Π Α Ν Ε Π Ι Σ Τ Η Μ Ι Ο   Κ Υ Π Ρ Ο Υ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Αναστασία Μιχαηλίδου Καμένου

Σε συμμόρφωση των απαιτήσεων για απόκτηση Διδακτορικού τίτλου

2011

Π Α Ν Ε Π Ι Σ Τ Η Μ Ι Ο   Κ Υ Π Ρ Ο Υ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Αναστασία Μιχαηλίδου Καμένου

Σε συμμόρφωση των απαιτήσεων για απόκτηση Διδακτορικού τίτλου

Ιανουάριος, 2011

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ

Υποψήφιος Διδάκτορας: Αναστασία Μιχαηλίδου Καμένου

Τίτλος Διατριβής: Καινοτόμες μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Πολιτικής Μηχανικής και Διοίκησης Έργων με βάση τη θεωρία της Εντροπίας.

«Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος και εγκρίθηκε στις …………………………….. από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Ερευνητικός/Ακαδημαϊκός Σύμβουλος:

………………………………………..

Δρ. Συμεών Χριστοδούλου,
Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Κύπρου

Μέλη:

…………………………………
Δρ. Ιωάννης Ιωάννου,
Επίκουρος Καθηγητής,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Κύπρου,
(Πρόεδρος Επιτροπής)

………………………………
Δρ. Πάνος Παπαναστασίου,
Καθηγητής,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Κύπρου

…………………………………
Δρ. Γεώργιος Έλληνας,
Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,
Πανεπιστήμιο Κύπρου

……………………………………
Dr. Ioannis Brilakis,
Assistant Professor,
Department of Civil and Environmental Engineering,
Georgia Tech, USA

Στον σύζυγο μου Αντρέα Καμένο, που μου συμπαραστάθηκε και με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια με υπομονή και ενθάρρυνση. Στα παιδιά μου Χαρά, Μαρία και Σάββα που πάντα αποτελούν για μένα το σημαντικότερο κίνητρο για κάθε προσπάθεια που κάνω. Στους γονείς μου και ιδιαίτερα στον πατέρα μου Φίλιππο Μιχαηλίδη που μου εμφύσησε τη δίψα για συνεχή μάθηση και αποτελεί για μένα μία μεγάλη σταθερά στη ζωή μου. Σας αγαπώ όλους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διατριβή αυτή αποσκοπεί στην μελέτη της χρήσης της Εντροπίας και στην ανάδειξη της ως μίας καινοτόμου μεθόδου επίλυσης προβλημάτων Πολιτικής Μηχανικής και Διοίκησης Έργων. Η Εντροπία αποτελεί τη μαθηματική ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας ή των δυνατοτήτων επιλογής ενός τυχαίου συστήματος. Το μέγεθος της Εντροπίας βασίζεται στον ορισμό που έδωσε ο Shannon (1948), και με βάση αυτό τον ορισμό αλλά και τη σχετική μαθηματική τεκμηρίωση «η Εντροπία ενός συστήματος παίρνει την μέγιστη τιμή της όταν η πιθανότητα να συμβεί οποιοδήποτε γεγονός είναι ίση, (ισοπίθανη εμφάνιση γεγονότων).

Ως η σημαντικότερη επιστημονική συνεισφορά της διατριβής αυτής θεωρείται η τεκμηρίωση της συσχέτισης της Εντροπίας με την ισοκατανομή (leveling). Η ισο-κατανομή αποτελεί την επιδίωξη πολλών πρακτικών προβλημάτων. Στη διατριβή αυτή επιτυγχάνεται η μεταφορά ενός μαθηματικού και απόλυτα αξιόπιστου μεγέθους και της βασικής του ιδιότητας (Εντροπία και μεγιστοποίηση της όταν οι πιθανότητες είναι ίσες) στο τομέα των εφαρμογών (Εντροπία και μεγιστοποίηση της όταν υπάρχει ισο-κατανομή). Επίσης, η διατριβή αυτή επιτυγχάνει να κατηγοριοποιήσει τα προβλήματα στα οποία μπορεί να έχει εφαρμογή η Εντροπία. Τέλος επιτυγχάνεται κωδικοποίηση της διαδικασίας και των αρχών επίλυσης τέτοιων προβλημάτων.

Για να γίνει δυνατή η τεκμηρίωση των συμπερασμάτων της διατριβής, έγιναν εφαρμογές και επιλύσεις σε πρακτικά προβλήματα του τομέα της Διοίκησης κατασκευαστικών έργων. Η επιλογή των έργων έγινε με κριτήρια τη σημασία τους για τον κλάδο της Πολιτικής Μηχανικής και τη δυνατότητα τους να προσομοιωθούν ως διαδικασίες τυχαίας κατανομής (ώστε να μπορεί να έχει εφαρμογή η Εντροπία κατά Shannon, 1948). Επίσης για κάποια από τα προβλήματα αυτά υπήρξε στο παρελθόν προσπάθεια επίλυσης με τη χρήση της Εντροπίας, αλλά δεν ακολουθήθηκαν οι αρχές κατά Shannon (1948). Στη διατριβή αυτή τα προβλήματα αυτά επαναδιατυπώνονται σύμφωνα με τις αρχές αυτές.

Η **μέθοδος της Ελάχιστης Ροπής** για ισο-κατανομή των πόρων σε ένα έργο

επαναδιατυπώνεται ως ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης της Εντροπίας. Η μέθοδος της ελάχιστης ροπής θεωρεί ότι η ροπή των ημερήσιων αναγκών σε πόρους γύρω από τον οριζόντιο άξονα του ιστογράμματος πόρων είναι ένα καλό μέτρο προσδιορισμού της χρήσης των πόρων και ότι η ελάχιστη ροπή εμφανίζεται όταν το ιστόγραμμα παίρνει ορθογώνιο σχήμα. Η προτεινόμενη μέθοδος της μεγιστοποίησης της Εντροπίας αντικαθιστά την προσέγγιση της ελάχιστης ροπής και επεκτείνεται επίσης για επίλυση προβλημάτων ισο-κατανομής των πόρων για ένα ή περισσότερους πόρους, όταν επιτρέπεται ή δεν επιτρέπεται η διαφοροποίηση στην αρχικά υπολογισθείσα διάρκεια των δραστηριοτήτων.

Η μη ισο-ζυγισμένη προσφοροδότηση (unbalanced bidding) περιγράφει την ενέργεια προσφοροδοτών για μη ισοζυγισμένη κατανομή του διαχειριστικού κόστους και του κέρδους (overheads and profit, O&P) πάνω στο κόστος των επιμέρους εργασιών ενός έργου. Η ενέργεια αυτή που αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της τρέχουσας αξίας του ποσού της προσφοράς, εμπεριέχει κινδύνους για τον προσφοροδότη που προέρχονται κυρίως από το γεγονός ότι κατά την εκτέλεση του έργου, οι ποσότητες επί μέρους εργασιών άνισα φορτωμένες με διαχειριστικό κόστος και κέρδος, πιθανώς να διαφοροποιηθούν εις βάρος του προσφοροδότη. Η προτεινόμενη προσέγγιση με βάση την Εντροπία κατά Shannon χρησιμοποιείται ως το μέτρο υπολογισμού του κινδύνου αυτού.

Για τα δύο πιο πάνω προβλήματα επιτυγχάνεται πλήρης κωδικοποίηση της διαδικασίας και προτείνεται λογικό διάγραμμα που μπορεί να μηχανογραφηθεί και να αποτελέσει τη βάση λογισμικών εφαρμογών.

Τέλος η διατριβή επεκτείνει την εφαρμογή της Εντροπίας από τη διαχείριση του μεμονωμένου έργου στη διαχείριση χαρτοφυλακίου έργων.

Ως κατακλείδα, παρουσιάζονται εισηγήσεις για περαιτέρω εφαρμογές και επεκτάσεις της μεθόδου της Εντροπίας.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the study of the use of entropy as an innovative method for solving Civil Engineering and Project Management problems. Entropy is mathematically defined as the quantity of the uncertainty or the choice of selection in a random system. The amount of entropy is based on Shannon's definition, according to which, entropy is the product of probability of an even times the natural logarithm of the inverse of the probability, and it is maximized if the probability of any event occurring is fixed and equal to 1/n, where n the number of events.

The major scientific contribution of this thesis is to prove the correlation of Entropy and leveling. Leveling is pursued in many practical problems. This thesis is achieving the transfer of a mathematically and totally reliable size and basic properties (entropy and maximization of it when the probabilities are equal) in the area of applications (entropy and maximization of entropy when leveling is achieved). Also, this thesis achieves to classify the problems that the entropy method can be applied. Finally a codification of the principles and procedures to solve such problems is proposed.

To facilitate the documentation of the conclusions of the thesis, Civil Engineering and Project Management problems are solved. The criteria used in selecting such problems are the importance of these typical problems to the sector of Civil Engineering, and their ability to be simulated as random allocation procedures (prerequisite for the application of Shannon's Entropy) For some of these problems attempts were made in the past for resolution by use of Entropy. In this thesis these issues are revisited in compliance with Shannon (1948) principles.

The **Minimum Moment method** for resource leveling on a project is restated as an entropy maximization problem. The minimum moment method assumes that the moment of daily resource demands about the horizontal axis of the resource histogram is a good measure of resource utilization and that the minimum moment occurs when the histogram takes on a rectangular shape. The proposed entropy maximization method replaces the minimum moment approach and is extended to

resolve levelling problems for one or more resources, irrespective of whether differentiation is permitted to the initial calculations of the process duration.

Unbalanced bidding describes the activity by which tenderers allocate overheads and profit (O&P) to the cost of the individual tasks of a project in an unbalanced manner. This activity, which aims at maximizing the current value of the amount of the tender, poses risks arising mainly from the fact that during the execution of the project, the quantities loaded with O&P onto individual tasks in an unbalanced manner are likely to change to the detriment of the tenderer. The proposed approach, based on Shannon's entropy, is used as the measure for calculating this risk.

For the above two problems a codification of the resolution process is proposed that can help the development of software-based applications.

Finally, the thesis extends the use of Entropy from the management of one project to the management of a portfolio of projects.

In conclusion, suggestions for further applications and extensions of the method of Entropy are proposed.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση αυτής της διδακτορικής διατριβής ξεκίνησε το 2006 και ουσιαστικά ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2010. Το όνειρο για να αποκτήσω διδακτορικό τίτλο ξεκίνησε όμως πολύ πιο πριν, σχεδόν αμέσως μετά που ολοκλήρωσα τις σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το 1989. Η πραγματοποίηση του έγινε κατορθωτή όταν το Πανεπιστήμιο του τόπου μου άνοιξε τις πύλες του σε μεταπτυχιακούς φοιτητές, προσφέροντας μάλιστα τη δυνατότητα μερικής φοίτησης σε άτομα που ήδη βρίσκονται στην παραγωγή. Με την ευκαιρία λοιπόν εύχομαι το Πανεπιστήμιο Κύπρου να συνεχίσει με μεγαλύτερη ένταση και επιτυχία να αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της καλλιέργειας της πνευματικότητας και της εξειδίκευσης στη μικρή μας Κύπρο.

Είχα τη σπάνια τύχη να έχω επιβλέποντα της διατριβής μου τον Αναπληρωτή Καθηγητή **Δρ. Συμεών Χριστοδούλου**, έναν καταξιωμένο μηχανικό και ένα χαρισματικό δάσκαλο. Δεν θα ήταν καθόλου υπερβολή να έλεγα ότι έχει την σπάνια ικανότητα να βρίσκει συνεχώς καινούργιους, καινοτόμους τρόπους για να λύνει ακόμα και τα πιο δύσκολα προβλήματα που απασχολούν σήμερα το σύγχρονο Μηχανικό. Κοντά του έμαθα πολλά και για αυτά αλλά κυρίως για την ανιδιοτελή και ειλικρινή προσέγγισή του προς εμένα αλλά και όλους τους φοιτητές του, τον ευχαριστώ θερμά. Είμαι σίγουρη ότι τον περιμένει ακόμα λαμπρότερη καριέρα, γιατί το αξίζει. Ευχαριστώ επίσης θερμά, τα άλλα τέσσερα άλλα μέλη της πενταμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον **Δρ. Ιωάννη Ιωάννου, τον Δρ. Γεώργιο Έλληνα, τον Δρ. Ιωάννη Μπριλάκη** και τον **Δρ. Πάνο Παπαναστασίου.**

Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου **Φίλιππο** και **Μαρία Μιχαηλίδη**, η αγάπη των οποίων ήτανε πάντοτε για μένα πηγή δύναμης και αντοχής. Ο αδελφός μου **Δρ. Οδυσσέας Μιχαηλίδης**, με βοήθησε πολύ με τις εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές του. ΄Αφησα στο τέλος την οικογένεια μου. Τον σύζυγο μου **Αντρέα**, που είναι πάντα δίπλα μου, που με αγαπά και με φροντίζει, κυρίως όμως με στηρίζει και δείχνει υπομονή και κατανόηση. Τα παιδιά μου, τη **Χαρά** μου, τη **Μαρία** μου και το **Σάββα** μου, που με αγαπούν και με στηρίζουν σε ό,τι κάνω. Τους αγαπώ πάρα πολύ και τους ευχαριστώ.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η Αναστασία Μιχαηλίδου Καμένου γεννήθηκε στις 25 Μαΐου 1966 στη Λευκωσία. Είναι παντρεμένη και έχει τρία παιδιά.

Αποφοίτησε από το Λύκειο Ακροπόλεως το 1984 με βαθμό 20/20. Φοίτησε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, από το 1984 έως το 1989, οπόταν και αποφοίτησε με βαθμό 8.62/10. Το 2004 πήρε τον τίτλο Master in Business Administration από το Cyprus International Institute of Management με βαθμό Α. Το 2006 εγγράφηκε στο Πανεπιστήμιο Κύπρου για απόκτηση Διδακτορικού τίτλου.

Από το 1989 έως το 1992 εργάστηκε στον ιδιωτικό τομέα κυρίως ως επιβλέποντας Μηχανικός. Σημαντικότερο έργο στο οποίο εργοδοτήθηκε, ήταν η ανέγερση του κτιρίου της Αρχής Βιομηχανικής Κατάρτισης, παρά την είσοδο στη Λευκωσία από τον αυτοκινητόδρομο Λευκωσίας – Λεμεσού. Από το 1992 έως το 1997 εργάστηκε αρχικά στην Πολεοδομία και στη συνέχεια στο Τμήμα Δημοσίων Έργων ως τεχνικός. Το 1995 πήρε επίσημη απόσπαση από την Επιτροπή Δημοσίας Υπηρεσίας για εκτέλεση καθηκόντων μηχανικού. Εκπόνησε αριθμών μελετών οδοποιίας και γεφυροποιίας στο τμήμα μελετών του τμήματος Δημοσίων Έργων.

Το 1997 διορίστηκε ως Μηχανικός στην Αρχή Τηλεπικοινωνιών Κύπρου. Αρχικά τοποθετήθηκε στο Δίκτυο Πρόσβασης και από το 2002 έως και σήμερα βρίσκεται στη μονάδα "Υποστήριξη Επιχειρησιακής Διεύθυνσης". Είναι προϊστάμενη της ομάδας "Επιχειρησιακού Σχεδιασμού". Η ομάδα αυτή είναι επιτελική ομάδα και υποστηρίζει τη Γενική Διεύθυνση σε θέματα στρατηγικής, διαχείρισης έργων, αριστείας (EFQM) και δραστηριοτήτων.

Η παρούσα διατριβή εμπίπτει σε αμφότερους τους τομείς ενδιαφέροντος της, δηλαδή την Πολιτική Μηχανική και τη Διεύθυνση/Διοίκηση. Σίγουρα ο εμβολιασμός του τρόπου διεύθυνσης έργων Πολιτικής Μηχανικής με σύγχρονες μεθόδους Διεύθυνσης εταιρειών και αντιστρόφως είναι ένα πεδίο που είναι ενδιαφέρον και αξίζει συνεχούς εμβάθυνσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισαγωγή

Η Εντροπία, ως έννοια και ως μέγεθος έχει τύχει ευρείας χρήσης στις φυσικές επιστήμες (Θερμοδυναμική, Μαθηματικά). Εν τούτοις δεν έχει τύχει της ίδιας χρήσης στις εφαρμοσμένες επιστήμες. Το κίνητρο για χρησιμοποίηση της Εντροπίας κατά Shannon (1948) σε προβλήματα Πολιτικής Μηχανικής στηρίζεται στο γεγονός ότι πολλά προβλήματα μπορούν να θεωρηθούν ή να προσομοιωθούν ως διαδικασίες τυχαίας κατανομής ή ως ένα σύστημα τυχαίων γεγονότων, όπου η Εντροπία, η οποία αποτελεί την μαθηματική ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας ή των δυνατοτήτων επιλογής ενός τυχαίου συστήματος μπορεί να δώσει αξιόπιστες λύσεις.

1.1 Επιστημονικά κίνητρα διατριβής

Το κίνητρο για χρησιμοποίηση της Εντροπίας κατά Shannon (1948) σε προβλήματα Πολιτικής Μηχανικής έλκεται από τρεις ουσιαστικούς παράγοντες:

α) Η Εντροπία ως μέγεθος είναι ένα αξιόπιστο μέγεθος. Όπως αναφέρεται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 2, η πιο σημαντική απόδειξη της αξιοπιστίας της θεωρίας του Shannon (1948) για την Εντροπία, την εξίσωση και τις ιδιότητές της, προέρχεται από την επίσημη μαθηματική ανάλυση της. Επομένως η πρόκληση που υπάρχει στη χρήση της Εντροπίας είναι να επιτευχθεί η προσομοίωση του προβλήματος επί των μαθηματικών αρχών που συνοδεύουν την Εντροπία. Όταν αυτό επιτυγχάνεται, τότε λόγω της μαθηματικής τεκμηρίωσης των ιδιοτήτων της Εντροπίας, υπάρχει συνεπακόλουθα απόλυτη τεκμηρίωση της αξιοπιστίας του αποτελέσματος.

β) Οι μαθηματικές αρχές που συνοδεύουν το μέγεθος της Εντροπίας απαιτούν την

ύπαρξη «τυχαίων διαδικασιών κατανομής» και υπολογισμό των αντίστοιχων πιθανοτήτων. Ουσιαστικά η Εντροπία αποτελεί την μαθηματική ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας ή των δυνατοτήτων επιλογής ενός τυχαίου συστήματος. Πολλά προβλήματα Πολιτικής Μηχανικής μπορούν να θεωρηθούν ως τέτοιες διαδικασίες τυχαίας κατανομής ή ως ένα σύστημα τυχαίων γεγονότων, όπου δηλαδή η έννοια της πιθανότητας ή της αβεβαιότητας υπάρχει στη βάση δημιουργίας του προβλήματος.
γ) Πέραν των πιο πάνω, έχουν γίνει στο πρόσφατο παρελθόν μερικές προσπάθειες χρήσης της Εντροπίας για επίλυση προβλημάτων που απασχολούν τον σύγχρονο Μηχανικό, για κάποιες από τις οποίες γίνεται αναφορά ή και προσπάθεια βελτίωσης στην διατριβή αυτή.

Επομένως, η χρήση της Εντροπίας, (η οποία ως μαθηματική έννοια συνδέεται με τις πιθανότητες) στην επίλυση προβλημάτων που στην ουσία τους εμπεριέχουν την έννοια της πιθανότητας, αποτελεί το ουσιαστικό κίνητρο ανάπτυξης της διατριβής αυτής.

1.2 Στόχοι της διατριβής

Λόγω της περιορισμένης χρήσης της Εντροπίας σε τομείς εφαρμοσμένων επιστημών συμπεριλαμβανομένων και αυτών της Πολιτικής Μηχανικής, ο πρώτος στόχος της διατριβής αυτής είναι να δοθεί μία ταυτότητα στην Εντροπία ως προς το είδος των προβλημάτων τα οποία μπορούν να προσεγγιστούν αποτελεσματικά με τη χρήση της. Έτσι μεγάλο μέρος της όλης προσπάθειας αναλώθηκε στο να εξετάζονται διαφορετικής φύσης προβλήματα και να ελέγχεται κατά πόσον η Εντροπία δίνει μονοσήμαντες απαντήσεις. Στο κείμενο της διατριβής παρουσιάζεται ένα τέτοιο πρόβλημα στο οποίο η απάντηση είναι αρνητική, στο ερώτημα δηλαδή αν η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η σημασία της επιδίωξης αυτής είναι μεγάλη, αν ληφθεί μάλιστα υπόψη ότι προγενέστερες προσπάθειες ή προσεγγίσεις για χρήση της Εντροπίας έγιναν χωρίς να ελέγχεται προηγουμένως αν το πρόβλημα εμπίπτει στη κατηγορία των προβλημάτων που η Εντροπία μπορεί να δώσει την καλύτερη δυνατή λύση.

Δεύτερος στόχος είναι η ανάπτυξη μίας προσέγγισης εν είδη συγκεκριμένων βημάτων που τελικά οδηγούν σε κωδικοποίηση των λύσεων για τα προβλήματα Εντροπίας. Αυτό αναπτύσσει μία λογική επίλυσης που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία από ένα Μηχανικό. Καταβλήθηκε προσπάθεια, σε όλα τα προβλήματα που παρουσιάζονται να ακολουθηθεί σχεδόν πανομοιότυπη προσέγγιση, ώστε στο τέλος να μπορεί να επιτευχθεί κωδικοποίηση.

Μέσα στα πλαίσια του δεύτερου αυτού στόχου κινήθηκε και η προσπάθεια βελτίωσης προγενέστερων μελετών που χρησιμοποίησαν την Εντροπία. Οι βελτιώσεις δεν αφορούν μόνο στα αποτελέσματα. Αφορούν κυρίως στην απόδειξη ότι ο μελετητής μπορεί να τεκμηριώσει αξιοπιστία στα αποτελέσματα του αν χρησιμοποιήσει την Εντροπία, τις ιδιότητες και τις αρχές κατά Shannon (1948), αφού αυτά συνοδεύονται από την απαραίτητη μαθηματική τεκμηρίωση. Αντίθετα δεν μπορεί να διατυπωθεί ο ίδιος ισχυρισμός αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, αν χρησιμοποιηθεί άλλο μέγεθος, «τύπου» Εντροπίας.

1.3 Προβλήματα που πραγματεύεται η διατριβή

Τα προβλήματα που επιλέγηκαν είχαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α) Σημαντικά προβλήματα για τον Πολιτικό Μηχανικό, κυρίως στον τομέα Διοίκησης Έργων που εμπίπτει στο πεδίο ενδιαφέροντος της υποψηφίου.

- Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού έργων με περιορισμένους πόρους (RCSP) είναι προβλήματα επί των οποίων καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες επίλυσης τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Επί του θέματος έχουν αναπτυχθεί λογισμικές εφαρμογές και υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία.
- Τα προβλήματα προσφοροδότησης προσελκύουν τεράστιο ενδιαφέρον τόσο από την πλευρά του ίδιου του προσφοροδότη, όσο και από την πλευρά του ιδιοκτήτη, των δημοσίων υπηρεσιών (για δημόσια έργα) αλλά και της κοινωνίας. Στην Κύπρο θέματα προσφορών παρουσιάζονται πολύ συχνά στα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης.

Αξίζει για σκοπούς ποσοτικοποίησης της αξίας επίλυσης των δύο αυτών κατηγοριών προβλημάτων να αναφερθεί ότι το ποσοστό των δαπανών σε αναπτυξιακά, οικοδομικά και τεχνικά έργα του Δημοσίου επί του ετήσιου κρατικού Προϋπολογισμού της Κυπριακής Δημοκρατίας ανέρχεται σε 14 % περίπου (για το 2010) και είναι της τάξης του €1.2δις.

- Έργα μεταφοράς και απόθεσης. Τα έργα αυτά αποτελούν μέρος κυρίως των τεχνικών έργων (όπως π.χ. μεταφορά υλικών από τους χώρους δανεισμού στο έργο ή μεταφοράς κατάλληλων υλικών από τους χώρους εκσκαφών στους χώρους επιχωματώσεων – οδοποιία). Απασχολούν τους κατασκευαστές αλλά και τους επιβλέποντες τεχνικών έργων.

β) Προβλήματα τα οποία μπορεί να προσομοιωθούν ως διαδικασίες τυχαίας κατανομής. Και οι τρεις αναφερόμενες πιο πάνω κατηγορίες προβλημάτων ικανοποιούν αυτή την παραδοχή, περί διαδικασιών τυχαίας κατανομής.

Το πρόβλημα της ισοκατανομής των πόρων (resource leveling) που εμπίπτει στα προβλήματα RCSP ικανοποιεί την πιο πάνω παραδοχή. Η κατανομή των ανθρωπίνων πόρων σε κάθε μέρα εκτέλεσης του έργου διέπεται από την λογική της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων. Πέραν όμως αυτού διέπεται επίσης από την επιλεγμένη έναρξη δραστηριοτήτων που δεν ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή. Το τελευταίο, δηλαδή η έναρξη των εργασιών αυτών, μπορεί να θεωρηθεί ως τυχαίο συμβάν και επομένως, όπως επεξηγείται στο Κεφάλαιο 3 μπορεί να προσομοιωθεί μέσω μίας τυχαίας διαδικασίας.

Το πρόβλημα της προσφοροδότησης ικανοποιεί επίσης την πιο πάνω παραδοχή. Η τιμή προσφοροδότησης των εργασιών σε μία προσφορά αθροίζεται από το πραγματικό κόστος και τα έξοδα διαχείρισης και κέρδους (Overhead and Profit - O&P). Ο τρόπος κατανομής του κόστους, και πρωτίστως του O&P πάνω σε κάθε εργασία μπορεί να προσομοιωθεί ως τυχαία διαδικασία, που μάλιστα μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθεί τις αρχές της «Σύγχρονης Θεωρίας του Χαρτοφυλακίου των Μετοχών», (Modern Portfolio Theory - Markowitz, 1959) που είναι πιθανολογική προσέγγιση που χρησιμοποιείται ευρέως για τη διαχείριση χαρτοφυλακίου μετοχών.

Τέλος το πρόβλημα της μεταφοράς είναι πιθανολογικό, αφού η επιλογή του δανειοθαλάμου και του χώρου απόθεσης μπορεί εύκολα να προσομοιωθεί σε μία τυχαία διαδικασία.

γ) Προβλήματα στα οποία υπήρξε στο παρελθόν προσπάθεια επίλυσης με τη χρήση της Εντροπίας. Αυτή η παράμετρος εξυπηρετεί στο στόχο της κωδικοποίησης της μεθόδου χρήσης της Εντροπίας. Υπήρξαν προηγούμενες προσεγγίσεις (π.χ. για το θέμα της προφοροδότησης - Χριστοδούλου, 2009) οι οποίες μελετήθηκαν ώστε να βελτιωθούν και κυρίως να προσαρμοστούν στις αρχές του Shannon (1948). Αυτό επιτρέπει στη μέθοδο της Εντροπίας που προτείνεται σε αυτή τη διατριβή να πάρει μια πιο γενικευμένη μορφή.

1.4 Επιστημονική συνεισφορά της διατριβής

Η επιστημονική συνεισφορά της διατριβής συνοψίζεται ως ακολούθως:

α) Κατηγοριοποίηση των προβλημάτων που επιλύονται ως προβλήματα Εντροπίας. Η Εντροπία μπορεί να δώσει μονοσήμαντες και αξιόπιστες λύσεις σε προβλήματα στα οποία επιδιώκεται η ισο-κατανομή και τα οποία μπορούν να προσομοιωθούν ως τυχαίες διαδικασίες. Στην διατριβή γίνεται επίλυση με διάφορες παραλλαγές του προβλήματος της ισο-κατανομής των πόρων (ανθρώπινων πόρων), ή (ισο-κατανομής) του κινδύνου (προβλήματα προσφοροδότησης) Επίσης, στη διατριβή αυτή αποδεικνύεται ότι η Εντροπία δεν μπορεί να απαντήσει σε προβλήματα όπου επιδίωξη είναι η ανισο-κατανομή (π.χ. προβλήματα ελαχιστοποίησης κόστους, όπου η βέλτιστη λύση εντοπίζεται όταν επιτευχθεί επιλεγμένη - άνιση επομένως -κατανομή της δαπανηρής παραμέτρου (π.χ. επιλεγμένη επιλογή διαδρομών φτηνού κόστους).

Η διαπίστωση αυτή, ότι δηλαδή η Εντροπία προσφέρεται σε προβλήματα ισο-κατανομής, δημιουργεί τη βάση για επίλυση πολλών άλλων προβλημάτων τα οποία συγκεντρώνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Επιδίωξη η ισο-κατανομή (leveling)
- Η διαδικασία της κατανομής να μπορεί να θεωρηθεί τυχαία.

Στο τελευταίο Κεφάλαιο της διατριβής αυτής παρουσιάζεται ένας κατάλογος προβλημάτων που ικανοποιούν τα πιο πάνω κριτήρια και που θα μπορούσαν να επιλυθούν με την Εντροπία.

