

Επιτάχυνση Γραμμικών Έργων χωρίς Αύξηση του Βαθμού Χρήσης των Μέσων Παραγωγής

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΚΑΛΛΑΝΤΖΗΣ

Πολιτικός Μηχανικός

ΣΕΡΓΙΟΣ ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Στα γραμμικά έργα είναι δυνατό να επιτευχθεί σύντμηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης με επέκταση της διάρκειας ορισμένων δραστηριοτήτων, χωρίς να απαιτηθεί αύξηση στην ένταση χρήσης των μέσων παραγωγής. Η αύξηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με ομοιόμορφη μείωση των μέσων παραγωγής που είναι κατανεμημένα σε αυτές είτε με άρση του περιορισμού της συνέχειας στη χρήση τους. Στην περίπτωση που είναι δυνατή η ομοιόμορφη μείωση των απαιτούμενων μέσων παραγωγής για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων αυτών, επιλέγεται αυτή η μέθοδος. Στην περίπτωση, όμως, που αυτό δεν είναι δυνατό και τα ελάχιστα απαιτούμενα μέσα παραγωγής επιφέρουν χρόνο μεγαλύτερο από τον επιθυμητό, η αύξηση της διάρκειας απαιτεί την εισαγωγή διακοπών εργασίας. Η ελάχιστη διάρκεια και το σημείο εισαγωγής κάθε διακοπής εργασίας παραμένουν στην ευχέρεια του προγραμματιστή με στόχο τη βέλτιστη διαχείριση των μέσων παραγωγής. Η προτεινόμενη μέθοδος αναγνωρίζει τις υπόψη δραστηριότητες και προτείνει αλγόριθμο για την αύξηση της διάρκειάς τους και στις δύο περιπτώσεις. Τέλος, αναλύονται οι επιπτώσεις της εφαρμογής της μεθόδου στο συνολικό κόστος του έργου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλοί ερευνητές αλλά και στελέχη κατασκευαστικών εταιριών έχουν παρατηρήσει ότι οι δικτυωτές μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού έργων (CPM, MPM κ.λπ.), οι οποίες και κυριαρχούν στο χώρο της κατασκευής, παρουσιάζουν μειονεκτήματα, όταν εφαρμόζονται σε έργα, που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες. Τα έργα αυτά, επονομαζόμενα γραμμικά έργα, αφορούν σε οδούς, σιδηροδρόμους, τραμ, σήραγγες, αγωγούς, πολυώροφα κτίρια, συγκροτήματα πολλών κτιρίων κ.λπ. Οι δικτυωτές μέθοδοι, προκειμένου να επιτύχουν το χρονικό προγραμματισμό των γραμμικών έργων, διαιρούν δραστηριότητες, οι οποίες από τη φύση τους δεν είναι διαιρετές. Με τον τρόπο αυτό καταργούν τη συνέχεια στη χρήση των μέσων παραγωγής (Birrell 1980, Kavanah 1985, Reda 1990, Russel & Wong 1993, El Rayes & Moselhi 2001) και δημιουργούν δικτύωμα με υπέρογκο αριθμό δραστηριοτήτων (Suhail & Neale 1994).

Υποβλήθηκε: 11.6.2004 Έγινε δεκτή: 21.10.2004

Οι γραμμικές μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού έχουν κύριο στόχο τη διατήρηση της συνέχειας στη χρήση των μέσων παραγωγής. Η διατήρηση της συνέχειας στη χρήση των μέσων παραγωγής ελαχιστοποιεί τον μη παραγωγικό χρόνο τους και μεγιστοποιεί τα οφέλη από την εκμετάλλευση του φαινομένου της καμπύλης εκμάθησης (Ashley 1980, Birrell 1980). Όμως η αυστηρή προσκόλληση στον περιορισμό της συνέχειας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου. Ο Selinger (1980) παρατήρησε ότι η άρση της συνέχειας στη χρήση των μέσων παραγωγής, με την εισαγωγή διακοπών εργασίας, μπορεί να οδηγήσει σε σύντμηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου. Οι Harris & Ioannou (1998) παρατήρησαν το παράδοξο της μείωσης της συνολικής διάρκειας ενός γραμμικού έργου με αύξηση της διάρκειας ορισμένων δραστηριοτήτων. Οι El-Rayes & Moselhi (2001) παρουσίασαν μεθοδολογία δυναμικού προγραμματισμού για τη σύντμηση της συνολικής διάρκειας ενός έργου με παράλληλη βελτιστοποίηση στη χρήση των μέσων παραγωγής, εισάγοντας στο γραμμικό πρόγραμμα υπολογιζόμενες διακοπές εργασίας. Τέλος, οι Kallantzis & Lambropoulos (2004) ανέπτυξαν μεθοδολογία προσδιορισμού της κρίσιμης διαδρομής σε γραμμικό πρόγραμμα, η οποία αναγνωρίζει τις δραστηριότητες, των οποίων η μεταβολή του ρυθμού παραγωγής οδηγεί σε μεταβολή του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου.

Η αύξηση της διάρκειας μιας δραστηριότητας μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Κατ' αρχήν, με ομοιόμορφη μείωση των χρησιμοποιούμενων μέσων παραγωγής. Στη συνήθη περίπτωση, όμως, όπου τα ελάχιστα απαιτούμενα μέσα παραγωγής οδηγούν σε διάρκεια μικρότερη από την επιθυμητή, η αύξηση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή διακοπών εργασίας. Η αύξηση της διάρκειας των παραπάνω δραστηριοτήτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους τους, αλλά η μείωση της διάρκειας του έργου έχει θετικές επιπτώσεις στο συνολικό κόστος. Οι επιπτώσεις αυτές διαφέρουν ανάλογα με το είδος των μέσων παραγωγής και ανάλογα με το αν ο κατασκευαστής χρησιμοποιεί ίδια μέσα ή υπεργολάβους.

Η παρούσα εργασία αφορά στην επιτάχυνση των γραμμικών έργων αποτελούμενων από σειριακά εκτελούμενες

δραστηριότητες, εκτεινόμενες καθ' όλο το μήκος του έργου, με αξιοποίηση αυτής της ιδιότητας των προαναφερθεισών δραστηριοτήτων. Αναπτύσσεται μεθοδολογία αναγνώρισής τους, αναλύονται οι διάφοροι τρόποι αύξησης της διάρκειάς τους και παρουσιάζεται εφαρμογή της μεθόδου σε παράδειγμα από τη βιβλιογραφία για σύγκριση αποτελεσμάτων. Εξετάζονται, επίσης, οι επιπτώσεις της εφαρμογής της μεθόδου στο συνολικό κόστος του έργου.

