

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Για να μπορέσει ο διευθυντής έργου να προγραμματίσει και να ελέγξει αποτελεσματικά το έργο, είναι υποχρεωμένος να επεξεργαστεί, γρήγορα και με ακρίβεια, υπερβολικά μεγάλο αριθμό δεδομένων και να βάλει σε τάξη μία κατάσταση που είναι, από τη φύση της, περίπλοκη. Αυτή την ανάγκη έρχεται να καλύψει η μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (CPM, Critical Path Method).

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τις τεχνικές καθώς και τις πρακτικές εφαρμογές της CPM, διατρέχοντας μαζί σας, βήμα-βήμα, όλα τα στάδια του προγραμματισμού: από την ανάπτυξη του λογικού διαγράμματος δικτύου μέχρι τον προσδιορισμό της κρίσιμης διαδρομής. Μολονότι η CPM αναπτύχθηκε, αρχικά, για να αποτιμήσει ποσοτικά την αντισταθμιστική σχέση κόστους-χρόνου, ο όρος CPM χρησιμοποιείται, σήμερα, ως συνώνυμος του όρου PERT για να υποδηλώσει είτε το χρονικό προγραμματισμό καθεαυτόν, είτε τον ενιαίο κύκλο προγραμματισμού και ελέγχου.

10.1 Διάγραμμα δικτύου (μέρος 1)

Η δομική ανάλυση έργου (WBS) παρέχει μία μεθοδική ανάλυση του αντικείμενου των εργασιών σε πακέτα εργασιών, τα οποία μπορούμε να χειριστούμε εύκολα και να αναλύσουμε περαιτέρω ώστε να καταλήξουμε σε έναν κατάλογο δραστηριοτήτων (βλ. κεφάλαιο Δομική ανάλυση έργου). Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστούν οι λογικές σχέσεις που συνδέουν τις διάφορες δραστηριότητες μεταξύ τους, και αυτό γίνεται με τη χρήση ενός διαγράμματος δικτύου.

Το διάγραμμα δικτύου μπορεί να οριστεί ως μία γραφική παράσταση των δραστηριοτήτων του έργου στην οποία αποτυπώνεται η προγραμματισμένη αλληλουχία των εργασιών. Στην απλούστερή της μορφή απαιτεί μόνον ομάδες πληροφοριών:

- Τον κατάλογο των δραστηριοτήτων

- Τους λογικούς περιορισμούς στους οποίους υπακούουν και οι οποίοι αποκαλούνται επίσης και λογικές διασυνδέσεις, λογικές εξαρτήσεις ή λογικές σχέσεις μεταξύ δραστηριοτήτων.

Το διάγραμμα δικτύου, το οποίο ονομάζεται επίσης και μέθοδος διαγράμματος προτεραιότητας (PDM, Precedence Diagram Method), είναι μία εξελιγμένη μορφή της έννοιας της δραστηριότητας επί του κόμβου (ΑΟΝ) σύμφωνα με την οποία καθεμία δραστηριότητα αναπαρίσταται από ένα κόμβο ή ένα τετραγωνάκι.

10.2 Ορισμός δραστηριότητας (μέρος 1)

Δραστηριότητα ονομάζουμε οποιοδήποτε καθήκον, εργασία ή λειτουργία πρέπει να εκτελεστεί για να ολοκληρωθεί το πακέτο εργασιών ή το έργο στο οποίο ανήκει. Τα πακέτα εργασιών που καθορίζει η WBS μπορούν να υπο-διαιρεθούν σε μία ή περισσότερες δραστηριότητες οι οποίες αριθμούνται με διαφορετικό σύστημα αρίθμησης από αυτό των πακέτων εργασιών. Οι όροι δραστηριότητα, καθήκον και εργασία πολλές φορές χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Στο διάγραμμα δικτύου κάθε δραστηριότητα αναπαρίσταται από ένα τετραγωνάκι στο οποίο αντιστοιχεί ένας κωδικός ταυτότητας από αριθμούς ή γράμματα. Σε κάθε δραστηριότητα δίνεται μία σύντομη περιγραφή για να διασφαλιστεί ότι τα μέλη της ομάδας εργασίας κατανοούν το εργασιακό περιεχόμενο – η περιγραφή αυτή μπορεί να δίνεται αναλυτικά και εκτεταμένα σε μία αντίστοιχη κάρτα εργασίας.

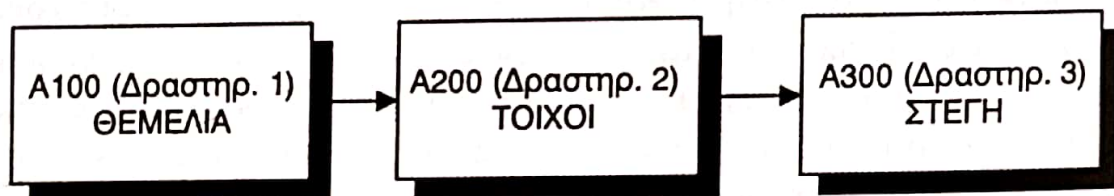
10.3 Λογικές σχέσεις (μέρος 1)

Το διάγραμμα δικτύου απεικονίζει την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, η οποία καθορίζεται από λογικές σχέσεις που μπορεί να είναι είτε υποχρεωτικές είτε μη υποχρεωτικές. Οι **υποχρεωτικές σχέσεις**, ή αλλιώς αυστηρές εξαρτήσεις, είναι περιορισμοί που τίθενται από τη μέθοδο υλοποίησης. Παραδείγματος χάριν, σε ένα κατασκευαστικό έργο τα θεμέλια πρέπει (αυστηρή λογική) να χτιστούν προτού κατασκευαστούν οι τοίχοι και η στέγη, ενώ το να προγραμματίσετε τις ηλεκτρολογικές εργασίες πριν από την κατασκευή των υδραυλικών συστημάτων, είναι μη υποχρεωτική σχέση (μη αυστηρή λογική). Μη υποχρεωτική λογική είναι η προτιμώμενη ή βέλτιστη πρακτική, όπως την εννοούν τα μέλη της ομάδας έργου. Προτού σχεδιάσουμε το διάγραμμα δικτύου θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις λο-

γικές σχέσεις που συνδέουν μεταξύ τους όλες τις δραστηριότητες. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να είναι δύο ειδών:

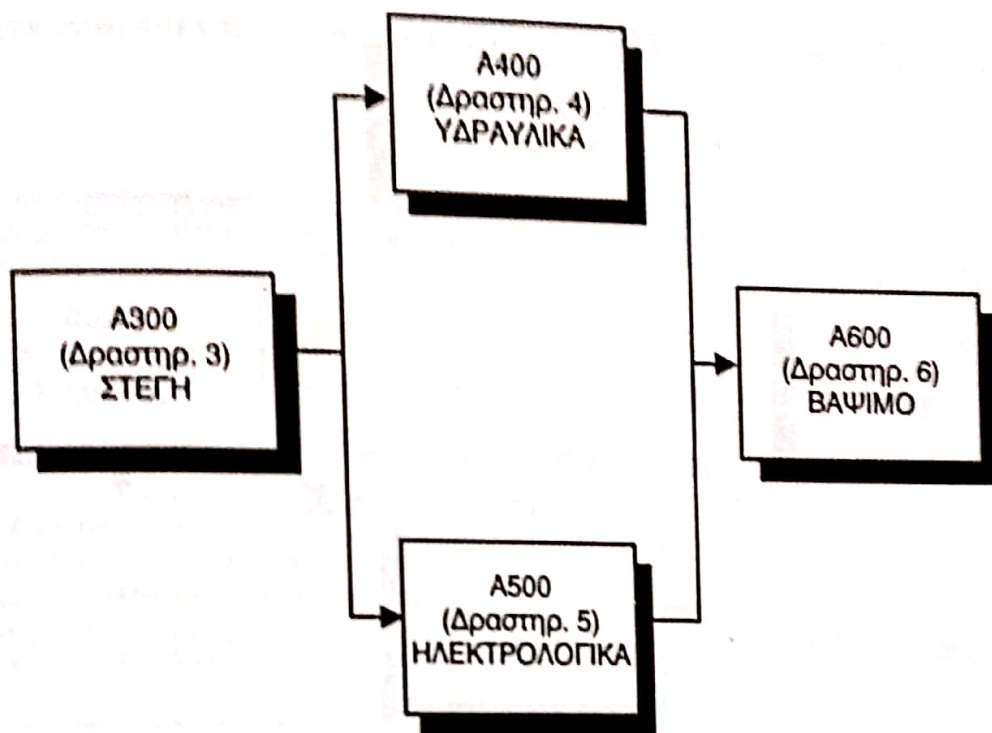
- Οι δραστηριότητες σε σειρά.
- Οι παράλληλες δραστηριότητες.