β) Συσχέτιση της Εντροπίας με την ισοκατανομή και απόδειξη της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων για την επίλυση προβλημάτων ισο-κατανομής με τη μέθοδο της Εντροπίας.

Ως η σημαντικότερη συνεισφορά της διατριβής αυτής (που αποτελεί την επέκταση του σημείου (α) πιο πάνω) θεωρείται η τεκμηρίωση της συσχέτισης της Εντροπίας με την ισοκατανομή (leveling). Μέχρι σήμερα η Εντροπία είχε συσχετιστεί με την πληροφορία και την αβεβαιότητα. Σε κανένα επιστημονικό εγχειρίδιο από αυτά που μελετήθηκαν δεν είχε αναφερθεί η Εντροπία ως το μέτρο της ισοκατανομής.

Μαθηματικώς έχει αποδειχθεί και είναι καταγραμμένο στην βιβλιογραφία (Gray 1990) ότι:

«Στην απόλυτη ισο-πιθανοτική εμφάνιση γεγονότων η Εντροπία παίρνει τη μέγιστη τιμή», (Κεφάλαιο 2, Πρώτη ιδιότητα Εντροπίας)

Αυτό το μαθηματικό θέσφατο, επεκτάθηκε στη διατριβή αυτή, ώστε να διατυπωθεί ως εξής:

«Στην απόλυτη ισο-κατανομή, η Εντροπία γίνεται μέγιστη».

Είναι μία διατύπωση που εδράζεται στην μαθηματική απόδειξη της προηγούμενης και επομένως η αξιοπιστία της είναι απόλυτη. Η συνεισφορά της διατριβής αυτής είναι να καταδείξει τον τρόπο που πρέπει να επιδιώκεται η προσομοίωση των παραμέτρων των υπό μελέτη προβλημάτων σε παραμέτρους πιθανοτήτων κατά Shannon (1948) ώστε η αξιοπιστία του αποτελέσματος να είναι αδιαμφισβήτητη.

Η συνεισφορά της διατριβής στο θέμα αυτό επεκτείνεται με την επισήμανση ότι, δεν μπορεί ο γενικός τύπος της Εντροπίας να χρησιμοποιηθεί για επίλυση προβλημάτων χωρίς να επιτευχθεί η προσομοίωση του προβλήματος σε παραμέτρους Shannon (1948). Στο Κεφάλαιο 2 υπάρχει εκτενής συζήτηση όσον αφορά αυτό το θέμα και στο Κεφάλαιο 6 υπάρχει συζήτηση για προγενέστερη μέθοδο (Χριστοδούλου, 2009) κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε η Εντροπία χωρίς να ικανοποιούνται οι συνθήκες πιθανοτήτων (κατά Shannon). Στην περίπτωση αυτή, όπου δηλαδή δεν χρησιμοποιούνται οι αρχές Shannon, δεν μπορεί μαθηματικώς να τεκμαίρεται απόλυτη αξιοπιστία.

γ) Κωδικοποίηση της διαδικασίας και των αρχών επίλυσης προβλημάτων. Ο μελετητής δεν χρειάζεται κάθε φορά να εφεύρει τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιήσει την Εντροπία , αφού στην διατριβή προσφέρεται βήμα προς βήμα η απαραίτητη διαδικασία. Αυτό κάνει τα προβλήματα της Εντροπίας φιλικά προς τον μελετητή και ανοίγει σημαντικές προοπτικές στη μηχανογράφηση της προσέγγισης για επίλυση των προβλημάτων της Εντροπίας.

1.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

Το υπόβαθρο που στηρίζει την παρούσα διατριβή πραγματεύεται δύο θέματα. Το πρώτο, είναι το μαθηματικό υπόβαθρο της Εντροπίας και των συνοδευτικών εξισώσεων και σχέσεων. Το σημαντικό ως προς το μέγεθος της Εντροπίας είναι ότι η αξιοπιστία του έχει αποδειχθεί μαθηματικά. Η πρόκληση που υπάρχει τόσο στη διατριβή αυτή όσο και σε άλλες μελέτες είναι να γίνει εφικτό να προσομοιωθούν οι παράμετροι του υπό μελέτη προβλήματος στις ιδιότητες της Εντροπίας. Για αυτό η κατανόηση των μαθηματικών κυρίως ιδιοτήτων της Εντροπίας ήταν σημαντική στην περαιτέρω χρήση της. Η αναφορά για αυτό το επιστημονικό υπόβαθρο γίνεται στο Κεφάλαιο 2.

Το δεύτερο μέρος έχει να κάνει με τον εντοπισμό του επιστημονικού υποβάθρου των συγκεκριμένων προβλημάτων που επιλύθηκαν στα πλαίσια της διατριβής. Η ανάλυση της προγενέστερης επιστημονικής προσέγγισης σε καθένα από τα προβλήματα είναι σημαντική για να είναι εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την Εντροπία με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων που έχουν καθιερωθεί ως αξιόπιστες. Η αναφορά για αυτό το επιστημονικό υπόβαθρό παρουσιάζεται σε κάθε κεφάλαιο / πρόβλημα ξεχωριστά

1.6 Δομή της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής

Η διατριβή αυτή είναι δομημένη ως ακολούθως:

Κεφάλαιο 2: Παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και η τεκμηρίωση της αξιοπιστίας της Εντροπίας. Η Εντροπία διέπεται από συγκεκριμένες αρχές και παραμέτρους, οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές.

Κεφάλαιο 3: Το πρόβλημα της ισο-κατανομής των πόρων αποτελεί μεγάλο κεφάλαιο στο τομέα προγραμματισμού έργων με περιορισμένους πόρους. Αφού επεξηγείται το θεωρητικό υπόβαθρο, γίνεται επανεξέταση της προσέγγισης της ελάχιστης ροπής με χρήση της Εντροπίας. Γίνεται στη συνέχεια επέκταση της μεθόδου αυτής όταν υπάρχουν δύο (ή περισσότεροι πόροι).

Κεφάλαιο 4: Γίνεται περαιτέρω επέκταση της μεθόδου ισο-κατανομής πόρων με χρήση της Εντροπίας στις περιπτώσεις που επιτρέπεται η επέκταση ή συρρίκνωση της διάρκειας της δραστηριότητας.

Κεφάλαιο 5: Εξετάζεται συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίησης) και αποδεικνύεται ότι σε αυτού του είδους τα προβλήματα η Εντροπία δεν προσφέρεται ως μέθοδος επίλυσης.

Κεφάλαιο 6: Εξετάζεται η χρήση της Εντροπίας για επίλυση προβλημάτων προσφοροδότησης. Η Εντροπία αποδεικνύεται ως ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο μέτρησης του ρίσκου, του κινδύνου δηλαδή που αναλαμβάνουν οι προσφοροδότες, οι οποίοι προχωρούν σε ανισοκατανομή του κέρδους πάνω στις διάφορες εργασίες ενός έργου. ψΗ επιδίωξη του Εργολάβου για αύξηση της υφιστάμενης τρέχουσας αξίας των πληρωμών (Net present value) πρέπει να αντικρίζεται μέσα από το ρίσκο που αναλαμβάνει ο Εργολάβος, το οποίο με ακρίβεια και μονοσήμαντα μπορεί να μετρηθεί με το μέγεθος της Εντροπίας. Το ρίσκο ελαχιστοποιείται όταν η Εντροπία μεγιστοποιείται.

Κεφάλαιο 7: Τεκμηριώνεται η αξιοπιστία της συσχέτισης της έννοιας της Εντροπίας και της αποτίμησης του κινδύνου μέσω της ιδιαίτερα γνωστής στο τομέα της Οικονομικής Μηχανικής της «Σύγχρονης Θεωρίας του Χαρτοφυλακίου των Μετοχών», (Modern Portfolio Management, Markowitz 1959).

Κεφάλαιο 8: Γίνεται εφαρμογή των προτεινόμενων λύσεων σε προβλήματα διαχείρισης χαρτοφυλακίου έργων. Μεταφέρονται οι προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν σε ένα έργο, για τη διοίκηση / διαχείριση του συνόλου των έργων μίας εταιρείας ή Οργανισμού. Το παράδειγμα της Cyta χρησιμοποιείται ως περιπτωσιακή μελέτη.

Κεφάλαιο 9: Δίνονται συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα της εφαρμογής της Εντροπίας στον κλάδο Πολιτικής Μηχανικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΤΡΟΠΙΑ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο της Εντροπίας, των παραμέτρων και ιδιοτήτων της. Ως σημαντικότερο συμπέρασμα του Κεφαλαίου αυτού είναι η ύπαρξη της μαθηματικής τεκμηρίωσης για την πρώτη ιδιότητα της Εντροπίας.

Ο όρος Εντροπία χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη θερμοδυναμική και αργότερα εισήχθηκε στην Πληροφορική αφού συσχετίστηκε με την έννοια και αξία της πληροφορίας Shannon (1948). Για αυτό τον λόγο ονομάζεται και Εντροπία του Shannon. Ο ίδιος θεωρείται ως ο θεμελιωτής της θεωρίας της πληροφορίας.

Από το 1948, οπότε και διατυπώθηκε η θεωρία του Shannon, υπήρξαν πολλές προσπάθειες για εντοπισμό κάποιων άλλων τύπων ή μεθόδων ανάλυσης της πληροφορίας αλλά τα αποτελέσματα στερούνταν της πρακτικότητας που διέπει την έννοια της Εντροπίας ενώ ταυτόχρονα δεν μπορούσαν να διεισδύσουν με τόσο αποτελεσματικό τρόπο στη «φύση» της πληροφορίας, όπως συμβαίνει με την Εντροπία.

Ο Shannon (1948) αντιστοιχεί εννοιολογικά την πληροφορία με την αβεβαιότητα. Δίνει μάλιστα το ακόλουθο παράδειγμα για κατανόηση της έννοιας της πληροφορίας και πως αυτή συνδέεται με την αβεβαιότητα. Έστω ότι υπάρχει μία πηγή μηνυμάτων. Για παράδειγμα, ένας ομιλητής παρουσιάζει τις σκέψεις του στέλλοντας μηνύματα στο ακροατήριο χρησιμοποιώντας γράμματα που ακολουθούν μία αλληλουχία. Ο ομιλητής θεωρείται μία πηγή, ένας πομπός γραμμάτων. Από πλευράς του βέβαια αυτή η αλληλουχία γραμμάτων δεν είναι τυχαία αφού αυτός γνωρίζει ακριβώς τι θα πει και με ποια λογική σειρά. Ο δέκτης όμως αυτών των μηνυμάτων, ο ακροατής, λαμβάνει τα γράμματα ή τις λέξεις, χωρίς να γνωρίζει τι θα ακολουθήσει. Σε αυτόν υπάρχει αβεβαιότητα ως προς το τι θα λάβει. Επειδή δεν γνωρίζει τι θα ακούσει, σημαίνει ότι τη στιγμή που παραλαμβάνει στο μυαλό του τα γράμματα προσλαμβάνει ταυτόχρονα πληροφόρηση. Μαθαίνει σε αυτή την περίπτωση κάτι που δεν γνώριζε. Αν αυτό δεν συνέβαινε, αν δηλαδή η αλληλουχία δεν ήταν τυχαία ούτε για το λήπτη, αλλά μια λογική αλληλουχία, όπου ο λήπτης με βεβαιότητα γνώριζε τι θα παραλάβει στη συνέχεια, τότε αυτή η βεβαιότητα θα σήμαινε ότι από πλευράς πληροφορίας δεν θα υπήρχε τίποτα, η πληροφορία δηλαδή θα ήταν μηδενική. Η ποσότητα της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε ένα τυχαίο πείραμα ή σύστημα, μετρείται κατά το Shannon (1948) με το μέγεθος της «Εντροπίας».

Η Εντροπία κατά Shannon χρησιμοποιήθηκε, όπως θα ήταν άλλωστε φυσικό, κατά κόρον στις τηλεπικοινωνίες ακριβώς γιατί συνδέεται με την πληροφορία. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το βιβλίο του Robert M. Gray "Entropy and Information Theory (1990) όπου εξηγείται πως η πληροφορία συνδέεται με τις πιθανότητες και στη συνέχεια με την πληροφορία. Αξιοσημείωτη μία παράγραφος του βιβλίου που αναφέρει: *«Η ανάπτυξη της ιδέας της Εντροπίας τυχαίων μεταβλητών και διαδικασιών από τον Claude Shannon τροφοδότησε τις βάσεις για τη θεωρία της πληροφορίας. Θα δούμε ότι οι μετρήσεις της Εντροπίας και της σχετικής πληροφορίας δίνουν χρήσιμες περιγραφές της μακροπρόθεσμης συμπεριφοράς τυχαίων διαδικασιών και ότι αυτή η συμπεριφορά είναι ο κύριος παράγοντας για κωδικοποίηση της θεωρίας της πληροφορία».* Παρατηρούμε στον Gray (1990) ότι για την επιστήμη των επικοινωνιών η χρήση της Εντροπίας κατέληξε στην παρατήρηση των τυχαίων διαδικασιών και στην κωδικοποίηση τους. Αυτή ουσιαστικά είναι και η επιδίωξη της παρούσας διατριβής για προβλήματα Πολιτικής Μηχανικής.

Το ερώτημα που τίθεται επομένως σε σχέση με αυτή τη διατριβή είναι αν η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έννοια για την επίλυση των προβλημάτων του σύγχρονου Πολιτικού Μηχανικού, ποια είναι αυτά τα προβλήματα και τι κοινό έχουν μεταξύ τους. Η απάντηση βρίσκεται στη δύναμη της εξίσωσης που υπολογίζει την Εντροπία, και στη σύνδεσή της με τις πιθανότητες και τις ιδιότητές της. Βρίσκεται όμως ταυτόχρονα στον τρόπο χρήσης της, στην προσομοίωση δηλαδή που θα γίνει στο κάθε πρόβλημα Μηχανικού ώστε αυτό να προσαρμοστεί με τις αρχές του

Shannon (1948).

1.7 Εντροπία και ιδιότητές της

Η πιο σημαντική συνεισφορά του Shannon στην επιστήμη της πληροφορίας είναι, όπως αναφέρεται σε πολλά επιστημονικά άρθρα (Shannon 1948, Jaynes 1957, Gray 1990), η ποσοτικοποίηση της πληροφορίας και της αβεβαιότητας με τη χρήση μίας μαθηματικής εξίσωσης, αυτής που υπολογίζει την Εντροπία. Η μαθηματική αυτή εξίσωση έχει καταστεί, μετά τον Shannon, ταυτόσημη με την ίδια την θεωρία του και αυτή η εξίσωση μαζί με τις ιδιότητες της είναι που θα χρησιμοποιηθούν στη διατριβή αυτή. Στη γενική του μορφή ο τύπος είναι ο ακόλουθος:

$$H(p_i, p_n, ... p_n) = -\sum_{i=1}^{n} \left[p_i \ \log p \right] \qquad (2.1)$$

με 0log0=0 (2.2)

όπου p_1, p_2, p_3, ….p_n οι πιθανότητες πραγματοποίησης εκάστου συμβάντος και H η προκύπτουσα συνολική εντροπία.

Είναι ενδιαφέρον ο τρόπος που ο Shannon (1948) κατέληξε στο να χρησιμοποιήσει την Εντροπία για να αξιολογεί την πληροφορία και γι’ αυτό παρατίθεται στη συνέχεια το σχετικό απόσπασμα από τη μελέτη του.

“Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μία σειρά n πιθανών γεγονότων, όπου οι πιθανότητες να συμβούν είναι p_1, p_2, …….., p_n. Αυτές οι πιθανότητες είναι γνωστές, αλλά αυτό είναι και η μόνη πληροφορία που έχουμε για αυτό το συμβάν. Μπορούμε να βρούμε ένα μέτρο που θα μετρά πόση “δυνατότητα επιλογής” έχουμε όταν επιλέγουμε τυχαία κάθε γεγονός ή πόσο αβέβαιοι είμαστε για το αποτέλεσμα;”

Αν υπάρχει ένα τέτοιο μέτρο, π.χ. H (p_1, p_2, …….., p_n), θα ήταν λογικό να απαιτήσουμε από αυτό τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. **Το μέτρο H πρέπει να είναι συνεχές ως προς τις πιθανότητες $p_{i123\psi\mu\sigma}$.**
2. **Αν όλες οι πιθανότητες p_i = 1/n, τότε το H θα είναι μία μονοτονικά αύξουσα συνάρτηση του n. Με ισοπίθανα γεγονότα, υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής ή μεγαλύτερη αβεβαιότητα όταν υπάρχουν περισσότερα πιθανά γεγονότα.**
3. **Αν το δείγμα των γεγονότων χωριστεί σε δύο μέρη, τότε το αρχικό H πρέπει να είναι το σταθμισμένο άθροισμα των επιμέρους τιμών του H.**

Η εξίσωση ή ο τύπος του Shannon έχει τρεις πηγές αξιοπιστίας στην επιστημονική κοινότητα και κυρίως στην Επιστήμη της Πληροφορίας. Πρώτα αποδείχθηκε ως ένα πολύ χρήσιμο και αποτελεσματικό εργαλείο για την ανάλυση των τηλεπικοινωνιών. Στις ΗΠΑ από μόνο του αυτό το γεγονός ήταν ικανό να κατατάξει την Εντροπία σε κεντρική θέση της επιστημονικής διανόησης (Gray, 1990). Στην Ευρώπη, αν και έτυχε της ίδιας υποδοχής, εντούτοις η συσχέτιση της θεωρίας αυτής με τη θεωρία του Boltzmann για τη φυσική Εντροπία (θερμοδυναμική) ήταν διαβατήριο για να δοθεί και εδώ προσοχή. Αυτή η συσχέτιση αποτελεί το δεύτερο ατού αξιοπιστίας της (Gray, 1990).

Η πιο σημαντική όμως απόδειξη της αξιοπιστίας της θεωρίας του Shannon (1948) και της εξίσωσής του, προέρχεται από την επίσημη μαθηματική ανάλυσή της. Υπάρχουν και άλλες θεωρίες για την απόδοση της πληροφορίας, η θεωρία της Εντροπίας του Shannon είναι όμως η μοναδική η οποία ικανοποιεί σειρά αξιωμάτων και ιδιοτήτων.

Ένα παράδειγμα της συσχέτισης της πληροφορίας με την αβεβαιότητα (ή και αντιστρόφως) παρατίθεται πιο κάτω για να βοηθήσει στην αντίληψη των διευρυμένων εφαρμογών της Εντροπίας, πέραν από τον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Έστω το τυχαίο πείραμα της ρίψης ενός νομίσματος. Αν το νόμισμα είναι αμερόληπτο, τότε υπάρχει ίση πιθανότητα το νόμισμα να έρθει κεφάλι ή γράμματα σε κάθε ρήψη. Η Εντροπία του άγνωστου επόμενου γεγονότος ενός αμερόληπτου νομίσματος, δηλαδή αυτού που έχει ίση πιθανότητα για κεφάλι και γράμματα είναι μέγιστη. ΄Οσο η μία περίπτωση (κεφάλι ή γράμματα) γίνεται πιο πιθανή από την άλλη (λόγω ύπαρξης νοθείας στο νόμισμα) τόσο η Εντροπία μειώνεται, αφού η

πληροφορία που περικλείεται στην επόμενη ρήψη μειώνεται. Αυτό γίνεται κατανοητό αν σκεφτούμε το ακραίο φαινόμενο όπου δηλαδή το νόμισμα είναι τόσο νοθευμένο ώστε με σιγουριά πλέον να γνωρίζουμε ποια θα είναι η επόμενη ρήψη (μόνο γράμματα ή μόνο κεφάλι). Στην περίπτωση αυτή η Εντροπία μηδενίζεται και ταυτόχρονα η πληροφορία μηδενίζεται αφού δεν παίρνουμε τίποτα καινούργιο από ότι ήδη γνωρίζαμε από ένα περιστατικό που το αποτέλεσμα του διέπεται από βεβαιότητα (σε αντίθεση με την πλήρη αβεβαιότητα). Σε ένα νοθευμένο δηλαδή νόμισμα είμαστε σίγουροι για το αποτέλεσμα και επομένως το πείραμα δεν μας δίνει καμιά πληροφόρηση. Σε αυτό το πείραμα η Εντροπία είναι ίση με μηδέν. Αυτό το πείραμα δείχνει κάποιες από τις ιδιότητες της Εντροπίας οι οποίες είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η Διατριβή και οι οποίες αποδεικνύονται στη συνέχεια.
Για την επεξήγηση των ιδιοτήτων της Εντροπίας δίνονται διάφορα παραδείγματα, τα οποία εύκολα μπορούν να αποδειχθούν, με απλή εφαρμογή της εξίσωσης (2.1).

Έστω το τυχαίο πείραμα της ρίψης ενός νομίσματος που αναφέρθηκε πιο πάνω. Το πείραμα αυτό (πείραμα Bernouli) έχει δύο ενδεχόμενα x_1 και x_2, με πιθανότητες p και 1-p.

Με βάση τον τύπο για την Εντροπία (2.1) αυτή ισούται με

$$H = -\{p \ln p + (1-p)\ln(1-p)\} \tag{2.3}$$

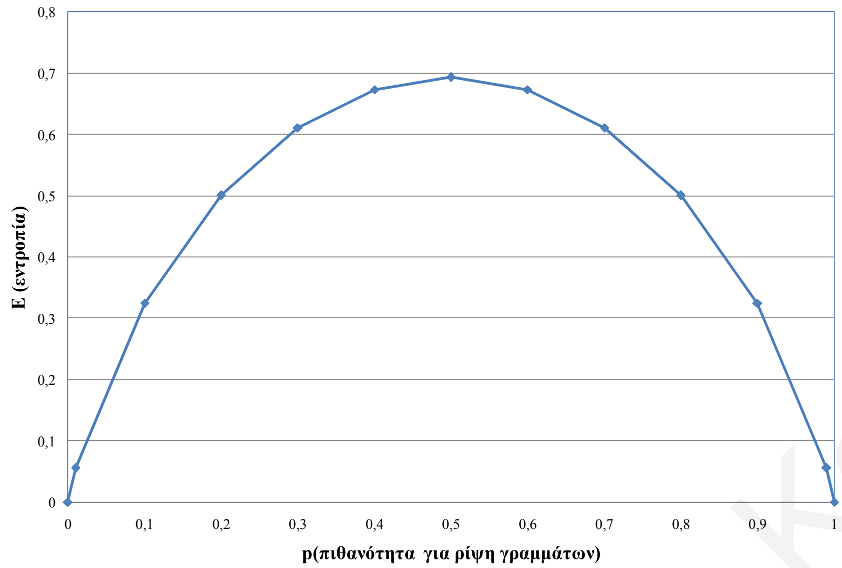
και η μέγιστη Εντροπία βρίσκεται όταν η παράγωγος μηδενιστεί, δηλαδή

$$\frac{dH}{dp} = -\ln p - 1 + \frac{1}{1-p}(1-p) + \ln(1-p) = 0 \tag{2.4}$$

ή διαφορετικά όταν ln(p)=ln(1-p) που συμβαίνει όταν p=0,5.

Η μέγιστη δηλαδή Εντροπία εξασφαλίζεται στο αμερόληπτο πείραμα Bernoulli, όταν τα δύο ενδεχόμενα είναι ισο-πίθανα.

Εποπτικά η διακύμανση της Εντροπίας στο πείραμα Bernoulli ως προς την πιθανότητα p, φαίνεται στο Διάγραμμα 2.1.



Διάγραμμα 0.1 Εντροπία κατά το πείραμα Bernoulli.

Ας υποθέσουμε τώρα ένα νέο στατιστικό πείραμα. Έχουμε μία τυχαία μεταβλητή X, η οποία παίρνει τιμές $\{x_1, x_2, x_3, \ldots x_\nu\}$ με πιθανότητες $p_1, p_2, p_3, \ldots p_\nu$. Με αυτή την έννοια η Εντροπία του συστήματος των ενδεχομένων του X υπολογίζεται ως:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{\nu}[-p_i \ln p_i] \tag{2.5}$$

Υπάρχουν πολλές μελέτες (Jaynes, 1957) που αποδεικνύουν ότι η Εντροπία γίνεται μέγιστη όταν οι πιθανότητες p_i είναι ίσες μεταξύ τους και ίσες με 1/ν και σε μία από αυτές η απόδειξη επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλασιαστών Langrange (I-Shih, 1972).

Επειδή η απόδειξη είναι μαθηματικά κοπιώδης και δεν εμπίπτει στους στόχους της διατριβής, πιο κάτω παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα επίδειξης αυτής της ιδιότητας της Εντροπίας.

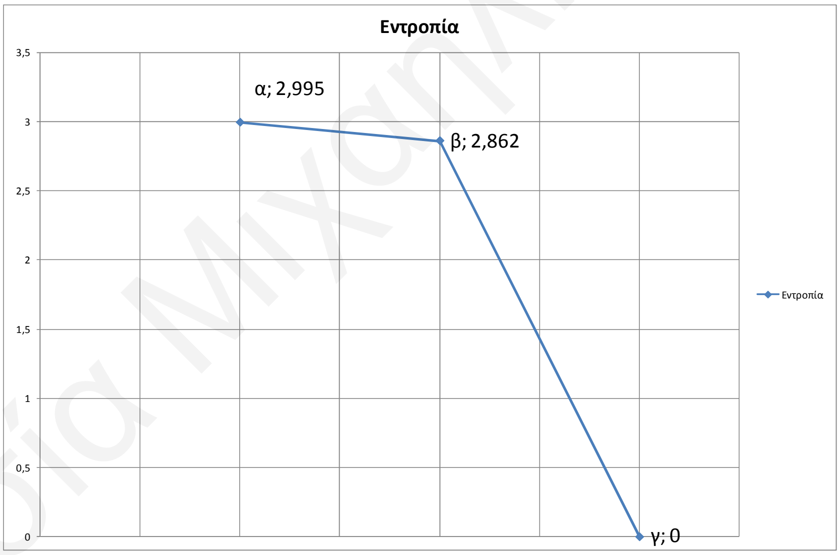
Έστω ότι έχουμε 20 μπάλες μέσα σε ένα δοχείο. Εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις.

α) Και οι 20 μπάλες έχουν την ίδια πιθανότητα να επιλεγούν, δηλαδή $p_i = 0{,}05$.

β) Η πιθανότητα να επιλεγεί κάθε μπάλα είναι διαφορετική. Έστω ότι για χάριν του παραδείγματος, ακολουθούμε ένα τύπο για καθορισμό της πιθανότητας επιλογής κάθε μπάλας, όπου η πιθανότητα κάθε επόμενης μπάλας είναι αυξημένη κατά 10% περίπου από την πιθανότητα να επιλεγεί η προηγούμενη. Το πείραμα μας δηλαδή δεν είναι αμερόληπτο (το πρώτο γεγονός είχε πιθανότητα 0,0175 και το τελευταίο 0,107).

γ) Τα 19 από τα 20 γεγονότα έχουν μηδενική πιθανότητα να συμβούν και το $20^{ο}$ έχει πιθανότητα ίση με την μονάδα. Δηλαδή το πείραμα μας είναι τόσο πολύ μεροληπτικό, ώστε με σιγουριά επιλέγουμε πάντα τη μία από τις 20 μπάλες.

Υπολογίζουμε κάθε φορά την Εντροπία του πειράματος, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.1). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Διάγραμμα 0.2. Φαίνεται ότι η περίπτωση της απόλυτης σιγουριάς, δηλαδή όταν μόνο ένα γεγονός έχει πιθανότητα να συμβεί, δίνει και την πιο μικρή Εντροπία (μηδενική) σε αντίθεση με την περίπτωση που όλα τα γεγονότα έχουν την ίδια πιθανότητα πραγματοποίησης, οπότε έχουμε και τη μεγαλύτερη δυνατή Εντροπία για το συγκεκριμένο σύστημα.



Διάγραμμα 0.2 Η Εντροπία για διαφορετικές περιπτώσεις

Το δεύτερο πείραμα είναι γενίκευση του πειράματος Bernoulli και οδηγεί στην πρώτη ιδιότητα της Εντροπίας.