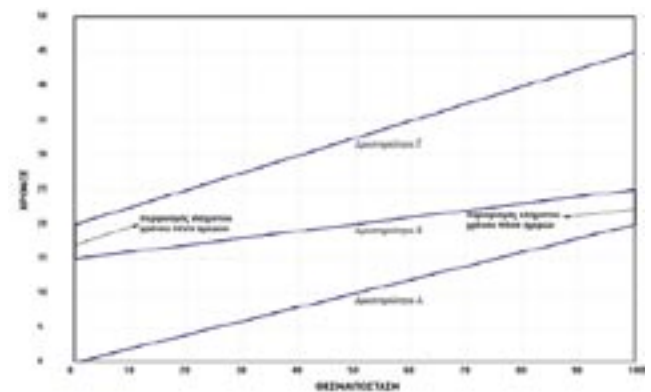
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η αναγνώριση των δραστηριοτήτων, αύξηση της διάρκειας των οποίων προκαλεί μείωση της συνολικής διάρκειας του έργου, στηρίζεται στον αλγόριθμο χρονικού προγραμματισμού και προσδιορισμού κρίσιμης διαδρομής γραμμικών έργων KLRPM (Kallantzis & Lambropoulos 2004). Για την πληρέστερη κατανόηση του αντικειμένου της παρούσας εργασίας κρίνεται σκόπιμη περιληπτική αναφορά σε αυτόν.

Η KLRPM απεικονίζει την πρόοδο των εργασιών σε άξονες Χρόνου – Θέσης/Απόστασης (άξονας Y και X αντίστοιχα) και στηρίζεται στους περιορισμούς ελάχιστου χρόνου και ελάχιστης θέσης/απόστασης, παρόμοια με τη διαφορά χρόνου (time buffer) και τη διαφορά σταδίου (stage buffer), όπως αυτές ορίστηκαν από τον Reda (1990). Οι δραστηριότητες είναι τοποθετημένες στο χρονοδιάγραμμα το πλησιέστερο δυνατό η μία στην άλλη, αρκεί να τηρούνται οι περιορισμοί χρόνου και θέσης/απόστασης (δηλαδή να μην πλησιάζει κάθε δραστηριότητα την προκάτοχό της περισσότερο από την τιμή του περιορισμού κατά τον άξονα του χρόνου ή της απόστασης αντίστοιχα).

Η μέθοδος προσδιορισμού της κρίσιμης διαδρομής αποτελείται από δύο βήματα. Πρώτα αναγνωρίζονται οι δυνητικά κρίσιμες δραστηριότητες (κρίσιμη ακολουθία) και κατόπιν υπολογίζονται τα κρίσιμα τμήματά τους. Στα γραμμικά χρονοδιαγράμματα, σε αντίθεση με τα δικτυωτά όπου οι δραστηριότητες είναι διακριτές, η κρίσιμη διαδρομή μπορεί να μεταπέσει από μια δραστηριότητα σε άλλη οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Για την αναγνώριση της κρίσιμης ακολουθίας η διαδικασία ξεκινά από την τελευταία χρονικά δραστηριότητα. Η τερματική δραστηριότητα ανήκει στην κρίσιμη ακολουθία. Συνεχίζει ακολουθώντας τον καθοριστικό της προκάτοχο (driving predecessor) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να εξεταστεί και η πρώτη χρονικά δραστηριότητα (αρχική). Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει ότι έχει επιλεγεί η μεγαλύτερη διαδρομή στο έργο. Αφού αναγνωριστεί η κρίσιμη ακολουθία, καθορίζονται τα κρίσιμα τμήματα των δραστηριοτήτων. Ξεκινώντας από το τέλος της τερματικής δραστηριότητας η κρίσιμη διαδρομή κινείται μέχρι να συναντήσει το σημείο όπου βρίσκεται ο περιορισμός (χρόνου ή απόστασης) με την καθοριστική προκάτοχη δραστηριότητα. Στο σημείο αυτό η διαδρομή μεταπηδά στην επόμενη δραστηριότητα

κατά τη διεύθυνση της Θέσης/Απόστασης ή του Χρόνου, ανάλογα με τον αν ο περιορισμός είναι Θέσης/Απόστασης ή Χρόνου αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να εξεταστεί και η αρχική δραστηριότητα. Αν η προβολή του περιορισμού με την ακόλουθη δραστηριότητα βρίσκεται δεξιά από τον περιορισμό με την προκάτοχη, το τμήμα της δραστηριότητας μεταξύ των περιορισμών είναι κρίσιμο. Αν η προβολή του περιορισμού της ακόλουθης βρίσκεται αριστερά του περιορισμού με την προκάτοχη, τότε η δραστηριότητα αυτή ανήκει στην κατηγορία των υπό αναζήτηση δραστηριοτήτων, δηλαδή εκείνων των οποίων εάν αυξηθεί η διάρκεια θα μειωθεί η συνολική διάρκεια του έργου. Η τερματική δραστηριότητα θεωρείται ότι έχει περιορισμό ακόλουθης στο τελευταίο σημείο της και η αρχική δραστηριότητα περιορισμό προκάτοχης στο πρώτο σημείο της. Τα τμήματα των δραστηριοτήτων, τα οποία βρίσκονται έξω από τους περιορισμούς των καθοριστικών προκατόχων και ακολουθών αποκτούν χρονικό περιθώριο, το οποίο μπορεί να υπολογιστεί. Γενικό παράδειγμα υπό εξέταση δραστηριοτήτων γραμμικού έργου παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Γενικό παράδειγμα υπό εξέταση δραστηριοτήτων γραμμικού έργου.

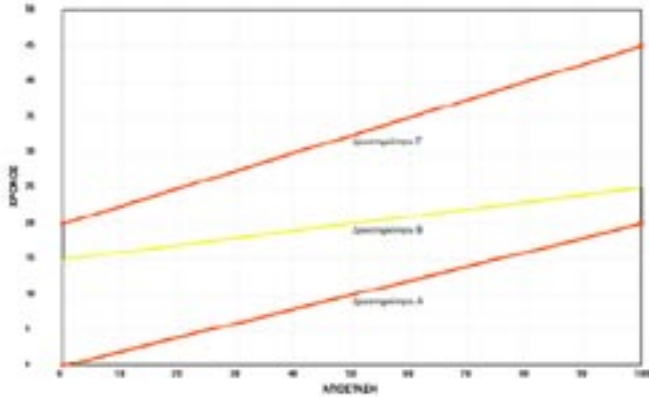
Figure 1: General example of the activities in question.

Οι τρεις δραστηριότητες A, B, Γ είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους στο συγκεκριμένο παράδειγμα, με περιορισμούς ελάχιστου χρόνου. Σύμφωνα με τον προαναφερθέντα αλγόριθμο η κρίσιμη ακολουθία περιλαμβάνει όλη τη δραστηριότητα Γ, καθώς είναι τερματική, τη δραστηριότητα Β, που είναι ο καθοριστικός της προκάτοχος και τη δραστηριότητα Α, που είναι ο καθοριστικός προκάτοχος της Β.