Δραστηριότητες σε σειρά: Όταν οι δραστηριότητες είναι διατεταγμένες σε σειρά, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εκτελεστούν η μία μετά την άλλη. Κατά την πρώτη φάση ανάπτυξης του διαγράμματος δικτύου, το πιθανότερο είναι ότι οι περισσότερες δραστηριότητες θα τεθούν σε σειρά. Ένα παράδειγμα δραστηριοτήτων που εκτελούνται σε σειρά στο έργο κατασκευής οικίας είναι η κατασκευή θεμελίων (δραστηριότητα A100), η οποία ακολουθείται από την κατασκευή των τοίχων (A200), η οποία ακολουθείται από την κατασκευή της στέγης (A300). Η ανάγνωση του διαγράμματος δικτύου ακολουθεί την ίδια σειρά με την ανάγνωση οποιουδήποτε κειμένου: ξεκινάμε από το πάνω αριστερά σημείο και προχωρούμε προς τα δεξιά και κάτω (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Δραστηριότητες σε σειρά.

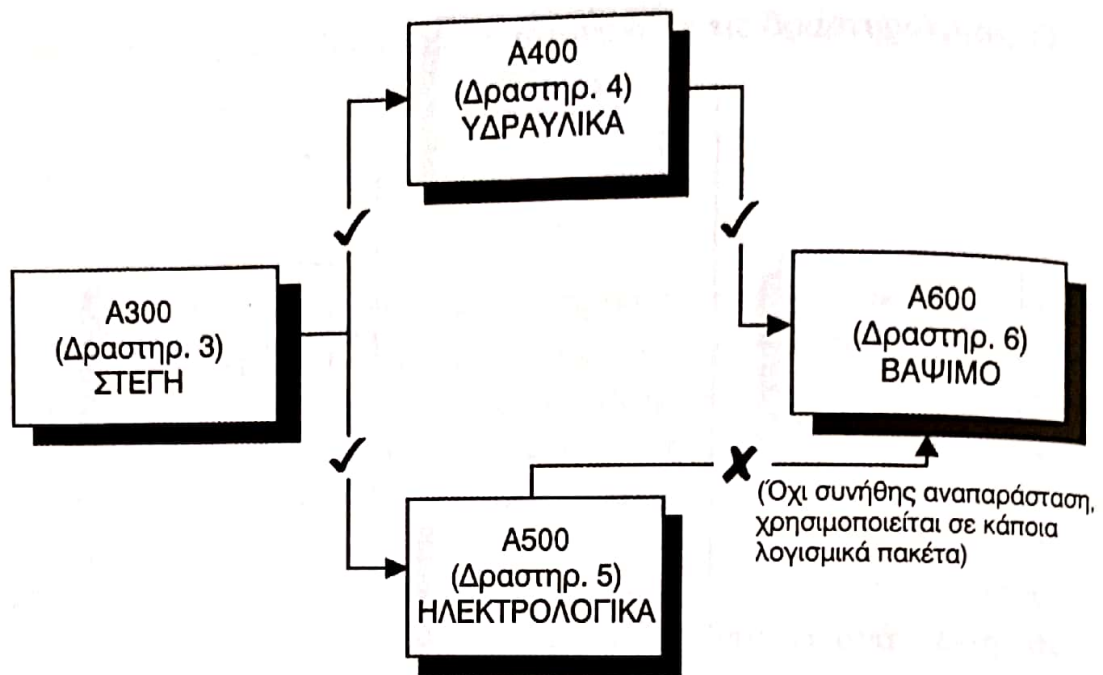
Παράλληλες δραστηριότητες: Όταν δυο ή περισσότερες δραστηριότητες είναι παράλληλες, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα, πράγμα που σημαίνει ότι γίνεται αποδοτικότερη χρήση του χρόνου συγκριτικά με την περίπτωση των δραστηριοτήτων σε σειρά. Ένα παράδειγμα παράλληλων δραστηριοτήτων στο έργο κατασκευής οικίας είναι η εγκατάσταση του υδραυλικού (δραστηριότητα A400) και ηλεκτρολογικού συστήματος (A500), οι οποίες μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα μετά την κατασκευή της στέγης (A300), ενώ το βάψιμο θα γίνει μετά από αυτές (A600) (βλ. Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Παράλληλες δραστηριότητες.

10.4 Πώς αναπαριστώνται οι λογικές σχέσεις (μέρος 1)

Οι όροι λογική σχέση, περιορισμός, εξάρτηση και διασύνδεση χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και αναπαριστώνται από γραμμές που συνδέουν τα τετραγωνάκια των δραστηριοτήτων. Στην αναπαράσταση που χρησιμοποιείται συχνότερα, οι γραμμές σύρονται από αριστερά προς τα δεξιά, και φαίνεται να ξεκινούν από τη δεξιά πλευρά των τετραγώνων και να καταλήγουν στην αριστερή πλευρά τους. Ωστόσο, σε πολλά λογισμικά πακέτα, οι γραμμές ενώνουν τις κορυφές με τις βάσεις των τετραγώνων. Στην αρχή είναι προτιμότερο να σχεδιάζετε ένα βέλος στο τέλος της γραμμής της λογικής σχέσης για να μπορείτε να παρακολουθείτε εύκολα τη διεύθυνση της ροής των εργασιών.



Σχήμα 3: Πώς αναπαριστώνται οι περιορισμοί μεταξύ των δραστηριοτήτων.

Παλαιότερα, καμιά φορά αναπτύσσαμε το έργο τοποθετώντας σε έναν μεγάλο τοίχο κίτρινα αυτοκόλλητα χαρτάκια, τα οποία αντιπροσώπευαν τις δραστηριότητες. Σήμερα που τα λογισμικά πακέτα προγραμματισμού εργασιών είναι τόσο φθηνά, σπανίως χρησιμοποιείται κάποιο άλλο μέσο, εκτός του υπολογιστή, για την ανάπτυξη του προγράμματος μεγάλων έργων. Τα περισσότερα λογισμικά πακέτα σάς δίνουν τη δυνατότητα όχι μόνο να βλέπετε στην οθόνη σας και να τυπώνετε διαγράμματα δικτύου, αλλά ακόμη και να αλλάζετε τις πληροφορίες που περιέχονται στα τετραγωνάκια, ή ακόμη και να μειώνετε την ποσότητα των πληροφοριών μέσα στο κουτί, έτσι ώστε, αν θέλετε να έχετε μία πολύ συνοπτική εικόνα του έργου, το κάθε τετραγωνάκι μπορεί να εμφανίζει μόνο τον αριθμό δραστηριότητας.

10.5 Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων (μέρος 1)

Για να διευκολυνθεί η ανάγνωση, οι πληροφορίες σχετικά με τις λογικές σχέσεις που συνδέουν τις δραστηριότητες μπορούν να συγκεντρωθούν σε έναν πίνακα, κάθε σειρά του οποίου (κάθε εγγραφή) αντιπροσωπεύει μία σχέση. Στα περισσότερα λογισμικά πακέτα προγραμματισμού εργασιών η δραστηριότητα που προηγείται ονομάζεται προηγούμενη δραστηριότητα

και εκείνη που έπεται ονομάζεται επομένη δραστηριότητα (βλ. Πίνακες 1 και 2).

Δραστηριότητα πριν	Περιορισμός	Ακολουθ. δραστηριότη.

Πίνακας 1: Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων.

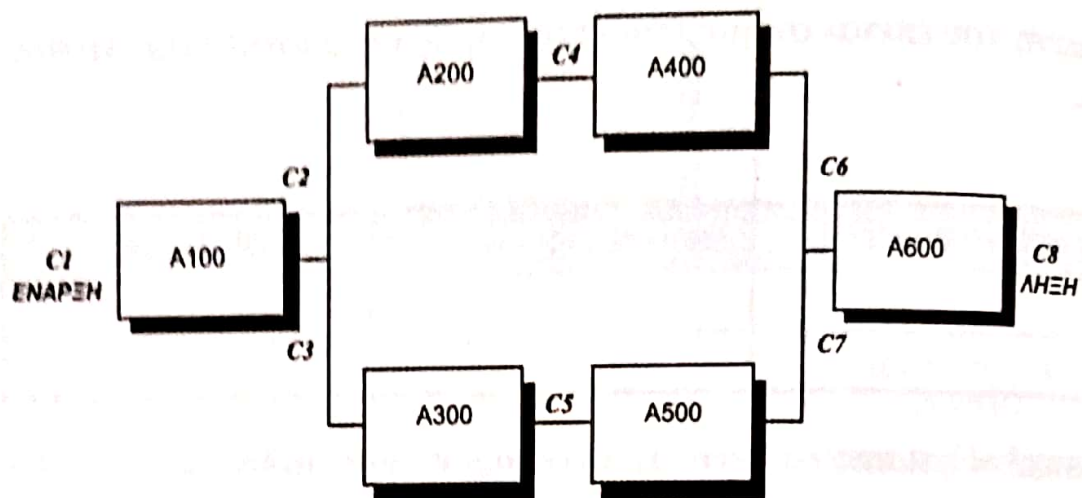
Προηγούμενη δραστηρ.	Περιορισμός	Επόμενη δραστηριότητα

Πίνακας 2: Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων.

Μπορείτε, για εξάσκηση, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που περιέχονται στον Πίνακα 3, να εξάγετε τις λογικές σχέσεις που συνδέουν τις διάφορες δραστηριότητες (η λύση δίνεται στο Σχήμα 4).