Ιδιότητα $1^{η}$: Η Εντροπία ενός συστήματος που αποτελείται από ν τιμές της τυχαίας μεταβλητής Χ παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της αν η πιθανότητα να συμβεί οποιοδήποτε γεγονός είναι σταθερή και ίση με 1/ν

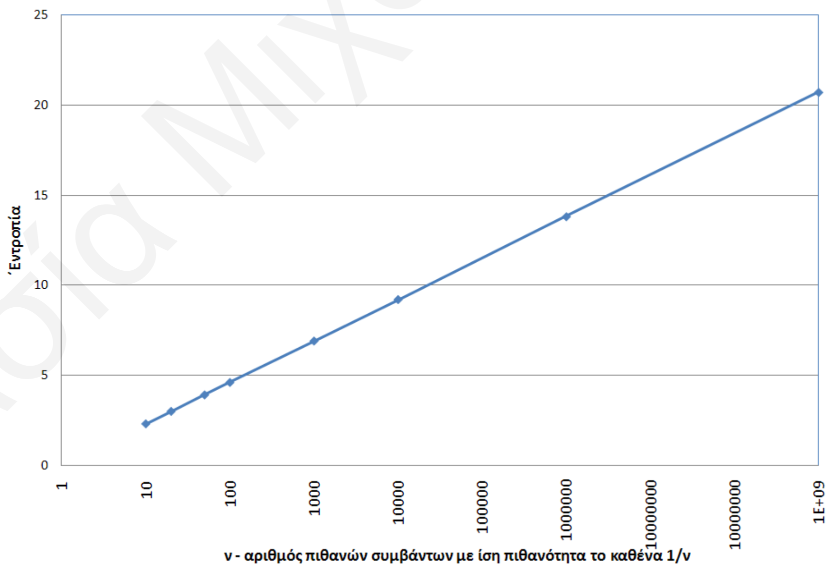
Παραμένοντας στο προηγούμενο παράδειγμα, μπορούμε να οδηγηθούμε στην δεύτερη ιδιότητα της Εντροπίας. Στο Διάγραμμα 0.3, φαίνεται η σχέση της Εντροπίας με το μέγεθος του συστήματος ν (λογαριθμική κλίμακα) για πιθανότητα των γεγονότων σε κάθε περίπτωση ίση με $p_i = 1/\nu$, όπου το ν αυξάνεται από 10 μέχρι 100,000. Βλέπουμε ότι η Εντροπία αυξάνεται με αυξανόμενο το ν.

Αυτό αποδεικνύεται επίσης πολύ εύκολα με χρήση της εξίσωσης 2.1 ως ακολούθως:

$$H_\nu = \nu \sum_{i=1}^{\nu} \frac{1}{\nu} \log \nu \le \mathrm{H}_{\nu+1} = (\nu+1) \sum_{i=1}^{\nu+1} \frac{1}{\nu+1} \log(\nu+1) = (\nu+1)\{\sum_{\iota=1}^{\nu} \frac{1}{\nu} \log(\nu) + \frac{1}{\nu+1} \log(\nu+1)\} \quad (2.6)$$

Ιδιότητα 2η: Η Εντροπία είναι εκτατική μεταβλητή, δηλαδή είναι ποσότητα εξαρτώμενη ή ανάλογη προς το μέγεθος του συστήματος.

Αν δηλαδή ένα σύστημα χωριστεί σε δύο συστήματα τότε η Εντροπία είναι το άθροισμα τους. Γενικά λέμε ότι μία εκτατική μεταβλητή αποτελεί το άθροισμα ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τις επιμέρους αντίστοιχες μεταβλητές του συστήματος των τμημάτων που το απαρτίζουν. Για αυτό, για την Εντροπία δικαιολογείται και το αθροιστικό σύμβολο που χρησιμοποιείται για τον ορισμό της.



Διάγραμμα 0.3 Η Εντροπία είναι εκτατικό μέγεθος

1.8 Εφαρμογές σε προβλήματα Πολιτικής Μηχανικής

Δόθηκε πιο πάνω η μαθηματική εξίσωση που ποσοτικοποιεί και αξιολογεί την αβεβαιότητα καθώς και οι ιδιότητες της Εντροπίας. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία καθώς και οι ιδιότητες της σε προβλήματα που απασχολούν τον Πολιτικό Μηχανικό, θα πρέπει να επιτυγχάνεται κάθε φορά η μετατροπή του προβλήματος σε πρόβλημα "οιονεί" πιθανοτήτων. Δηλαδή θα πρέπει η προσομοίωση του προβλήματος να είναι τέτοια ώστε αυτό να μετατρέπεται σε ένα πρόβλημα τύχης με ενδεχόμενα που καθένα έχει κάποια πιθανότητα να συμβεί.

Υπήρξαν μελέτες που δεν υιοθέτησαν (Χριστοδούλου 2009) αυτή την προσέγγιση των πιθανοτήτων και χρησιμοποίησαν την Εντροπία ως ένα γενικότερο μέγεθος. Υπάρχει σε σχέση με αυτές συζήτηση στα επόμενα κεφάλαια (Κεφάλαιο 6).

Η διατριβή αυτή θα χρησιμοποιήσει την Εντροπία με την ακόλουθη προσέγγιση.

Κάθε πρόβλημα θα προσομοιώνεται ως εάν να είναι πρόβλημα πιθανοτήτων, δηλαδή με ενδεχόμενα $\{x_1, x_2, x_3, \ldots. x_\nu\}$ και με πιθανότητες $p_1, p_2, p_3, \ldots. p_\nu$. Θα υπολογίζονται οι πιθανότητες και από αυτές θα υπολογίζεται η Εντροπία με βάση την εξίσωση 2.1.

Για εντοπισμό των βέλτιστων λύσεων θα χρησιμοποιούνται οι δύο ιδιότητες της Εντροπίας, όπως προαναφέρθηκαν στην ενότητα 2.2.

1.9 Συμπεράσματα Κεφαλαίου 2

Η Εντροπία είναι ένα μέγεθος που οι ιδιότητες του έχουν αποδειχθεί με μαθηματική ανάλυση. Η πρώτη ιδιότητα ανοίγει τον δρόμο επίλυσης μεγάλου αριθμού προβλημάτων. Αν ένα πρόβλημα προσομοιωθεί ως να είναι ένα πρόβλημα πιθανοτήτων, τότε δεν χρειάζεται περαιτέρω απόδειξη της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του μεγέθους της Εντροπίας, αφού μπορεί να γίνει αναδρομή στη μαθηματική τεκμηρίωση που συνοδεύει αυτό το μέγεθος. Αυτή είναι η μεγάλη αξία του μεγέθους της Εντροπίας και σε αυτή την παράμετρο στηρίζεται η διατριβή αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

Εισαγωγή

Ο χρονοπρογραμματισμός των κατασκευαστικών έργων δεν μπορεί να είναι ρεαλιστικός αν δεν ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί στους διαθέσιμους πόρους (εργατικό δυναμικό, μηχανήματα και υλικά). Οι περιορισμοί αυτοί δημιουργούν δύο επιδιώξεις, και επομένως ο σχεδιαστής του χρονοπρογράμματος πρέπει να κινηθεί σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη επιδίωξη έχει να κάνει με το συνολικό αριθμό των αναγκαίων πόρων. Προσπάθεια δηλαδή του κατασκευαστή ενός έργου και επομένως αυτού που αναλαμβάνει το σχεδιασμό του προγράμματος εκτέλεσης, είναι να βρει τρόπους να μειώσει τον αριθμό του προσωπικού για να παράξει τις ίδιες μονάδες έργου. Αυτό δεν είναι τίποτα άλλο από προσπάθεια βελτίωσης (αύξησης) της παραγωγικότητας. Αυτή η προοπτική για το Μηχανικό, δεν εμπίπτει στους στόχους αυτής της διατριβής, αν και είναι σίγουρα ένας τομέας με πολλές προοπτικές.

Η δεύτερη επιδίωξη είναι, διατηρώντας τον ίδιο συνολικό αριθμό αναγκαίων πόρων, να γίνει εφικτή η ισοκατανομή τους κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου. Να μην υπάρχουν δηλαδή σοβαρές διακυμάνσεις στους αναγκαίους ανθρώπινους πόρους σε κάθε διαφορετική ημέρα του έργου. Τα οφέλη από μία τέτοια επιδίωξη είναι προφανή, με σημαντικότερο την διατήρηση αριθμητικά αλλά και κατά ειδικότητα, περίπου σταθερής της ομάδας εργασίας στο έργο. Μία σταθερή ομάδα εργασίας, μέσω της εκπαίδευσης και της συνεχούς εμπειρίας που θα αποκτά σταδιακά για το συγκεκριμένο έργο, θα βελτιώνει συνεχώς την παραγωγικότητά της. Αυτή είναι χρήσιμη, έτσι ώστε να αποφεύγεται η απόλυση και επαναπρόσληψη προσωπικού, ή η μετακίνηση του σε άλλα εργοτάξια ή ακόμα και η υποαπασχόλησή του, με δυσμενείς συνέπειες για το κόστος του έργου.

Το Κεφάλαιο αυτό ασχολείται με τη δεύτερη επιδίωξη ως ακολούθως:

Με χρήση της έννοιας και του τύπου της Εντροπίας, όπως διατυπώθηκε από τον Shannon (1948), προγραμματίζεται η κατανομή των πόρων σε ένα έργο, δίχως να αλλάξει η αλληλουχία των δραστηριοτήτων, όπως αυτή καθορίζεται από την βασική επίλυσή του, με κύρια επιδίωξη την όσο το δυνατόν ισο-κατανομή των πόρων κατά τη διάρκεια του έργου.

1.10 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού έργου με περιορισμένους πόρους (Resource Constrained Scheduling Problems, RCSP) απασχόλησαν πολλούς μελετητές. Το πρόβλημα της ισοκατανομής των πόρων (resource leveling) με ένα ή περισσότερους πόρους αποτελεί υποκατηγορία των προβλημάτων τύπου RCSP.

Κάποιες προσεγγίσεις εφαρμόζουν το μαθηματικό προγραμματισμό (Winston and Venkataramanan 2002) και κάποιες το δυναμικό προγραμματισμό (Carruthers and Battersby 1966). Αυτές προϋποθέτουν την δυνατότητα προσομοίωσης του προβλήματος ως μαθηματικής εξίσωσης.

Μία άλλη ενότητα προσεγγίσεων για επίλυση προβλημάτων RCSP βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη και στην προσπάθεια εντοπισμού της λύσης μέσω έξυπνης αξιολόγησης πολλαπλών επιλογών. Ένας τύπος μεθόδων αυτής της ομάδας είναι οι λεγόμενες μέθοδοι απαρίθμησης και αναδρόμησης (enumeration and backtracking). Η βασική προσέγγιση είναι η απαρίθμηση όλων των πιθανών λύσεων και στη συνέχεια ο αποκλεισμός ή η επιλογή μερικώς αποδεκτών λύσεων που τελικά πιθανώς να οδηγήσουν στη λύση.

Μία βελτιωμένη προέκταση των μεθόδων αυτών είναι η μέθοδος "διακλάδωσης και οριοθέτησης" (branch and bound), όπου το αρχικό πρόβλημα χωρίζεται σε υπο/προβλήματα (branches) όπου με κριτήριο κάποια όρια (οριοθέτηση) μπορεί να γίνει επιλογή ή απόρριψη. Η διαδικασία προχωρεί στα επόμενα βήματα διακλάδωσης και επιλογής μέσω της οριοθέτησης. Η προσέγγιση αυτή μειώνει τον όγκο των αναζητούμενων λύσεων σε σχέση με τις γενικές μεθόδους απαρίθμησης και αναδρόμησης. Σχετικές μελέτες είναι των Garey et al. (1976), Demeulemeester και Herroelen (1992, 1997), Mingozzi et al. (1998), Crawford (1996) και Brucker και Knust (2003).

Μία άλλη οικογένεια μεθόδων είναι αυτές που χρησιμοποιούν την έννοια του τεχνητού πράκτορα (artificial agent techniques). Ανήκουν επίσης στην οικογένεια των μεθόδων της τεχνητής νοημοσύνης. Ένας τεχνητός πράκτορας είναι μία αυτόνομη οντότητα, η οποία μπορεί να παρακολουθήσει και στη συνέχεια να ενεργήσει μέσα σε ένα περιβάλλον για επίτευξη ενός στόχου. Οι πράκτορες αυτοί εξελικτικά μαθαίνουν, ώστε σταδιακά να γίνονται πιο αποτελεσματικοί στην επίτευξη του στόχου που καλούνται να πετύχουν. Δύο ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις σε σχέση με την τεχνητή νοημοσύνη που πραγματεύονται στο πρόβλημα RCSP είναι η μέθοδος του γενετικού αλγορίθμου (genetic algorithms) (Hegazy 1999) και η μέθοδος βελτιστοποίησης στο πρότυπο λειτουργίας αποικίας μυρμηγκιών (ant colony optimization - Christodoulou 2005, Christodoulou 2007).

Τέλος πολλές προσπάθειες επίλυσης του προβλήματος RCSP έγιναν με χρήση ευρετικών μεθόδων (heuristic techniques), όπως αυτές που προτάθηκαν από τους Harris (1990), Brucker et al. (1998) και Aslani (2007).

1.10.1 Η μέθοδος της ελάχιστης ροπής (Harris, 1990)

Στην βιβλιογραφία, μία μέθοδος που ενδιέτριψε στην επιδίωξη της εξομάλυνσης, (ισοκατανομής δηλαδή) των πόρων (resource leveling) για την περίπτωση χρήσης ενός μόνο πόρου, είναι η λεγόμενη «Packing Method for resource leveling – PACK". Η μέθοδος είναι ευρετική και προτάθηκε από τον Robert B. Harris (1990). Στη μελέτη αυτή δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη μέθοδο αυτή λόγω του ότι αποτελεί μία προσέγγιση που ακόμα και σήμερα θεωρείται θεμελιώδης για την επίλυση των προβλημάτων RCSP και επίσης, όπως δείχνεται στη συνέχεια, ακολουθεί παρόμοια βήματα με αυτά που χρησιμοποιούνται για την προτεινόμενη επίλυση με χρήση της Εντροπίας.

Τη μελέτη του Harris (1990), επέκτεινε στη συνέχεια σε μια νέα μελέτη ο M. Hiyassat (2000), για να καλύψει δύο ή περισσότερους πόρους.

Στην αρχική επίλυση του Harris (1990), τέθηκαν οι πιο κάτω περιορισμοί:

α) Οι δραστηριότητες είναι συνεχείς στο χρόνο. Όταν μία δραστηριότητα ξεκινήσει, θα συνεχιστεί μέχρι την ολοκλήρωσή της

β) Οι πόροι που ανατίθενται σε κάθε εργασία θεωρούνται σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια της (ίδιοι δηλαδή πόροι ανά ημέρα, κατά την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας).

γ) Η διάρκεια μίας δραστηριότητας θεωρείται σταθερή.

δ) Η λογική του χρονοπρογραμματισμού είναι σταθερή.

ε) Η συνολική διάρκεια του έργου θεωρείται σταθερή

Η μέθοδος της ελάχιστης ροπής (PACK), όπως προτάθηκε από τον Harris (1990), είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους. Η μέθοδος περιληπτικά ακολουθεί το εξής σκεπτικό:

Ο υπολογισμός του δικτυώματος δραστηριοτήτων ενός έργου δίνει τους ενωρίτερους χρόνους έναρξης (ESD) και λήξης (EFD) κάθε δραστηριότητας καθώς και το συνολικό διαθέσιμο περιθώριο τους (Total float, TF). Επομένως, με βάση τους πιο πάνω περιορισμούς, μια δραστηριότητα δεν μπορεί να αρχίσει ενωρίτερα από τον ενωρίτερο χρόνο έναρξης και να ολοκληρωθεί αργότερα από το βραδύτερο χρόνο λήξης. Έτσι, η ενωρίτερη ημέρα έναρξης είναι ίση με (ESD+1) και η βραδύτερη ημέρα περάτωσης είναι η (EFD+TF).

Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις (Διάγραμμα 3.1) στις οποίες μπορεί να εμπίπτει η κατάσταση μίας δραστηριότητας. Στην πρώτη το TF είναι ίσον με μηδέν, στη δεύτερη είναι μεγαλύτερο του μηδενός αλλά μικρότερο της διάρκειας της δραστηριότητας και στην τρίτη είναι ίσο ή μεγαλύτερο της διάρκειας της δραστηριότητας.

Κάθε δραστηριότητα για να εκτελεστεί απαιτεί συγκεκριμένους πόρους (ένα είδος πόρου σε αυτή την επίλυση). Οι ημερήσιες κατανομές σε πόρους αναπαρίστανται σε ένα ιστόγραμμα (Διάγραμμα 3.2). Αν οι ημερήσιες αυτές κατανομές αναπαρασταθούν με τις τετμημένες των σημείων του ιστογράμματος, δηλαδή $\{y_1, y_2, y_3, \ldots y_\nu\}$, και τα σταθερά διαστήματα χρόνου, π.χ. ήμερες με τις τεταγμένες, τότε ισχύουν.

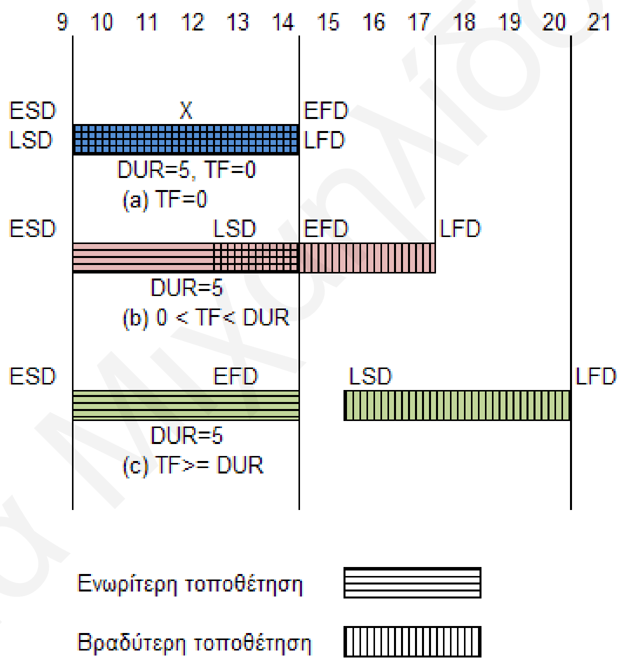
$$\sum_{i=1}^{\nu} y_i = A \tag{3.1}$$

όπου Α ο συνολικός αριθμός πόρων

και

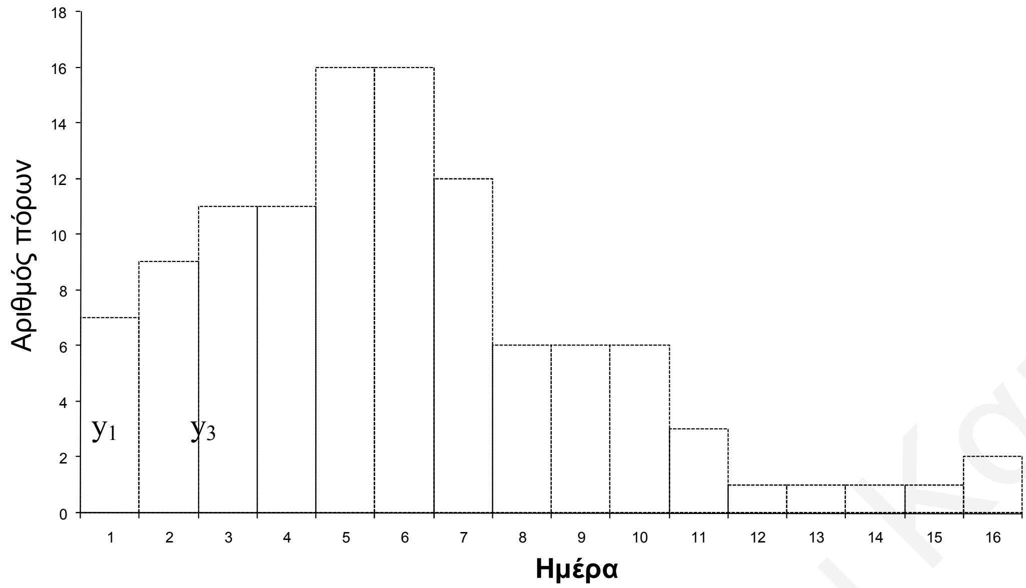
$$M_{ολικο} = \frac{1}{2}\sum_{\iota=1}^{\nu}(y_i)^2 \tag{3.2}$$

όπου $M_{ολικό}$ είναι η ολική ροπή του ιστογράμματος.



Διάγραμμα 0.1 Διαγραμματική παρουσίαση των τριών περιπτώσεων στις οποίες μπορεί να εμπίπτει η κατάσταση μίας δραστηριότητας (Harris, 1990)

Στόχος, με βάση τη μεθοδολογία Harris (1990), είναι η ελαχιστοποίηση αυτής της ροπής γιατί στην περίπτωση της ελάχιστης ροπής το ιστόγραμμα γίνεται ορθογώνιο και επομένως οι πόροι εξομαλύνονται.



Διάγραμμα 0.2 Ημερήσιο ιστόγραμμα κατανομής πόρων.

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, γίνεται μεταφορά κάθε δραστηριότητας ως πακέτο σε όλες τις πιθανές θέσεις που μπορεί να καταλάβει (μέσα στα πλαίσια του TF, για αυτό και η μέθοδος ονομάζεται PACK) ώστε η ροπή της να γίνει η μικρότερη ως προς τον άξονα x. Όπως αναφέρουν οι Martzinez και Ιωάννου (1992), η όλη ιδέα βασίζεται στην πακετοποίηση δραστηριοτήτων μίας προς μίας ώστε οι ημερήσιες ανάγκες σε πόρους να γεμίζουν τα μεγαλύτερα κενά του ιστογράμματος. Αρχικά το ιστόγραμμα ετοιμάζεται με βάση την κρίσιμη διαδρομή και τους ενωρίτερους χρόνους. Στη συνέχεια παίρνουν προτεραιότητα για μετακίνηση οι δραστηριότητες που δεν ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή ώστε να μην επηρεάζεται η συνολική διάρκεια του έργου (προϋποθέσεις πιο πάνω). Η σειρά προτεραιότητας των δραστηριοτήτων καθορίζεται με βάση τον αριθμό των πόρων κάθε δραστηριότητας και το TF. Η μέθοδος είναι ευρετική (heuristic) και χρειάζεται μία επίλυση προς τα εμπρός και μια επίλυση προς τα πίσω για κάθε πιθανή μετακίνηση.

Η ευρύτητα στη χρήση της μεθόδου ελάχιστης ροπής αλλά και η τεκμηρίωση πίσω από την λογική της, της προσδίδουν αξιοπιστία. Οι περιορισμοί όμως που τίθενται για τη χρήση της (αναφέρονται πιο πάνω) την περιορίζουν ως προς την εφαρμοσιμότητά της.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η μέθοδος PACK χρησιμοποιείται για αποτίμηση της αξιοπιστίας της προτεινόμενης μεθόδου της Εντροπίας. Για σκοπούς σύγκρισης ακολουθείται η ίδια περιπτωσιακή μελέτη και χρησιμοποιούνται οι ίδιοι περιορισμοί που χρησιμοποίησε ο Harris (1990) στην πρωτότυπη δημοσιευμένη μελέτη του.

1.11 Λογική επίλυσης του προβλήματος με τη μέθοδο της Εντροπίας

Για να μπορέσουμε να παραπέμψουμε στις ιδιότητες και στον τύπο του Shannon (1948) θα πρέπει με βάση την προσέγγιση του Κεφαλαίου 2 να:

α) Προσομοιωθεί το πρόβλημα ως εάν να είναι πρόβλημα πιθανοτήτων, δηλαδή με ενδεχόμενα $\{x_1, x_2, x_3, \ldots x_\nu\}$ και με πιθανότητες $\{, p_2, p_3, \ldots p_\nu\}$. Θα υπολογιστούν οι πιθανότητες και από αυτές θα υπολογιστεί η Εντροπία με βάση τον τύπο 2.1.

β) Στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν οι ιδιότητες της Εντροπίας για εντοπισμό της βέλτιστης λύσης (Κεφάλαιο 2).

Έστω ότι έχουμε ένα διάγραμμα αλληλουχίας δραστηριοτήτων (αποτυπωμένο σε Gantt chart), το οποίο θέλουμε να υλοποιήσουμε. Με βάση τις υπολογισθείσες διάρκειες των δραστηριοτήτων και την παραγωγικότητα των πόρων που θα χρησιμοποιηθούν είναι γνωστός ο συνολικός αριθμός των πόρων που χρειάζεται το έργο. Έστω αυτός ο αριθμός Α.

Υποθέσεις:

α) Ο τρόπος υπολογισμού των διαρκειών των δραστηριοτήτων και της παραγωγικότητας των πόρων δεν εμπίπτουν στους στόχους της διατριβής αυτής. Ως εκ τούτου οι διάρκειες και οι παραγωγικότητες θεωρούνται ως δεδομένα για την επίλυση.

β) Για το Κεφάλαιο αυτό, θεωρείται ότι υπάρχει μόνο μία κατηγορία ανθρώπινου δυναμικού (π.χ. εργάτες, τεχνίτες κ.ά.).

Με τυχαίο τρόπο αρχίζουμε να κατανέμουμε αυτούς τους πόρους σε κάθε ημέρα (ή εβδομάδα, μήνα κ.τ.λ. ανάλογα με την μονάδα μέτρησης της διάρκειας του έργου).

Σε μία μέρα μπορεί να κατανέμουμε αριθμό πόρων από 0 έως Α που είναι ο συνολικός αριθμός αναγκαίων πόρων.

Για σκοπούς κατανόησης της προσέγγισης, ας υποθέσουμε ότι η διάρκεια του έργου είναι 10 ημέρες. Για να περατωθεί το έργο χρειάζονται συνολικά 10 (ανθρώπινοι) πόροι. Αρχίζει η τυχαία κατανομή των 10 αυτών πόρων στις 10 ημέρες.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται κάποιοι από τους πολλούς πιθανούς τρόπους που μπορεί να γίνει αυτή η κατανομή και για καθένα από αυτούς υπολογίζονται οι πιθανότητες.

Ορίζουμε Χ την τυχαία μεταβλητή “Πόροι ανά ημέρα” με ενδεχόμενα $\{x_1, x_2, x_3, \ldots x_{10}\}$.

Ορίζουμε ως [i], το ενδεχόμενο το έργο να έχει x_i πόρους στην i ημέρα.

Ισχύει:

$$\sum_{i=1}^{10} x_i = A. \qquad (3.3)$$

και

$$p_i = \frac{x_i}{A} \qquad (3.4)$$

<u>Πρώτος τρόπος κατανομής των πόρων (Διάγραμμα 3.3-α)</u>.

Στον πρώτο τρόπο κατανομής των πόρων ισχύει

$\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\ x_7, x_8, x_9, x_{10}\} = \{6, 0, 0, 2, 0,0,0,1,0,1\}$

$$\sum_{i=1}^{10} x_i = 10$$

και

$p_2 = p_3 = p_5 = p_6 = p_7 = p_9 = 0$, $p_1 = 6/10$, $p_4=2/10$, $p_8=p_{10}=1/10$

<u>Δεύτερος τρόπος κατανομής των πόρων</u> (Διάγραμμα 3.3-β)

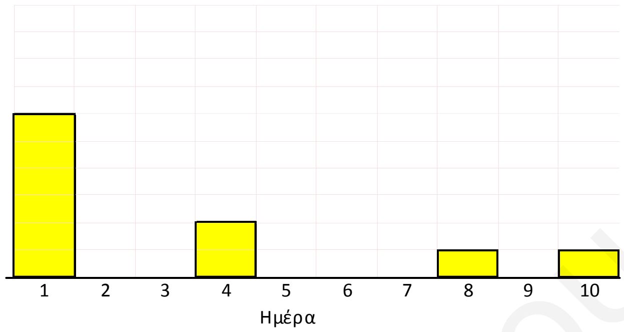
Στο δεύτερο τρόπο κατανομής για τις 10 μεταβλητές έχουμε

$\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\ x_7, x_8, x_9, x_{10}\} = \{10, 0, 0, 0, 0,0,0,0,0,0\}$

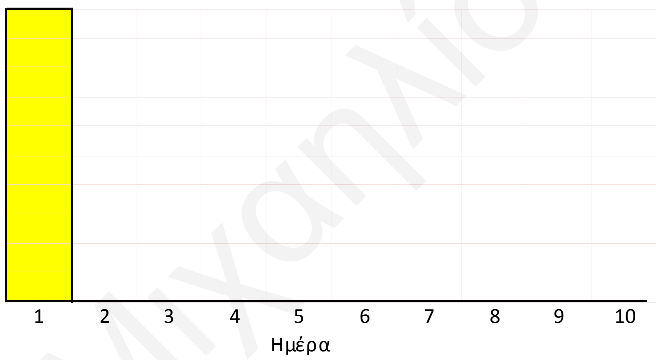
$$\sum_{i=1}^{10} x_i = 10$$

και

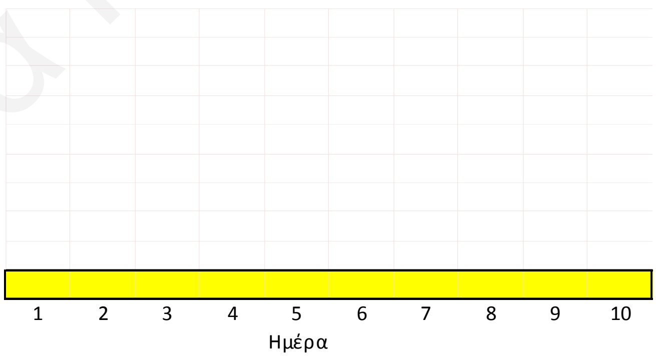
$p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = p_7 = p_8 = p_9 = p_{10} = 0$ και $p_1 = 1$



(α)



(β)



(γ)

Διάγραμμα 0.3 Διαφορετικοί τρόποι κατανομής των πόρων

<u>Τρίτος τρόπος κατανομής των πόρων</u> (Διάγραμμα 3.3-γ)

Τέλος στον τρίτο τρόπο κατανομής των πόρων έχουμε

$\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\ x_7, x_8, x_9, x_{10}\} = \{1, 1, 1, 1, 1,1,1,1,1,1\}$

$$\sum_{i=1}^{10} x_i = 10$$

και

$p_1=p_2 = p_3= p_4= p_5= p_6 =p_7 = p_8=p_9=p_{10} = 1/10$

Για τους τρείς τρόπους κατανομής έχουμε τις ακόλουθες εντροπίες (με βάση τον τύπο 2.1)

$H_1=1{,}0889$

$H_2=0$

$H_3=2{,}3$ (max)

Με βάση την 1η ιδιότητα της Εντροπίας (Κεφάλαιο 2) αναμένεται ότι όσες διαφορετικές κατανομές και να επιλεγούν τυχαία, η Εντροπία, για τον τρίτο τρόπο κατανομής πιο πάνω, θα είναι η μέγιστη και οποιαδήποτε άλλη κατανομή και αν δοκιμάσουμε εκτός του τρίτου τρόπου, η Εντροπία θα είναι μικρότερη. Η τρίτη κατανομή, μας οδηγεί στο ζητούμενο του προβλήματός, δηλαδή στην επίτευξη ισοκατανομής των πόρων.