Η κρίσιμη διαδρομή υπολογίζεται ως εξής: Η δραστηριότητα Γ έχει, ως τερματική, τον περιορισμό ακόλουθης δραστηριότητας στο τελευταίο σημείο της. Ο περιορισμός με την προκάτοχη Β βρίσκεται στην αρχή της. Άρα όλη η Γ είναι κρίσιμη. Αντίστοιχα η Α, η οποία είναι αρχική, έχει τον περιορισμό προκάτοχης στην αρχή της. Ο περιορισμός με την ακόλουθη Β βρίσκεται στο τελευταίο σημείο της. Επομένως, όλη η Α είναι κρίσιμη. Η δραστηριότητα Β έχει

τον περιορισμό με την ακόλουθη Γ αριστερά από τον περιορισμό με την προκάτοχη Α και άρα ανήκει στις υπό εξέταση δραστηριότητες (Σχήμα 2).

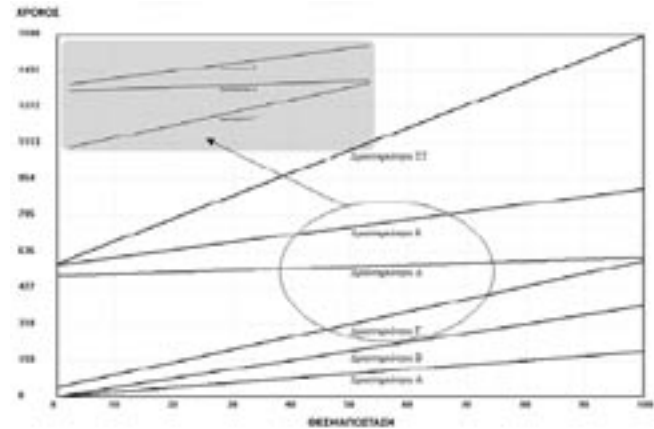
Αν αυξηθεί η διάρκεια της δραστηριότητας Β, δηλαδή αν αυξηθεί η κλίση της, τότε η συνολική διάρκεια του έργου μειώνεται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.



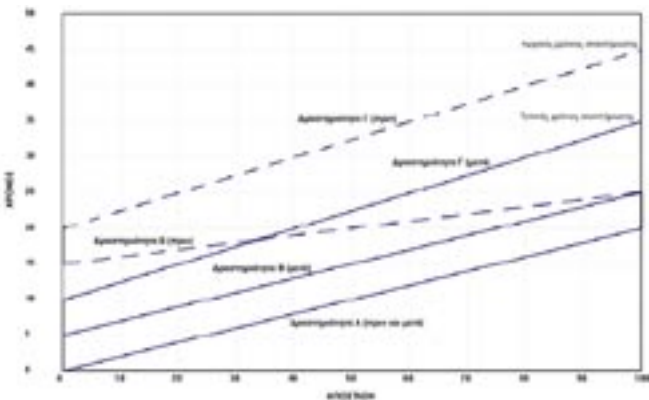
Σχήμα 2: Προσδιορισμός κρίσιμης διαδρομής παραδείγματος.
Figure 2: Illustrative example of critical path identification.

Το παραπάνω παράδειγμα γραμμικού έργου παρουσιάζεται και με τον ισοδύναμο συνδυασμό δραστηριοτήτων και αλληλουχιών δικτυωτής μεθόδου του Σχήματος 5.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, αν αυξηθεί η διάρκεια της δραστηριότητας Β, ο συνολικός χρόνος του έργου μειώνεται.



Σχήμα 4: Ενδεικτικό παράδειγμα n δραστηριοτήτων.
Figure 4: Illustrative example with n activities.

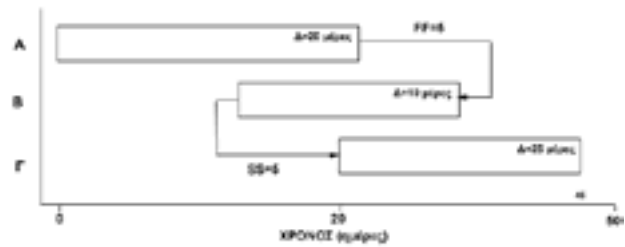


Σχήμα 3: Μείωση συνολικής διάρκειας έργου παραδείγματος με αύξηση διάρκειας της δραστηριότητας Β.
Figure 3: Reduction of total project duration by increasing activity B duration.

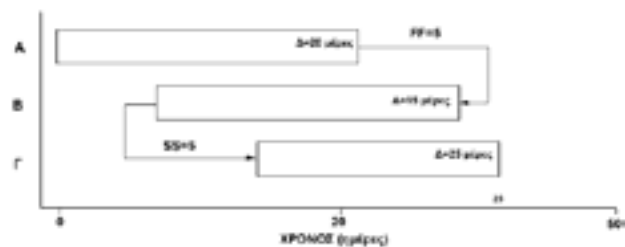
Αύξηση πέρα από κάποιο σημείο, προκαλεί τελικά αύξηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι δραστηριότητες ήταν εξαρτημένες με περιορισμό ελάχιστου χρόνου. Η προτεινόμενη διαδικασία ισχύει με οποιαδήποτε αλληλεξάρτηση δραστηριοτήτων αρκεί η προβολή του περιορισμού της ακόλουθης να βρίσκεται αριστερά του περιορισμού με την προκάτοχη.

Ο προτεινόμενος συνδυασμός δραστηριοτήτων θα μπορούσε να είναι ανεξάρτητος ή να αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου χρονοδιαγράμματος με n δραστηριότητες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 5: Ισοδύναμος συνδυασμός στη δικτυωτή μέθοδο.
Figure 5: Network equivalent configuration.



Σχήμα 6: Μείωση συνολικής διάρκειας έργου παραδείγματος με αύξηση διάρκειας δραστηριότητας Β.
Figure 6: Reduction of total project duration by increasing activity B duration.

Ο συγκεκριμένος συνδυασμός δραστηριοτήτων δεν απαντάται πολύ συχνά σε δικτυωτά διαγράμματα, αλλά ακόμη και στην περίπτωση εμφάνισής του η επιρροή του στο χρονοδιάγραμμα είναι μικρή, αφού για τις ανάγκες του προγραμματισμού οι γραμμικές δραστηριότητες τεμαχίζονται.

Στο γραμμικό πρόγραμμα, όμως, όπου η συνέχεια στη χρήση των μέσων παραγωγής είναι απαιτούμενη συνθήκη, ο συνδυασμός αυτός είναι πιο συχνός αλλά και η επιρροή του στο χρονοδιάγραμμα πιο μεγάλη, καθώς αφορά σε ολόκληρη τη δραστηριότητα και όχι σε τμήμα της.

Μετά τον εντοπισμό των υπόψη δραστηριοτήτων ακολουθεί η διαδικασία αύξησης της διάρκειάς τους. Ο απλούστερος και επιθυμητός τρόπος αύξησης της διάρκειας μιας δραστηριότητας είναι με ομοιόμορφη μείωση των μέσων παραγωγής, που είναι κατανομημένα σε αυτή. Ο συγκεκριμένος τρόπος έχει όμως περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, καθώς παίρνει τιμές όχι από συνεχές, αλλά από διακριτό πεδίο τιμών.