Προηγούμενη δραστηρ.	Περιορισμός	Επόμενη δραστηριότητα
Εναρξη	C1	A100
A100	C2	A200
A100	C3	A300
A200	C4	A400
A300	C5	A500
A400	C6	A600
A500	C7	A600
A600	C8	

Πίνακας 3: Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων (παράδειγμα).



Σχήμα 4: Διάγραμμα δικτύου (σχεδιάστηκε με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3).

Έστω και αν ο πίνακας των λογικών σχέσεων δεν συντάχθηκε από τον υπεύθυνο του προγράμματος εργασιών, το λογισμικό προγραμματισμού εργασιών θα συγκεντρώνει τα λογικά δεδομένα και θα τα παρουσιάζει σε αυτή τη μορφή. Επομένως, είναι χρήσιμο να εξοικιωθεί ο υπεύθυνος του προγράμματος εργασιών με αυτή τη μορφή παρουσίασης για να μπορεί να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα του λογισμικού πακέτου. Σύμφωνα με τη μορφή παρουσίασης που χρησιμοποιείται συχνότερα, τόσο για την εισαγωγή δεδομένων όσο και για την παρουσίασή τους, βλέπεις κάθε δραστηριότητα και πώς συνδέεται με την προηγούμενή της. Ανατρέξτε πάλι στο προηγούμενο παράδειγμα (Πίνακας 3 και Σχήμα 4), και προσπαθήστε να μεταφέρετε τη λογική των δραστηριοτήτων στον παρακάτω Πίνακα 4α (η λύση δίνεται στον Πίνακα 4β):

Δραστηριότητα	Προηγούμενη δραστηρ.	Διάρκεια
A100		2
A200		2
A300		1
A400		4
A500		2
A600		2

Κάποιοι υπεύθυνοι προγράμματος εργασιών προτιμούν να κατασκευάζουν ένα σκαρίφημα του διαγράμματος δικτύου χρησιμοποιώντας χαρτί, μολύβι και μεγάλη γόμα, προτού μεταφέρουν τα δεδομένα στον υπολογιστή. Ο σκοπός της άσκησης αυτής είναι να προβλέψουμε τι θα συμβεί σε επόμενες φάσεις του έργου. Ένα πρόβλημα που προσκύπτει πολύ συχνά όταν αναπτύσσουμε διαγράμματα δικτύου αφορά την εισαγωγή των δραστηριοτήτων με βάση το χρόνο και όχι με βάση τη λογική. Στο σημείο αυτό της διαδικασίας προγραμματισμού εργασιών, το μόνο που έχετε να σκεφτείτε είναι η διαδοχή των εργασιών – οι περιορισμοί που αναφέρονται στη διάρκεια των δραστηριοτήτων, στις προμήθειες, στους πόρους και το κόστος θα εισαχθούν αργότερα.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη δραστηρ.	Διάρκεια
A100	έναρξη	2
A200	A100	2
A300	A100	1
A400	A200	4
A500	A300	2
A600	A400, A500	2

Πίνακας 4β: Λύση του Πίνακα 4.

10.6 Χρονική διάρκεια δραστηριοτήτων (μέρος 1)

Μας λείπουν δύο ακόμα ομάδες πληροφοριών για να μπορέσουμε να ξεκινήσουμε τη χρονική ανάλυση που συνεπάγεται η CPM:

- Το πόσο διαρκεί η κάθε δραστηριότητα
- Το εργασιακό ημερολόγιο, δηλαδή οι βάρδιες και οι αργίες.

Ως χρονική μονάδα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ώρα, την ημέρα, την εβδομάδα, το μήνα, ή τη βάρδια. Η επιλογή μας θα εξαρτηθεί από το είδος των δραστηριοτήτων και το είδος του έργου. Για να κρατήσουμε τα παραδείγματα του βιβλίου όσο απλούστερα γίνεται, επιλέξαμε ως χρονι-

κή μονάδα την ημέρα (εκτός και αν ορίζεται διαφορετικά), και στο πρώτο μέρος του παρόντος κεφαλαίου υποθέτουμε ότι η εργασία είναι συνεχής (επτά μέρες την εβδομάδα). Ως διάρκεια δραστηριότητας (DUR, duration, διάρκεια) ορίζεται το χρονικό διάστημα από την έναρξη μέχρι τη λήξη της δραστηριότητας. Η διάρκεια των δραστηριοτήτων εξαρτάται από τους διαθέσιμους πόρους – αν αυξήσουμε τους πόρους είναι προφανές ότι θα μειωθεί η διάρκεια των δραστηριοτήτων. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να κάνουμε κάποιες παραδοχές τις οποίες θα βελτιώσουμε αργότερα.

10.7 Ημερολόγιο/βάρδιες και αργίες (μέρος 1)

Στον προγραμματισμό εργασιών χρησιμοποιούμε τους όρους **ημερολόγιο** ή **βάρδιες και αργίες** για να περιγράψουμε το εργασιακό προφίλ των δραστηριοτήτων, δηλαδή, για να προσδιορίσουμε ποιες συγκεκριμένες μέρες της εβδομάδας θα εκτελείται μία δραστηριότητα και θα απασχολούνται οι διατιθέμενοι πόροι. Ως πρώτο βήμα θα υποθέσουμε ότι εκτελούνται δραστηριότητες και τις 7 ημέρες της εβδομάδας, δηλαδή ότι η εργασία είναι **συνεχής**.

10.8 Βήματα της μεθόδου κρίσιμης διαδρομής (μέρος 1)

Είμαστε τώρα έτοιμοι να εφαρμόσουμε τη χρονική ανάλυση που συνεπάγεται η CPM για να προσδιορίσουμε τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης όλων των δραστηριοτήτων. Πριν από αυτό, όμως, ας ανακεφαλαιώσουμε τα βήματα στα οποία συνίσταται η CPM και τα οποία έχουμε ήδη καθορίσει:

- Κατασκευή του λογικού διαγράμματος δικτύου
- Προσδιορισμός της διάρκειας όλων των δραστηριοτήτων
- Προσδιορισμός του εργασιακού ημερολογίου.

Στον πίνακα λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων, εκτός από τα στοιχεία που αναφέραμε ήδη, θα πρέπει επίσης να συμπεριληφθούν και τα εξής πεδία (βλ. Πίνακα 5):

Αριθ. δραστηριότη.	Περιγραφή	Διάρκεια	Ημερολόγιο

Πίνακας 5: Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων (υπόδειγμα).

Ημερομηνία έναρξης: Πρέπει να ορίσουμε μία ημερομηνία έναρξης του έργου (ακόμη και αν αυτή αλλάξει αργότερα). Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τη CPM, είναι απαραίτητο να υπάρχει οπωσδήποτε μία ημερομηνία έναρξης με βάση την οποία θα προγραμματιστεί το έργο. Αν δεν ορίσετε την ημερομηνία έναρξης, το λογισμικό πακέτο προγραμματισμού εργασιών θα χρησιμοποιήσει ως ημερομηνία έναρξης του έργου την προ-επιλεγμένη (default) «σημερινή» ημερομηνία. Ορίζοντας μία ημερομηνία έναρξης και διατρέχοντας τη διαδοχή των εργασιών σε πρώτη προσέγγιση, ο υπεύθυνος προγράμματος εργασιών θα αποκτήσει μία αίσθηση για την ημερομηνία λήξης του έργου αν χρησιμοποιήσει τις δεδομένες λογικές σχέσεις δραστηριοτήτων, τις δεδομένες διάρκειές τους και το δεδομένο ημερολόγιο. Αν η ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου είναι ορισμένη, τότε θα ρυθμιστούν κατάλληλα οι πιο πάνω παράμετροι, δηλαδή οι λογικές σχέσεις, η διάρκεια των δραστηριοτήτων, το εργασιακό ημερολόγιο και η ημερομηνία έναρξης του έργου.

Νωρίτερη έναρξη (ES, Early Start): Η νωρίτερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ξεκινήσει η δραστηριότητα, με την προϋπόθεση ότι όλες οι προηγούμενες της δραστηριότητες έχουν ολοκληρωθεί κανονικά.

Νωρίτερη λήξη (EF, Early Finish): Η νωρίτερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα, με την προϋπόθεση ότι όλες οι προηγούμενες δραστηριότητες έχουν ολοκληρωθεί κανονικά.

Αργότερη έναρξη (LS, Late Start): Η αργότερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ξεκινήσει η δραστηριότητα, ώστε το έργο να μπορέσει να ολοκληρωθεί την προγραμματισμένη ημερομηνία.

Αργότερη λήξη (LF, Late Finish): Η αργότερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να λήξει η δραστηριότητα, ώστε το έργο να μπορέσει να ολοκληρωθεί την προγραμματισμένη ημερομηνία.

Στοχευόμενη έναρξη (Target Start) και Στοχευόμενη λήξη (Target Finish): Εκτός από τις ημερομηνίες που υπολογίζονται με βάση τη λογική των δραστηριοτήτων, με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως, υπάρ-

χουν και ορισμένες επιβαλλόμενες ημερομηνίες όπως, λ.χ., η παράδοση υλικών, η πρόσβαση σε υπεργολάβους, και άλλες ενδιάμεσες προθεσμίες.