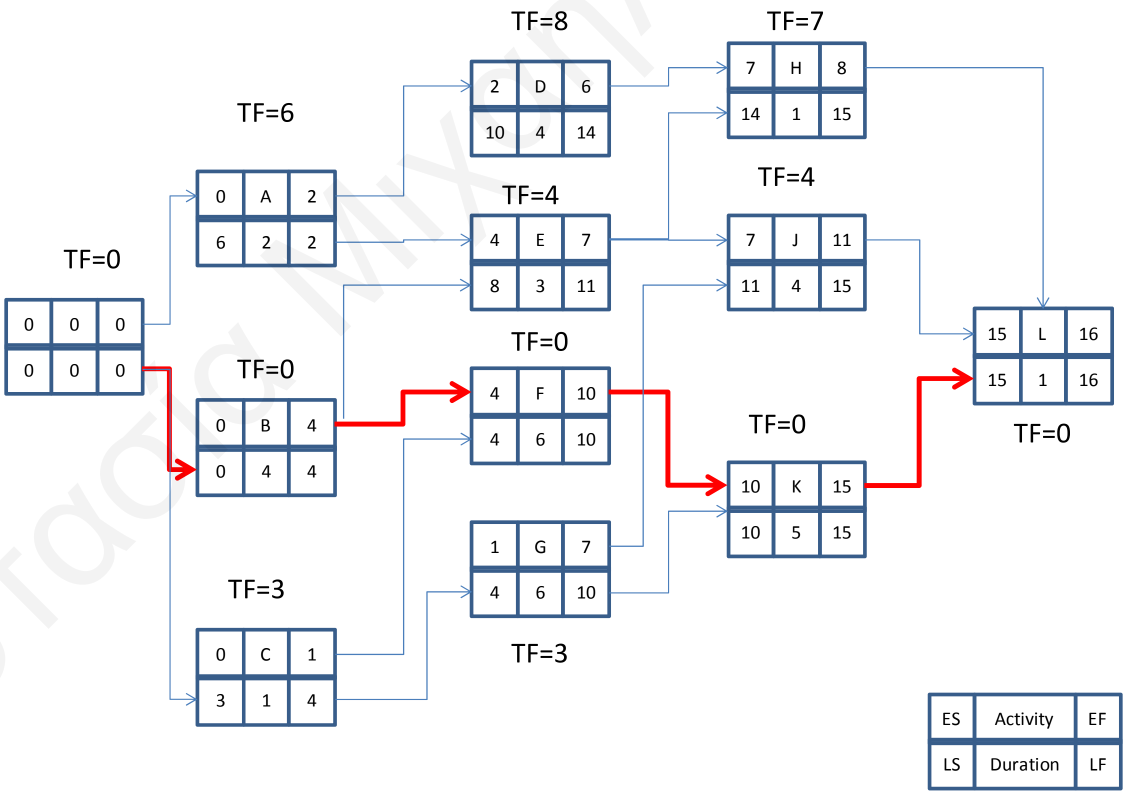
Επομένως: *Το πρόβλημα της ισο-κατανομής των πόρων (resource leveling, καταλήγει να είναι ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης της Εντροπίας.*

Η επίλυση προβλημάτων ισο-κατανομής πόρων (resource leveling), όταν θεωρούμε ότι υπάρχει μόνο μία κατηγορία πόρων και όταν θεωρούμε ότι οι διάρκειες των εργασιών καθώς και η αλληλουχία τους παραμένουν ανεπηρέαστα και σταθερά, μετατρέπεται σε πρόβλημα μεγιστοποίησης της Εντροπίας μίας τυχαίας κατανομής των πόρων στη διάρκεια του έργου. Επειδή όμως τίθενται περιορισμοί ώστε οι διάρκειες και η αλληλουχία του προγράμματος να μην αλλοιωθούν, η επίλυση του προβλήματος πρέπει να γίνει με σεβασμό σε αυτούς τους περιορισμούς. Αυτό εξηγείται στη συνέχεια.

1.12 Εφαρμογή της Εντροπίας σε πραγματικά προβλήματα ισο-κατανομής

Ο R.B. Harris (1990) επεδίωξε να πετύχει την ισοκατανομή ενός πόρου για την εκτέλεση ενός έργου με δραστηριότητες που η αλληλουχία τους καθορίζεται από τη λογική του έργου και οι διάρκειές τους από την παραγωγικότητα του. Επίσης στη μελέτη έχουν τεθεί κάποιοι περιορισμοί και κάποιες παραδοχές οι οποίες υιοθετούνται για σκοπούς κυρίως συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων. (Παράγραφος 3.2.1)

Για σκοπούς ελέγχου της αξιοπιστίας της μεθόδου που προτείνεται (με τη χρήση της έννοιας της Εντροπίας), θα χρησιμοποιηθεί το παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε στη δημοσιευμένη μελέτη του Harris (1990) και που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 0.4. Επίσης χρησιμοποιείται ο ίδιος αριθμός πόρων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη του Harris (Πίνακας 3.1).

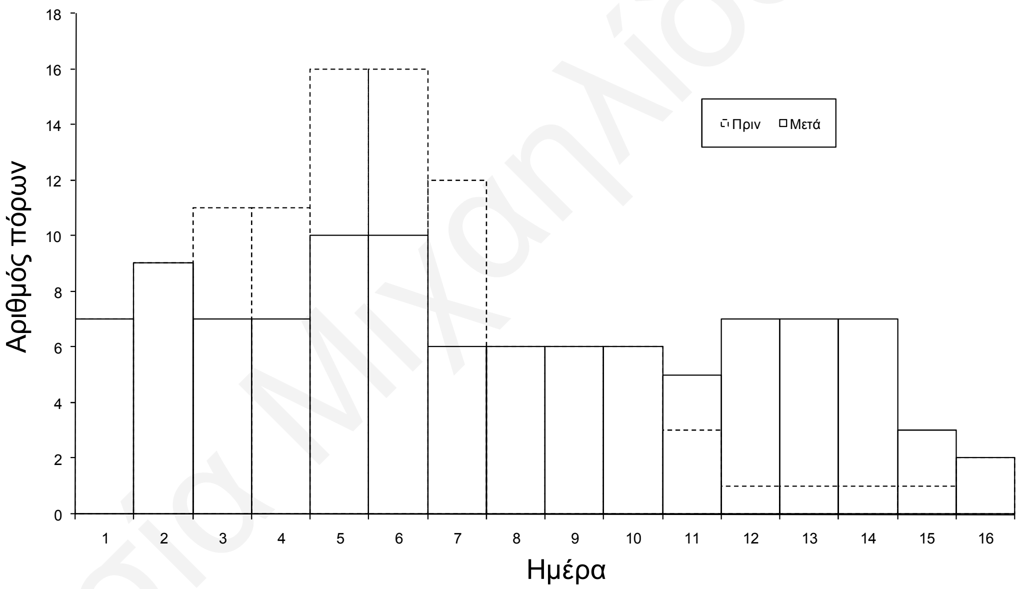


Διάγραμμα 0.4 Δικτύωμα από τη δημοσίευση Harris (1990)

Πίνακας 0.1 Πόροι ανά δραστηριότητα Harris (1990)

Δραστηριότητα	Πόροι
A	2
B	1
C	4
D	4
E	2
F	4
G	6
H	0
J	2
K	1
L	2

Η επίλυση στην οποία κατέληξε ο Harris (1990) δίνεται στο Διάγραμμα 3.5.



Διάγραμμα 0.5 Κατανομή πόρων, αποτελέσματα Harris (1990)

Εφαρμόζοντας τη λογική της λύσης με τη μέθοδο της Εντροπίας ακολουθείται η προσέγγιση με τα εξής βήματα:

- Προσομοίωση του προβλήματος
- Ανάπτυξη μηχανισμού παραγωγής πιθανών λύσεων (μέθοδος εξαντλητικής έρευνας)
- Προσομοίωση των περιορισμών που τέθηκαν στη μελέτη του Harris (1990).

- Υπολογισμός των πόρων ανά ημέρα και των πιθανοτήτων
- Αποτελέσματα επίλυσης

1.12.1 Προσομοίωση του προβλήματος

Το πρώτο βήμα είναι η προσομοίωση του προβλήματος της ισοκατανομής των πόρων ως πρόβλημα πιθανοτήτων. Ορίζουμε ως γεγονότα, τον αριθμό των πόρων ανά ημέρα $\{R_1, R_2, R_3, \ldots R_v\}$, με R_i τους πόρους που τυχαία κατανέμονται σε κάθε ημέρα i.

Ισχύει τότε

$$\sum_{i=1}^{\nu} R_i = R_T. \tag{3.5}$$

όπου R_T ο συνολικός αριθμός των αναγκαίων πόρων (που στην προκειμένη περίπτωση δίνονται από το συγκεκριμένο παράδειγμα στη δημοσιευμένη μελέτη του Harris (1990) και ν ο συνολικός αριθμός των ημερών εκτέλεσης του έργου, δηλαδή η συνολική διάρκειά του.

Επίσης ορίζουμε ως r_{ij}, τον αριθμό των πόρων της δραστηριότητας j που απαιτούνται, με βάση το χρονοδιάγραμμα του έργου κατά την ημέρα (i) και R_i τον συνολικό αριθμό των πόρων κατά την ημέρα (i),

Ισχύει τότε ότι:

$$R_i = \sum_{j=1}^{k} r_{ij} \tag{3.6}$$

Και επομένως

$$R_T = \sum_{i=1}^{\nu} R_i = \sum_{i=1}^{\nu} \sum_{j}^{k} r_{ij}. \tag{3.7}$$

Όπου k, ο συνολικός αριθμός των δραστηριοτήτων του έργου, ν ο αριθμός ημερών διάρκειας του έργου. Είναι φανερό ότι για κάποιες δραστηριότητες το r_{ij} θα ισούται με μηδέν (όταν αυτές δεν εκτελούνται την ημέρα i)

Ορίζουμε επίσης ως πιθανότητα του γεγονότος i, τον αριθμό των πόρων που ανατίθεται στο έργο ανά ημέρα (R_i) ως προς τον συνολικό αριθμό πόρων που χρειάζεται το έργο για να ολοκληρωθεί R_T ως:

$$p_i = \frac{R_i}{R_T} \tag{3.8}$$

Από τον ορισμό αυτό παρατηρείται ότι ικανοποιούνται οι βασικές προϋποθέσεις για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία στον προγραμματισμό, δηλαδή $\Sigma p_i=1$.

Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την Εντροπία που ισούται με:

$$H_T = \sum_{i=1}^{\nu=16} H_i = -\sum_{i=1}^{\nu=16} p_i \ln p_i \tag{3.9}$$

Στη συνέχεια αναπτύσσουμε την επίλυση μας ώστε να καταλήξουμε σε υπολογισμούς των μεταβλητών $\{R_1, R_2, R_3, \ldots R_\nu\}$και $\{p_1, p_2, p_3, \ldots p_\nu\}$ και με στόχευση την μεγιστοποίηση της Εντροπίας.

1.12.2 Ανάπτυξη μηχανισμού παραγωγής πιθανών λύσεων (μέθοδος εξαντλητικής έρευνας)

Η μέθοδος παραγωγής πιθανών λύσεων που επιλέγεται είναι τύπου εξαντλητικής έρευνας. Στόχος είναι το πρόβλημα της Εντροπίας να επιλυθεί με προσομοιωτή Crystal Ball, ο οποίος θα παράγει και θα δοκιμάζει κάθε φορά τις τυχαίες κατανομές των πόρων ανά ημέρα και θα δίνει ως αποτέλεσμα την Εντροπία του συστήματος, με στόχο της επιλογή της λύσης με τη μέγιστη δυνατή Εντροπία. Τα βήματα για παραγωγή πολλαπλών λύσεων φαίνονται πιο κάτω:

Ετοιμάζεται ένα φύλλο εργασίας Excel στο οποίο γίνεται μαθηματική απεικόνιση του δικτυώματος (Διάγραμμα 3.4). Το φύλλο εργασίας Excel έχει τις ακόλουθες στήλες:

- # (αρίθμηση δραστηριότητας)

- Δραστηριότητα (όνομα)
- Διάρκεια (από το δικτύωμα).
- Start, εξηγείται στη συνέχεια
- Finish, εξηγείται στη συνέχεια.
- Basic ES (Basic Early Start). Βασικός ενωρίτερος χρόνος έναρξης. Υπολογίζεται από τον προς τα εμπρός υπολογισμό. Κάθε επόμενη δραστηριότητα στην προς τα εμπρός επίλυση (που δίνει τον νωρίτερο χρόνο έναρξης - forward calculation) είναι η μέγιστη των ενωρίτερων λήξεων των δραστηριοτήτων που προηγούνται.
- Basic EF (Basic Early Finish). Βασικός ενωρίτερος χρόνος λήξης. Υπολογίζεται από το (Basic ES+ διάρκεια)
- Basic LS (Basic Late Start). Βασικός βραδύτερος χρόνος έναρξης. Υπολογίζεται από το (Basic LF - διάρκεια). Κάθε προηγούμενη δραστηριότητα στην προς τα πίσω επίλυση (που δίνει τον αργότερο χρόνο λήξης - backward calculation) είναι η ελάχιστη των αργότερων ενάρξεων των δραστηριοτήτων που ακολουθούν.
- Basic LF (Basic Late Finish). Βασικός βραδύτερος χρόνος λήξης.
- TF(Total float), Συνολικό Περιθώριο. Εντοπίζονται οι δραστηριότητες με total float = 0, δηλαδή αυτές που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή και που έχουν LF-EF=0.
- Αριθμός πόρων ανά δραστηριότητα, όπως αυτοί φαίνονται στο Πίνακα 3.1.

Οι υπολογισμοί αυτοί φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 0.2 Φύλλο Excel με τους υπολογισμούς του Δικτυώματος Harris (1990)

#	Δραστηριότητα	Διάρκεια	Start	Finish	(Basic) ES	(Basic) EF	(Basic) LS	(Basic) LF	TF	Αριθμός πόρων ανά δραστηριό-τητα
1	A	2	0	2	0	2	6	8	6	2
2	B	4	0	4	0	4	0	4	0	1
3	C	1	0	1	0	1	3	4	3	4
4	D	4	0	4	2	6	10	14	8	4
5	E	3	0	3	4	7	8	11	4	2
6	F	6	4	10	4	10	4	10	0	4

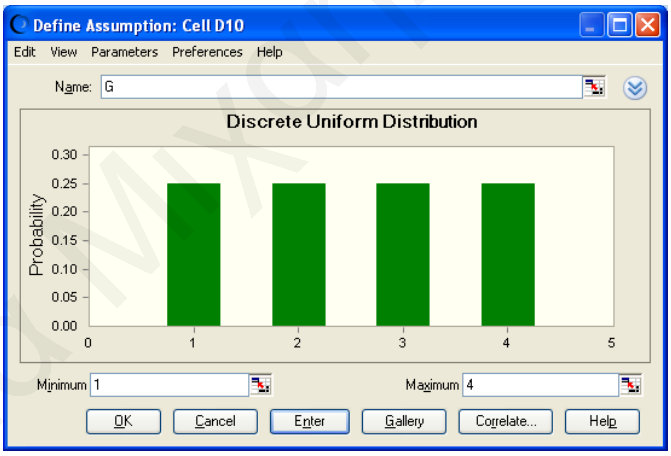
1.12.3 Προσομοίωση των περιορισμών του Harris (1990)

Στο βήμα αυτό γίνεται προσομοίωση των περιορισμών που τέθηκαν στη μελέτη του Harris (1990). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του προσομοιωτή «*Crystal Ball*». Οι στήλες Start και Finish συμπληρώνονται ως ακολούθως: Ορίζεται ένα νέο μέγεθος για κάθε εργασία που ονομάζεται Έναρξη (Start) όπως φαίνεται πιο κάτω:

α) Αν το συνολικό περιθώριο (total float) της δραστηριότητας ισούται με 0, τότε η έναρξη Start ισούται με την βασική ενωρίτερη έναρξη (που ισούται με την βασική βραδύτερη έναρξη). Π.χ η έναρξη της δραστηριότητας B γίνεται την ημέρα 0.

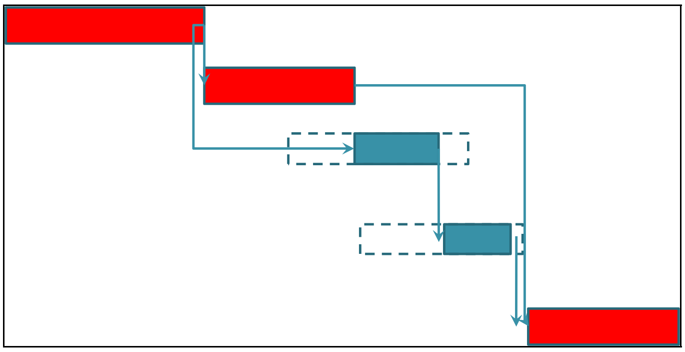
β) Αν το συνολικό περιθώριο είναι διάφορο του μηδενός, τότε ως start ορίζεται μία διακριτή μεταβλητή (discrete variable) από τη βιβλιοθήκη μεταβλητών του Crystal Ball με τιμές που κινούνται από την ενωρίτερη βασική μέχρι την βραδύτερη βασική έναρξη. Π.χ. η έναρξη της δραστηριότητας G μπορεί να γίνει από την ημέρα 1 έως την ημέρα 4, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.6.

Η λήξη (finish) ισούται τότε με την έναρξη (Start) με προσθήκη της διάρκειας.



Διάγραμμα 0.6 Μεταβλητή που απεικονίζει την έναρξη της δραστηριότητας G

Με τον πιο πάνω τρόπο ουσιαστικά ορίζουμε ότι οι δραστηριότητες που έχουν περιθώριο μετακίνησης της έναρξης τους (TF διάφορο του μηδενός) μπορούν να μετακινηθούν μόνο μέσα στο διάστημα αυτού του περιθωρίου (Διάγραμμα 3.7), χωρίς να αλλάξει η διάρκεια τους και χωρίς να αλλάξει η διάρκεια του έργου. Αυτή η προσέγγιση είναι πανομοιότυπη με την προσέγγιση του Harris (1990).



Διάγραμμα 0.7 Διαγραμματική μετακίνηση δραστηριοτήτων που έχουν περιθώριο για μετακίνηση.

Με αυτό τον τρόπο ικανοποιούνται οι παραδοχές του Harris (1990), αφού:

α) Οι δραστηριότητες είναι συνεχείς στο χρόνο. Όταν μία δραστηριότητα ξεκινήσει, θα συνεχιστεί μέχρι την ολοκλήρωσή της, αφού οι διάρκειες παραμένουν αναλλοίωτες.

β) Οι πόροι που ανατίθενται σε κάθε εργασία θεωρούνται σταθεροί για την εργασία καθ' όλη τη διάρκεια της (ίδιοι δηλαδή πόροι ανά ημέρα, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας).

γ) Η διάρκεια μίας δραστηριότητας θεωρείται σταθερή.

δ) Η λογική του χρονοπρογραμματισμού είναι σταθερή. Διατηρήθηκε στο ES, EF, LS, LF η λογική του βασικού Δικτυώματος και το Start κινείται μόνο μέσα στο TF, επομένως δεν αλλοιώνεται η λογική ούτε η κρίσιμη διαδρομή του Δικτυώματος.

ε) Η συνολική διάρκεια του έργου θεωρείται σταθερή, αφού επιτρέπουμε διαφοροποίηση της έναρξης μίας δραστηριότητας μόνο μέσα στο Total Float.

1.12.4 Υπολογισμός των πόρων ανά ημέρα και των πιθανοτήτων

Γίνεται ο υπολογισμός των πόρων ανά ημέρα $\{R_1, R_2, R_3, \ldots .R_v\}$ και των αντίστοιχων πιθανοτήτων $p_1, p_2, p_3, \ldots .p_v$.

Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής: Έστω R_i ο αριθμός πόρων που απαιτούνται ανά ημέρα. Αυτός ο αριθμός ισούται, με βάση την εξίσωση 3.6, με το άθροισμα των r_{ij} όπου r_{ij} οι ημερήσιοι πόροι όλων των δραστηριοτήτων j που τυγχάνει να είναι ενεργοποιημένες, να συν (τρέχουν) δηλαδή την ημέρα i

Μία δραστηριότητα (συν)τρέχει μία συγκεκριμένη ημέρα (i) του έργου αν η έναρξη της πραγματοποιείται πριν ή την ημέρα ενδιαφέροντος (i) και η λήξη της συμβαίνει μετά ή κατά την ημέρα ενδιαφέροντος (i).

Για τον υπολογισμό των πόρων στο φύλλο Excel ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα. Γίνεται ένας πίνακας σε συνέχεια του πρώτου (Πίνακας 3.2) με στήλες τις ημέρες του έργου, από την ημέρα 1 μέχρι την τελική. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου παραδείγματος αυτός ο αριθμός ισούται με 16. Οι γραμμές του πίνακα είναι οι δραστηριότητες (j) με αποτέλεσμα να έχουμε ένα πίνακα (matrix), όπου σε κάθε κελί καθορίζεται ένα σενάριο (*if* statement) ως ακολούθως: αν η έναρξη start της εργασίας (j) είναι μικρότερη ή ίση με την ημέρα i (από το 1 έως το 16) και η λήξη (finish) μεγαλύτερη ή ίση με την ημέρα (δηλαδή αν η δραστηριότητα συν/τρέχει εκείνη την ημέρα) τότε στο κελί καταχωρείται ο αριθμός των πόρων της δραστηριότητας, αλλιώς καταχωρείται το 0. Με λίγα λόγια αν τρέχει η δραστηριότητα, τότε θα καταχωρούνται στην ημέρα οι αναγκαίοι ημερήσιοι πόροι, αλλιώς θα καταχωρείται το μηδέν. Το άθροισμα κάθε στήλης δίνει τους πόρους ανά ημέρα, δηλαδή το R_i και με βάση αυτό υπολογίζεται η ημερήσια Εντροπία, όπως αναπτύχθηκε στον τύπο 3.9.

Προσομοιώνεται το δικτύωμα και οι στοχαστικές παραδοχές στο πρόγραμμα Crystal Ball. Από τα αποτελέσματα επιλέγεται αυτό με τη μέγιστη Εντροπία του συστήματος, με βάση την θεωρία που αναπτύχθηκε στη αρχή του κεφαλαίου όπου αποδείχθηκε ότι η ισοκατανομή επιτυγχάνεται στην μέγιστη Εντροπία του συστήματος.

Πίνακας 0.3 Άποψη του πίνακα (matrix) που ετοιμάστηκε για υπολογισμό της Εντροπίας.

		Ημέρα 1η	Ημέρα 2η	Ημέρα 3η	.....
	0	1	2	3	4
Δραστηριό-τητα					
A	0			0	0
B	0			1	1
C	0			0	0
D	0	4	4	4	4
E	0	2	2	2	0
F	0	0	0	0	0
G	0	6	6	6	6
H	0	0	0	0	0
J	0	2	2	2	2
K	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0
	Ri	21	17	15	13
	pi	0,1926606	0,15596	0,13761	0,11927
	Hi	0,3172783	0,2898	0,27293	0,25361

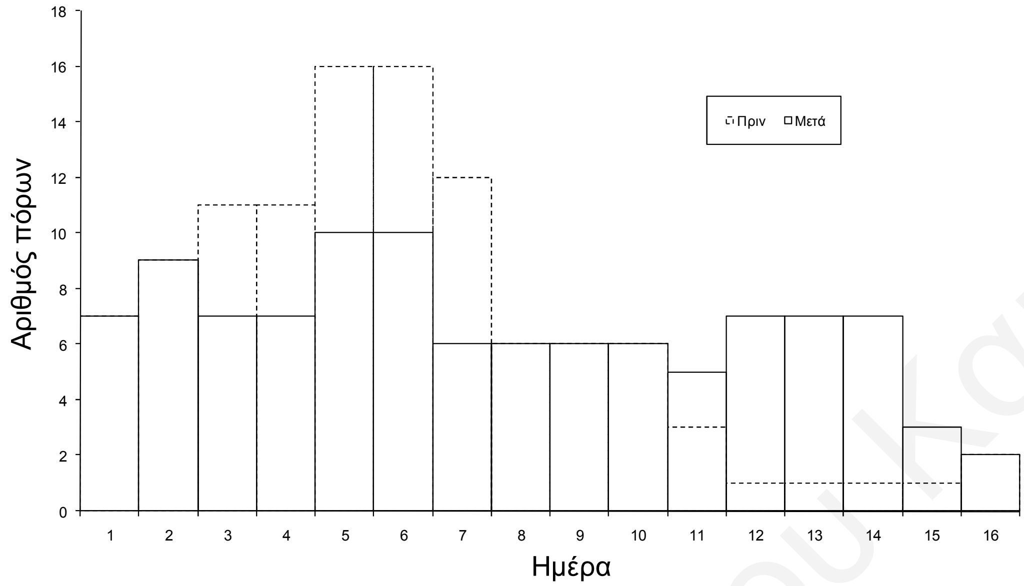
= IF(AND($D4< M$2; $E4>=M$2); $K4; 0)

1.12.5 Αποτελέσματα επίλυσης

Για τη μέγιστη Εντροπία, έχουμε την κατανομή πόρων ανά ημέρα που φαίνεται στο Διάγραμμα 3.8, η οποία είναι ακριβώς αυτή στην οποία κατέληξε ο Harris (1990). Η μέγιστη Εντροπία που επιτεύχθηκε για 100,000 προσομοιώσεις ισούται με 2.71 που είναι ελάχιστα μικρότερη από αυτή που θα είχαμε αν δεν είχαμε τους περιορισμούς του Δικτυώματος δηλαδή αν μπορούσαμε να κάνουμε πλήρη ισοκατανομή (όλοι οι απαιτούμενοι πόροι είναι 107, και αν θεωρητικά κατανεμηθούν στις 16 ημέρες ισόποσα, τότε η Εντροπία θα ισούται με 2.77).

Η κατανομή των πόρων αντιστοιχεί σε νέους χρόνους έναρξης και λήξης των εργασιών που είχαν περιθώριο μετακινήσεων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4. Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν με αυτά του Harris (1990).