Για παράδειγμα, ένα συνεργείο με πέντε άτομα παράγει X ποσότητα έργου τη μέρα. Τέσσερα άτομα εκτελούν 4/5 X, 3 άτομα 3/5X κ.ο.κ. και συνεπώς μπορεί να επιτευχθεί αντιστρόφως ανάλογη αύξηση της αρχικής διάρκειας της δραστηριότητας.

Εάν η επιθυμητή διάρκεια, όπως αυτή θα υπολογιστεί στην ακόλουθη παράγραφο, ανήκει στο σύνολο των ανωτέρω διακριτών τιμών, τότε η αύξηση της διάρκειάς της δύναται να επιτευχθεί ομοιόμορφα.

Αν όμως η απαιτούμενη διάρκεια δεν ανήκει στο σύνολο των διακριτών τιμών ή το ελάχιστο απαιτούμενο συνεργείο για την εκπόνηση της δραστηριότητας εκτελεί το απαιτούμενο έργο σε μικρότερο χρόνο από τον επιθυμητό, τότε η αύξηση της διάρκειας επιτυγχάνεται με την εισαγωγή διακοπών εργασίας.

Ως ελάχιστη διακοπή εργασίας ορίζεται ο ελάχιστος χρόνος κατά τον οποίο ένα μέσο παραγωγής δύναται να μην εργάζεται και εξαρτάται από τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του μέσου αυτού σε κάποια άλλη δραστηριότητα. Για παράδειγμα, ένα μέσο παραγωγής που έχει ελάχιστο χρόνο αποσυναρμολόγησης, μεταφοράς και επανασυναρμολόγησης δύο ημέρες δεν συμφέρει να μετακινηθεί από τη δραστηριότητα, στην οποία εργάζεται για λιγότερο από πέντε μέρες, δηλαδή η ελάχιστη διακοπή είναι πέντε μέρες. Αντιστοίχως, η μετακίνηση ενός μέσου παραγωγής μπορεί να μη δύναται να πραγματοποιηθεί παρά σε συγκεκριμένες θέσεις.

Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει η διακοπή εργασίας να εισαχθεί στις επιτρεπόμενες θέσεις. Το λογικό διάγραμμα της διαδικασίας μείωσης της διάρκειας του γραμμικού έργου με την προτεινόμενη μέθοδο παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτάχυνσης, που αναλύεται στην επόμενη ενότητα, περιλαμβάνει όλες τις προτεινόμενες δυνατότητες επιτάχυνσης.



Σχήμα 7: Λογικό διάγραμμα.
Figure 7: Flowchart.

3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Όπως προκύπτει από τη θεωρητική ανάλυση, που προηγήθηκε, υπάρχει δυνατότητα επιτάχυνσης γραμμικού έργου χωρίς αύξηση στην ένταση χρήσης των μέσων παραγωγής, εφόσον στο χρονοδιάγραμμα υπάρχει επί μέρους συνδυασμός δραστηριοτήτων και αλληλουχιών αντίστοιχος με αυτόν του Σχήματος 1. Όπως προαναφέρθηκε, ο συνδυασμός αυτός θα μπορούσε να είναι ανεξάρτητος ή να αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου χρονοδιαγράμματος. Η διαδικασία θα παρουσιαστεί με παράδειγμα τριών δραστηριοτήτων για λόγους απλότητας. Θα εξεταστούν τρεις περιπτώσεις: όταν είναι δυνατή η ομοιόμορφη μεταβολή της έντασης των μέσων παραγωγής, όταν υπολογίζονται τα σημεία, στα οποία θα γίνουν οι διακοπές, και όταν δίνονται τα σημεία, στα οποία θα γίνουν οι διακοπές και υπολογίζεται το μέγεθός τους.

3.1. Ομοιόμορφη μείωση έντασης μέσων παραγωγής

Στο παράδειγμα του Σχήματος 8, η αύξηση της διάρκειας της δραστηριότητας Β πραγματοποιείται με ομοιόμορφη

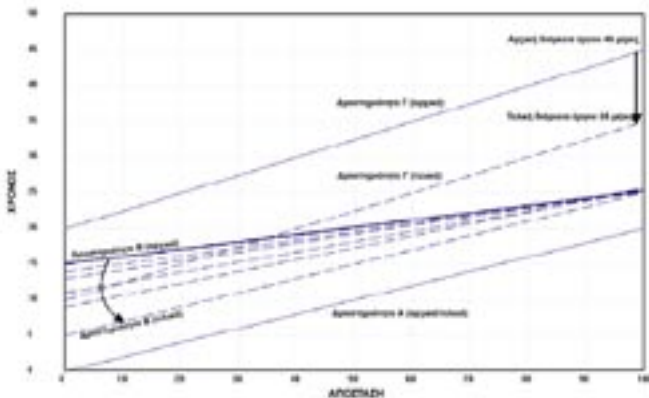
ένταση των μέσων παραγωγής, που είναι καταναμημένα σε αυτή. Ο αλγόριθμος επιτάχυνσης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- i. Αυξάνεται η διάρκεια της δραστηριότητας B κατά μία ημέρα.
- ii. Επανυπολογίζεται το νωρίτερο πέρας του έργου.
- iii. Αν το νέο νωρίτερο πέρας του έργου είναι μικρότερο ή ίσο με το προηγούμενο, αυξάνεται η διάρκεια της B κατά μία ακόμη ημέρα.
- iv. Τα βήματα ii και iii επαναλαμβάνονται μέχρι το νέο πέρας να είναι μεγαλύτερο από το προηγούμενο.

Στην περίπτωση, που η δραστηριότητα αποτελείται από τμήματα με διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής, επιβάλλεται ομοιόμορφη μείωση του ρυθμού σε όλα.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές οι νέες θέσεις των δραστηριοτήτων στο διάγραμμα Θέσης-Χρόνου.

Παρατηρείται ότι το νωρίτερο πέρας του έργου έχει μειωθεί κατά δέκα μέρες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ελάχιστη διάρκεια επιτυγχάνεται στην περίπτωση όπου $\Pi_{\beta} = \Pi_{\alpha}$.



Σχήμα 8: Μείωση διάρκειας γραμμικού έργου με ομοιόμορφη μεταβολή ρυθμού παραγωγής.

Figure 8: Reduction of linear project duration by uniform decrease of production rate.