Τετράγωνα δραστηριοτήτων: Στα τετράγωνα που αναπαριστούν τις δραστηριότητες, η κάθε πληροφορία έχει τη θέση της. Μία τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 5, και αυτή τη διάταξη θα χρησιμοποιήσουμε σε όλα τα παραδείγματα του βιβλίου. Βεβαίως, τα διάφορα λογισμικά πακέτα προγραμματισμού εργασιών μπορεί να χρησιμοποιούν κάποιες διαφορετικές διατάξεις.

ΝΩΡΙΤΕΡΗ ΕΝΑΡΞΗ		ΝΩΡΙΤΕΡΗ ΛΗΞΗ
ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΑΡΓΟΤΕΡΗ ΕΝΑΡΞΗ		ΑΡΓΟΤΕΡΗ ΛΗΞΗ

Σχήμα 5: Τετράγωνο δραστηριότητας (τυπική διάταξη).

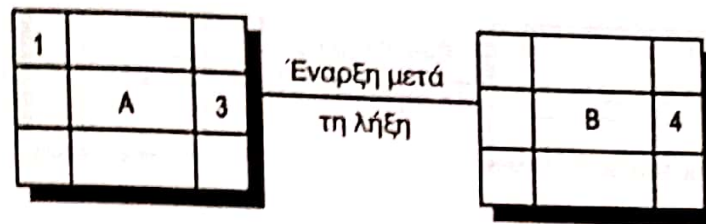
10.9 Επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας (μέρος 1)

Χρησιμοποιούμε τον όρο επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας (forward pass) για να προσδιορίσουμε τη διαδικασία υπολογισμού των ημερομηνιών νωρίτερης έναρξης (ES) και νωρίτερης λήξης (EF) για όλες τις δραστηριότητες. Για ευκολία θα υποθέτουμε ότι, σε όλα τα παραδείγματα, η ημερομηνία νωρίτερης έναρξης της πρώτης δραστηριότητας θα είναι είτε η ημέρα 1 είτε η πρώτη ημέρα του μήνα (λ.χ., 1η Μαΐου).

Ας πάρουμε, για παράδειγμα, ένα απλό έργο δύο δραστηριοτήτων Α και Β. Η λογική σχέση που συνδέει τα Α και Β είναι έναρξη μετά τη λήξη (finish-to-start), που σημαίνει ότι η δραστηριότητα Α πρέπει να έχει ολοκληρωθεί προτού ξεκινήσει η δραστηριότητα Β.

Αριθ. δραστηριότητας	Προηγούμενη δραστηρ.	Διάρκεια
A	-	3
B	A	4

Πίνακας 6: Πίνακας λογικών σχέσεων δραστηριοτήτων.



Σχήμα 6: Επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας.

Η ημερομηνία νωρίτερης λήξης (EF) κάθε δραστηριότητας υπολογίζεται αν προσθέσουμε τη διάρκεια της δραστηριότητας στην ημερομηνία νωρίτερης έναρξής (ES) της, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$EF = ES + \text{Διάρκεια} - 1$$

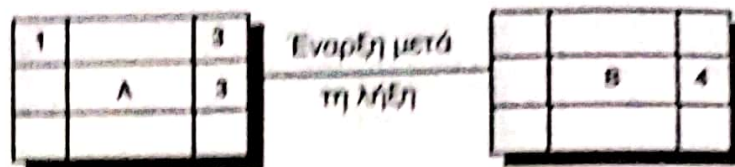
Η αφαίρεση της μονάδας στην παραπάνω εξίσωση είναι απαραίτητη προκειμένου να υπολογίσουμε σωστά τις ημερομηνίες. Το γραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 7 διευκρινίζει πώς συμβαίνει αυτό: με τη βοήθεια του γραμμικού διαγράμματος μπορούμε να δούμε ότι όταν μία δραστηριότητα, της οποίας η διάρκεια είναι 3 ημέρες, ξεκινήσει την ημέρα 1 θα αποπερατωθεί την ημέρα 3.

	1 Δε	2 Τρ	3 Τε	4 Πε	5 Πα	6 Σα	7 Κυ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ Α, ΔΙΑΡΚΕΙΑ 3 ΗΜΕΡΕΣ	ES		EF				
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ Β, ΔΙΑΡΚΕΙΑ 4 ΗΜΕΡΕΣ				ES			EF

Σχήμα 7: Γραμμικό διάγραμμα.

Αν χρησιμοποιήσουμε την παραπάνω εξίσωση για να υπολογίσουμε την ημερομηνία νωρίτερης λήξης (EF) της δραστηριότητας Α (βλ. Σχήμα 8), θα έχουμε

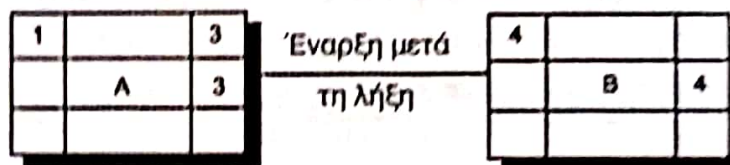
$$\begin{aligned}
 EF(A) &= ES(A) + \text{ΔΙΑΡΚΕΙΑ (A)} - 1 \\
 &= 1 + 3 - 1 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$



Σχήμα 8: Επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας.

Για τον υπολογισμό της ημερομηνίας νωρίτερης έναρξης (ES) της δραστηριότητας B χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο.

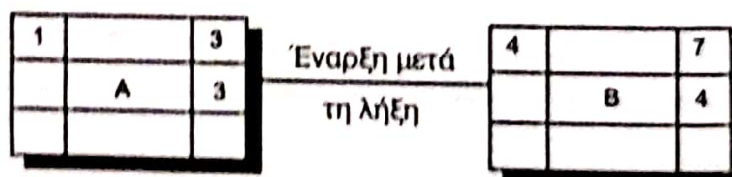
$$\begin{aligned}
 ES(B) &= EF(A) + 1 && \text{(Το νωρίτερο που μπορεί να αρχίσει η δραστηριότητα (B) είναι την επομένη της λήξης της δραστηριότητας (A))} \\
 &= 3 + 1 \\
 &= 4
 \end{aligned}$$



Σχήμα 9: Επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας.

Για να υπολογίσουμε την ημερομηνία νωρίτερης λήξης (EF) της δραστηριότητας B, χρησιμοποιούμε τον ίδιο τύπο που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως για τη δραστηριότητα A.

$$EF(B) = ES(B) + ΔΙΑΡΚΕΙΑ (B) - 1 = 4 + 4 - 1 = 7$$



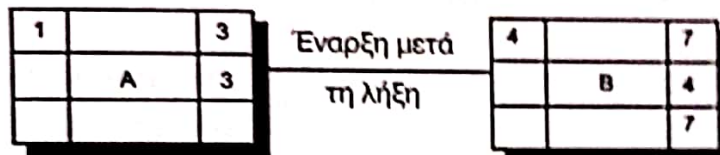
Σχήμα 10: Επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας.

Και για να ανακεφαλαιώσουμε, η ημερομηνία νωρίτερης έναρξης μιας δραστηριότητας είναι ένα μέτρο του χρόνου που χρειάζεται για να ολοκληρωθούν όλες οι προηγούμενες δραστηριότητες με τη λογική σειρά που καθορίζει το διάγραμμα δικτύου.

10.10 Επίλυση δικτύου από πέρας προς έναρξη (μέρος 1)

Μετά την ολοκλήρωση της επίλυσης του δικτύου από την έναρξη προς το πέρας, το επόμενο βήμα είναι να επιλύσουμε το δίκτυο από το πέρας προς την έναρξη, ώστε να υπολογίσουμε τις ημερομηνίες αργότερης έναρξης (LS, Late Start) και αργότερης λήξης (LF, Late Finish) όλων των δραστηριοτήτων. Η ημερομηνία αργότερης λήξης της τελευταίας δραστηριότητας μπορεί να είναι καθορισμένη – αν όχι, χρησιμοποιούμε την ημερομηνία νωρίτερης λήξης (βλ. Σχήμα 11).

$$LF(B) = EF(B) = 7$$



Σχήμα 11: Επίλυση δικτύου από πέρας προς έναρξη.

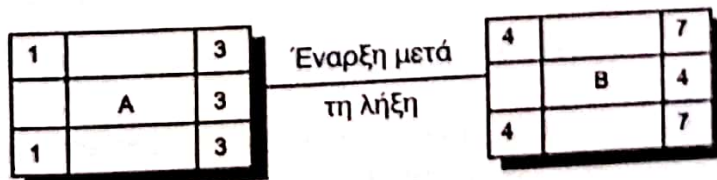
Για να υπολογίσουμε την ημερομηνία αργότερης έναρξης (LS) της δραστηριότητας B, χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο:

$$LS(B) = LF(B) - \text{ΔΙΑΡΚΕΙΑ}(B) + 1 = 7 - 4 + 1 = 4$$

Θυμάστε, βέβαια, ότι η χρήση του -1 έχει απλώς την έννοια να εναρμονίζει το μαθηματικό υπολογισμό με το ημερολόγιο.

$$LF(A) = LS(B) - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$LS(A) = LF(A) - \text{ΔΙΑΡΚΕΙΑ}(A) + 1 = 3 - 3 + 1 = 1$$



Σχήμα 12: Επίλυση δικτύου από πέρας προς έναρξη.