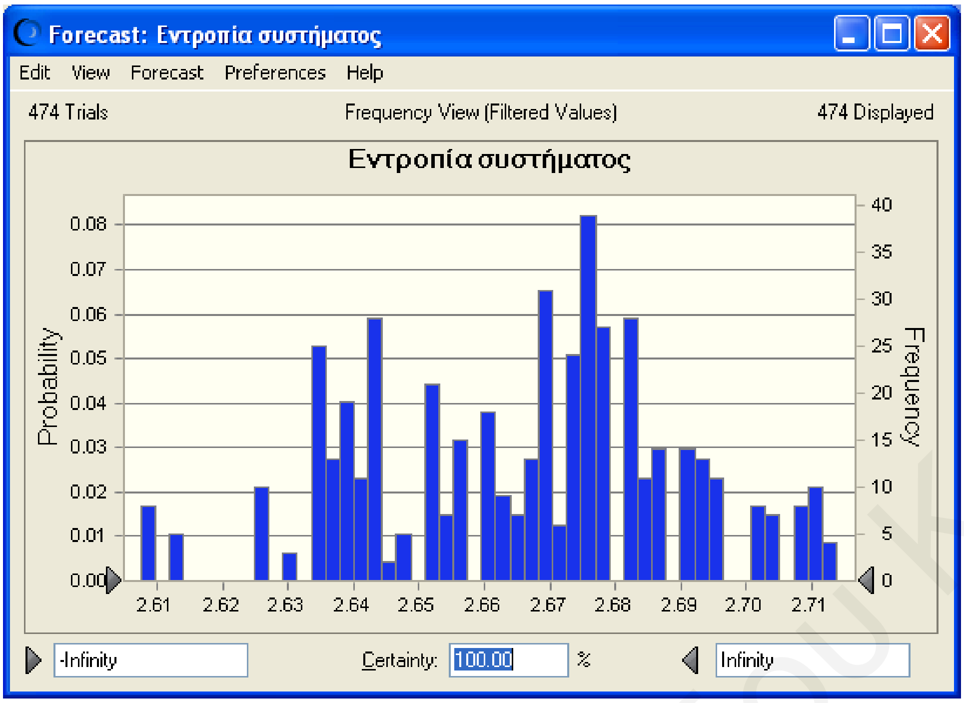
Παρατηρούμε ότι η Εντροπία του συστήματος παίρνει διάφορες τιμές που έχουν διακύμανση μεταξύ μίας ελάχιστης και μέγιστης τιμής, Διάγραμμα 3.9. Αξίζει να συγκριθεί η κατανομή των πόρων για τη μέγιστη και την ελάχιστη Εντροπία όπως δίνεται στον Διάγραμμα 3.10.



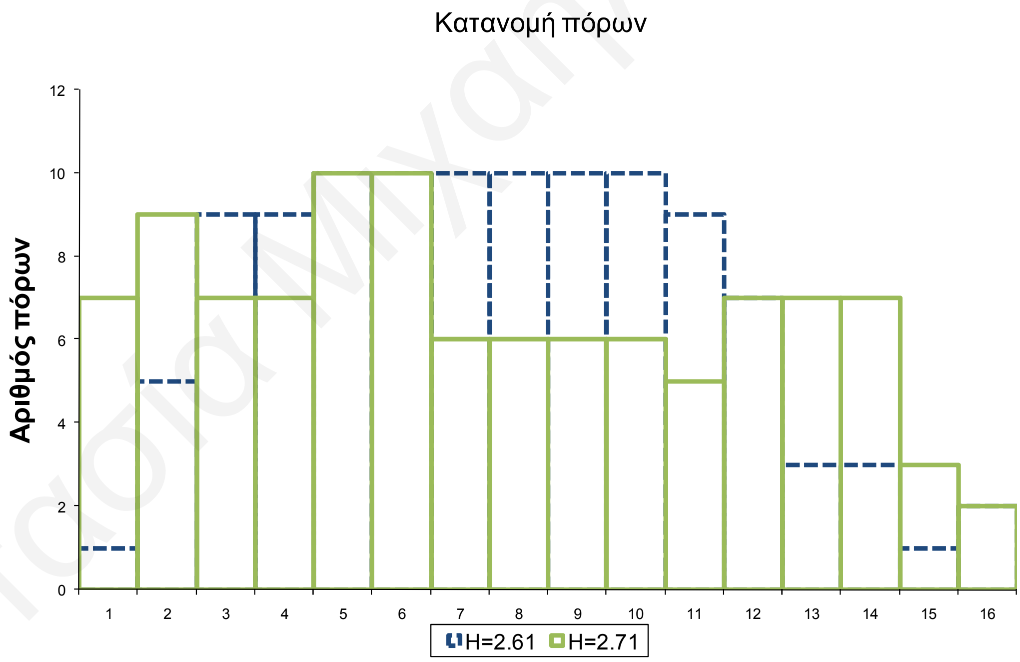
Διάγραμμα 0.8 Κατανομή πόρων πριν και μετά την επίλυση, με τη μέθοδο της Εντροπίας

Πίνακας 0.4 Νέοι χρόνοι έναρξης και λήξης δραστηριοτήτων ώστε να επιτευχθεί καλύτερη κατανομή πόρων (μέγιστη Εντροπία).

Δραστηριότητα	Διάρκεια	Early start	Early Finish	Actual Start	Actual Finish
A	2	0	2	0	2
B	4	0	4	0	4
C	1	0	1	0	1
D	4	2	6	10	14
E	3	4	7	7	10
F	6	4	10	4	10
G	6	1	7	1	7
H	1	7	8	12	13
J	4	7	11	11	15
K	5	10	15	10	15
L	1	15	16	15	16



Διάγραμμα 0.9 Ιστόγραμμα κατανομής Εντροπίας.
(Επιλέγουμε την μεγαλύτερη τιμή).

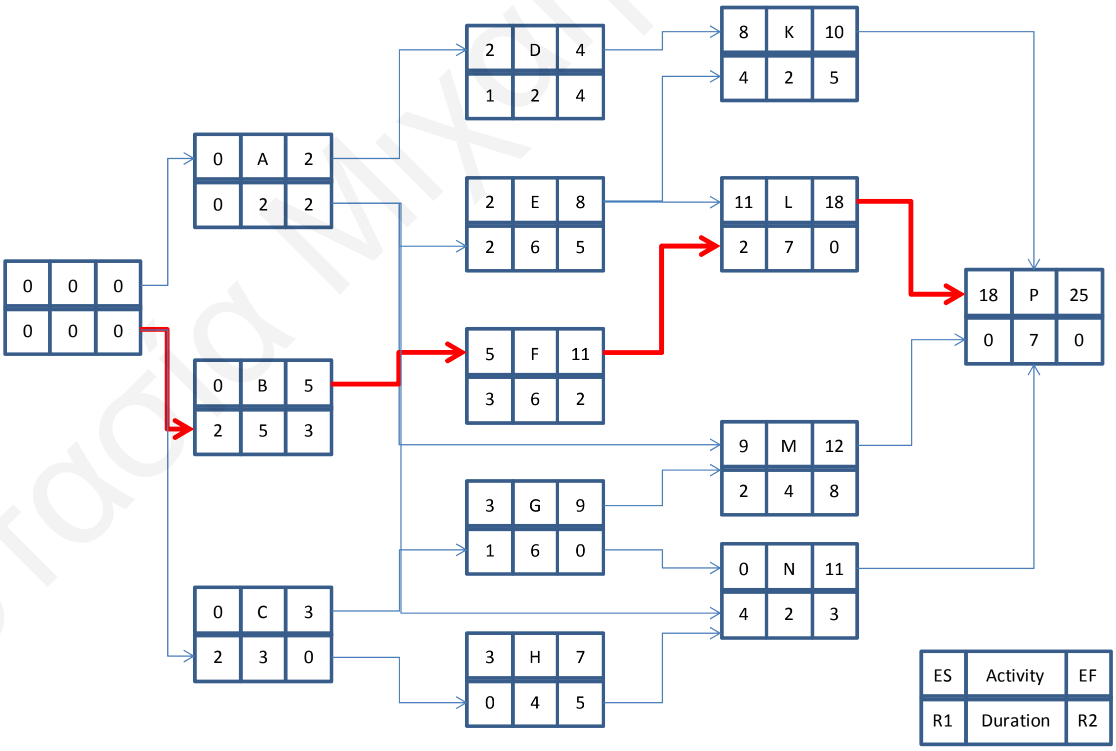


Διάγραμμα 0.10. Κατανομή πόρων.
Παρουσιάζεται η λύση για τιμή της Εντροπίας 2.71 (ή ποσοστό Εντροπίας 0.9788 και για τιμή της Εντροπίας 2.61)

1.13 Χρήση της έννοιας της Εντροπίας για το προγραμματισμό έργων με περισσότερες από μία κατηγορίες πόρων

Στην προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιήθηκε η Εντροπία για να κατανεμηθούν οι ανθρώπινοι πόροι ισόποσα με μετακίνηση των χρόνων έναρξης των δραστηριοτήτων. Στην ενότητα αυτή επιδιώκεται η ίδια προσέγγιση με δύο κατηγορίες προσωπικού/πόρου.

Επειδή παρόμοιο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε από το M. Hiyassat (2001) σε μέθοδο που ανέπτυξε και που αποτελεί επέκταση της μεθόδου του Harris (1990), στην ενότητα αυτή επιχειρείται να λυθεί το ίδιο πρόβλημα που επιλύθηκε με τη συγκεκριμένη μέθοδο για σκοπούς σύγκρισης. Το παράδειγμα φαίνεται στο Διάγραμμα 3.11 και οι αναγκαίοι πόροι στο πίνακα 3.5. Η επίλυση Hiyassat (2001) παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.12 όπου και συγκρίνεται με τη λύση που προτείνεται σε αυτή τη διατριβή. Οι παραδοχές για την επίλυση κατά Hiyassat (2001) είναι παρόμοιες με αυτές που τέθηκαν από το Harris (1990).



Διάγραμμα 0.11 Παράδειγμα χρονοπρογραμματισμού με περισσότερους από ένα πόρο (Από Hiyassat, 2001)

Πίνακας 0.5 Αναγκαίοι πόροι για κάθε εργασία (Hiyassat, 2001)

Αναγκαίοι πόροι για κάθε εργασία		
Εργασία	Πόρος 1	Πόρος 2
1	4	5
2	4	5
3	6	7
4	5	17
5	5	13
6	6	12
7	6	12
8	6	7
9	4	7
10	3	2
11	3	2
12	4	8
13	4	8
14	4	8
15	7	3
16	7	3
17	6	5
18	6	5

Στην προκείμενη περίπτωση υπάρχουν δύο κατηγορίες προσωπικού, και έτσι θα πρέπει κατά την επιλογή της λύσης να υπάρχει αξιολόγηση με βάση κάποια ιεράρχηση μεταξύ των πόρων. Η ιεράρχηση έχει την έννοια ερωτήματος που πρέπει να απαντηθεί ως προς το ποιος πόρος θεωρείται πιο σημαντικός και για τον οποίο πρέπει να καταβληθεί μεγαλύτερη προσπάθεια ισοκατανομής, σε σχέση με τον άλλο.

Η επίλυση με τη μέθοδο της Εντροπίας γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που έγινε για τον ένα πόρο και ακολουθούνται τα ίδια βήματα, δηλαδή:

- Καθορισμός τυχαίων γεγονότων και πιθανοτήτων
- Αποτελέσματα και συγκρίσεις με αποτελέσματα Hiyassat (2001).

1.13.1 Καθορισμός τυχαίων γεγονότων και πιθανοτήτων

Καθορίζεται τι θεωρείται ως τυχαίο γεγονός και πως υπολογίζεται η πιθανότητα αυτό να συμβεί.

i) Ως πιθανότητα του γεγονότος για κάθε κατηγορία πόρων θεωρείται ο αριθμός των πόρων που ανατίθεται στο έργο ανά ημέρα (R_i) ως προς τον συνολικό αριθμό πόρων (για τη συγκεκριμένη κατηγορία) που χρειάζεται το έργο για να ολοκληρωθεί (ΣR) (Εξισώσεις 3.10 και 3.11). Από τον ορισμό αυτό παρατηρείται ότι ικανοποιούνται οι βασικές προϋποθέσεις για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία στον προγραμματισμό, δηλαδή $\Sigma p_i=1$.

ii) Επιλύεται και πάλι το συγκεκριμένο πρόβλημα και υπολογίζονται οι βασικοί ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης. Υπολογίζεται επίσης το TF κάθε δραστηριότητας. Εντοπίζονται οι δραστηριότητες με TF = 0, δηλαδή αυτές που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή. Αυτές παραμένουν αναλλοίωτες στη συνέχεια.

iii) Ορίζεται ένα νέο μέγεθος που ονομάζεται Έναρξη (Start) ως ακολούθως:

- Αν το total float της δραστηριότητας ισούται με 0, τότε η έναρξη ισούται με την ενωρίτερη έναρξη (που ισούται με την βραδύτερη έναρξη).

- Αν το total float είναι διάφορο του μηδενός, τότε ως start ορίζεται μία διακριτή μεταβλητή (discrete variable) με τιμές από την ενωρίτερη μέχρι την αργότερη έναρξη.

ιv) Όπως και για την περίπτωση της μίας κατηγορίας προσωπικού, για κάθε ημέρα (ή μήνα) και ανάλογα με το που τοποθετείται η έναρξη και η λήξη κάθε εργασίας, υπολογίζεται ο αριθμός των πόρων από την πρώτη κατηγορία προσωπικού και ο αριθμός των πόρων από τη δεύτερη κατηγορία προσωπικού ανεξάρτητα. Για κάθε μέρα υπολογίζονται οι αναγκαίοι πόροι, μέχρι την τελευταία ημέρα, η οποία με βάση τις παραδοχές είναι σταθερή. Το άθροισμα των πόρων μίας ημέρας (ή μήνα) είναι ίσο με $Ri_{(1)}$ ή $Ri_{(2)}$, ανάλογα αν πρόκειται για τον πόρο κατηγορίας (1) ή (2). Στο παράδειγμα που επιλύεται ο συνολικός αριθμός ημερών, δηλαδή η συνολική διάρκεια είναι 25.

$$p_{i(1)} = \frac{R_{i(1)}}{R_{T(1)}} \qquad (3.10)$$

$$p_{i(2)} = \frac{R_{i(2)}}{R_{T(2)}} \tag{3.11}$$

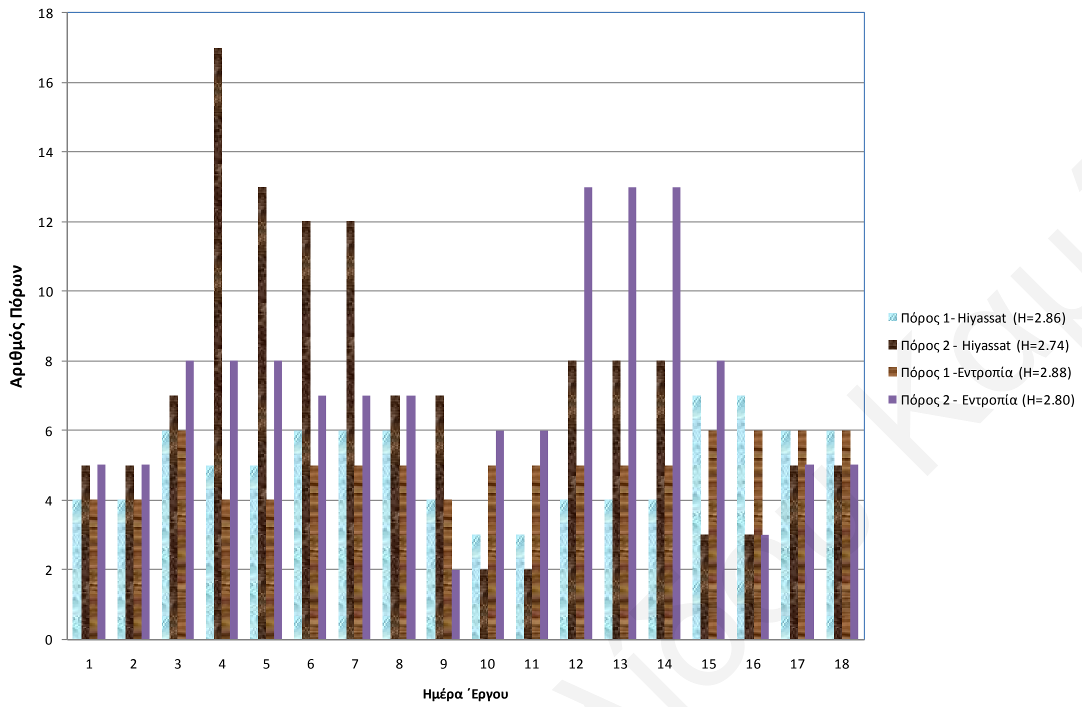
όπου $R_{T(1)}$ οι συνολικοί πόροι τύπου (1) και $R_{T(2)}$, οι συνολικοί πόροι τύπου (2), κατά την ημέρα (i).

Γίνονται προσομοιώσεις με το Crystal Ball, όπως πιο πάνω. Εφόσον υπάρχει ιεραρχία στους πόρους, επιδίωξη είναι πρώτα να πετύχουμε ισοκατανομή στον πρώτο πόρο και ύστερα στο δεύτερο. Επομένως επιλέγουμε πρώτα για τον πρώτο πόρο μεγιστοποίηση της Εντροπίας τους και στη συνέχεια για τη μέγιστη αυτή τιμή προσπαθούμε να πάρουμε τη ψηλότερη Εντροπία για το δεύτερο πόρο.

1.13.2 Αποτελέσματα και συγκρίσεις με αποτελέσματα Hiyassat

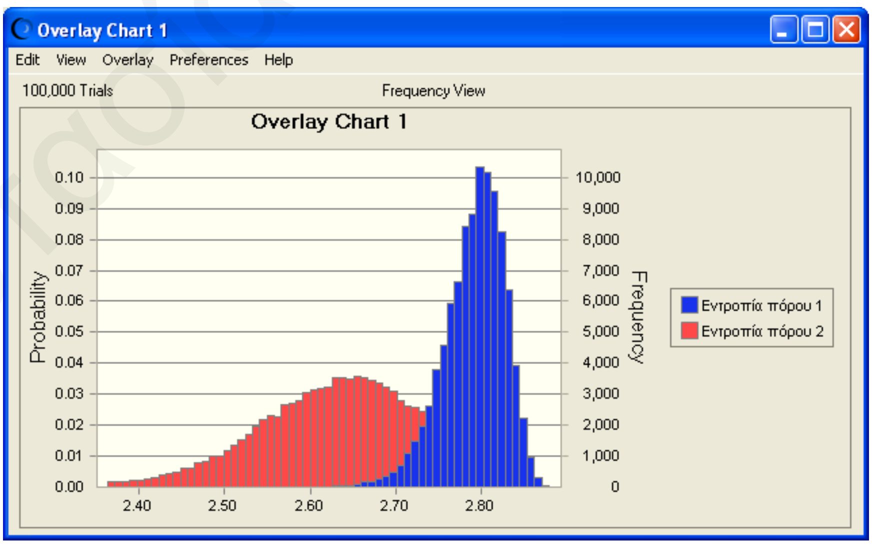
Όπως φαίνεται εποπτικά στο Διάγραμμα 0.12 η κατανομή των πόρων με τη μέθοδο της Εντροπίας συγκριτικά είναι καλύτερη από την κατανομή της μεθόδου Hiyassat (2001). Μάλιστα η σύγκριση γίνεται με τη μέθοδο «Ισοκατανομή πολλαπλών πόρων κατά σειρά - Leveling multible resources in series", που ο Hiyassat (2001) θεωρεί ως ακριβέστερη από την την εναλλακτική του μέθοδο που ονομάζεται «Ισοκατανομή πόρων ταυτόχρονα - Leveling combined resources". Εκτός από την οπτική διαπίστωση της καλύτερης κατανομής της μεθόδου της Εντροπίας, έγινε και μαθηματική επαλήθευση, με υπολογισμό των Εντροπιών των δύο μεθόδων αλλά και των ροπών. Δηλαδή υπολογίστηκαν οι Εντροπίες των αποτελεσμάτων Hiyassat (2001) και οι ροπές των αποτελεσμάτων της διατριβής αυτής (με εφαρμογή της μεθόδου Hiyassat). Οι υπολογισμοί δίνουν υπεροχή στην μέθοδο της Εντροπίας, η οποία πέραν από την αποτελεσματικότητά της είναι και απλή στην εφαρμογή.

- Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.15, ο πόρος (1) έχει μικρότερες διακυμάνσεις της Εντροπίας σε αντίθεση με τον πόρο (2). Αυτό δείχνει ότι ο πόρος (2) έχει πολύ περισσότερα περιθώρια βελτίωσης και επομένως η προσπάθεια ισο-κατανομής είναι πιο κρίσιμη για τον πόρο 2. Ενώ για σκοπούς σύγκρισης με την μέθοδο Hiyassat δόθηκε προτεραιότητα στον πόρο 1, από το πιο κάτω γράφημα, ο μελετητής μάλλον θα κατέληγε στο συμπέρασμα να δώσει προτεραιότητα στον πόρο 2.



Διάγραμμα 0.12 Συγκρίσεις κατανομής πόρων με τις δύο μεθόδους

- Στον Πίνακα 3.6, παρουσιάζονται οι τροποποιημένες ενάρξεις για τις δραστηριότητες σε δύο σενάρια, το πρώτο για μέγιστη Εντροπία του πόρου 1 και το δεύτερο για μέγιστη Εντροπία του πόρου 2. Ανάλογα με τον πόρο στον οποίο θέλουμε να δώσουμε προτεραιότητα μπορούμε να επιλέξουμε την 1η ή την 2η εναλλακτική..



Διάγραμμα 0.13 Εντροπίες των δύο κατηγοριών προσωπικού

Πίνακας 0.6 ΄Εναρξη εργασιών για ισο-κατανομή των πόρων.

Trial values	Εντροπία πόρου 1	Εντροπία πόρου 2	Εναρξη A	Έναρξη C	Έναρξη D	Έναρξη E	Έναρξη G	Έναρξη H	Έναρξη K	Έναρξη M	Έναρξη N
Βασική Επίλυση			0	0	2	2	3	3	8	9	9
44760	2,88	2,80	0,00	0,00	9,00	2,00	8,00	11,00	16,00	11,00	14,00
62282	2,85	2,87	0,00	1,00	8,00	2,00	4,00	11,00	10,00	15,00	13,00

1.14 Συμπεράσματα Κεφαλαίου 3

Στο Κεφάλαιο αυτό τεκμηριώθηκε, με την επίλυση ενός πραγματικού προβλήματος, η συσχέτιση της Εντροπίας με την ισοκατανομή και προτάθηκε η διαδικασία εφαρμογής της Εντροπίας για επίλυση προβλημάτων ισο-κατανομής των πόρων.

Όσον αφορά στο πρώτο, αυτό θεωρείται ως σημαντική συνεισφορά της διατριβής αυτής, αφού μέχρι σήμερα η Εντροπία είχε συσχετιστεί με την πληροφορία και την αβεβαιότητα ενώ σε κανένα επιστημονικό εγχειρίδιο από αυτά που μελετήθηκαν δεν είχε αναφερθεί η Εντροπία ως το μέτρο της ισοκατανομής. Αν ληφθεί μάλιστα υπόψη ότι η Εντροπία κατά Shannon (1948) που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση εδράζεται σε μαθηματικές αποδείξεις και δεν επιδέχεται αμφισβήτησης η ιδιότητα ότι: *«Στην απόλυτη ισο-πιθανοτική εμφάνιση γεγονότων η Εντροπία παίρνει τη μέγιστη τιμή»,* (Κεφάλαιο 2, Πρώτη ιδιότητα Εντροπίας), τότε με την ακολουθούμενη διαδικασία και αφού οι αρχές του Shannon υιοθετήθηκαν μέσω των προσομοιώσεων, οι ίδιες μαθηματικές αποδείξεις επεκτείνουν την ιδιότητα ως: *«Στην απόλυτη ισο-κατανομή, η Εντροπία γίνεται μέγιστη».*

Όσον αφορά στην επίλυση του πραγματικού προβλήματος ισο-κατανομής των πόρων, η μέθοδος που προτάθηκε προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους:

α) Η διαδικασία «τυχαίας κατανομής των πόρων» που προτάθηκε είναι απλή και μπορεί εύκολα να μηχανογραφηθεί. Επίσης, επειδή είναι γνωστό το σημείο της βέλτιστης λύσης (μέγιστη Εντροπία με πλήρη ισο-κατανομή), ο μελετητής μπορεί εύκολα να ελέγχει αν βρίσκεται κοντά ή μακριά από τη λύση. Στο Κεφάλαιο 9 προτείνεται γενικό λογικό διάγραμμα των βημάτων.

β) Είναι εύκολο να παραχθεί μεγάλος αριθμός πιθανών λύσεων μέσω του προγράμματος Crystal Ball. Η δυνατότητα αυτή βέβαια στηρίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στις δυνατότητες που προσφέρονται από τα σύγχρονα λογισμικά τύπου Crystal Ball, όπου εύκολα μπορεί να καταστρωθεί η προσομοίωση του προβλήματος και να παραχθεί τεράστιος αριθμός λύσεων που θα ελεγχθούν με μεγάλη ταχύτητα.

Σε συνδυασμό όλων των πιο πάνω το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που προσφέρει η μέθοδος αυτή είναι η αξιοπιστία της. Με εργαλείο ένα λογισμικό όπως το Crystal Ball (ή ένα κώδικα σε μια απλή γλώσσα όπως Visual Basic) που να μπορεί να παράγει εύκολα πολλές λύσεις, η μέθοδος της Εντροπίας προτείνει ένα δείκτη που καταλήγει σε ένα αριθμό, **«το μέγεθος της Εντροπίας»,** που προσφέρεται για αξιόπιστη και ακριβή αξιολόγηση των λύσεων.

Επομένως η μεγαλύτερη σημασίας της μεθόδου της Εντροπίας στα προβλήματα ισο-κατανομής είναι η πρόταση ενός δείκτη μέτρησης της επίτευξης ισο-κατανομής που εδράζεται σε μαθηματική απόδειξη και είναι πλήρως αξιόπιστος. Έτσι, όλες οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.2 αυτού του Κεφαλαίου, μπορούν να συνδυαστούν με την μέθοδο της Εντροπίας και να την χρησιμοποιήσουν για αποτίμηση της ακρίβειας των λύσεων στις οποίες καταλήγουν, με παρόμοιο τρόπο που έγινε για αποτίμηση των λύσεων Hiyassat (2001) στην ενότητα 3.5 αυτού του Κεφαλαίου.

Με αυτό το σκεπτικό μπορούν να αρθούν οι περιορισμοί της οποιασδήποτε μεθόδου παραγωγής πιθανών λύσεων. Π.χ. η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στο Κεφάλαιο αυτό, δηλαδή της εξαντλητικής διερεύνησης (exhaustive search), εμπεριέχει τον κίνδυνο να μην εντοπιστεί τελικά η βέλτιστη λύση, δηλαδή η λύση της μέγιστης δυνατής εντροπίας με βάση τους περιορισμούς του δικτυώματος. Για άρση αυτής της αδυναμίας, κυρίως για επίλυση μεγάλων δικτυωμάτων, μπορεί να γίνει συνδυασμός της μεθόδου που προτείνεται στο Κεφάλαιο αυτό άλλες όπως π.χ. με μέθοδο τύπου "διακλάδωσης και οριοθέτησης" (branch and bound), όπου κλάδοι που δεν θα πετυχαίνουν ένα ελάχιστο ποσοστό Εντροπίας θα αποκόπτονται και δεν θα αναζητείται σε αυτούς περαιτέρω προσέγγιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ, ΟΤΑΝ ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάστηκαν οι περιπτώσεις προγραμματισμού έργου με επιδίωξη την ισο-κατανομή των πόρων (leveling) λαμβάνοντας όμως υπόψη κάποιους περιορισμούς με κυριότερο ότι η διάρκεια των δραστηριοτήτων ήταν αναλλοίωτη και ότι ο αριθμός των απαιτούμενων πόρων ανά ημέρα (ή ανά τη μονάδα μέτρησης του έργου) για κάθε δραστηριότητα ήταν σταθερός. Η μόνη ευελιξία που είχε ο μελετητής του προγράμματος ήταν η μετακίνηση της έναρξης των δραστηριοτήτων μέσα στα περιθώρια που παρέχει το Total Float (TF).

Η ευκολία που παρέχει η επίλυση με τη χρήση της Εντροπίας δίνει τη δυνατότητα να καταστεί ο σχεδιασμός του προγράμματος ακόμα πιο ευέλικτος και να μπορεί ο σχεδιαστής του να διαφοροποιήσει τις αρχικές διάρκειες των δραστηριοτήτων αυξάνοντας ή μειώνοντας αυτές.

Η δυνατότητα αυξομείωσης της διάρκειας των δραστηριοτήτων και του αριθμού των χρησιμοποιούμενων πόρων ανά ημέρα για μία δραστηριότητα, διαφοροποιεί τις βασικές προϋποθέσεις που είχαν τεθεί από το Harris (1990) και αποτέλεσαν τις αρχές που ακολουθήθηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Συνοπτικά:

α) Οι δραστηριότητες και στο κεφάλαιο αυτό θεωρούνται συνεχείς στο χρόνο.

β) Οι πόροι που ανατίθενται σε κάθε εργασία θεωρούνται σταθεροί για την εργασία καθ' όλη τη διάρκεια της.

γ) Η διάρκεια μίας δραστηριότητας **δεν** θεωρείται σταθερή.

δ) Η λογική του χρονοπρογραμματισμού είναι σταθερή.