3.2. Διακοπές εργασίας σε υπολογιζόμενες θέσεις

Στο παράδειγμα του Σχήματος 9, η αύξηση της διάρκειας της δραστηριότητας B πραγματοποιείται με την εισαγωγή διακοπών εργασίας σε υπολογιζόμενες θέσεις. Ο αλγόριθμος επιτάχυνσης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

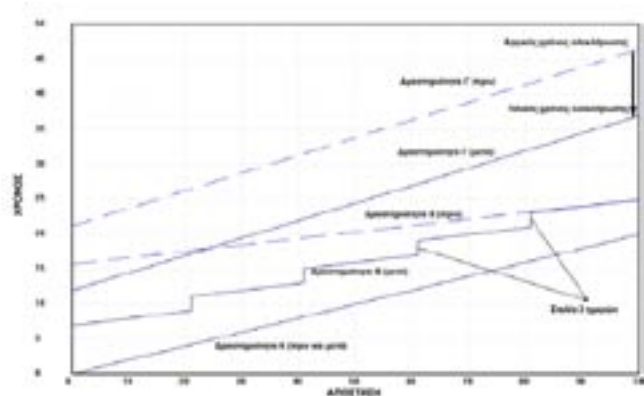
- i. Η δραστηριότητα B σαρώνεται από το τέλος της κατά βήμα, το οποίο είναι συνάρτηση του συνολικού μήκους της (το βήμα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας και την ταχύτητα του υπο-

λογιστή). Σε κάθε βήμα ελέγχεται εάν είναι δυνατή η εισαγωγή της ελάχιστης διακοπής εργασίας χωρίς να καθυστερήσει το πέρας της B. Αν με την εισαγωγή της διακοπής εργασίας καθυστερεί το πέρας της B προχωρά η σάρωση κατά ένα βήμα ακόμη, ειδάλως εισάγεται η διακοπή εργασίας.

- ii. Η διαδικασία σάρωσης συνεχίζεται από το πέρας της παραπάνω διακοπής μέχρι να ελεγχθεί όλη η δραστηριότητα.

Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται και στην περίπτωση κατά την οποία οι δραστηριότητες αποτελούνται από τμήματα με διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής, όπου η δραστηριότητα δεν παριστάνεται με ευθεία αλλά με πολυγωνική γραμμή.

Η λύση του Σχήματος 9, όπου η προκαθορισμένη διακοπή εργασίας έχει τιμή δύο ημερών, είναι υποδεέστερη αυτής του Σχήματος 8, όπου η αύξηση της διάρκειας της B έχει επιτευχθεί ομοιόμορφα.



Σχήμα 9: Μείωση διάρκειας γραμμικού έργου με εισαγωγή διακοπών εργασίας σε υπολογιζόμενες θέσεις.

Figure 9: Reduction of linear project duration by inserting work interruptions in calculated positions.

3.3. Διακοπές εργασίας σε συγκεκριμένες θέσεις

Στο παράδειγμα του Σχήματος 10, η αύξηση της διάρκειας της δραστηριότητας B πραγματοποιείται με την εισαγωγή διακοπών εργασίας σε προκαθορισμένες θέσεις.

Ο αλγόριθμος επιτάχυνσης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- i. Η δραστηριότητα B σαρώνεται από το τέλος προς την αρχή. Στο πρώτο προκαθορισμένο σημείο εισάγεται διακοπή ίση με την ελάχιστη επιθυμητή και ελέγχεται εάν καθυστερεί το πέρας της δραστηριότητας.
- ii. Αν συμβαίνει αυτό η διαδικασία προχωρά στο επόμενο σημείο όπου υπάρχει η δυνατότητα διακοπής εργασιών, ειδάλως αυξάνεται η διακοπή κατά μία ημέρα στο σημείο εκείνο και επαναλαμβάνεται ο έλεγχος.

Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου προκληθεί αύξηση

στο πέρας αυτής.

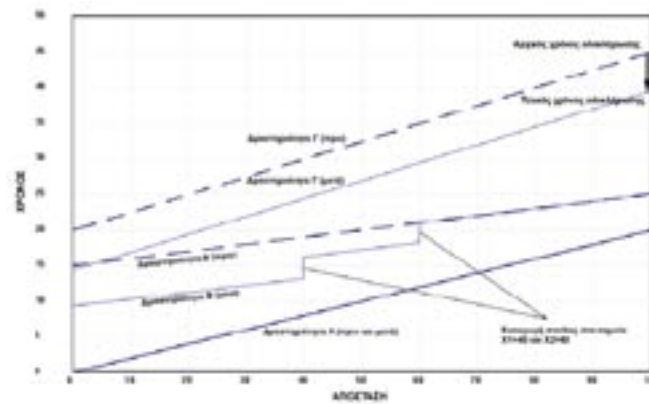
iii. Ο έλεγχος συνεχιζεται στο επόμενο σημείο εισαγωγής διακοπής εργασιών.

Ο αλγόριθμος καλύπτει και την περίπτωση κατά την οποία οι δραστηριότητες αποτελούνται από τμήματα με διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο χρόνος περάτωσης του έργου είναι 39 ημέρες, σε αντίθεση με τους χρόνους των 37 και 35 ημερών αντίστοιχα των δύο προηγούμενων περιπτώσεων.

Και στις τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, οι χρόνοι είναι μικρότεροι από τον αρχικό χρόνο των 45 ημερών.

Στην επόμενη ενότητα η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται και σε παράδειγμα από τη διεθνή βιβλιογραφία.

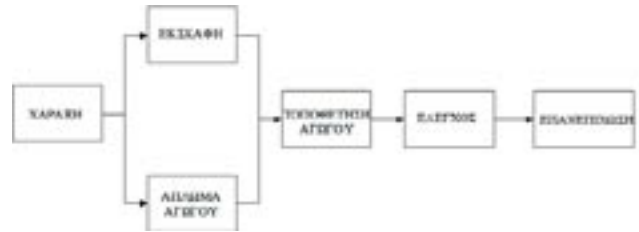


Σχήμα 10: Μείωση διάρκειας γραμμικού έργου με εισαγωγή διακοπών εργασίας σε προκαθορισμένα σημεία.

Figure 10: Reduction of linear project duration by inserting work interruptions in predefined positions.

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αφορά στη μετατόπιση τεσσάρων μιλίων αγωγού αερίου και προέρχεται από τον Reda (1990) με κάποιες μικρές αλλαγές απαραίτητες για την προσαρμογή του στη συγκεκριμένη μέθοδο. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται το δικτυωτό γράφημα του έργου.



Σχήμα 11: Δικτυωτό διάγραμμα παραδείγματος εφαρμογής.

Figure 11: Network diagram for illustrative example.

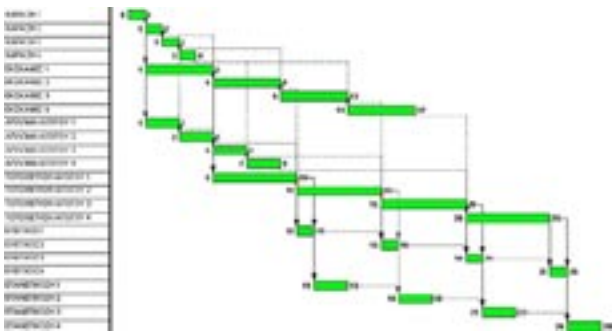
Όλες οι δραστηριότητες εκτελούνται σειριακά εκτός από τις εκσκαφές και την παράθεση των σωλήνων (άπλωμα) του αγωγού, που εκτελούνται παράλληλα. Κατά τον προγραμματισμό με δικτυωτή μέθοδο, το έργο διασπάται σε τέσσερα τμήματα του ενός μιλίου και θεωρείται ότι οι δραστηριότητες συνδέονται με τις προκατόχους τους με σχέσεις αρχής-αρχής ή τέλους-τέλους (ανάλογα με το αν αποκλίνουν ή συγκλίνουν) και χρονική υστέρηση ίση με τη διάρκεια της προκατόχου δραστηριότητας. Τα δεδομένα της κάθε δραστηριότητας για τη σύνταξη του χρονοδιαγράμματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Η λύση με τη δικτυωτή μέθοδο παρουσιάζεται στο Σχήμα 12 σε διάγραμμα GANTT. Ο ολικός χρόνος περάτωσης του έργου είναι 28 μέρες.

