαδρόμων.

Ο αλγόριθμος ξεκινά με τον υπολογισμό ενός αρχικού πάνω όριου του $v = T_{\sigma 0}$. Δηλαδή με διώξιμό του προς επέκταση του τμήματος $I = 0$ προς την πλευρά επεκτασιμότητας.

Στην πορεία του αλγόριθμου το v αναθεωρείται συνεχώς με την ελάττωση του ως εξής : Για να χαρακτηριστεί ένα εκ των T_{σ} και T_{σ} σαν πάνω όριο πρέπει να εκπληρωί τις παρακάτω προϋποθέσεις.

α) Το $T_{\sigma N}$ να αντιστοιχεί σε δυνατή λύση, δηλαδή να έχει εκτελεστεί πλήρως ο διάδρομος (Το $T_{\sigma N}$ προφανώς είναι πάντοτε δυνατό) και

β) Να είναι μικρότερο από το τρέχον πάνω όριο.

Σαν κάτω όριο F ορίζεται ή μικρότερη τιμή του TC στις διακλαδώσεις ανεξάρτητα αν είναι δυνατή ή όχι. Η διαδικασία του αλγόριθμου μπορεί να παρουσιασθεί σαν δένδρο ως εξής: Με αρχικό τμήμα το 0 γίνονται οι πρώτες αντιστοι-

χήσεις με τα γειτονικά του και ορίζονται τα TC και Tσ για κάθε branching. Ορίζεται το κάτω όριο F και είναι εκείνο από το οποίο θα γίνουν οι νέες διακλαδώσεις. Οι κόμβοι που παρουσιάζουν TC V (τρέχον πάνω όριο) αποκλείονται. Κάθε φορά υπολογίζεται ένα F και γίνεται διακλάδωση. Κατά την διαδικασία Branch and Bound ο στόχος είναι να περιοριστεί το πεδίο στο οποίο θα κείται η βέλτιστη λύση με την προσέγγιση του πάνω όριου V, και του κάτω όριου F. Από ότι μπορεί να διαπιστωθεί το πάνω όριο V έχει μία φθίνουσα τάση : V τείνει εκ των άνω στο TC (όπου TC βέλτιστη λύση), ενώ το F έχει μία αύξουσα τάση : F τείνει εκ των κάτω προς το TC. Όταν τελικά $V = F$ ο αλγόριθμος σταματά, έχει βρει τη βέλτιστη λύση.

Για την διευκόλυνση στην εύρεση του F χρησιμοποιείται μία μήτρα κόστους ως εξής: Η μήτρα TC είναι μία μήτρα γραμμής όπου οι στήλες αντιστοιχούν στους αριθμούς των τμημάτων 1, 2, ..., I, ..., N. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα στον αλγόριθμο ανά πάσα στιγμή να καλεί τη μήτρα και να ενημερώνεται για τα κόστη ενώ παράλληλα σε κάθε branching ενημερώνει τη μήτρα με το αντίστοιχο κόστος που όρισε.

Στο Σχ. 5 δίνεται το flow chart του αλγορίθμου.

ΚΡΙΤΙΚΗ

Όποσδήποτε το πρόβλημα που εξετάζεται αποτελεί ειδική περίπτωση του γενικού προβλήματος της επεκτάσεως. Εάν αρχή όμως αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για τη μελέτη και άλλων γενικότερων προβλημάτων. Ο πιο σημαντικός περιορισμός του προβλήματος είναι ότι εξετάζει την περίπτωση επέκτασης ενός μόνου τμήματος. Συνήθως στα εξισορροπημένα εργοστάσια συμβαίνουν μικροεπεκτάσεις με την πρόσθεση μηχανημάτων για την κάλυψη μικρών αναγκών. Είναι λιγότερη συχνή ή περίπτωση μεγάλων επεκτάσεων που σημαίνουν πολύ δυναμικά εργοστάσια, νέες μεγάλες αγορές, φτηνή χρηματοδότηση ή όταν απαιτούνται πολύ μεγάλα σύνθετα μηχανήματα.

Αν υποθεθεί ότι η υπάρχοντα τμήματα επεκτείνονται και αν οι διάδρομοι κατά τους οποίους επεκτείνονται τα τμήματα δεν περιλαμβάνουν κοινά τμήματα τότε η περίπτωση ανάγεται στην εξέταση η διαφόρων προβλημάτων σύμφωνα με τον αλγόριθμο που περιγράφηκε.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που αγνοεί ο αλγόριθμος είναι την ευελιξία του προς επέκταση τμήματος. Κατά τον αλγόριθμο το προς επέκταση τμήμα παραμένει ακίνητο εκτός από την περίπτωση της εύρεσης του αρχικού πάνω όριου. Εκτιμάται ότι κι αν πάλι ο αλγόριθμος είχε τη δυνατότητα να το μετακινεί το ύπ' όψιν τμήμα θα παρέμενε ακίνητο, αφού θα κατέστρεφε τη δομή του αρχικού καλού layout και θα πρόσθετε ένα επιπλέον κόστος αναχωροταξίας.