Είναι φανερό ότι οι διαφοροποιήσεις στους περιορισμούς που τέθηκαν από το Harris (1990) δίνουν ευελιξία στο σχεδιαστή του προγράμματος καθιστούν όμως ταυτόχρονα το πρόβλημα ως μη επιλύσιμο με τη μέθοδο της ελάχιστης ροπής. Επομένως η προοπτική επίλυσης του με τη μέθοδο της Εντροπίας προσδίδει στη συγκεκριμένη μέθοδο μεγάλη αξία για το πεδίο εφαρμογών που μπορεί να καλύψει.

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται επομένως με τη ακόλουθη επιδίωξη:

Με χρήση της Εντροπίας, να προγραμματιστεί η κατανομή των πόρων σε ένα έργο, δίχως να αλλάξει η αλληλουχία των δραστηριοτήτων όπως αυτή εντοπίζεται από την επίλυση του δικτυώματός του. Βασική επιδίωξη είναι η όσο το δυνατόν ισο-κατανομή των πόρων κατά τη διάρκεια του έργου, με ευελιξία στη διάρκεια των δραστηριοτήτω, και στη συνολική διάρκεια του έργου.

Σε συνέχεια της επίλυσης του παραδείγματος του Harris (1990) που σε αυτό το κεφάλαιο για σκοπούς απλότητας θα ονομάζουμε «επίλυση με βάση αρχές Harris», γίνεται στο Κεφάλαιο αυτό νέα επίλυση με δυνατότητα επέκτασης ή συρρίκνωσης της διάρκειας δραστηριοτήτων. Σε αυτή την επίλυση θεωρούμε ότι οι πόροι για εκτέλεση της δραστηριότητας μπορούν να διαφοροποιηθούν από τον αρχικό αριθμό (εξ ου και η δυνατότητα επέκτασης ή συρρίκνωσης της δραστηριότητας), αλλά ο αριθμός τους είναι σταθερός κατά την εκτέλεση της δραστηριότητας. Αρχικά θεωρούμε ότι υπάρχει μόνο μία κατηγορία πόρων.

Για σκοπούς σύγκρισης με το προηγούμενο Κεφάλαιο αλλά και με τη μέθοδο Harris (1990) θα επιλυθεί το ίδιο δικτύωμα (Διάγραμμα 3.6 και Πίνακας 3.1), όπως και στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Η λογική της επίλυσης, ακολουθεί ίδια βήματα όπως και στο Κεφάλαιο 3, δηλαδή:

- Προσομοίωση του προβλήματος
- Ανάπτυξη μηχανισμού παραγωγής λύσεων.
- Υπολογισμός του αριθμού των πόρων ανά ημέρα και των πιθανοτήτων

1.15 Προσομοίωση του προβλήματος

Γίνεται προσομοίωση του προβλήματος ως να ήταν πρόβλημα πιθανοτήτων με τον ίδιο τρόπο που αναπτύχθηκε στην ενότητα 3.4 του Κεφαλαίου 3.

Η μόνη διαφορά σε αυτή την περίπτωση είναι ότι έχουμε τη δυνατότητα διαφοροποίησης της ολικής διάρκειας του έργου. Λόγω της δεύτερης ιδιότητας (Κεφάλαιο 2) βάσει της οποίας η Εντροπία είναι εκτατικό μέγεθος (δηλαδή εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος), η απαίτηση για μεγιστοποίηση της απόλυτης τιμής δεν μας αρκεί γιατί μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη Εντροπία απλώς και μόνο επειδή μεγαλώνουμε τον αριθμό των ημερών ολοκλήρωσης του έργου. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μία τροποποιημένη συνάρτηση της Εντροπίας, η οποία δεν θα έχει τον πιο πάνω περιορισμό, ώστε να υπάρχουν αξιόπιστες λύσεις.

Ο λόγος που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο το μέγεθος της Εντροπίας με βάση την εξίσωση 2.1 επεξηγείται με το ακόλουθο παράδειγμα:

Έστω μία ισοκατανομή των πόρων σε έργο διάρκειας 15 ημερών. Με βάση τον τύπο 2.1:

$H_{15} = 15*(1/15)\ln(15) = 2.71$ (μέγιστη Εντροπία για διάρκεια έργου 15 ημέρες)

Έστω τώρα μία ισοκατανομή των πόρων σε έργο διάρκειας 16 ημερών. Χρησιμοποιώντας και πάλι την εξίσωση 2.1 ισχύει:

$H_{16} = 16*(1/16)\ln(16) = 2.77$ (Εντροπία για διάρκεια έργου 16 ημέρες).

Η μέγιστη Εντροπία για κάθε περίπτωση ισούται με:

$$H_{T\,Max} = -\sum_{i=1}^{\nu} \frac{1}{\nu} \ln(1/\nu) \quad (4.1)$$

Επομένως σε αυτή την επίλυση, και επειδή υπάρχει η δυνατότητα διαφοροποίησης της ολικής διάρκειας του έργου η στόχευση διαφοροποιείται ως ακολούθως:

Να επιλεγεί εκείνη η κατανομή των πόρων με την οποία θα επιτυγχάνεται το μεγαλύτερο ποσοστό της Εντροπίας ως προς τη μέγιστη Εντροπία που μπορεί να επιτευχθεί για τη συγκεκριμένη ολική διάρκεια του έργου.

Δηλαδή: $$\max \frac{\sum_{i=1}^{\nu} p_i \ln p_i}{\ln(\frac{1}{\nu})} \quad (4.2)$$

όπου ν η εκάστοτε διάρκεια του έργου.

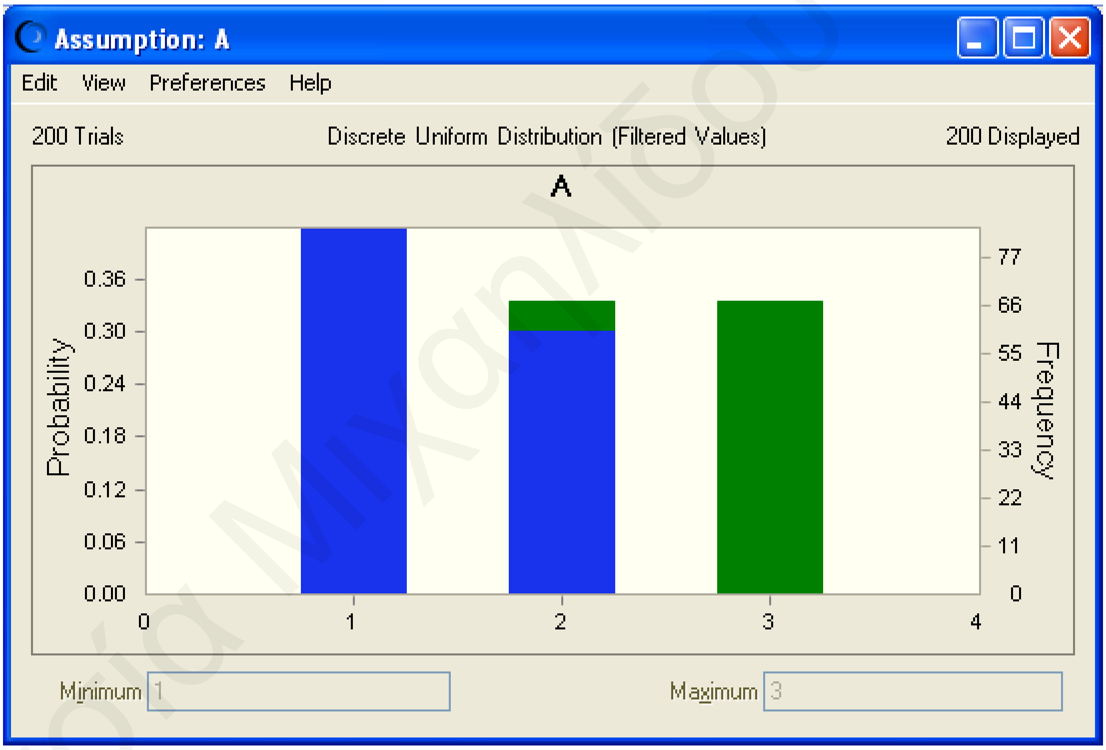
Με άλλα λόγια αν η διάρκεια του έργου είναι 15 ημέρες η στόχευση θα είναι να επιλέξουμε την κατανομή των πόρων που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό Εντροπίας ως προς το 2.71. Αν η διάρκεια του έργου είναι 16 ημέρες, τότε η στόχευση θα είναι να επιλέξουμε την κατανομή των πόρων που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό Εντροπίας ως προς το 2.77, κ.τ.λ.

Μια άλλη διαφοροποίηση ως προς την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 3, όπου ακολουθήθηκαν κατά γράμμα οι περιορισμοί του Harris (1990), είναι ότι παρέχεται η δυνατότητα διαφοροποίησης στις διάρκειες των δραστηριοτήτων μεταβάλλει τους ενωρίτερους χρόνους έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων και την κρίσιμη διαδρομή.

Έτσι, λόγω της χρήσης μεταβλητών διαρκειών, τα δεδομένα που φαίνονται στο βασικό δικτύωμα (Διάγραμμα 3.4) θα διαφοροποιούνται. Θα έχουμε διαφοροποιήσεις τόσο στην κρίσιμη διαδρομή όσο και στην ολική διάρκεια του έργου.

Ετοιμάζεται κατά τα γνωστά ένα φύλλο εργασίας Excel στο οποίο γίνεται μαθηματική απεικόνιση του Δικτυώματος. Σε αυτό το φύλλο υπάρχουν κάποιες διαφορές, συγκριτικά με το αντίστοιχο του Κεφαλαίου 3. Οι διαφορές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

α) Μία στήλη του φύλλου εργασίας αποτελεί τη διάρκεια η οποία θεωρείται μεταβλητή ποσότητα (με διακριτή και ομοιόμορφη κατανομή). Στο παράδειγμα που επιλύουμε οι τιμές που επιτρέπεται να πάρουν αυτές οι μεταβλητές είναι από μία μέχρι 2 ημέρες επιπλέον από την κανονική διάρκεια. Ο λόγος είναι για να μην διαφοροποιηθεί έντονα το αρχικό δικτύωμα, αν και βεβαίως κατά τη κρίση του Μηχανικού, αυτό μπορεί να αλλάξει. (Παράδειγμα διάρκειας στο Διάγραμμα 0.1)



Διάγραμμα 0.1 Κατανομή διάρκειας δραστηριότητας Α

(Στο παράδειγμα η δραστηριότητα μπορεί να έχει ως διάρκεια τη μονάδα, δύο ή τρεις ημέρες και αυτό αποτυπώνεται στη διακριτή κατανομή).

β) Σε επόμενες στήλες γίνεται μαθηματική απεικόνιση του Δικτυώματος κατά τα γνωστά και υπολογίζονται τα διάφορα μεγέθη του (όπως στο Κεφάλαιο 3), δηλαδή οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης. Επίσης εφαρμόζεται φόρμουλα για υπολογισμό των τροποποιημένων πόρων ως αναλογικό αποτέλεσμα του βασικού αριθμού των πόρων και της σχέσης της μεταβλητής με την αρχική διάρκεια.

Γίνεται ο υπολογισμός των πόρων ανά ημέρα $\{R_1, R_2, R_3, \ldots R_\nu\}$ και των αντίστοιχων $p_1, p_2, p_3, \ldots p_\nu$. Ο υπολογισμός γίνεται όπως και στο Κεφάλαιο 3, δηλαδή:

Έστω R_i ο αριθμός πόρων που απαιτούνται ανά ημέρα. Αυτός ο αριθμός ισούται με:

$$R_i = \sum_{i=1}^{\nu} r_{ij} \tag{4.3}$$

όπου ν ο αριθμός των ημερών του έργου και r_{ij} οι πόροι της ημέρα i ανά δραστηριότητα j

Ορίζεται και πάλι ως R_T, ο συνολικός αριθμός των πόρων που χρειάζονται για να ολοκληρωθεί το έργο, δηλαδή:

$$R_T = \sum_{i=1}^{\nu} Ri \tag{4.4}$$

Γίνεται και εδώ πίνακας στο φύλλο Excel όπου οι στήλες είναι οι μέρες του έργου. Επειδή η συνολική διάρκεια του έργου στην περίπτωση αυτή μεταβάλλεται, βάζουμε αρκετές στήλες για να καλύψουμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις. Οι γραμμές του πίνακα είναι οι δραστηριότητες (j) με αποτέλεσμα να έχουμε και πάλι ένα πίνακα (matrix) όπου σε κάθε κελί καθορίζεται ένα σενάριο (if statement) ως ακολούθως: αν η έναρξη (start) της εργασίας (j) είναι μικρότερη ή ίση με την ημέρα I (από το 1 έως το ν) και η λήξη (finish) μεγαλύτερη ή ίση με την ημέρα (δηλαδή αν η δραστηριότητα τρέχει εκείνη την ημέρα) τότε στο κελί καταχωρείται ο αριθμός των (μεταβλητών) πόρων της δραστηριότητας, αλλιώς καταχωρείται 0.

Γίνεται αριθμητική προσομοίωση στο πρόγραμμα Crystall Ball. Από τα αποτελέσματα επιλέγεται αυτό με το μέγιστο ποσοστό Εντροπίας (σε σχέση με τη μέγιστη Εντροπία για την διάρκεια του έργου).

1.16 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα δίνουν διάρκειες έργων που διαφέρουν από τη βασική διάρκεια που είχαμε αρχικά. Για το εύρος των μεταβλητών που είχαμε στο συγκεκριμένο παράδειγμα η διάρκεια του έργου διακυμάνθηκε μεταξύ 12 ημέρες και 23, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2.

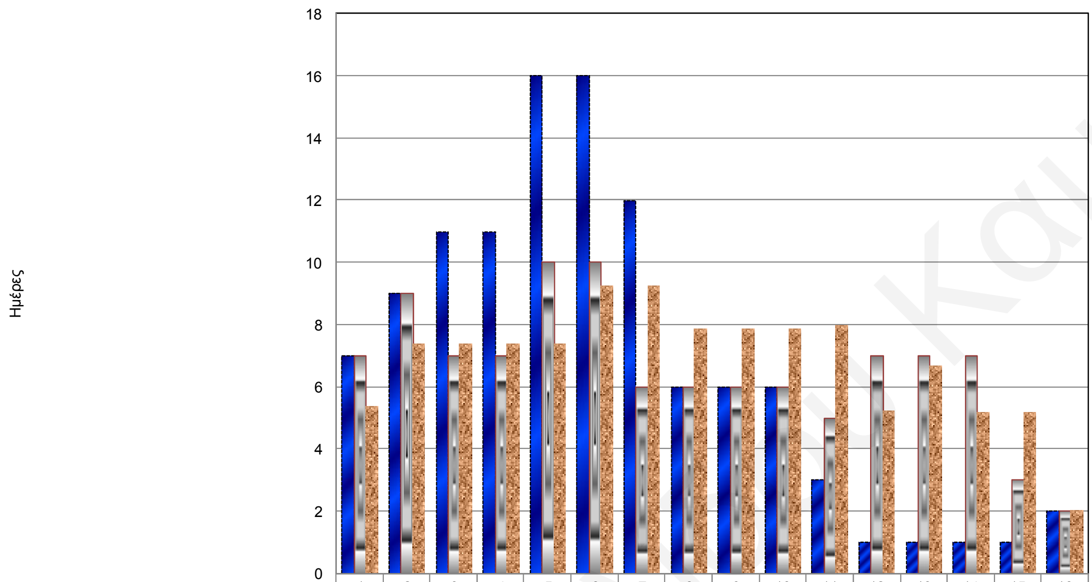
Για να βρούμε μία καλύτερη λύση για τη διάρκεια των 16 ημερών, ώστε να συγκρίνουμε με τις μεθόδους του 3^{ου} Κεφαλαίου, επιλέγουμε τη λύση των 16 ημερών που το ποσοστό της Εντροπίας ως προς τη μέγιστη Εντροπία είναι το μεγαλύτερο.

Διάγραμμα 0.2 Διακύμανση ολικής διάρκειας έργου (Διάρκεια έργου για τις διάφορες επιλύσεις).

Υπενθυμίζεται ότι για τις 16 ημέρες η μέγιστη δυνατή Εντροπία δίνεται από την εξίσωση 4.1 για ν = 16. Αριθμητικά η μέγιστη Εντροπία για 16 ημέρες είναι 2.77.

Το καλύτερο ποσοστό που πετυχαίνεται από τις προσομοιώσεις είναι 98.56%, δηλαδή η τιμή της Εντροπίας είναι 2.73. Αυτή η λύση είναι καλύτερη από αυτή που επιτεύχθηκε στο Κεφάλαιο 3, δηλαδή με όλους τους περιορισμούς του Harris. Στη περίπτωση εκείνη η τιμή της Εντροπίας ήταν 2.71.

Η κατανομή των πόρων που επιτεύχθηκε, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3 είναι πολύ καλύτερη. Τα δεκαδικά δεν εννοούν βεβαίως ότι θα χρησιμοποιείται μέρος του πόρου. Ο αριθμός 5.37 πόροι σε μία ημέρα σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι πόροι για ολόκληρη την ημέρα.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Πριν οποιαδήποτε επίλυση	7	9	11	11	16	16	12	6	6	6	3	1	1	1	1	2
Μετά (Επίλυση με προσέγγιση Κεφαλαίου 3)	7	9	7	7	10	10	6	6	6	6	5	7	7	7	3	2
Μετά (Επίλυση με προσέγγιση Κεφαλαίου 4)	5,37	7,37	7,37	7,37	7,37	9,24	9,24	7,87	7,87	7,87	7,97	5,2	6,67	5,17	5,17	2

Διάγραμμα 0.3 Κατανομή πόρων πριν και μετά την επίλυση

1.17 Συμπεράσματα Κεφαλαίου 4

Η μέθοδος της Εντροπίας εύκολα μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς τους περιορισμούς που τέθηκαν από τον Harris (1990) δηλαδή χωρίς σταθερή διάρκεια του έργου και σταθερή διάρκεια των δραστηριοτήτων. Ο σχεδιαστής του χρονοπρογραμματισμού αποκτά ακόμα περισσότερη δυνατότητα ισο-κατανομής των πόρων και το διάγραμμα των πόρων ορθογωνίζεται ακόμα περισσότερο. Η προϋπόθεση είναι ότι η σύγκριση για την αναζήτηση της μέγιστης εντροπίας πρέπει να γίνεται με εφαρμογή των εξισώσεων 4.1 και 4.2, αφού η Εντροπία είναι εκτατικό μέγεθος και η τιμή της αυξάνει όχι μόνο όταν επιτυγχάνεται καλύτερη ισο-κατανομή αλλά και αύξηση του χρόνου εκτέλεσης του έργου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ/ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

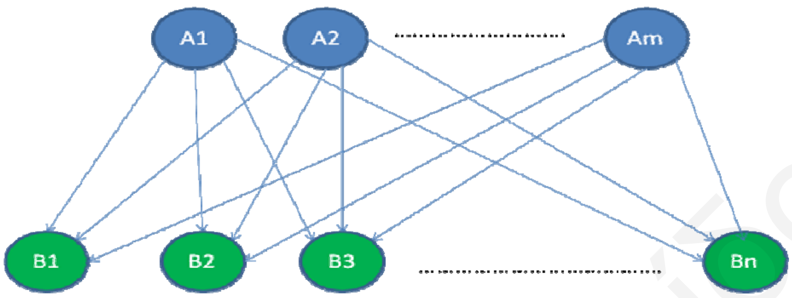
Εισαγωγή - Τα προβλήματα μεγιστοποίησης ελαχιστοποίησης

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάστηκαν προβλήματα που έχουν σχέση με προσπάθεια ισοκατανομής (leveling). Η επιδίωξη της ισοκατανομής επιτεύχθηκε με τη μεγιστοποίηση της Εντροπίας. Αποδείχθηκε πως στα προβλήματα ισοκατανομής, η Εντροπία δίνει μονοσήμαντες απαντήσεις. Ένα άλλο σύνηθες πρόβλημα που απασχολεί τους Μηχανικούς είναι το θέμα της βελτιστοποίησης (μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης). Το ερώτημα για το οποίο θα γίνει προσπάθεια να δοθεί απάντηση στο κεφάλαιο αυτό είναι, κατά πόσο η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα αυτού του τύπου, τηρώντας την απαίτηση που τέθηκε, δηλαδή να δίνει μονοσήμαντες απαντήσεις. Το παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε εξασφαλίστηκε από συγκεκριμένη βιβλιογραφία, (Εφραιμίδης 1992) αν και είναι τόσο σύνηθες που μπορεί να εντοπιστεί σε πολλά δοκίμια οργάνωσης διοίκησης εργοταξίου.

1.18 Το πρόβλημα της μεταφοράς

Έστω ότι υπάρχουν θέσεις A_i (i=1…m) οι οποίες μπορεί να είναι θέσεις παραγωγής προϊόντων ή υλικών, δανειοθάλαμοι ή αποθήκες. Από αυτές φορτώνονται υλικά και μεταφέρονται στις θέσεις ζήτησης B_j (j=1…..n), οι οποίες μπορεί να είναι χώροι διαστρώσεως, κέντρα καταναλώσεως κ.τ.λ. Οι ποσότητες από κάθε θέση παραλαβής A_i σε κάθε θέση προορισμού B_j χαρακτηρίζονται με $X_{i,j}$ και το αντίστοιχο κόστος μονάδος με $C_{i,j.}$ Το πρόβλημα αναφέρεται στο βέλτιστο σχεδιασμό της μεταφοράς, έτσι ώστε το συνολικό κόστος να είναι το ελάχιστο δυνατό. Δηλαδή, ζητείται να προσδιοριστούν οι ποσότητες $X_{i,j}$ οι οποίες ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος. (Διάγραμμα 5.1)

Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι ότι τόσο οι ποσότητες που μπορούν να δώσουν οι θέσεις παραλαβής (a_i) όσο και οι ποσότητες που μπορούν να παραλάβουν οι θέσεις προορισμού (bj) είναι συγκεκριμένες (Πίνακας 5.1).



Διάγραμμα 0.1 Διατύπωση του προβλήματος της μεταφοράς

Πίνακας 0.1 Περιορισμοί στο πρόβλημα της μεταφοράς

Μεταφορά Xi,j						
	Θέση προορισμού					
Θέση παραλαβής	B1	B2	B3		Bn	Μέγιστη ποσότητα από πηγή
A1	X1,1	X1,2	X1,3		X1,n	a1
A2	X2,1	X2,2	X2,3		X2,n	a2
A3	X3,1	X3,2	X3,3		X3,n	a3
Am	Xm,1	Xm,2	Xm,3		Xm,n	an
Μέγιστη ποσότητα που ζητείται	b1	b2	b3		bn	Σai>=Σbj

Το κόστος για κάθε ποσότητα $X_{i,j}$ είναι διαφορετικό και ίσο με $C_{i,j.}$ και αυτό που επιδιώκεται είναι το συνολικό κόστος μεταφοράς Z να ελαχιστοποιηθεί

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} X_{i,j} * C_{i,j} \rightarrow \min \qquad (5.1)$$

1.19 Επίλυση παραδείγματος μεταφοράς με χρήση της Εντροπίας

Στόχος είναι να βρεθεί μία λογική συσχέτιση μεταξύ του συνολικού κόστους και της Εντροπίας, ώστε αντί να γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησης του κόστους να γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης της Εντροπίας και να οδηγούμαστε στο ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή ελάχιστου κόστους. Αυτό θα δώσει υπόσταση στην έννοια της Εντροπίας για αυτού του είδους τα προβλήματα και ταυτόχρονα θα βοηθήσει να επιλύονται προβλήματα απευθείας με την Εντροπία (όταν άλλος τρόπος δεν είναι δυνατός).

Το συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τα εξής δεδομένα: Υπάρχουν τρεις θέσεις παραλαβής και τέσσερις θέσεις προορισμού με μέγιστες ποσότητες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2 και με κόστος ανά μεταφορά όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3

Πίνακας 0.2 Δεδομένα παραδείγματος μεταφοράς

Μεταφορά Xi,j					
	Θέση προορισμού				
Θέση παραλαβής	B1	B2	B3	B4	Μέγιστη ποσότητα από πηγή
A1	X1,1	X1,2	X1,3	X1,n	8
A2	X2,1	X2,2	X2,3	X2,n	9
A3	X3,1	X3,2	X3,3	X3,n	6
Μέγιστη ποσότητα που ζητείται	10	6	4	3	23

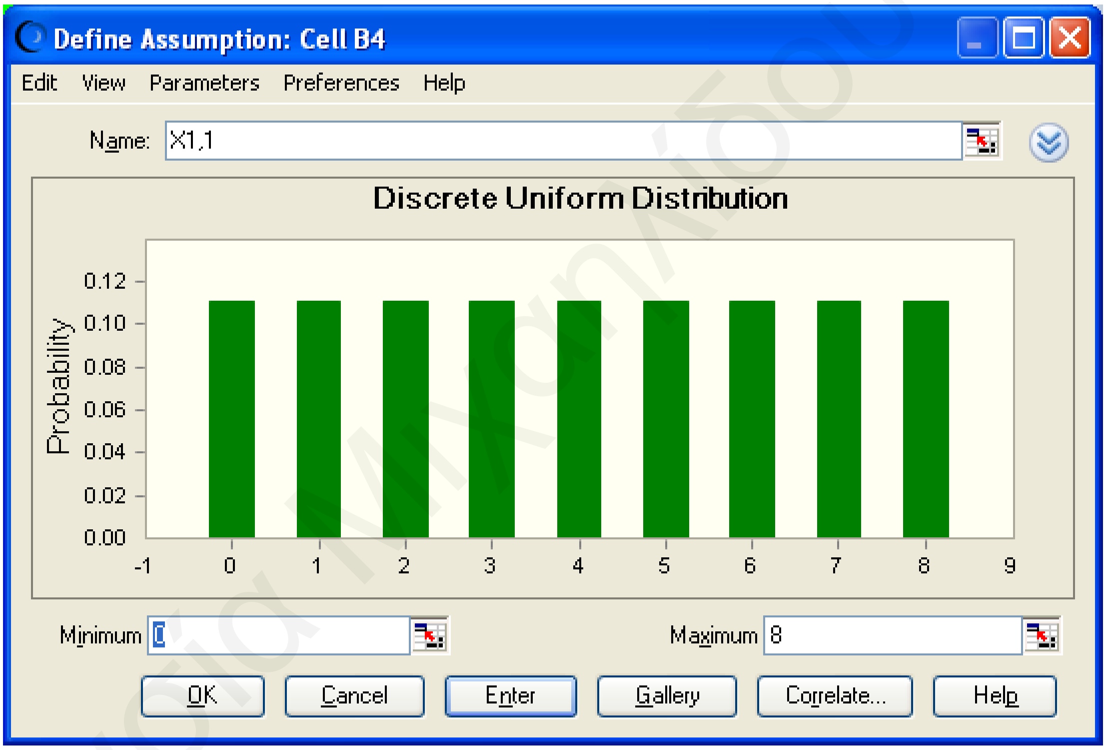
Πίνακας 0.3 Μοναδιαίο κόστος παραδείγματος μεταφοράς

Μοναδιαίο Κόστος Cij				
	Θέση προορισμού			
Θέση παραλαβής	B1	B2	B3	B4
A1	**3**	**4**	**8**	**6**
A2	**4**	**6**	**5**	**7**
A3	**6**	**5**	**7**	**3**

Θέλουμε να βρούμε τις ποσότητες $X_{i,j}$ ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των μετακινήσεων.

1.19.1 Προσομοίωση

Για τον εντοπισμό λύσεων χρησιμοποιείται λογισμικό προσομοίωσης (π.χ. το Crystal Ball). Τα $X_{i,j}$ αποτελούν τις μεταβλητές παραδοχές (variable assumptions) στο πρόβλημα αυτό. Ορίζονται ως διακριτές μεταβλητές με ελάχιστη τιμή το 0 και μέγιστη τιμή το ελάχιστο της στήλης ή της γραμμής i,j (min a_i, b_j) στην οποία βρίσκεται το $X_{i,j}$. Αυτό συμβαίνει γιατί η μετακίνηση από μια θέση παραλαβής A_i με δυνατότητα a_i σε μία θέση προορισμού B_j με δυνατότητα απορρόφησης b_j δεν μπορεί να ξεπερνά κανένα από τα δύο αυτά μεγέθη. ΄Ετσι στο παράδειγμα, η $X_{1,1}$ μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ 0 και 8. Το 8 είναι το ελάχιστο του a_1 και του b_1 (Πίνακας 5.2). Η μεταβολή της $X_{1,1}$ φαίνεται στο Διάγραμμα 5.2.



Διάγραμμα 0.2 Μεταβλητή $X_{1,1}$.

Φαίνεται να παίρνει τις διακριτές τιμές από 0 ως 8.