Πίνακας 1: Στοιχεία δραστηριοτήτων παραδείγματος.

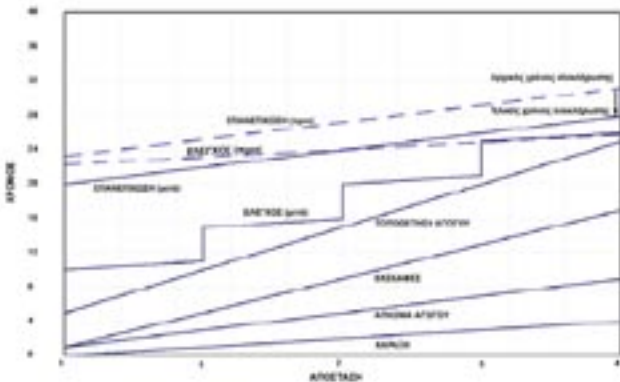
Table 1: Illustrative example data.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΣ	ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΚΟΣΤΟΣ
ΧΑΡΑΞΗ					10,000
ΕΚΣΚΑΦΗ	ΧΑΡΑΞΗ	SS = 1	χρόνου	1 μέρα	15,000
ΑΠΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΞΗ	SS = 1	χρόνου	1 μέρα	15,000
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	ΕΚΣΚΑΦΗ	SS = 3	χρόνου	3 μέρες	30,000
	ΑΠΛΩΜΑ	SS = 3	χρόνου	3 μέρες	
ΕΛΕΓΧΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	FF = 1	χρόνου	1 μέρα	10,000
ΕΠΙΣΑΡΤΗΣΗ	ΕΛΕΓΧΟΣ	SS = 1	χρόνου	1 μέρα	20,000



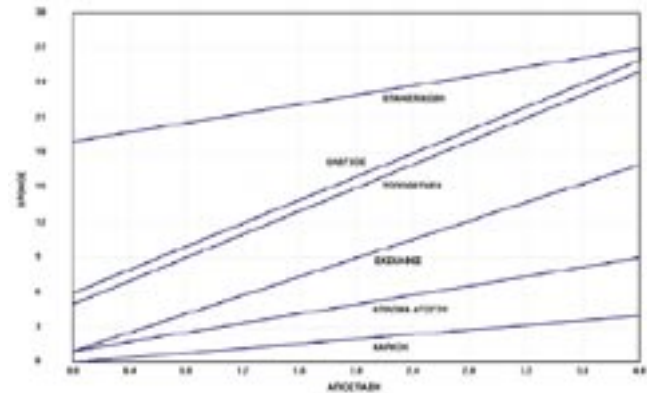
Σχήμα 12: Επίλυση παραδείγματος εφαρμογής με δικτυωτή μέθοδο.
Figure 12: Illustrative example solution with network method.

Η αρχική επίλυση του χρονοδιαγράμματος με τη γραμμική μέθοδο δίνει χρόνο περάτωσης του έργου 31 μέρες. Η λύση είναι υποδεέστερη χρονικά αυτής της δικτυωτής μεθόδου και αυτό οφείλεται στο ότι το γραμμικό πρόγραμμα ικανοποιεί τη συνθήκη της συνέχειας στη χρήση των μέσων παραγωγής στη δραστηριότητα ΕΛΕΓΧΟΣ. Αν επιτραπούν διακοπές εργασίας στη δραστηριότητα ΕΛΕΓΧΟΣ, ο χρόνος περάτωσης του έργου θα γίνει ίσος με αυτόν της δικτυωτής μεθόδου (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Επίλυση παραδείγματος εφαρμογής με τη γραμμική μέθοδο KLRPM πριν και μετά την επιτάχυνση.
Figure 13: Illustrative example solution with KLRPM method before and after acceleration.

Στην περίπτωση, που είναι δυνατή η ομοιόμορφη αύξηση της διάρκειας της δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ, η λύση με τη γραμμική μέθοδο δίνει νωρίτερο χρόνο περάτωσης από τη δικτυωτή μέθοδο. Ο ρυθμός παραγωγής της δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ εξισώθηκε αυτόν της δραστηριότητας ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ, οι δραστηριότητες ΕΛΕΓΧΟΣ και ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗ έγιναν συγκλίνουσες και ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου μειώθηκε στις 27 ημέρες (Σχήμα 14). Η αντιστοιχία στο δικτυωτό γράφημα θα απαιτούσε αύξηση της διάρκειας της δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ από μία ημέρα σε πέντε ημέρες και μετατροπή της αλληλουχίας μεταξύ των δραστηριοτήτων ΕΛΕΓΧΟΣ και ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗ σε FF=1 αντί για SS=1. Στην περίπτωση αυτή και η δικτυωτή μέθοδος θα έδινε χρόνο ολοκλήρωσης 27 ημερών.



Σχήμα 14: Επίλυση παραδείγματος με γραμμική μέθοδο και ομοιόμορφη μεταβολή μέσων παραγωγής.
Figure 14: Illustrative example solution with uniform decrease in assigned resources.

Στην επόμενη παράγραφο εξετάζονται συνοπτικά οι επιπτώσεις της συγκεκριμένης μεθόδου στο κόστος του έργου.

5. ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

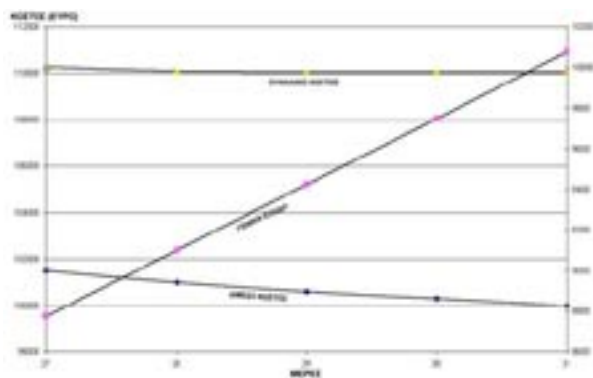
Η επιμήκυνση της διάρκειας της δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ πέραν του κανονικού χρόνου εκτέλεσης T_N , προκαλεί αύξηση στο κόστος της. Το αυξημένο κόστος προέρχεται από τις απολυμένες ώρες εργασίας και τη μείωση της παραγωγικότητας του συνεργείου λόγω της μη εκμετάλλευσης της καμπύλης εκμάθησης. Για τη δραστηριότητα ΕΛΕΓΧΟΣ του παραδείγματος δίνεται ενδεικτικός πίνακας κόστους-χρόνου (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Στοιχεία κόστους-χρόνου δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ.
Table 2: Time-cost data for activity ΕΛΕΓΧΟΣ.