Και για να ανακεφαλαιώσουμε, η ημερομηνία αργότερης έναρξης κάθε δραστηριότητας δίνει το μέτρο του χρόνου που απαιτείται για να ολοκλη-

ροθούν όλες οι κατώτατες δραστηριότητες με τη λογική σειρά που γίνονται το διάγραμμα δικτύου.

Σημείωση: Σε μεγάλι δίκτυα, όπου, γιατί της επίλυση δικτύου από εύρεση προς πέρις, πολλές δραστηριότητες έχουν να γίνει δραστηριότητες, χρησιμοποιήστε τη μεθόδευση των υποστήριξης λήξης για να υποστηρίξετε την ημερομηνία νωρίτερης έναρξης της κατώτατης δραστηριότητας. Κατά την επίλυση δικτύου από πέρις προς έναρξη, είναι πολλές δραστηριότητες οδηγούν σε μία δραστηριότητα, χρησιμοποιήστε τη μεθόδευση των αργότερης έναρξης για να υποστηρίξετε την αργότερη λήξη της προηγούμενης δραστηριότητας.

10.11 Χρονικό περιθώριο (μέρος 1)

Το περιθώριο δραστηριότητας (activity float), το οποίο ονομάζεται επίσης και χρόνος καθυστέρησης (slack), αποτελεί μέτρο της ευελιξίας του έργου και υποδηλώνει το εργινές πλεόνασμα χρόνου που υπόκειται στην προγραμματισμό κάθε δραστηριότητας. Υποδηλώνει, δηλαδή, για πόσες εργάσιμες ημέρες μπορεί να καθυστερήσει η έναρξη ή να επεκταθεί η διάρκεια κάποιων δραστηριοτήτων χωρίς από να επηρεάσει την ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου ή οποιαδήποτε άλλη στοχευόμενη ημερομηνία ολοκλήρωσης κάποιου τμήματος (ενδιάμεση προθεσμία). Το περιθώριο (F, float) υπολογίζεται με δύο τρόπους:

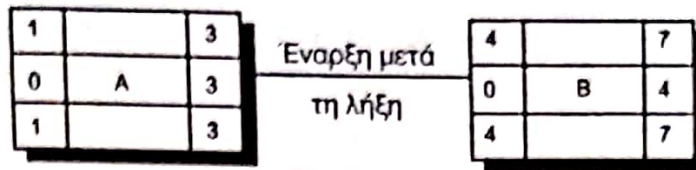
Χρονικό περιθώριο = Αργότερη έναρξη - Νωρίτερη έναρξη

Χρονικό περιθώριο = Αργότερη λήξη - Νωρίτερη λήξη

Από μαθηματικής άποψης, οι δύο τύποι είναι ισοδύναμοι, και επομένως μπορούμε, κάθε φορά, να επιλέγουμε την εξίσωση που μας βολεύει περισσότερο. Για το προηγούμενο παράδειγμα, λοιπόν, το χρονικό περιθώριο είναι:

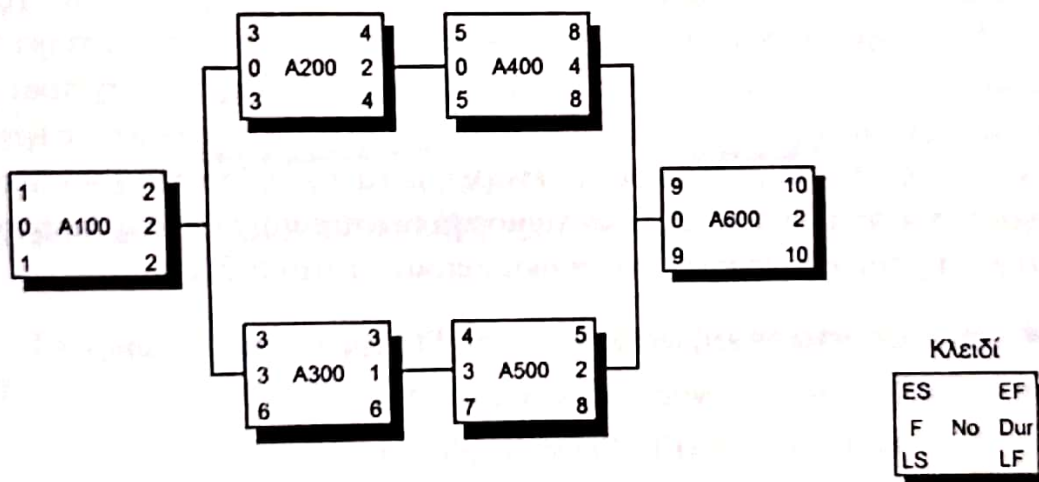
$$F(A) = LS(A) - ES(A) = 1 - 1 = 0$$

Το χρονικό περιθώριο για τη δραστηριότητα B είναι επίσης 0. Όταν μια δραστηριότητα έχει μηδενικό χρονικό περιθώριο, αυτό σημαίνει ότι βρίσκεται πάνω στην κρίσιμη διαδρομή.



Σχήμα 13: Διάγραμμα δικτύου στο οποίο συμπεριλαμβάνεται το χρονικό περιθώριο.

Και με αυτές τις παρατηρήσεις ολοκληρώσαμε τα σχετικά με την επίλυση δικτύου από πέρασ προς έναρξη και από έναρξη προς πέρασ. Τώρα, πλέον, μπορείτε να ολοκληρώσετε τη χρονική ανάλυση της CPM για τον Πίνακα 3 των λογικών σχέσεων των δραστηριοτήτων και το Σχήμα 4 του κεφαλαίου αυτού.



Σχήμα 14: Διάγραμμα δικτύου (βλ. Πίνακα 3 και Σχήμα 4).

Και με το παράδειγμα αυτό, ολοκληρώσαμε το πρώτο μέρος της ανάλυσης CPM. Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης θα δούμε την ίδια διαδικασία λεπτομερέστερα.

10.12 Διαγράμματα δικτύου (μέρος 2)

Για να αναπτύξει ο υπεύθυνος προγράμματος εργασιών το διάγραμμα δικτύου, συνιστάται να συζητήσει τη διαδοχή των εργασιών με τους διευθυντές, τους προϊσταμένους και τους εργαζομένους που πρόκειται να εκτελέσουν τις εργασίες, όχι μόνο για να διασφαλίσει ότι η μέθοδος υλο-

ποίησης είναι σωστή, αλλά κυρίως για να κερδίσει τη δέσμευσή τους (buy-in, προσεταιρισμός) και να εξασφαλίσει ότι το έργο θα επιτύχει τους στόχους του. Σημειώστε όλες τις παραδοχές που κάνατε για αυστηρή λογική, μη αυστηρή λογική, διάρκειες δραστηριοτήτων, εργάσιμες ημέρες, προμήθειες, πόρους και προϋπολογισμούς.

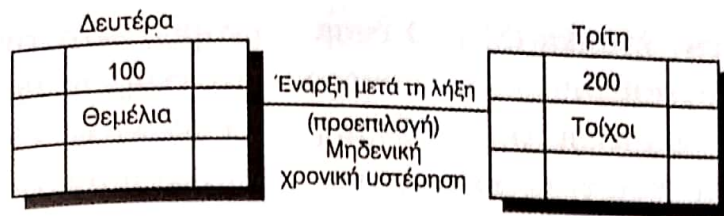
Η ανάπτυξη του διαγράμματος δικτύου δεν είναι εύκολη υπόθεση, ειδικά αν υπάρχουν πολλά πακέτα εργασιών. Ένας τρόπος είναι να ξεκινήσετε επιλέγοντας μία δραστηριότητα και αναπτύσσοντας:

- Ποια δραστηριότητα πρέπει να εκτελεστεί πριν από αυτή που επιλέξατε;
- Ποιες δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα;
- Ποιες δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν μετά;

Η εμπειρία από προηγούμενα έργα θα αποδειχθεί, στο σημείο αυτό, χρήσιμη, ιδιαιτέρως αν έχει ήδη δημιουργηθεί κάποιο πρότυπο που μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρο το έργο ή σε κάποιο μέρος του (βλ. τα σχετικά με την έκθεση ολοκλήρωσης στο κεφάλαιο *Διαχείριση του αντικειμένου εργασιών*). Εκτός από το βασικό δεσμό *έναρξη μετά τη λήξη* υπάρχουν τρεις ακόμη τύποι δεσμών μεταξύ δραστηριοτήτων (στις παρενθέσεις δίνονται οι αγγλικές συντομογραφίες που χρησιμοποιούμε στο βιβλίο):

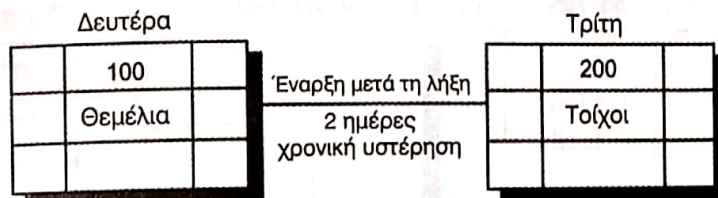
- Έναρξη μετά τη λήξη (FS, Finish-to-Start)
- Έναρξη μετά την έναρξη (SS, Start-to-Start)
- Λήξη μετά τη λήξη (FF, Finish-to-Finish)
- Λήξη μετά την έναρξη (SF, Start-to-Finish)

Έναρξη μετά τη λήξη (FS): Ο δεσμός *έναρξη μετά την λήξη* (FS) είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος λογικής σχέσης μεταξύ δραστηριοτήτων. Στο παρακάτω παράδειγμα, η δραστηριότητα 200 δεν μπορεί να αρχίσει προτού ολοκληρωθεί η δραστηριότητα 100. Αν η δραστηριότητα 100 ολοκληρωθεί τη Δευτέρα, τότε η δραστηριότητα 200 μπορεί να ξεκινήσει την Τρίτη (βλ. Σχήμα 15).