1.19.2 Πιθανότητα και Εντροπία

Εφόσον το $X_{i,j}$ είναι μεταβλητή και το $C_{i,j}$ είναι σταθερά, το γινόμενο είναι μία μεταβλητή $Z_{i,j} = X_{i,j} * C_{i,j}$., και με βάση την εξίσωση 5.1 έχουμε το κόστος.

Ως πιθανότητα $p_{i,j}$ ορίζουμε το

$$p_{i,j} = \frac{Z_{i,j}}{Z} \qquad (5.2)$$

Αυτό το μέγεθος της πιθανότητας τηρεί την απαίτηση των πιθανοτήτων αφού $\Sigma p_{i,j}=1$, δηλαδή επιτυγχάνεται και σε αυτή την περίπτωση να έχουμε το τυχαίο γεγονός της ρίψης ενός κόστους σε κάθε θέση i,j (ουσιαστικά το τυχαίο του γεγονότος είναι η ρίψη μίας ποσότητας $X_{i,j}$ η οποία πολλαπλασιαζόμενη με το μοναδιαίο κόστος $C_{i,j}$ δίνει το τυχαίο μέγεθος $Z_{i,j}$). Ακολούθως η Εντροπία υπολογίζεται με βάση τη σχέση 2.1.

1.19.3 Συζήτηση πριν από την επίλυση

Λόγω του ότι υπάρχουν διαφορές στις μοναδιαίες τιμές του κόστους, η καλύτερη λύση είναι αυτή που εξαντλεί πρώτα τις ποσότητες $X_{i,j}$ χαμηλότερου κόστους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επομένως θα ανέμενε κανείς ότι για συμπλήρωση της θέσης προορισμού B_1, η βέλτιστη λύση θα προσπαθούσε να εξαντλήσει τις ποσότητες $X_{1,1}$ που έχουν το μικρότερο μοναδιαίο κόστος. Στη συνέχεια και αν δεν συμπληρωνόταν η ποσότητα b_1 θα εξαντλείτο η ποσότητα $X_{2,1}$ και τελευταία η $X_{3,1}$ που έχει και την πιο ακριβή μεταφορά. Επομένως όσον αφορά στο μέγεθος της Εντροπίας και με βάση τη συζήτηση στο Κεφάλαιο 3, θα επιδιωχθεί ελαχιστοποίηση της, αφού επιδιώκεται όχι ισοκατανομή, αλλά κατανομή υπερφορτωμένη σε κάποιες φθηνές τιμές μεταφοράς (κατά το δυνατόν επιδιώκεται κατανομή όπως το Διάγραμμα 3.1β), δηλαδή ελάχιστη.

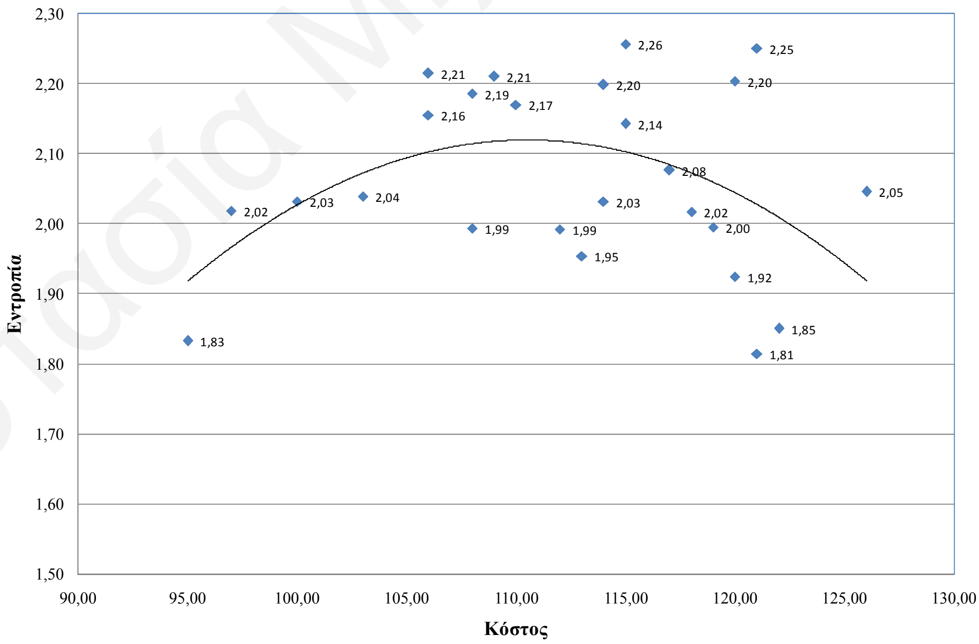
Όμως ελάχιστη Εντροπία θα είχαμε επίσης αν είχαμε υπερφορτωμένη κατανομή σε κάποιες ακριβές μεταφορές μόνο. Και εδώ θα ίσχυε η κατανομή του Διαγράμματος 3.1(β).

Επομένως η Εντροπία δεν μας δίνει μονοσήμαντα τη βέλτιστη κατανομή ελάχιστου κόστους. Αντίθετα ελάχιστη Εντροπία έχουμε σε δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση που άνισα υπερφορτώσουμε τις επιλογές μεταφοράς μικρότερου κόστους αντί άλλες και στην περίπτωση που άνισα υπερφορτώσουμε τις επιλογές μεταφορές μεγαλύτερου κόστους *αντί άλλες. Η πρώτη περίπτωση αντιστοιχεί στο ελάχιστο δυνατό κόστος που είναι το ζητούμενο. Η δεύτερη περίπτωση όμως αντιστοιχεί στο μέγιστο δυνατό κόστος.*

1.19.4 Αποτελέσματα

Προσομοιώνεται το πρόβλημα με χρήση του λογισμικού Crystal Ball. Με βάση τη συζήτηση που έγινε πιο πάνω (ενότητα 5.3.3) αναμένουμε ότι η σχέση Εντροπίας και κόστους δεν θα είναι μονοσήμαντη, στο χαμηλότερο όμως κόστος θα έχουμε χαμηλές τιμές της Εντροπίας. Για απόδειξη αυτού γίνεται η γραφική παράσταση Εντροπίας συναρτήσει κόστους (Διάγραμμα 5.4). Στη γραφική παράσταση βλέπουμε ότι πράγματι η σχέση Εντροπίας κόστους δεν είναι γραμμική. Η σχέση μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, με τον ένα κλάδο να δείχνει χαμηλό κόστος χαμηλή Εντροπία και τον άλλο, ψηλό κόστος χαμηλή Εντροπία.

Επομένως η προσπάθεια για ελαχιστοποίηση της Εντροπίας οδηγεί σε δύο ακριβώς αντίθετες λύσεις, μία ελάχιστου κόστους και μία μέγιστου κόστους. Χρειάζεται ακόμα μία επιπλέον συνθήκη για να συνοδεύει την Εντροπία ώστε να είναι δυνατή η επιλογή (από τη γραφική παράσταση) της κατά περίπτωση βέλτιστης λύσης (δηλαδή της επιλογής της αριστερής φάσης της καμπύλης που αντιστοιχεί στο χαμηλότερο κόστος και όχι της δεξιάς φάσης που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο κόστος).



Διάγραμμα 0.3 Εντροπία συναρτήσει Κόστους, (Περίπτωση προβλήματος

μεταφοράς).

Η πιο πάνω γραφική παράσταση (Διάγραμμα 5.4) δείχνει ότι για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε την Εντροπία για θέματα μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης πρέπει να προσθέσουμε συνθήκες ή παραδοχές που θα μας βοηθήσουν να επιλέξουμε από τα δύο άκρα, αυτό που αποτελεί τη σωστή λύση.

Για το συγκεκριμένο πρόβλημα και με σκοπό τον εντοπισμό της επιπλέον συνθήκης που θα βοηθήσει στην επίλυση, ακολουθούμε την προσέγγιση Vogel (Εφραιμίδης 1992), μέχρις ενός σημείου. Η προσέγγιση Vogel (Vogel approximation method) έχει τα ακόλουθα βήματα:

> Βήμα $1^{ο}$: Για κάθε σειρά (ή στήλη) του πίνακα $C_{i,j}$ (Πίνακας 5.3), υπολογίζονται οι διαφορές του μικρότερου στοιχείου της σειράς (ή στήλης) από το επόμενο μικρότερο στοιχείο κόστους της ίδιας σειράς (στήλης).
>
> Βήμα $2^{ο}$: Προσδιορίζεται η σειρά ή η στήλη με τη μεγαλύτερη διαφορά. Αν υπάρχουν δύο ίσες μέγιστες τιμές, τότε επιλέγεται η μία από τις δύο αυθαίρετα. Δίνεται η μέγιστη τιμή στη μεταβλητή $X_{i,j}$ από τη σειρά αυτή η οποία έχει το μικρότερο κόστος. Προσαρμόζονται οι τιμές αποθέματος και ζητήσεως και διαγράφεται η αντίστοιχη σειρά ή στήλη.
>
> Βήμα $3^{ο}$: Επαναλαμβάνεται το ίδιο για την αμέσως επόμενη διαφορά και προσδιορίζεται η δεύτερη θέση της σειράς με τη μικρότερη διαφορά και το μικρότερο κόστος. Οι δύο τιμές $X_{i,j}$ αποτελούν και το κριτήριο της λύσης. Δηλαδή τελικά επιλέγουμε τη λύση με τη μικρότερη Εντροπία και με άθροισμα στις δύο θέσεις αυτό που προσδιορίστηκε από τη λύση Vogel.

Έτσι στο παράδειγμα μας κάνουμε τα ακόλουθα βήματα:

> Βήμα $1^{ο}$: Βρίσκουμε για κάθε στήλη B_j τη διαφορά μεταξύ του μικρότερους κόστους και τους αμέσως μεγαλύτερου. Στο Πίνακα 5.4 έχουμε στην πρώτη στήλη η διαφορά να είναι 1, στη $2^{η}$ 1 στη $3^{η}$ το 2 και στην $4^{η}$ το 3.

Πίνακας 0.4 Πρώτο Βήμα μεθόδου Vogel

Μοναδιαίο Κόστος Cij				
	Θέση προορισμού			
Θέση παραλαβής	B1	B2	B3	B4
A1	**3**	**4**	**8**	**6**
A2	**4**	**6**	**5**	**7**
A3	**6**	**5**	**7**	**3**
Διαφορά μικρότερου με αμέσως επόμενο	1	**1**	**2**	**3**

Βήμα 2ο: Επιλέγουμε την τέταρτη στήλη, στην οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη διαφορά και κατανέμουμε όσο μεγαλύτερη ποσότητα από το b4 (=3, ίδε Πίνακα 5.2) στο κελί μικρότερου κόστους, δηλαδή το $X_{3,4}$. Επειδή υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα από την πηγή A_3 προς τον προορισμό B_4 για 3 μονάδες, γίνεται η καταχώρηση και αφαιρείται ολόκληρη η στήλη 4. Το a_3 διαφοροποιείται και από 6 μειώνεται σε 3.

Βήμα 3ο: Προχωρούμε στη τρίτη στήλη που έχει την αμέσως επόμενη διαφορά. Κατανέμουμε στη θέση $X_{2,3}$ που έχει το μικρότερο κόστος 4 μονάδες (το μεγαλύτερο δυνατό).

Σημείωση: Αν η διαφορά είναι ίση, τότε αντί τις στήλες επιλέγουμε τις σειρές.

Αυτή η κατανομή είναι βέλτιστη.

Επομένως η συνθήκη που θέτουμε είναι για το παράδειγμα μας:

Βέλτιστη λύση είναι η λύση με την μικρότερη Εντροπία όπου το $X_{3,4}$=3 και το $X_{2,3}$=4. Αυτό αντιστοιχεί με τη λύση μικρότερου κόστους.

Ανασυγκροτούμε τον πίνακα των αποτελεσμάτων (Πίνακας 5.5), και βρίσκουμε τη λύση με το μεγαλύτερο άθροισμα των ($X_{3,4}$+$X_{2,3}$) και ελάχιστη Εντροπία. Αυτή είναι η καλύτερη λύση από τις επιλογές μας. Αυτή δίνει κόστος ίσο με 95. Στην επίλυση Εφραιμίδη (1992), το αποτέλεσμα είναι κόστος 91.

Πίνακας 0.5, Πίνακας προβλήματος μετά την εφαρμογή Vogel (με διαγραφή οι αριθμοί που έχουν ήδη φύγει λόγω Vogel)

Μοναδιαίο Κόστος Cij					
	Θέση προορισμού				
Θέση παραλαβής	B1	B2	B3	B4	
A1	3	4	~~8~~	~~6~~	1
A2	4	6	~~5~~	~~7~~	2
A3	6	5	~~7~~	~~3~~	1
	1	1	~~2~~	~~3~~	

1.19.5 Βελτίωση λύσης

Στην προσομοίωση εφαρμόζουμε το X3,4 = 3 (από μεταβλητή γίνεται σταθερή) και το $X_{2,3}$ = 4. Προχωρούμε με τη μέθοδο της Εντροπίας και με τη βελτίωση καταφέραμε να έχουμε 80 λύσεις με ένα τρέξιμο του 1.000.000 προσομοιώσεων. Εφαρμόζουμε τη μέθοδο Vogel (Εφραιμίδης 1992) για ακόμα 2 βήματα. Επειδή στις εναπομείνασες δύο στήλες η διαφορά είναι μονάδα και στις δύο, κάνουμε την ίδια άσκηση για τις σειρές. Έτσι έχουμε διαδικασία στη 2η σειρά και κατανέμουμε στη θέση $X_{2,1}$ την ποσότητα 5 που έχει απομείνει (αφού η θέση $X_{2,3}$ έχει ήδη πάρει 4 μονάδες). Πλέον στις δύο σειρές (1η και 3η) και στις δύο στήλες (1η και 2η) έχουμε την ίδια διαφορά. Έτσι τυχαία επιλέγουμε π.χ. την στήλη 1 για να πάρει ακόμα 5 μονάδες τις οποίες και δίνουμε.

Επομένως η βέλτιστη λύση είναι αυτή με άθροισμα το $X_{2,1}$=5 και το $X_{1,1}$ =5. και ελάχιστη Εντροπία.

Το παράδειγμα αυτό είναι μικρό. Είναι ενδεικτικό όμως της αδυναμίας της μεθόδου της Εντροπίας σε θέματα μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.6.

1.20 Συμπεράσματα για χρήση της Εντροπίας σε θέματα μεγιστοποίησης / ελαχιστοποίησης

Η προσέγγιση της Εντροπίας δεν δίνει μονοσήμαντα αποτελέσματα σε προβλήματα που στόχος είναι η μεγιστοποίηση ή η ελαχιστοποίηση. Για να γίνει εφικτό να καταλήξει η επίλυση σε λύση, χρειάστηκε να προστεθεί μία δεύτερη προσέγγιση, η οποία δεν εμπίπτει στους σκοπούς της παρούσας διατριβής, αλλά χρησιμοποιείται για σκοπούς απόδειξης της ανεπάρκειας της μεθόδου της Εντροπίας .

Αν προστρέξουμε στο Διάγραμμα 3.3(β), διαπιστώνουμε το λόγο που το μέγεθος της Εντροπίας δεν δίνει μονοσήμαντες απαντήσεις σε θέματα ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης. Η Εντροπία ελαχιστοποιείται (μηδενίζεται ουσιαστικά), όταν η κατανομή της υπό μελέτη μεταβλητής τοποθετείται 100% σε μία οποιαδήποτε από τις πολλές δυνατές θέσεις/τιμές. Όμως για την βελτιστοποίηση η τοποθέτηση κατά το δυνατόν του 100% της μεταβλητής πρέπει να γίνει σε μία συγκεκριμένη από τις πολλές πιθανές θέσεις Επομένως η Εντροπία δεν συνίσταται για την επίλυση αυτών των προβλημάτων.

Πίνακας 0.6, Αποτελέσματα

Trial values	b1	b2	b3	b4	a1	a2	a3	Σai=Σbi	Εντροπία κόστους	Κόστος	X1,1	X1,2	X1,3	X1,4	X2,1	X2,2	X2,3	X2,4	X3,1	X3,2	X3,3	X3,4
527446	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,83	95,00	5,00	2,00	0,00	1,00	5,00	0,00	4,00	0,00	0,00	4,00	0,00	2,00
955940	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,02	97,00	5,00	3,00	0,00	0,00	5,00	2,00	2,00	0,00	0,00	1,00	2,00	3,00
914089	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,03	100,00	5,00	3,00	0,00	0,00	4,00	3,00	2,00	0,00	1,00	0,00	2,00	3,00
43465	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,04	103,00	3,00	4,00	1,00	0,00	4,00	2,00	3,00	0,00	3,00	0,00	0,00	3,00
405820	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,16	106,00	7,00	0,00	0,00	1,00	2,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00
691611	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,21	106,00	5,00	3,00	0,00	0,00	4,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00
403163	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,19	108,00	3,00	4,00	0,00	1,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00
43955	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,99	108,00	2,00	5,00	1,00	0,00	7,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	3,00	2,00
613936	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,21	109,00	3,00	4,00	1,00	0,00	5,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00
578266	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,17	110,00	6,00	0,00	1,00	1,00	4,00	3,00	1,00	1,00	0,00	3,00	2,00	1,00
670577	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,99	112,00	5,00	1,00	1,00	1,00	4,00	5,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	2,00
769793	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,95	113,00	3,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	1,00	3,00	2,00	1,00	3,00	0,00
387812	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,20	114,00	2,00	4,00	0,00	2,00	5,00	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00	0,00
622569	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,03	114,00	6,00	0,00	2,00	0,00	3,00	5,00	0,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
408454	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,14	115,00	2,00	4,00	1,00	1,00	6,00	2,00	0,00	1,00	2,00	0,00	3,00	1,00
144123	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,26	115,00	2,00	4,00	1,00	1,00	5,00	2,00	1,00	1,00	3,00	0,00	2,00	1,00
946850	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,08	117,00	4,00	0,00	2,00	2,00	5,00	4,00	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00	1,00
278328	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,02	118,00	0,00	5,00	2,00	1,00	7,00	1,00	0,00	1,00	3,00	0,00	2,00	1,00
528604	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,00	119,00	4,00	0,00	1,00	3,00	2,00	4,00	3,00	0,00	4,00	2,00	0,00	0,00
197458	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,92	120,00	6,00	1,00	0,00	1,00	0,00	5,00	2,00	2,00	4,00	0,00	2,00	0,00
796331	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,20	120,00	2,00	3,00	2,00	1,00	4,00	1,00	2,00	2,00	4,00	2,00	0,00	0,00
830488	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,81	121,00	6,00	0,00	0,00	2,00	0,00	6,00	2,00	1,00	4,00	0,00	2,00	0,00
301850	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,25	121,00	3,00	2,00	2,00	1,00	5,00	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00
242465	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	1,85	122,00	2,00	0,00	4,00	2,00	7,00	1,00	0,00	1,00	1,00	5,00	0,00	0,00
477509	10,00	6,00	4,00	3,00	8,00	9,00	6,00	23,00	2,05	126,00	4,00	1,00	3,00	0,00	2,00	3,00	1,00	3,00	4,00	2,00	0,00	0,00

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ ΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΟΣΦΟΡΟΔΟΤΗΣΗΣ - ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ (2009)

Εισαγωγή

Κατά την ετοιμασία της προσφοράς του, ένας προσφοροδότης υπολογίζει ένα ανταγωνιστικό τελικό ποσό προσφοράς που θα του επιτρέψει να κερδίσει. Το ποσό αυτό είναι το πραγματικό του κόστος συν ένα λογικό κέρδος. Το ποσό αυτό από μόνο του δεν προσδιορίζει την πραγματική αξία των χρημάτων που τελικά θα αποκομίσει από το έργο. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει αυτή την αξία είναι η πρόοδος της χρηματοροής (progress payments) του ποσού αυτού από τον ιδιοκτήτη του έργου προς τον εργολάβο. Τέλος, ο εργολάβος αντιμετωπίζει την ώρα της προσφοροδότησης ένα αστάθμητο παράγοντα, που είναι η πιθανή διαφοροποίηση στο εύρος των διαφόρων εργασιών.

Η πρόοδος των χρηματοροών είναι συνδεδεμένη με την πραγματική πρόοδο του έργου καθώς και με τα ποσά που αναλογούν στις εκτελεσθείσες εργασίες. Για το ίδιο ποσό προσφοράς οι εργολάβοι συνήθως επωφελούνται αν λαμβάνουν πιο μεγάλα ποσά στην αρχή του έργου, αφού η αξία των βραχυπρόθεσμων πληρωμών είναι μεγαλύτερη από την αξία των μεσοπρόθεσμων ή μακροπρόθεσμων πληρωμών ίδιας ονομαστικής αξίας. Μερικές φορές ο Εργολάβος προτιμά να λαμβάνει μεγαλύτερες πληρωμές προς το τέλος του έργου. Αυτό δικαιολογείται αν π.χ. ο Εργολάβος επιθυμεί να χρηματοδοτεί τα επόμενα έργα του με χρήματα που εξασφαλίζει με το πέρας προηγουμένων έργων. Τέλος, στον Εργολάβο μπορεί να «συμφέρει» να υπερ-φορτώνει κάποιες εργασίες που πιθανολογεί με βάση την εμπειρία του, ότι θα παρουσιάσουν τελικά στην πράξη διαφορετικές ποσότητες από αυτές του συμβολαίου.

Για επίτευξη αυτής της υπέρ-φόρτωσης οι εργολάβοι επιβαρύνουν δυσανάλογα κάποιες εργασίες με μεγαλύτερο ποσοστό διαχειριστικού κόστους και κέρδους (Overhead & Profit) που για σκοπούς συντομίας θα αναφέρεται ως Κέρδος. Επομένως, για να διατηρήσουν το συνολικό ποσό της προσφοράς σταθερό, οι εργολάβοι αποφορτίζουν κάποιες άλλες εργασίες. Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις που ο Εργολάβος όχι μόνο δεν καταμερίζει ισόποσα το κέρδος στις εργασίες αλλά επιπλέον σε κάποιες εργασίες πηγαίνει και πέραν από αυτό το ποσό και αφαιρεί μέρος του πραγματικού του κόστους, επιβαρύνοντας άλλες εργασίες.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν μελετητές που ασχολούνται με τους κινδύνους ακόμα και με την ηθική διάσταση αυτής της διαφοροποίησης (Cattel et al, 2007). Όπως και να έχει, κάθε συμβαλλόμενο μέρος σε ένα συμβόλαιο αναλαμβάνει το ρίσκο των πράξεών του. Ο Εργολάβος, αναλαμβάνει ένα ρίσκο το οποίο τελικά μπορεί να μην του αποφέρει το αναμενόμενος κέρδος. Το ρίσκο αυτό ουσιαστικά είναι η πιθανότητα οι ποσότητες των εργασιών που υπερ-φόρτωσε να μειωθούν με αποτέλεσμα να μειωθεί το κέρδος του, δυσανάλογα περισσότερο από την αντίστοιχη μείωση στο ποσό του συμβολαίου.

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται υπολογισμός της επιβάρυνσης (θετικής ή αρνητικής) σε κάθε εργασία με το ποσό που ονομάζουμε κέρδος (Overhead and Profit), χρησιμοποιώντας και έννοια της Εντροπίας. Στόχος είναι να βρεθεί ο συνδυασμός εκείνος της αξίας των εργασιών, όπου αξία είναι το πραγματικό κόστος πολλαπλασιασμένο με ένα ποσοστό προσφοροδότησης r_i, διαφορετικό για κάθε εργασίας (με r_i πιθανώς και μικρότερο της μονάδας) ώστε η καθαρή τρέχουσα αξία του έργου (net present value) να είναι η μέγιστη αλλά και το ρίσκο να είναι ελάχιστο.

1.21 Θεωρητικό Υπόβαθρο - Μελέτη βιβλιογραφίας

Στη βιβλιογραφία, οι μέθοδοι που θεωρήθηκαν πρωτοπόρες ήταν αυτές των Friedman (1956) και Gates (1967). Έκτοτε εμφανίστηκαν και άλλες μέθοδοι, τα γενικά στοιχεία των οποίων δίνονται πιο κάτω.

1.21.1 Μοντέλο Friedman

Το μοντέλο Friedman (1956) είναι μοντέλο ισοζυγισμένης προσφοροδότησης (balanced bidding). Βασίζεται στο σκεπτικό ότι η προσφορά εξαρτάται από το ανταγωνιστικό περιβάλλον (αριθμός ανταγωνιστών – προσφοροδοτών) αλλά και από την παραδοχή ότι ενώ όλοι οι προσφοροδότες ενεργούν ανεξάρτητα, τελικά φτάνουν στην ίδια εκτίμηση κόστους για το έργο .

Ο Friedman (1956) θεωρεί ότι η πιθανότητα επιτυχίας ενός προσφοροδότη έναντι όλων των ανταγωνιστών του είναι το γινόμενο της πιθανότητας να επιτύχει έναντι ενός εκάστου από αυτούς.

$$P_{win} = P_{winA}.P_{winB}.P_{winC}.....P_{winN} = \prod_{i=1}^{n}[P_{i(r)}] \qquad (6.1)$$

όπου

$P_{i(r)}$ είναι η πιθανότητα ενός προσφοροδότη να νικήσει ένα ανταγωνιστή (i), όταν προσφοροδοτεί με ένα πολλαπλασιαστή προσφοράς *r,* και *n* είναι ο αριθμός των προσφοροδοτών.

1.21.2 Μοντέλο Gates

Στο μοντέλο του ο Gates (1959, 1967, 1970) ίσως ήταν ο πρώτος που αμφισβήτησε τη θεωρία του Friedman (1956) και ο πρώτος που πρότεινε την μη ισο-ζυγισμένη προσφοροδότητη. Το μοντέλο Friedman (1956) είχε στηριχθεί στη βάση ότι ένας προσφοροδότης μπορεί να εφαρμόσει μαθηματική ανάλυση για να προσδιορίσει την πιθανότητα να κερδίσει μία κλειστή προσφορά. Η πρόταση του Gates (1959,1967,1970) βασίζεται κυρίως σε μία εναλλακτική μέθοδο για υπολογισμό των πιθανοτήτων (περισσότερο εμπειρική). Αυτή η διελκυστίνδα μεταξύ Friedman και Gates, τελικά δημιούργησε δύο σχολές σκέψεις. Υπάρχουν μελετητές που ενδιέτριψαν στις διαφορές των δύο προσεγγίσεων, όπως οι Skitmore (2002), Abdel-Razek (1987), Crowley (2000).

Στην εξίσωση που έδωσε ο Gates θεωρείται ότι ο κάθε προσφοροδότης έχει ίδια πιθανότητα επιτυχίας αν όλοι οι προσφοροδότες συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο. Τότε η πιθανότητα επιτυχίας δίνεται από την εξίσωση 6.2 ή την εξίσωση 6.3.

$$P_{win} = 1/[1+(1-P_{winA})/P_{winA} + 1 + (1-P_{winB})/P_{winB} + ... + 1 + (1-P_{winN})/P_{winN}] \quad (6.2)$$

$$P_{win} = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{1-P_i(r)}{P_i(r)} + 1\right]^{-1} \quad (6.3)$$

Ο Gates έμεινε κυρίως γνωστός για την εισαγωγή για πρώτη φορά της έννοιας της μη ισοζυγισμένης προσφοροδότησης (Gates, 1959). Θεώρησε ότι ένας εργολάβος έχει πολύ περισσότερα να κερδίσει βραχυπρόθεσμα, αν ακολουθήσει τη μη ισο-ζυγισμένη στρατηγική, παρά οποιαδήποτε άλλη στρατηγική προσφοροδότησης. Η πρόταση του προσπαθεί να ικανοποιήσει την ανάγκη του εργολάβου για μία επιταχυνόμενη χρηματοροή, αλλά και την υπερ-φόρτωση εργασιών για τις οποίες αναμένονται αυξήσεις στις ποσότητες. Η προσέγγιση του παραμένει μακριά από πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς και για την απόδειξη της χρησιμοποίησε το παράδειγμα που φαίνεται στον πίνακα 6.1

Πίνακας 0.1 Παράδειγμα του Gates (1967)

Item number	Description	Unit	Quantity	Unit bid (dollars)	Amount (dollars)
1	Crearing	Lumb sum	As necessary	50.000,00	50.000
2	Earth excavation	Cubic yards	50.000	1,50	75.000
3	Roch excavation	Cubic yards	25.000	3,00	75.000
4	Cleaning up	Lumb sum	As necessary	50.000,00	50.000
Total bid					250.000

Ο Πίνακας 6.1 δείχνει την ανάλυση μίας προσφοράς χωρίς να υπάρχει υπερφόρτωση κάποιας εργασίας. Αντίθετα, ο Πίνακας 6.2 δίνει την ίδια προσφορά, με υπερ-φορτώσεις κάποιων εργασιών, τύπου έμπροσθεν φόρτισης (front end loading, ενότητα 6.3). Αυτή η ενέργεια αποδίδει ενωρίτερα, με βάση τους υπολογισμούς του Gates (1967), ένα ποσό $40.000 που χρησιμοποιεί ο Εργολάβος για να χρηματοδοτήσει τις εργασίες του.