Ζεύγη χρόνου-κόστους δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ					
Χρόνος (μέρες)	8	7	6	5	4
Κόστος (ευρώ)	11,500	11,000	10,600	10,300	10,000

Με τα στοιχεία κόστους των Πινάκων 1, 2 και θεωρώντας ότι τα γενικά έξοδα του εργοταξίου είναι 325 ευρώ/ημέρα (περίπου 10% του αρχικού κόστους), κατασκευάζεται το γράφημα βέλτιστου κόστους-χρόνου του Σχήματος 15.

Τιμές κόστους της δραστηριότητας ΕΛΕΓΧΟΣ για χρόνους μεγαλύτερους των 8 ημερών δεν λαμβάνονται υπόψη, επειδή δεν συνεισφέρουν σε περαιτέρω μείωση του συνολικού χρόνου του έργου (οι τιμές για το κόστος των εργασιών ελήφθησαν από εμπειρογνώμονα της κατασκευής). Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται το συνολικό κόστος του έργου για χρόνους εκτέλεσης από 27 μέχρι 31 μέρες.



Σχήμα 15: Γράφημα βέλτιστου κόστους-χρόνου έργου.
Figure 15: Illustrative example of an optimal time-cost graph.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι διαφορές στο κόστος είναι μικρές και η συμπίεση του χρόνου συντελείται χωρίς μεγάλο επιπρόσθετο κόστος. Αν ληφθούν υπόψη πιθανά επιπρόσθετα οφέλη από πριμ νωρίτερης ολοκλήρωσης του έργου, συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει μεγάλη αποτελεσματικότητα κόστους. Η επιβάρυνση, που επιφέρει η επιτάχυνση στο συνολικό κόστος του έργου, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων (η δραστηριότητα εκτελείται με ίδια μέσα ή όχι, υπάρχει η δυνατότητα απασχόλησης των μέσων παραγωγής κατά τη διάρκεια των διακοπών εργασίας σε άλλες δραστηριότητες ή όχι κ.λπ.). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό των επιπτώσεων, αλλά και της αποτελεσματικότητας στο κόστος του έργου ξεχωριστά σε κάθε έργο. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι σε πολλές περιπτώσεις οι εν λόγω δραστηριότητες αφορούν σε δευτερεύουσες εργασίες (διαγράμμιση οδών, οδοφωτισμός, έλεγχοι συστημάτων κ.λπ.), που είτε δεν έχουν μεγάλο κόστος, είτε έχουν μικρό κόστος επιβράδυνσης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μεθοδολογία επιτάχυνσης σε γραμμικά έργα με επιμήκυνση της διάρκειας

ορισμένων δραστηριοτήτων χωρίς αύξηση στην ένταση χρήσης των μέσων παραγωγής. Οι εν λόγω δραστηριότητες αφορούν συνήθως σε δευτερεύουσες εργασίες που είτε δεν έχουν μεγάλο κόστος είτε έχουν μικρό κόστος επιβράδυνσης. Η αύξηση της διάρκειας τους επιτυγχάνεται ή με ομοιόμορφη μείωση της έντασης των καταναμημένων μέσων παραγωγής, είτε με την εισαγωγή διακοπών εργασίας σε υπολογιζόμενες θέσεις είτε με την εισαγωγή διακοπών εργασίας σε συγκεκριμένες θέσεις στο έργο. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε σε παράδειγμα από τη διεθνή βιβλιογραφία και μείωσε το συνολικό χρόνο εκτέλεσης του έργου. Στην περίπτωση ομοιόμορφης μείωσης στην ένταση χρήσης των μέσων παραγωγής, ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου έγινε μικρότερος και από αυτόν της δικτυωτής μεθόδου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ashley, D. B. (1980), "Simulation of Repetitive Unit Construction" Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 107, No 2, 185-194.
2. Birrel, G. S. (1980), "Construction Planning – Beyond the Critical Path" Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 106, No 3, 389-407.
3. El-Rayes, K. and Moselhi O. (2001), "Optimizing Resource Utilization for Repetitive Construction Projects" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 127, No 1, 18-26.
4. Harris, R. B. and Ioannou, P. G. (1998), "Scheduling Projects with Repeating Activities" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 124, No 4.
5. Kallantzis, A. and Lambropoulos S. (2004), "Linear Scheduling and Critical Path Determination Using Minimum and Maximum Constraints" Engineering Construction and Architectural Management, Emerald Literati, Issue 11.3 May 2004.
6. Kavanagh, D. P. (1985), "SIREN: A repetitive construction simulation model" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 111, No 3, 308-323.
7. Reda, R. M. (1990). "Repetitive Project Modeling" Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 116, No 2, 316-330.
8. Russel, A. D. and Wang, W. C. M. (1993), "New generation of planning structures" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 119, No 2, 196-214.
9. Selinger, S. (1980), "Construction Planning for Linear Projects" Journal of Construction Division, ASCE, Vol 106, No 2.
10. Suhail, S. and Neale, R. (1994), "CPM/LOB: New methodology to integrate CPM and line of balance" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 120, No 3, 667-684.

Καλλαντζής Αλέξανδρος

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc., Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τεχνικών Έργων, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80.

Λαμπρόπουλος Σέργιος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τεχνικών Έργων, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80.

Extended summary

Linear Project Acceleration without Increasing Production Rates

ALEXANDROS KALLANTZIS

Civil Engineer

SERGIOS LAMBROPOULOS

Assistant Professor N.T.U.A.

Abstract

It is possible to decrease the total completion time of linear projects by extending the duration of some activities, without increasing production rates. The increase in the duration of these activities can be achieved either by uniformly decreasing the resources assigned to them or by abolishing the resource continuity constraint. In the case where a uniform decrease in the assigned resources is feasible, the former method is selected. In the case where this is not possible or the minimum resources required to execute the activity result in durations longer than desired, the duration increase is achieved by inserting work interruptions. The minimum interruptions and their insertion point are left to the discretion of the planner in order to manage resources more effectively. The proposed methodology identifies the activities in question and includes an algorithm for increasing their duration in both cases. Moreover, the effect on total project cost caused by applying the method to the selected activities is briefly analyzed.

1. INTRODUCTION

Many researchers and contractors have concluded that network scheduling methods (MPM, CPM etc.) present disadvantages when applied to linear projects. In order to schedule linear projects, network methods divide activities into segments, abolish the resource continuity constraint (Kavanah 1985, Reda 1990, Russell & Wong 1993, El Rayes & Moselhi 2001) and produce a network containing a huge number of activities. On the other hand, linear scheduling methods aim mainly at preserving resource continuity. Continuous flow of work minimizes idle time and maximizes the learning curve effect (Ashley 1980, Birrel 1980). Strict adherence, though, to the resource continuity constraint may lead to increased total project duration. Selinger (1980) noticed that abolishing resource continuity in some activities by inserting work interruptions may shorten project duration. Harris & Ioannou (1998) observed the paradox of decreasing linear project duration by increasing the duration of some activities. El Rayes & Moselhi (2001) presented a dynamic programming methodology for decreasing total project

Submitted: June 11, 2004 Accepted: Oct. 21, 2004

duration while optimizing resource utilization. Finally, Kallantzis & Lambropoulos (2004) developed a critical path algorithm for linear projects that identifies the activities that influence project duration.