Στη διατύπωση του προβλήματος έγινε η υπόθεση ότι μεταξύ του επεκτεινο-

μένου τμήματος και των άλλων τμημάτων της διάταξης υπάρχει ένας σταθερός ποσοτικός συσχετισμός. Η παραδοχή αυτή είναι μάλλον μία άπλοποίησης διευκόλυνσης στην επεξεργασία και διατύπωση των στοιχείων εισόδου του προβλήματος. Πολλές φορές επίσης με την αυτού του είδους επέκταση χάνεται ή σύνδεση μεταξύ δύο τμημάτων στον πίνακα ΑΠΟ - ΕΙΣ μεταβαλλομένων έτσι των δεδομένων του προβλήματος. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις όπου αλλαγή κάποιας υπάρχουσας δραστηριότητας συνδέει την επέκταση με την αλλαγή της ροής υλικών ή και του φασεολογίου. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις οι σχέσεις ΑΠΟ - ΕΙΣ μπορεί να διαφοροποιήθηκαν ποσοτικά αλλά συσχετισμένα. Συνήθως δεν διαφοροποιούνται σημαντικά.

Ο αλγόριθμος για την επιλογή της καλύτερης λύσης εφαρμόζει το κριτήριο των Vollman - Buffa της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους με όρθογώνια απόσταση κινήσεως. Με αυτόν τον τρόπο αγνοούνται τα διάφορα ποιοτικά στοιχεία που παίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της λύσεως όπως π.χ. αντιρρεαλιστικές μορφές των τμημάτων, άγνοια υπάρχοντος πλέγματος διαδρόμων διακίνησης υλικού. Η σύγκρουση αυτή καλύπτεται κατά το δυνατόν με την ελευθερία που παρέχεται στο χειριστή του αλγόριθμου να κινείται μεταξύ του ποσοτικού κριτηρίου και των ποιοτικών μεταβλητών που εκτιμώνται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του αλγόριθμου.

Στη λογική του αλγόριθμου συμπεριλαμβάνονται και δύο πολύ σημαντικές παραδοχές :

α) το νέο τμήμα που θα προστεθεί (και που θα αποτελεί μέρος του προς επέκταση τμήματος) δεν είναι δυνατόν να καταλαμβάνει χώρο που πριν ανήκε σε δύο ή περισσότερα τμήματα υπάρχοντα.

β) το νέο τμήμα που προστίθεται πρέπει να είναι μικρότερο σε επιφάνεια από κάθε άλλο τμήμα των διαδρόμων.

Οι παραδοχές αυτές αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα του αλγόριθμου και ειδικότερα της έννοιας του διαδρόμου επέκτασεως.

Ο αλγόριθμος σαν εύρεστικός έχει και όλα τα άλλα μειονεκτήματα των εύρεστικών τεχνικών. Στηρίζεται κυρίως στον αποκλεισμό των διαδρόμων εκείνων που δίνουν όλικό κόστος μεγαλύτερο απ' το τρέχον πάνω όριο. Η λογική του στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε νέο τμήμα που προστίθεται στο διάδρομο, προσαυξάνει το τρέχον όλικό κόστος του διαδρόμου. Αυτό όμως είναι δυνατόν να αμφισβητηθεί αφού είναι μόνον δυνατόν το κόστος αναχωροταξίας να αυξάνει αλλά ελαττούμενο παράλληλα το κόστος διακίνησης μπορεί να επιφέρει ελάττωση στο όλικό κόστος. Γίνεται γενικά δεκτό ότι το κόστος δεν θα ελαττώνεται σε έπομενα βήματα και η παραδοχή αυτή στηρίζεται :

α) τὸ ὑπάρχον χωροταξικὸ σχέδιο εἶναι καλὸ, μὲ ἄμεση συνέπεια οἱ ἀνακατατάξεις νὰ αὐξάνουν τὸ κόστος διακίνησης.

β) οἱ διαφορὲς ΔTC_{λ} εἶναι πολὺ μεγάλες σὲ σχέση μετὰ τὴν διαφορὴ ΔTC_{Δ} καὶ τὸ ὀλικὸ TC ἐπιηρεάζεται περισσότερο ἀπὸ τὰ κόσθη ἀναχωροταξίας.