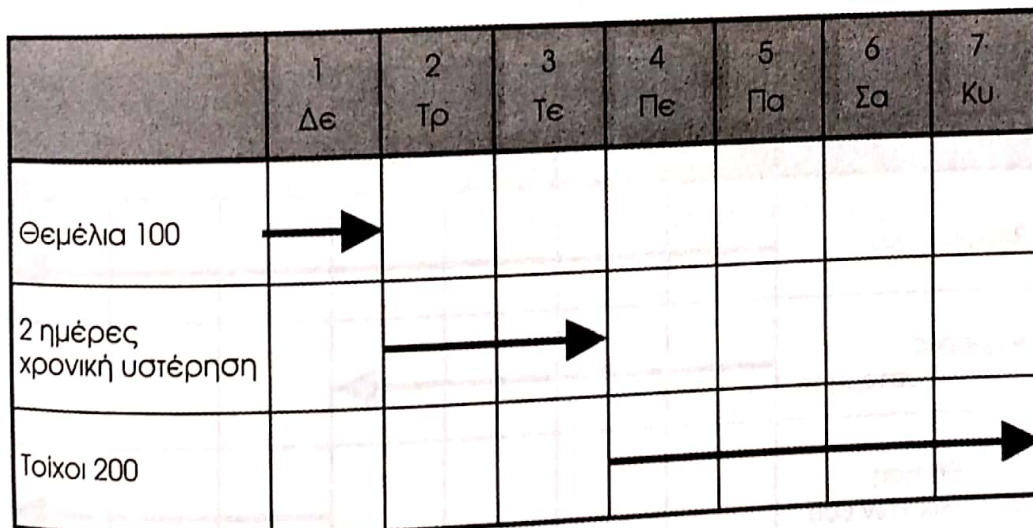
Σχήμα 15: Έναρξη μετά τη λήξη (FS).

Η σχέση αυτή μπορεί να γίνει πολυπλοκότερη αν επιβάλλεται καθυστέρηση ή χρονική υστέρηση μεταξύ των δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, αν το μπετόν χρειάζεται 2 μέρες για να στεγνώσει, και ρίξουμε τα θεμέλια (δραστηριότητα 100) τη Δευτέρα, δεν μπορούμε να ξεκινήσουμε την κατασκευή των τοίχων (δραστηριότητα 200) πριν από την Πέμπτη (βλ. Σχήμα 16).



Σχήμα 16: Έναρξη μετά τη λήξη (χρονική υστέρηση 2 ημερών).

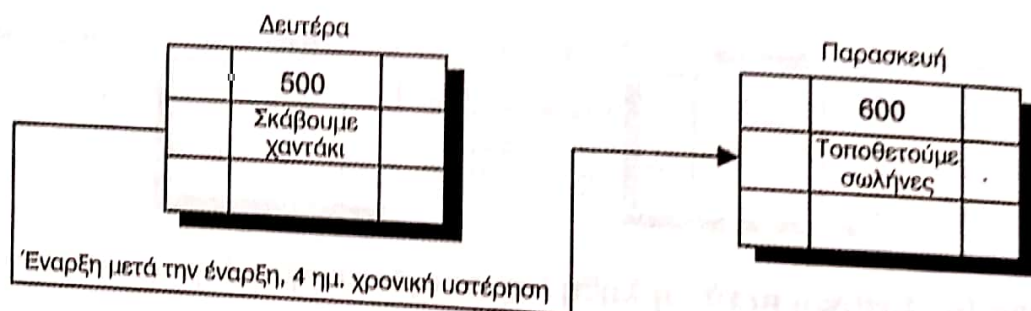
Το γραμμικό διάγραμμα του παραδείγματος αυτού δίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17: Γραμμικό διάγραμμα που αναπαριστά το λογικό δεσμό έναρξη μετά τη λήξη (χρονική υστέρηση 2 ημερών).

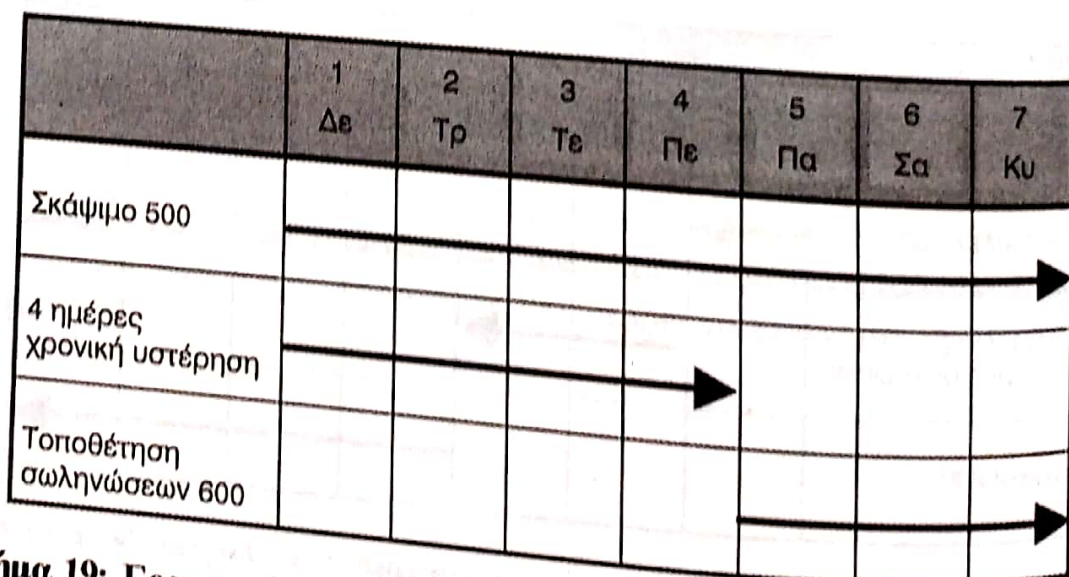
Έναρξη μετά την έναρξη (SS): Ο δεσμός *έναρξη μετά την έναρξη* (SS) επισημαίνει τη σχέση που έχουν οι ημερομηνίες *έναρξης* των δύο δραστηριοτήτων. Αν η δραστηριότητα 600 μπορεί να ξεκινήσει 4 ημέρες αργότερα ξεκινήσει η δραστηριότητα 500, αυτό επισημαίνει μία κατάσταση συντομευμένης διαδρομής, κατά την οποία συμπιέζεται η διάρκεια του έργου μέσω χρονικής επικάλυψης δραστηριοτήτων.

Ένα παράδειγμα λογικής σχέσης SS είναι η τοποθέτηση ενός αγωγού. Όταν σκάβουμε το πρώτο χιλιόμετρο του χαντακιού, μπορούμε να αρχίσουμε να τοποθετούμε σωλήνες. Αν η εκσκαφή αρχίσει τη Δευτέρα και χρειάζονται 4 ημέρες για να σκάψουμε το πρώτο χιλιόμετρο, τότε η τοποθέτηση του αγωγού μπορεί να αρχίσει την Παρασκευή, δηλαδή την 5η ημέρα (βλ. Σχήμα 18).



Σχήμα 18: Έναρξη μετά την έναρξη (SS).

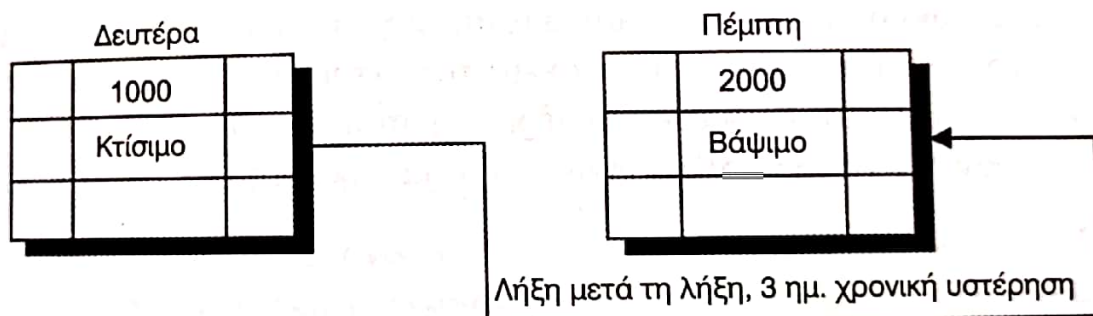
Η ίδια σχέση σε μορφή γραμμικού διαγράμματος δίνεται στο Σχήμα 19.