The increase in activity duration can be achieved in two ways. Firstly, by a uniform decrease of the allocated resources. Secondly, in the case that the minimum resources required for the execution of the activity lead to a duration less than desired, the increase is achieved by inserting work interruptions. The increase in the duration of the abovementioned activities also increases their cost, but it has positive effects on total project cost.

This paper presents a methodology for accelerating linear projects, comprised of full-span serial activities, by taking advantage of the attribute of the aforementioned activities. The two methods for increasing the activities' duration are analyzed and applied to a project taken from literature. Finally, the effect on total project cost is briefly discussed.

2. BACKGROUND

The identification of the activities in question is based on the critical path algorithm for linear projects KLRPM (Kallantzis & Lambropoulos 2004). Therefore, a brief reference to the method is judged necessary. KLRPM presents work progress on Time-Distance axes and is based on time and distance constraints, similar to the time and stage buffers as defined by Reda (1990). Activities in the schedule are placed as close as possible to each other as long as the time and distance constraints between them are not violated. The method consists of two steps: the potential critical activities are first identified and the critical path is then calculated. In order to identify the potential critical activities, the process starts from the last activity of the project, moving through every activity's driving predecessor until the first activity is reached. This procedure ensures that the longest path in the schedule

has been identified. After the potential critical activities have been identified, their critical parts are determined. Starting from the end of the last activity, the critical path moves through it until it reaches the point where the constraint with the driving predecessor lies; there it shifts towards its driving predecessor horizontally or vertically depending on whether it is a distance or a time constraint. The procedure continues until the beginning of the first activity is reached. The segment of each activity between the trace of the constraints of its driving predecessor and its driving successor belongs to the controlling sequence. If the constraint of the successor activity lies to the right of the constraint of the predecessor activity, the segment of the activity between them is critical. If the trace of the constraint of the successor activity lies to the left of the trace of the constraint of the predecessor activity, then this activity belongs to the activities in question. A general example of the activity configuration of the activities under examination is presented in Figure 1. According to the algorithm presented above, activity B has the constraint of its successor activity Γ lying to the left of the constraint of the predecessor activity A (Figure 2). If the duration of activity B is increased, total project duration is decreased (Figure 3).

This activity configuration can stand by itself or it can be a part of a larger project (Figure 4).

The above linear schedule example is analogous to the network activity configuration of Figure 5. As can be seen in Figure 6, extension of activity B duration results in a decrease of total project duration.

After detecting the activities under examination the procedure for increasing their duration follows. As mentioned before, the simplest way to increase an activity's duration is by uniformly decreasing the allocated resources. This method has a limited range of application since it receives values from a discrete range of values, rather than a uniform one. In the case where the desired activity duration does not belong to the above mentioned discrete values, or the minimum resources required for executing the activity result to duration longer than the desired one, work interruptions need to be inserted into the schedule. These work interruptions have to be greater than a minimum value. This value is related to the capability of using the resources in other activities during the interruptions.

The flowchart for the proposed methodology is presented in Figure 7.

3. PROPOSED ACCELERATION METHODOLOGY

The previous analysis entails the possibility for accelerating the project without increasing the assigned resources when the activity configuration of Figure 1 is

present in a linear schedule. Three cases for increasing activity duration will be examined: when uniform change of the assigned resources is possible, when the positions of the work interruptions are calculated and when the positions of work interruptions are given.

3.1. Uniform decrease in assigned resources

In the example of Figure 8 the duration increase of activity B is achieved by uniform decrease of the assigned resources. The acceleration algorithm has the following steps:

- i. The duration of activity B is increased by one day.
- ii. The finish day of the project is recalculated.
- iii. If the new finish day is earlier than before, the duration of activity B is increased by one more day.
- iv. Steps ii and iii are repeated until the new finish day is greater than in previous iteration.

The new position of activities B and Γ is presented in Figure 8 with solid lines.

3.2. Work interruptions in calculated positions

In the example of Figure 9 the duration increase of activity B is achieved by inserting work interruptions in calculated positions. The acceleration algorithm contains the following steps:

- i. Activity B is scanned starting from its last point. At every step of the scan, the possibility of inserting work interruption without delaying its finish day is examined. If the work interruption delays the finish day of activity B, the next point is examined, if not, interruption is inserted.
- ii. This procedure continues until the whole of activity B is examined.

The new position of activities B and Γ is presented in Figure 9 with solid lines.

3.3. Work interruptions in given positions

In the example of Figure 10 the duration increase of activity B is achieved by inserting work interruptions in given positions. The acceleration algorithm contains the following steps:

- i. Activity B is scanned starting from its last point. At the first predefined position encountered, the possibility of inserting a work interruption, equal to the minimum interruption and without delaying its finish day, is examined.

- ii. If the work interruption delays the finish day of activity B, then the next given point is examined, otherwise the interruption is increased by one day and the check is repeated. This procedure continues until its finish day is delayed.
- iii. The check continues at the next given interruption point.
The new position of activities B and Γ is presented in Figure 10 with solid lines.

4. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

The example is taken from the literature (Reda 1990) and pertains to the relocation of a 4-mile natural gas pipeline. The activity network is presented in Figure 11. Activity data is shown in Table 1. The Gantt chart is presented in Figure 12. The initial solution for the equivalent linear schedule is presented in Figure 13 with dashed lines. Activity “TEST” (ΕΛΕΓΧΟΣ) is identified to be prolonged. The uniform duration increase and the algorithm for work interruptions in calculated positions are applied to the selected activity. The results are presented in Figures 13 and 14 respectively. Project duration has been decreased from the initial duration of 31 days to 28 and 27 respectively.

5. COST INFLUENCE

The prolongation of the duration of activity TEST beyond its normal time T_N increases its cost. The cost data for the selected activity are presented in Table 2. Taking under consideration the general expenses of the jobsite, the cost versus time graph of Figure 15 is plotted. In the specific example the differences in cost are minimal. Generally the activities in question pertain either to secondary works or to low deceleration cost works.

6. CONCLUSIONS

This paper presented a method for accelerating linear projects by prolonging the duration of some activities and without increasing assigned resources. The activities in question pertain either to secondary works or to works with minimal deceleration cost. The increase in their duration can be achieved either by uniform decrease of the assigned resources or by inserting work interruptions. The method was applied to an illustrative example taken from the literature and decreased its completion time.

Alexandros Kallantzis

Civil Engineer BSc., MSc., PhD Candidate, National Technical University of Athens, School of Civil Engineering, Department of Engineering Construction and Management, 9, Iroon Polytexneiou Street, Zografou, 157 80, Athens, Greece.

Labropoulos Sergios

Assistant Professor, National Technical University of Athens, School of Civil Engineering, Department of Engineering Construction and Management, 9, Iroon Polytexneiou Street, Zografou, 157 80, Athens, Greece.