Ἔνα πιὸ ἀσφαλὲς κριτήριον ἀποκλεισικοῦ διαδρόμων θὰ ἦταν τῆς μορφῆς

$$TC \geq \lambda \cdot v$$

ὅπου $\lambda > 1$ μὲ μιὰ κατ' ἐκτίμηση τιμὴ $1,1 \leq \lambda \leq 1,2$

Ὅπως εὐκόλα διαπιστώνεται ὁ ἀλγόριθμος δὲν μεταβάλλει τὴν δομὴν τῆς ἀρχικῆς διάταξης. Καὶ αὐτὸ γιὰτὶ οἱ μετακινήσεις τῶν τμημάτων θεωροῦνται πολὺ μικρὲς. Ἡ ἀξιοποίηση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ἀλγορίθμου θεωρεῖται ἐπιωφελεῖς στὶς περιπτώσεις καλῶς δομημένου layout. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἐνδιαφέρει ἄμεσα τὸ μελετητὴ ἢ διατήρηση τῆς ἀρχικῆς δομῆς στὴν τελικὴ λύση. Ἀπὸ μιὰ πρώτη ἄποψη ὁ ἀλγόριθμος πλεονεκτεῖ στὸ σημεῖο αὐτὸ γιὰτὶ καταφέρνει χωρὶς σημαντικὲς ἀνακατατάξεις νὰ δώσει ἕνα οἰκονομικὸ ἀποτέλεσμα. Εἶναι ὅμως δυνατὸν ὁ ἀλγόριθμος μερικὲς φορὲς ἕνα καλῶς δομημένο layout νὰ τὸ μετατρέψει σὲ κακὸ. π.χ. δημιουργία συμφορήσεως στὴ ροὴ τῶν ὑλικῶν, ἀπώλεια γειτονιῶν κ.ἄ. Προβλήματα σὰν κι αὐτὰ εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιλυθοῦν μετὰ τὴν δυνατότητα παρέμβασης ποὺ παρέχει ὁ ἀλγόριθμος στὸ χειριστὴ (interactive program).

Ὁ ἀλγόριθμος ὑστερεῖ ἐπίσης καὶ στὴν περίπτωση ποὺ ὑπάρχει μεγάλη ἀνομοιομορφία στὰ ἐμβαδὰ τῶν τμημάτων ποὺ παρέχει τὸ layout. Αὐτὸ συμβαίνει γιὰτὶ ἡ λύση ποὺ δίνεται ἀπ' τὸν ἀλγόριθμο ἐπιηρεάζεται σημαντικὰ ἀπὸ τὴν διαφορὴ τῶν τμηματικῶν ἐπιφανειῶν, τὸ μέγεθος τοῦ πρὸς ἐπέκταση καὶ τοῦ νέου τμήματος καὶ τὴν πολυπλοκότητα τῆς κατασκευῆς.

Στὸ πρόβλημα δὲν ἔχει μελετηθεῖ καὶ ἡ περίπτωση ποὺ ὁ ἀλγόριθμος θὰ δέχεται νὰ ἀφήνει κενοὺς χώρους ὄχι μὲ τὸ διώξιμο ἑνὸς ὀλοκλήρου τμήματος ἀλλὰ χάριν τῆς ὁμοιομορφίας. Στὴν περίπτωση αὐτὴ θὰ ἦταν χρήσιμο νὰ μελετηθεῖ καὶ τὸ πρόβλημα τοῦ ἂν συμφέρει πραγματικὰ στὴν ἐπιχείρηση νὰ ὑποστῆ ἕνα κόστος κτιριακῆς ἐπέκτασης ἀντίστοιχο μόνον στὸ νέο τμήμα ποὺ προστίθεται ἢ νὰ ὑψώσει τοῖχο σὲ ὅλη τὴν πλευρὰ ἐπεκτάσεως ἀγνοώντας τὴν ὑπαρξὴ ἢ ὄχι κενῶν χώρων.

Εἶναι ἐπίσης δυνατὸν ὁ χειριστὴς τοῦ ἀλγορίθμου, σὲ περιπτώσεις ποὺ τὸ προστιθέμενο τμήμα εἶναι μικρῆς ἐπιφανείας (λίγων moduls) νὰ μειώνει σταδιακὰ τὸν ἀριθμὸ τῶν προστιθεμένων moduls συμπιέζοντας κάπως τὰ τμήματα τοῦ διαδρόμου.

Γενικὰ ὅμως παρὰ τὴν πολὺν ἀτέλειαν ὁ ἀλγόριθμος κρίνεται ἱκανοποιητικὸς ἀφοῦ ἀποτελεῖ καὶ τὴν πρώτη σοβαρὴ προσπάθεια ἐπίλυσης προβλημάτων ἐπεκτασιμότητας καὶ στὴ σφαῖρα τῆς πρακτικῆς χρησιμότητος.

ΠΕΔΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΗΣ

Πολλές από τις παραδοχές οι οποίες έγιναν στην κατασκευή του αλγόριθμου προμηθεύουν με ιδέες χρήσιμες για την περαιτέρω ανάπτυξη του αλγόριθμου και την επέκταση αυτού με ἄρση τῶν περιορισμῶν. Δυστυχῶς στή διεθνή βιβλιογραφία τὸ πρόβλημα τῆς επέκτασης ἑνὸς χωροταξικοῦ σχεδίου δὲν ἔχει ἀναπτυχθεῖ. Ἐπὶ τὴν ἄποψη αὐτὴ πρέπει νὰ καταβληθοῦν ἀκόμη πολὺ μεγάλες προσπάθειες ὥστε νὰ βελτιωθεῖ ὁ τομέας αὐτός.

Ἐνδεικτικὰ ἀναφέρονται ὀρισμένα στοιχεῖα γενικότερου ἐνδιαφέροντος γιὰ τὴν επέκταση ἑνὸς layout, πὺ μποροῦν νὰ ἀπασχολήσουν τοὺς μελετητὰς στὸ ἄμεσο μέλλον.

- Ἐύρεση τῆς πραγματικῆς τιμῆς τοῦ συντελεστῆ σταθμίσεως (n)
- Βελτίωση τοῦ κριτηρίου τοῦ συνολικοῦ κόστους
- Ρεαλιστικότητα στὸ σχῆμα τῶν τμημάτων με ἕναν ἐνδεχόμενο ἀριθμὸ μήκους πρὸς πλάτους ἢ με τὸν ἀριθμὸ πλευρῶν καὶ τὸ βαθμὸ ἐπικαλύψεως ἐπιφανείας.
- Σχέση ὁμοιομορφίας κατασκευῆς με κόστος
- Πρόσθεση ἄλλων στοιχείων κόστους στὸν αλγόριθμο
- Βελτίωση τῆς ἔννοιας τῆς δομῆς καὶ σύνδεσῆς τῆς με τὴν μεταβλητότητα.
- Ἐλαστικότητα τῶν διαδρόμων καὶ δυνατότητα τὸ νέο τμήμα νὰ ἀνήκει ταυτόχρονα σὲ δύο ἢ περισσότερα τμήματα.
- Συμπιστότητα τῶν ἐπιφανειῶν τῶν τμημάτων, ὥστε τὸ νέο τμήμα νὰ εἶναι δυνατόν παράλληλα νὰ ἀπορροφᾶται σιγά - σιγά καὶ ἀπ' τὰ τμήματα τῶν διαδρόμων
- Πρόσθεση περισσοτέρων τοῦ ἑνὸς τμημάτων
- Πρόσθεση ἐντελῶς νέου τμήματος
- Νὰ εἶναι δυνατόν ὁ αλγόριθμος νὰ ἀνταποκρίνεται στὶς διάφορες ἐδαφικὲς ἢ κατασκευαστικὲς ἰδιομορφίες τῶν βιομηχανικῶν χώρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ἀνδριανόπουλος Σταμάτης : Σχεδιασμὸς χωροταξικῶν λύσεων με χρήση αλγορίθμων. Μία διεθνὴς ἀνασκόπηση. Ἀνακοίνωση στὸ 3ο Συνέδριο Ε.Ε.Ε.Ε. Θεσσαλονίκη 1980.
2. Bigdechedler A. Moore J. : Optimal location of new machine in existing plant layouts .Journal of I. E. Feb. 1961.

3. Block T. E. : On the complexity on facilities layout problems. O. R. 1980.
4. Francis R., White G. : Facility layout and location probleme. Prentice hall New Jersey 1974.
5. Pritsker A., Chare P. : Locating ne w facilities with respect to existing facilities. A.I. I.E. Trans. Dec. 1970.
6. Sepannen J., Moore J. : Facilities planning with graph theory Mgm Sci 17 : 242.

MILITARY INTELLIGENCE DIVISION

(CLASSIFICATION)

BY

BANKS/DOY/BAV/AN/EN

CLASSIFIED

1. This document contains information that is classified as SECRET and is intended for the use of the Department of Defense and its agencies only. It is not to be distributed outside the Department of Defense and its agencies.

2. This document is the property of the Department of Defense and is loaned to your agency. It is to be returned to the Department of Defense upon completion of your assignment.

3. This document is to be stored in a secure location and is to be protected from unauthorized disclosure.

(S) SECRET

CLASSIFIED

CLASSIFIED

CLASSIFIED