Σχήμα 19: Γραμμικό διάγραμμα που αναπαριστά το λογικό δεσμό SS.

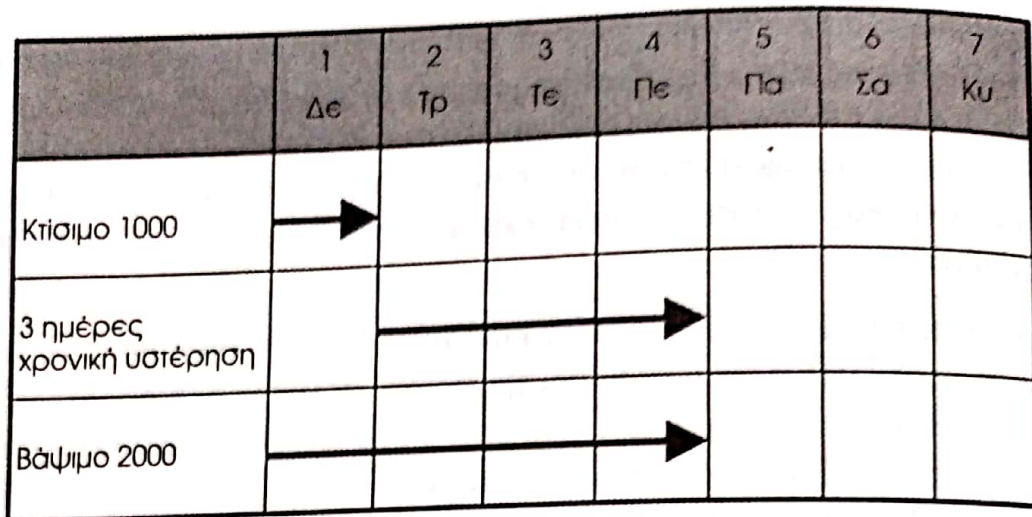
Υπάρχουν και άλλες δραστηριότητες που συνδέονται με λογικές σχέσεις SS στο ίδιο έργο, όπως, λ.χ., ο έλεγχος των σωληνώσεων και επανεπίχωση του αγωγού. Αν η έναρξη της δραστηριότητας 500 καθυστερήσει, τότε θα πρέπει να καθυστερήσει επίσης και η έναρξη της δραστηριότητας 600. Το αντίστροφο μπορεί επίσης να ισχύει αν υπάρχουν διαθέσιμοι οι απαιτούμενοι πόροι.

Λήξη μετά τη λήξη (FF, Finish-to-Finish): Ο δεσμός λήξη μετά τη λήξη επισημαίνει τη σχέση που έχουν οι ημερομηνίες λήξης δύο δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα 2.000 μπορεί να ολοκληρωθεί 3 μέρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας 1.000 (βλ. Σχήμα 20). Παράδειγμα τέτοιας λογικής σχέσης είναι η κατασκευή στο εργοστάσιο και το βάψιμο κάποιας κατασκευής. Παρότι μπορεί να μην υπάρχει περιορισμός σχετικά με την έναρξη του βαψίματος, οι βαφείς δεν μπορούν να αρχίσουν να βάφουν το τελευταίο τμήμα μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή της και μετά από αυτό θα τους πάρει άλλες 3 μέρες μέχρι να τελειώσουν το βάψιμο. Αν η εργοστασιακή κατασκευή ολοκληρωθεί τη Δευτέρα, τότε το βάψιμο δεν μπορεί να ολοκληρωθεί πριν από την Πέμπτη, το νωρίτερο.



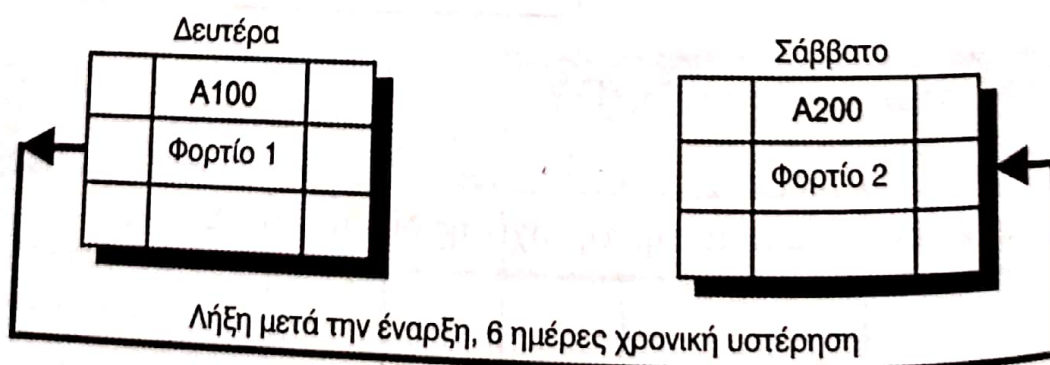
Σχήμα 20: Λήξη μετά τη λήξη (FF).

Το γραμμικό διάγραμμα αυτής της σχέσης δίνεται στο Σχήμα 21.



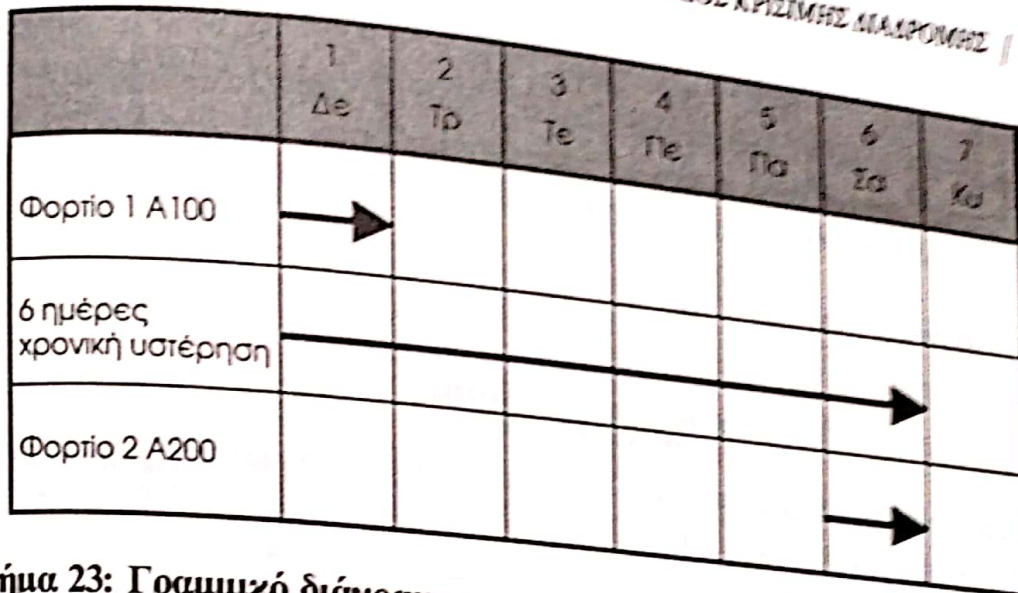
Σχήμα 21: Γραμμικό διάγραμμα που αναπαριστά το λογικό δεσμό FF.

Λήξη μετά την έναρξη (SF, Start-to-Finish): Ο δεσμός λήξη μετά την έναρξη σημαίνει ότι η ημερομηνία ολοκλήρωσης της μίας δραστηριότητας σχετίζεται με την ημερομηνία έναρξης της άλλης. Η σχέση αυτή πρέπει να αποφεύγεται όπως η πανούκλα! Είναι εύκολο να μπερδέψετε τη λήξη μετά την έναρξη με την έναρξη μετά τη λήξη. Και τότε είναι σχεδόν αδύνατο να τις ξεχωρίσετε. Παράδειγμα τέτοιας λογικής σχέσης είναι η ενοικίαση γερανού για 6 ημέρες, στη διάρκεια των οποίων ο γερανός πρέπει να σηκώσει δύο φορτία. Επομένως, 6 μέρες αφότου αρχίσει η δραστηριότητα A100 θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η δραστηριότητα A200 (βλ. Σχήμα 22).



Σχήμα 22: Λήξη μετά την έναρξη (SF).

Το γραμμικό διάγραμμα αυτής της λογικής σχέσης δίνεται στο Σχήμα 23.



Σχήμα 23: Γραμμικό διάγραμμα που αναπαριστά το λογικό δεσμό SF.

Σημείωση: Ορισμένα λογισμικά πακέτα δίνουν τη δυνατότητα ασυνέχειας στη διάρκεια των δραστηριοτήτων, που σημαίνει ότι κάποια δραστηριότητα μπορεί να συνδεθεί και με το δεσμό SS και με το δεσμό FF. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται ανάλυση διαθέσιμων πόρων σύμφωνα με την οποία οι δραστηριότητες προγραμματίζονται ασυνεχώς ώστε να ανταποκρίνονται στους διαθέσιμους πόρους.

Προπορείες και χρονικές υστερήσεις: Μπορούμε να καθυστερήσουμε την ημερομηνία έναρξης ή λήξης των δραστηριοτήτων αν ορίσουμε μία χρονική διάρκεια στο δεσμό. Αυτές οι καθυστερήσεις, όταν ο δεσμός προηγείται της δραστηριότητας, ονομάζεται **χρόνος προπορείας**, ενώ όταν έπεται, ονομάζεται **χρονική υστέρηση** (η προεπιλεγμένη τιμή είναι μηδέν). Παραδείγματος χάριν, τέτοιου τύπου δεσμός είναι «η αναμονή μέχρι να εγκριθεί το πρόγραμμα» ή «ο χρόνος που απαιτείται για να πήξει το μπετόν». Ο υπεύθυνος του προγράμματος εργασιών μπορεί να θέλει να διαχωρίσει αυτές τις νεκρές διάρκειες από τις πραγματικές διάρκειες των δραστηριοτήτων επειδή, αν αντιπροσωπεύουν σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους, μπορεί να στρεβλώσουν την κατάσταση χρηματικής ροής και το ιστόγραμμα πόρων.

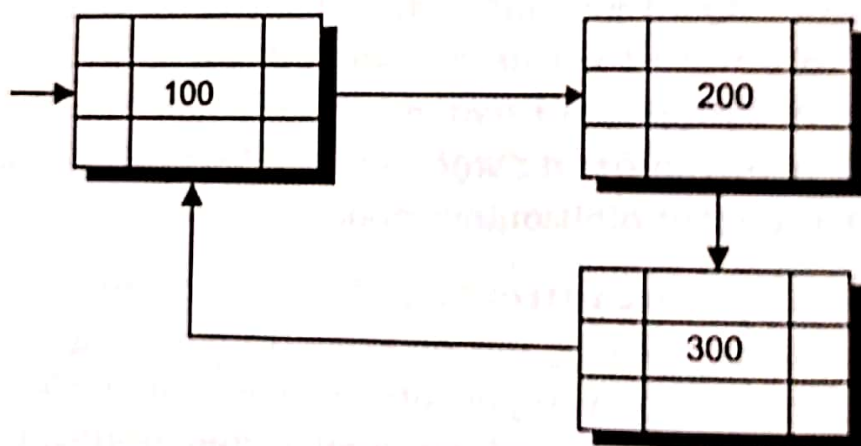
10.13 Λογικά λάθη

Προτού ξεκινήσετε τη χρονική ανάλυση, είναι σημαντικό να γίνει έλεγχος στη λογική του διαγράμματος δικτύου για να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν λογικά λάθη. Ορισμένα λογισμικά πακέτα εκτελούν μία λειτουργία

τοπολογικής ταξινόμησης, η οποία βάζει τις λογικές σχέσεις σε κατάλληλη σειρά ώστε να εξασφαλιστεί ότι καμία δραστηριότητα δεν θα υποστεί επεξεργασία πριν από όσες, λογικά, προηγούνται. Κάποια λογικά λάθη που γίνονται συχνά είναι τα εξής:

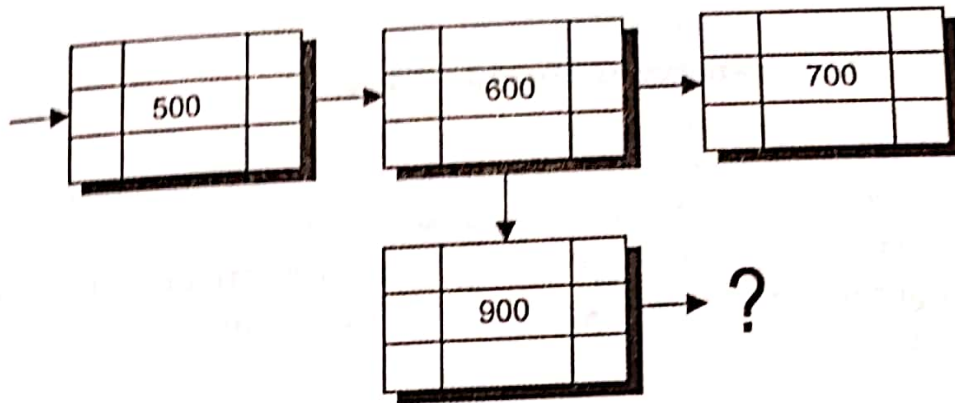
- Φαύλος κύκλος
- Μετέωρη λογική
- Πλεονασμός σχέσεων προτεραιότητας.

Φαύλος κύκλος: Εξετάστε τον ακόλουθο φαύλο κύκλο που αναπαριστά μία αδύνατη κατάσταση. Η δραστηριότητα 200 έπεται της 100, η 300 έπεται της 200, και η 100 έπεται της 300 (βλ. Σχήμα 24). Από το σχήμα φαίνεται καθαρά ότι δεν είναι δυνατόν να συνεχιστεί η διαδικασία αν δεν επανεξεταστεί μία τουλάχιστον σχέση.



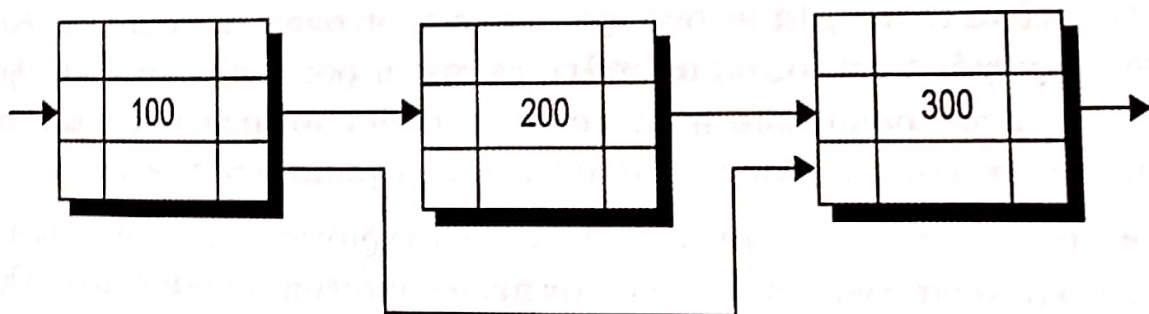
Σχήμα 24: Φαύλος κύκλος.

Μετέωρη λογική: Όπως υπονοείται και από την ονομασία της, η μετέωρη δραστηριότητα είναι μία δραστηριότητα που είτε έρχεται από το πουθενά είτε δεν οδηγεί πουθενά. Στο παράδειγμά μας (βλ. Σχήμα 25), η δραστηριότητα 600 έπεται της 500, όμως ποια δραστηριότητα ακολουθεί την 900; Ορισμένα λογισμικά πακέτα απαιτούν να ορίσει ο χρήστης ποια είναι η εναρκτήρια και ποια η καταληκτική δραστηριότητα, καθώς η εναρκτήρια δραστηριότητα δεν έχει προηγούμενη, ενώ η καταληκτική δραστηριότητα δεν έχει επόμενη.



Σχήμα 25: Μετέωρη λογική.

Πλεονασμός σχέσεων προτεραιότητας: Όταν δημιουργείται το διάγραμμα δικτύου, είναι απαραίτητο να καθορίζεται ποια είναι η αμέσως προηγούμενη της κάθε δραστηριότητας. Στο παράδειγμά μας (βλ. Σχήμα 26), η δραστηριότητα 200 προηγείται της 300, και η 100 προηγείται της 200. Κατά συνέπεια, η 100 προηγείται επίσης και της 300, και δεν είναι ανάγκη να καθοριστεί και η σχέση αυτή. Αν το κάνετε, αυτό θα είναι παράδειγμα πλεονάζουσας σχέσης προτεραιότητας.



Σχήμα 26: Πλεονασμός σχέσεων διαδοχής.

Για ορισμένα λογισμικά πακέτα προγραμματισμού εργασιών ο έλεγχος ύπαρξης φαύλων κύκλων, μετέωρης λογικής και πλεονασμού σχέσεων προτεραιότητας αποτελεί τμήμα της διαδικασίας αξιολόγησης της CPM. Αν ανιχνευθούν λογικά λάθη, δεν προχωρεί στις χρονικές αναλύσεις (την επίλυση δικτύου από έναρξη προς πέρας και από πέρας προς έναρξη), ενώ στην οθόνη εμφανίζεται διαγνωστικό μήνυμα. Τα μηνύματα αυτά είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθούν τον υπεύθυνο του προγράμματος εργασιών να εντοπίζει το λάθος γρήγορα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρειαστεί αρκετές φορές μέχρις ότου απαλειφθούν όλα τα λάθη.