Πίνακας 0.2 Παράδειγμα του Gates (1967) με έμπροσθεν φόρτιση (front end loading)

Item number	Description	Unit	Quantity	Unit bid (dollars)	Amount (dollars)
1	Crearing	Lumb sum	As necessary	50.000,00	90.000
2	Earth excavation	Cubic yards	50.000	1,50	75.000
3	Roch excavation	Cubic yards	25.000	3,00	75.000
4	Cleaning up	Lumb sum	As necessary	50.000,00	10.000
Total bid					250.000

1.21.3 Μοντέλο Stark

Το μοντέλο Stark (1968) προτείνει μία επέκταση της μεθόδου του Gates (1959,1967,1970), στην οποία όμως εφαρμόζονται πιο πολύπλοκες μαθηματικές προσεγγίσεις. Βασίζεται στη παραδοχή ότι η τιμή μίας εργασίας οριοθετείται από τριών ειδών περιορισμούς, που απεικονίζονται ταυτόχρονα με μαθηματικές εκφράσεις. Ο πρώτος περιορισμός είναι ότι η τιμή όλων των εργασιών αθροίζεται στη συνολική τιμή της προσφοράς (εξίσωση 6.4). Ο δεύτερος περιορισμός είναι ότι οι τιμές των εργασιών πρέπει να κινούνται μεταξύ ενός άνω και ενός κάτω ορίου και ότι μπορεί να επηρεάζονται από άλλες τιμές άλλων εργασιών (εξίσωση 6.5). Ο τρίτος περιορσιμό είναι ότι η ανάγκη του εργολάβου για ενδιάμεσες πληρωμές καθορίζεται από την πρόοδο του έργου (εξίσωση 6.6). Και οι τρεις περιορισμοί έχουν ενσωματωμένο το στόχο του προσφοροδότη για αύξηση της καθαρής τρέχουσας αξίας (net present value) του έργου (εξίσωση 6.7) .

$$TP = \sum_{j=1}^{n} Q_j P_j . \qquad (6.4)$$

$$P_i - P_j \geq 0 \qquad P_{jl} \leq P_j \leq P_{ju} . \qquad (6.5)$$

$$\frac{m}{N} \sum_{j=1}^{J} Q_j P_j = a \sum_{j=1}^{J} \sum_{n=1}^{m} Q_{kj} P_j . \qquad (6.6)$$

,

$$PV = \sum_{j=1}^{J} \sum_{n=1}^{N} Q_{nj} (1+r)^{-n} P_j \qquad (6.7)$$

όπου, P_i, P_j, μοναδιαίες τιμές εργασιών (i, j)

Q_j, ποσότητα εργασίας j

P_{jl}, P_{ju}, άνω και κάτω όρια στις μοναδιαίες τιμές της εργασίας j

TP = συνολική προσφορά

m, μήνας μεταξύ του πρώτου και του τελικού N μήνα του έργου

α, σταθερά Stark

Q_{nj}, ποσότητα εργασίας j που αναμένεται να εκτελεστεί στο μήνα n

r, επιτόκιο

Το μοντέλο του Stark λαμβάνει υπόψη την επίδραση της χρηματοροής, καθώς και την επίδραση στις διαφοροποιήσεις των ποσοτήτων. Δεν λαμβάνει όμως υπόψη οποιουσδήποτε κινδύνους από διαφοροποιήσεις στις τιμές. Ο ίδιος βέβαια εισηγείται ότι ο κάθε προσφοροδότης μέσω στατιστικής ανάλυσης της ιστορικότητας των τιμών, μπορεί να φτάσει σε αξιολόγηση του κινδύνου.

1.21.4 Άλλα μοντέλα

Το Μοντέλο Ashley και Teichloz (1977) έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση της καθαρής χρηματοροής (π.χ. του κέρδους) παρά της καθαρής τρέχουσας αξίας (net present value). Έτσι, το μοντέλο χρησιμοποιεί ως βάση τη μεγιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της καμπύλης εσόδων και της καμπύλης κόστους, καθώς και την ανάλυση του κόστους σε σταθερό, μεταβλητό και κόστος κεφαλαίου.

Στο μοντέλο Diekmann et al (1982) γίνεται προσπάθεια εισαγωγής του κινδύνου μέσα στο μοντέλο του Stark (1959,1967,1970). Στο στοχαστικό μοντέλο εισήγαγαν τελικά όμως, μόνο τον κίνδυνο από την αβεβαιότητα στις ποσότητες. Παρόλα αυτά, η σημαντική συνεισφορά τους, έγκειται στην εισήγηση ότι η διαφοροποίηση στη μοναδιαία τιμή κάθε εργασίας μπορεί να γίνει όχι για να επιτευχθεί μόνο η μη ισο-ζυγισμένη προσφοροδότηση, αλλά επίσης για να απορροφηθούν τυχόν κίνδυνοι.

Όσον αφορά στην τρέχουσα αξία του έργου πρότειναν την ακόλουθη έκφραση:

$$E(PV) = \sum_{j=1}^{J} A_j \bar{Q}_j (P_j. - C_j) - F_o. \qquad (6.8)$$

$$A_j = \sum_{n=1}^{N} (1+r)^{-n} \frac{Q_{nj}}{Q_j} \qquad (6.9)$$

όπου, P_j, μοναδιαία τιμή εργασίας (j)

C_j, μοναδιαίο κόστος εργασίας (j)

Q_j, ποσότητα εργασίας j

Q_{nj}, ποσότητα εργασίας j που αναμένεται να εκτελεστεί στο μήνα n

F_o, σημερινή τρέχουσα τιμή κόστους

r, επιτόκιο

Το μοντέλο Tong και Lu (Tong and Lu 1992) περιορίζεται στον υπολογισμό του λάθους από τη μη-ισοζυγισμένη προσφοροδότηση..

Στο μοντέλο Cattell (Cattell et al. 2007) υπολογίζεται το κέρδος του εργολάβου με υπολογισμό της συνεισφοράς κάθε εργασίας σε αυτό.

1.22 Κατηγορίες μη-ισοζυγισμένης κατανομής κέρδους

Ως σύνοψη θα λέγαμε ότι όλες οι πιο πάνω μέθοδοι καταλήγουν στις ακόλουθες κατηγορίες μη-ισοζυγισμένης κατανομής. Η πρώτη κατηγορία εμφανίζεται στην βιβλιογραφία (Catell et al. 2007) με τον όρο «mathematically unbalanced bid». Στην περίπτωση αυτή κάθε εργασία έχει το πραγματικό της κόστος και από εκεί και πέρα γίνεται (ανισο)κατανομή του κέρδους. Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται «materially unbalanced bid». Στην περίπτωση αυτή όχι μόνο το κέρδος τυγχάνει διακύμανσης αλλά και το πραγματικό κόστος μπορεί να μεταβληθεί σε κάποιες εργασίες έτσι ώστε η τιμή για τις συγκεκριμένες εργασίες να είναι κάτω από το πραγματικό κόστος. Αυτή η δεύτερη περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ως εάν πάνω σε μία εργασία προστίθεται αρνητικό κέρδος. Από εκεί και πέρα, υπάρχουν άλλες τρεις κατηγοριοποιήσεις, για κάθε μια από τις πιο πάνω κατηγορίες. Η πρώτη είναι η έμπροσθεν φόρτιση, (front-end loading), δηλαδή φορτώνονται με μεγαλύτερο συντελεστή κέρδους οι εργασίες που γίνονται πρώτες. Η δεύτερη είναι η αντίστροφη της πρώτης και εμφανίζεται με τον όρο όπισθεν φόρτιση (back-end loading). Τέλος η τρίτη έχει τον όρο φόρτιση εργασιών με λανθασμένες ποσότητες (quantity error exploitation) και ουσιαστικά αυτό που γίνεται είναι να φορτωθούν με κέρδος όσες εργασίες αναμένεται να έχουν αύξηση των ποσοτήτων και να ελαφρυνθούν από το κέρδος όσες αναμένεται να έχουν μειωμένες ποσότητες σε σχέση με το συμβόλαιο. Τέλος στις πιο πάνω μεθόδους υπεισέρχεται ο παράγοντας ρίσκο.

1.23 Χρήση της Εντροπίας στη μη ισοζυγισμένη προσφοροδότηση τύπου έμπροσθεν φόρτισης (front-end-loading)

Το πρόβλημα της μη-ισοζυγισμένης προσφοροδότησης έχει αντίστροφη επιδίωξη από ότι το πρόβλημα της ισοκατανομής των πόρων που εξετάστηκε στα Κεφάλαια 3 και 4. Και αυτό γιατί στο πρόβλημα της προσφοροδότησης επιδίωξη είναι η μη ισο-κατανομή (non leveling instead of leveling approach). Ουσιαστικά το πρόβλημα της προσφοροδότησης είναι πρόβλημα μεγιστοποίησης/ελαχιστοποίησης (μεγιστοποίησης) της τρέχουσας χρηματικής αξίας (Net Present Value, NPV). Επομένως η προσέγγιση της Εντροπίας δεν αναμένεται να δώσει μονοσήμαντες απαντήσεις ή καλύτερα δεν αναμένεται να μπορεί να αντικαταστήσει την επιδίωξη για μεγιστοποίηση του NPV. Αυτό όμως στο οποίο μπορεί να συνεισφέρει η Εντροπία συσχετίζεται με το γεγονός ότι ως έννοια έχει σχέση με πιθανότητες και άρα με κίνδυνο. Η αξιοποίησή της επομένως προσφέρει στον προσφοροδότη μία μέθοδο αποτίμησης και απομάκρυνσης τελικά του ρίσκου που όπως φαίνεται πιο πάνω, αποτέλεσε μία από τις συζητήσεις στα θέματα της προσφοροδότησης που δεν έτυχε εκτενούς διευκρίνισης.

Η μη-ισοζυγισμένη προσφοροδότηση μπορεί να θεωρηθεί, σε επαλληλία με την προσέγγιση των Κεφαλαίων 3 και 4, ως ένα πρόβλημα κατανομής (περιορισμένων) πόρων. Ο περιορισμένος πόρος που θα κατανεμηθεί δεν είναι άλλος από το κέρδος (overhead and profit). Ζητούμενο επομένως είναι να κατανεμηθεί το κέρδος πάνω στις διάφορες εργασίες με τρόπο που να προσδίδει στον Εργολάβο τη μεγαλύτερη δυνατή αξία λεφτών (μεγιστοποίηση της τρέχουσας αξίας – net present value) με το μικρότερο δυνατό κίνδυνο.

1.24 Κατάστρωση υπόθεσης με χρήση της Εντροπίας. Συζήτηση της προσέγγισης Χριστοδούλου (2009)

Η παρούσα μελέτη μπορεί να θεωρηθεί ως βελτίωση της αντίστοιχης μελέτης του

Χριστοδούλου (2009). Στη μελέτη αυτή καταστρώνονται δύο εξισώσεις. Η πρώτη (6.10) είναι η συμβατική εξίσωση της καθαρής τρέχουσας αξίας (net present value). Από τους τύπους των Οικονομικών Επιστημών η τιμή αυτή υπολογίζεται αν τις χρηματοροές που θα επισυμβούν στο μέλλον με στάθμιση στο τρέχον επιτόκιο τις «μεταφέρουμε» στο σήμερα.

$$\max\{NPV_p = \sum_{x=1}^{m}[(V_x)(P/F,i\%,t)]\} \tag{6.10}$$

$$\textit{με προϋπόθεση } \sum_{x=1}^{na} V_x \leq B_p. \tag{6.11}$$

$$V_x,\ B_p > 0 \tag{6.12}$$

Όπου

NPV η τρέχουσα χρηματική αξία του ποσού της προσφοράς (Net Present Value), B_p η τιμή προσφοράς, V_x, η αξία κάθε εργασίας (κόστος + Διοικητικό Κόστος+ Κέρδος), P/F τύπος της αναγωγής της μελλοντικής αξίας σε τρέχουσα αξία και na ο αριθμός σε μονάδες χρόνου της διάρκειας του έργου.

Η δεύτερη εξίσωση (6.13) αναπτύσσεται με βάση την Εντροπία, η οποία παίρνει το όνομα «Χρηματική Εντροπία», (Monetary Entropy).

$$\min\{H_{M_T} = \sum_{x=1}^{n}(H_{M_{x,r}}) = \sum_{j=1}^{n}\left[p_{x,r}\ln\left(\frac{1}{p_{x,r}}\right)\right]\}. \tag{6.13}$$

όπου $H_{Mx,r}$ είναι η χρηματική Εντροπία και j=1 ως n οι δραστηριότητες.

Ο Χριστοδούλου (2009) θεωρεί ότι υπάρχει ένα μέγεθος $p_{x,r}$ που απεικονίζει τον παράγοντα του ρίσκου των δραστηριοτήτων σε ένα έργο και εξαρτάται από διάφορες αβεβαιότητες, όπως η αβεβαιότητα στις ποσότητες (q_x), στο κόστος (c_x), στην διάρκεια (t_x) κ.α. Το μέγεθος αυτός χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η Εντροπία του συστήματος, που υπό αυτή την έννοια απεικονίζει τον κίνδυνο.

Για να εντοπιστεί ο τρόπος φόρτισης των δραστηριοτήτων με το κέρδος ο Χριστοδούλου (2009) προτείνει τα ακόλουθα βήματα:

i. Επίλυση του Δικτυώματος (CPM calculations)
ii. Καθορισμός των οικονομικών παραμέτρων του έργου (η συνολική προσφορά B_p και το τρέχον επιτόκιο)
iii. Υπολογισμός του πραγματικού κόστους κάθε δραστηριότητας καθώς και του συνολικού κόστους
iv. Καθορισμός του ισοζυγισμένου (μέσου όρου) πολλαπλασιαστή προσφοροδότησης r_p (bid markup) που υπολογίζεται ως ο λόγος της προσφοράς προς το πραγματικό κόστος του έργου
v. Καθορισμός των ορίων εντός των οποίων μπορεί να διακυμανθεί ο πολλαπλασιαστής προσφοροδότησης, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος απόρριψης της προσφοράς.
vi. Ανάπτυξη μίας παραμέτρου κινδύνου για κάθε δραστηριότητα. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας αυτής, η παράμετρος $p_{x,r}$, μπορεί να είναι συνάρτηση διαφόρων αβεβαιοτήτων. Μπορεί επομένως να πάρει τη μορφή μίας κατανομής πιθανότητας (π.χ. κανονική κατανομή με μέσο όρο το μέσο ποσοστό προσφοροδότησης και τυπική απόκλιση π.χ. 10% αυτής της τιμής.
vii. Υπολογισμός της χρηματικής Εντροπίας σύμφωνα με τον τύπο (6.13).

Είναι φανερό ότι στην πρόταση Χριστοδούλου (2009) το μέγεθος $p_{x,r}$ δεν είναι μέγεθος πιθανότητας. Είναι ένα μέγεθος που παίρνει τιμές κυρίως μεγαλύτερες της μονάδας, δηλαδή δεν ισχύει ότι Σ px,r =1 και επομένως η Εντροπία που υπολογίζεται από τον τύπο (6.13) δεν αποτελεί την Εντροπία κατά Shannon (1948). Αυτό αφαιρεί επομένως από την οικονομική Εντροπία τις ιδιότητες που έχει η Εντροπία κατά Shannon.

1.25 Κατάστρωση υπόθεσης με χρήση της Εντροπίας

Η προσέγγιση που ακολουθείται στην διατριβή αυτή διαφοροποιείται από την πρόταση Χριστοδούλου (2009) παρόλο που ως γενικό πλαίσιο υπάρχουν αρκετές ομοιότητες. Οι ομοιότητες και οι διαφορές επεξηγούνται στη συνέχεια.

Στην προτεινόμενη προσέγγιση αυτής της διατριβής, επιδιώκεται κατανομή του κέρδους πάνω στις εργασίες με παραδοχές παρόμοιες με αυτές που έθεσε ο Stark(1968), δηλαδή,

(α) *Η τιμή όλων των εργασιών αθροίζει στη συνολική τιμή της προσφοράς η οποία είναι σταθερή.*

(β) *Οι τιμές των εργασιών κινούνται μεταξύ ενός άνω και ενός κάτω ορίου.* Αυτό επιτυγχάνεται με το να κινείται το κέρδος που προστίθεται (ή αφαιρείται) στο πραγματικό κόστος κάθε εργασίας μεταξύ ορίων. Η αναγκαιότητα αυτής της απαίτησης συζητείται πιο κάτω.

(γ) *Η ανάγκη του εργολάβου για ενδιάμεσες πληρωμές καθορίζεται από την πρόοδο του έργου.*

(δ) *Με χρήση της έννοιας της Εντροπίας, όπως ορίστηκε από το Shannon (1948, (εξίσωση 2.1) υπολογίζεται η χρηματοροή, λαμβάνοντας υπόψη τον ενσωματωμένο στόχο του προσφοροδότη για αύξηση της καθαρής τρέχουσας αξίας (Net present value) του έργου.*

Εφόσον θέλουμε να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία ενός συστήματος όπως την καθόρισε ο Shannon (1948) χρειαζόμαστε την **πιθανότητα** να συμβούν τα **γεγονότα** που συναποτελούν αυτό το σύστημα ή το πείραμα. Επομένως θα πρέπει $\Sigma p_i=1$.

Η παραδοχή (α) πιο πάνω μεταφράζεται ως ακολούθως: η τιμή όλων των εργασιών, όπου τιμή είναι το κόστος συν (ή πλην) το ποσοστό από το συνολικό κέρδος, αθροίζει στη συνολική τιμή του έργου. Αυτή η τιμή (τιμή προσφοράς), παραμένει σταθερή και αναλλοίωτη και δεν επηρεάζεται από τον τρόπο που θα επιβαρυνθούν οι εργασίες. Αυτή είναι μία βελτίωση της προσέγγισης Χριστοδούλου (2009), αφού στην τελευταία, η τελική τιμή προσφοράς δεν «σταθεροποιείται» εν είδη περιορισμού στην επίλυση.

Ο περιορισμός αυτός τίθεται γιατί, για να καταλήξει ο Εργολάβος σε αυτό το ποσό της προσφοράς, (που ισούται με το συνολικό κόστος, δηλαδή το άθροισμα του κόστους των επιμέρους εργασιών που το συναποτελούν πολλαπλασιασμένο με το σταθερό συντελεστή, που έχει το όνομα πολλαπλασιαστής προσφοροδότησης (bid markup), έχει μελετήσει την ανταγωνιστικότητα της προσφοράς του (Friedman 1959) και επομένως μάλλον διευκολύνεται αν το ποσό αυτό σταθεροποιηθεί πριν από την περαιτέρω ανάλυση των επιμέρους εργασιών.

Υπενθυμίζουμε ότι

$$r_p = (C + O\&F)/C. \qquad (6.14)$$

όπου

C, πραγματικό κόστος του έργου

O&F, Διοικητικό Κοστος & Κέρδος (Overhead and Profit)

Η παραδοχή (β) υιοθετείται και στη μελέτη Χριστοδούλου (2009). Θεωρείται ότι οι τιμές προσφοράς των εργασιών έχουν μία διακύμανση. Αυτή τη διακύμανση ο Χριστοδούλου (2009) την ενεργοποιεί μέσα από την παράμετρο που ορίζει ως $p_{x,r.}$ Στην παρούσα διατριβή το σύμβολο p θα χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει πιθανότητες. Έτσι, για να εκφραστεί ο συντελεστής αυτός που ουσιαστικά λειτουργεί, όπως αναφέρει ο Χριστοδούλου (2009), ως συντελεστής ρίσκου αλλά και ως πολλαπλασιαστής στο κόστος κάθε εργασίας για να προκύψει η τιμή προσφοράς, θα χρησιμοποιηθεί το σύμβολο r. Δίνει λοιπόν ο Χριστοδούλου (2009) στον όρο $p_{x,r}$ την έννοια του συντελεστή κινδύνου (ρίσκου), ως ακολούθως:

$$r_j = f(q_x, c_x, t_x, d_x, e_x, ...) = [\frac{w_1 q_x + w_2 c_x + w_3 t_x + w_4 e_x + w_5 d_x + ...}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5}]\%. \quad (6.15)$$

όπου r_i (αντίστοιχο του $p_{x,r}$), ο πολλαπλασιαστής κάθε εργασίας (πολλαπλασιάζει το κόστος), q_x ο συντελεστής ρίσκου για την ποσότητα, c_x για το κόστος, t_x για τη διάρκεια, d_x για την καθυστέρηση στην αποπληρωμή κ.τ.λ. και w_i η βαρύτητα αυτών των κινδύνων στο συνολικό κίνδυνο. Σίγουρα για να εντοπιστούν αυτά τα μεγέθη χρειάζονται ιστορικές παρατηρήσεις που ο κάθε Εργολάβος πρέπει να κάνει για τα δικά του δεδομένα. Με βάση λοιπόν τους διαφόρους κινδύνους, ο εργολάβος καταλήγει για κάθε εργασία σε ένα επιμέρους πολλαπλασιαστή, ο οποίος, αν πολλαπλασιαστεί με το κόστος κάθε εργασίας θα δώσει το ποσό προσφοράς.

Το r_j πέραν της πιο πάνω σχέσης, στην απλή του μορφή, παίρνει κατά τον Χριστοδούλου (2009) τιμές μεταξύ δύο ορίων, μεγίστου και ελαχίστου. Η προσέγγιση αυτή υιοθετείται στην παρούσα διατριβή και επιπλέον ικανοποιεί την παραδοχή (β) πιο πάνω.

Τα όρια αυτά προσδιορίζονται με το να θεωρηθεί ο συντελεστής r_j για κάθε εργασία ως μία κανονική μεταβλητή με μέσο όρο και τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση πρέπει να λάβει τέτοια τιμή ώστε η καμιά μοναδιαία τιμή εργασίας να μην είναι κάτω από αυτό που ο ιδιοκτήτης/αξιολογητής της προσφοράς θα θεωρούσε ως μη αποδεκτό. Αν θυμηθούμε την πρακτική του τμήματος Δημοσίων Έργων Κύπρου να ελέγχουν τις τιμές για υπερβολικές αυξομειώσεις, αυτή η τελευταία προϋπόθεση είναι αναγκαία για να μην καταλήξει ο Εργολάβος να πάρει, μετά την αναπροσαρμογή από τον ιδιοκτήτη του έργου, ένα τιμολόγιο πολύ χειρότερο από αυτό που επιδίωκε ή ακόμα και να ακυρωθεί η προσφορά του.

Επιπλέον της οριοθέτησης που θέτει ο Χριστοδούλου (2009) στο συντελεστή αυτό στην παρούσα διατριβή αυτή έχουμε ακόμα ένα περιορισμό. Για να αποφύγουμε (όπως προέκυψε στις επιλύσεις) αρνητική πιθανότητα, βάζουμε κατώτατο όριο στη μεταβλητή r_j, τη μονάδα. Στην περίπτωση του «mathematically unbalanced bid» όπου δηλαδή έχουμε το βασικό κόστος και η ανισοκατανομή γίνεται μόνο στο μέρος του κέρδους, τα πράγματα είναι συμβατά με το όριο που βάζουμε αφού η αξία μίας εργασίας θα έχει όριο τουλάχιστον ίσο με το πραγματικό της κόστος.

Στην περίπτωση που θέλουμε να επιλύουμε με βάση το «materially unbalanced bid» τα πράγματα περιπλέκονται. Για άρση του προβλήματος θα πρέπει να αντικαταστήσουμε το βασικό κόστος κάθε εργασίας με ένα ποσοστό αυτού (μικρότερο της μονάδας) που αποτελεί το ελάχιστο που θεωρούμε ότι μπορεί να πάρει ως τιμή μία εργασία και από εκεί και πέρα το υπόλοιπο ποσοστό του βασικού κόστους συν το κέρδος παίζει το ρόλο αυτού που ονομάσαμε πιο πάνω κέρδος.

Η παραδοχή πιο πάνω (γ) επιτυγχάνεται με επίλυση με βάση τους ενωρίτερους χρόνους έναρξης και με τελική επιδίωξη τη μεγιστοποίηση της χρηματορροής χωρίς να αλλοιωθεί το αρχικά υπολογισθέν ποσό του έργου και χωρίς η διακύμανση της τιμής μίας εργασίας από το πραγματικό της κόστος να ξεπερνά κάποιο ποσοστό που ο εργολάβος κρίνει ότι δεν θα γίνει αποδεκτό από τον ιδιοκτήτη όπως αναφέρεται πιο πάνω. Σε αυτό δεν επέρχεται καμιά διαφοροποίηση από την πρόταση Χριστοδούλου (2009).

Ο τελικός στόχος (αν επιδιώκεται έμπροσθεν φόρτιση - front end loading) είναι η μεγιστοποίηση της καθαρής τρέχουσας αξίας του έργου (net present value).

Τέλος, για να πετύχουμε την παραδοχή (δ) πιο πάνω πρέπει, αντί του $p_{x,\,r}$ που έδωσε ο Χριστοδούλου, να χρησιμοποιηθεί μία άλλη παράμετρος που θα ικανοποιεί της αρχές του Shannon (1948). Αυτό γιατί η παράμετρος $p_{x,\,r,}$ ή r_j, όπως ορίστηκε εδώ δεν είναι συνάρτηση πιθανότητας.

Συνοψίζοντας τα πιο πάνω, έχουμε τις ακόλουθες διαφοροποιήσεις από τη μελέτη Χριστοδούλου (2009):

1.25.1 Πρώτη Βελτίωση

- Υπολογίζεται το ποσό της προφοράς του έργου T_{fixed} με πολλαπλασιασμό του βασικού κόστους ολόκληρου του έργου C επί το ποσοστό προσφοροδότησης r_p. Το ποσό αυτό το θεωρούμε σταθερό, δηλαδή είναι το ποσό που επιδιώκει ο εργολάβος από το συγκεκριμένο έργο και παραμένει αναλλοίωτο κατά τη διάρκεια της επίλυσης.
- Στη συνέχεια, γίνεται υπολογισμός του ποσού προσφοράς κάθε εργασίας (A_j) που ισούται με το πραγματικό κόστος της εργασίας (C_j, bare cost) πολλαπλασιασμένο με το συντελεστή r_j, όπως ορίστηκε στην παράγραφο 6.6.

Δηλαδή $A_j = C_j * r_j$, (6.13)

- Το συνολικό ποσό που προκύπτει από το άθροισμα αυτών των επι μέρους ποσών, δηλαδή $T_{total} = \Sigma A_j$, δεν είναι το ίδιο με το συνολικό ποσό προσφοράς που επιδιώκει ο εργολάβος (και που ισούται με T_{fixed}). Επειδή δε, επιδιώκουμε το ποσό της προσφοράς να είναι σταθερό, σταθμίζουμε το ποσό κάθε εργασίας πολλαπλασιάζοντας το με ένα διορθωτικό συντελεστή ν ίσο με $\nu = T_{total}/T_{fixed}$.

Έτσι προκύπτει ένας διορθωμένος r_i* που ισούται με

$$r_j^* = \nu^* r_j. \tag{6.14}$$

Αυτός ο συντελεστής πολλαπλασιαζόμενος με το κόστος κάθε εργασίας δίνει το συνολικό ποσό της εργασίας για την προσφορά (μετά τη διόρθωση)

1.25.2 Δεύτερη Βελτίωση: Υπολογισμός της Εντροπίας

Η Εντροπία στην επίλυση που ακολουθεί δεν είναι η ίδια με τη Χρηματική Εντροπία του Χριστοδούλου (2009) αλλά ορίζεται με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Υπενθυμίζεται ότι η χρηματική Εντροπία (Χριστοδούλου, 2009) ορίζεται από τη σχέση (6.13). Επειδή όμως το μέγεθος $p_{x,r}$ δεν είναι πιθανότητα, αλλά ένας συντελεστής που πολλαπλασιάζει το κόστος κάθε εργασίας για να δώσει την τιμή της προσφοράς (ένα μέγεθος συνήθως πάνω από τη μονάδα), το αποτέλεσμα της εξίσωσης 6.13 δεν αποτελεί την Εντροπία του Shannon (1948) και για αυτό αντικαθίσταται στην παρούσα διατριβή.

Τίθεται ένα νέο μέγεθος, p_i. Ως p_i θεωρείται το ποσοστό της ροής χρήματος που πληρώνεται προς τον Εργολάβο κάθε μέρα i (ή μήνα, ανάλογα με τη μονάδα μέτρησης του έργου) ως προς τη συνολική προσφορά και είναι ανάλογο με τον τρόπο κατανομής των ανθρώπινων πόρων που εξετάστηκε στα Κεφάλαια 3 και 4. Αυτό το μέγεθος, μπορεί να θεωρηθεί πλέον ως πιθανότητα και ισχύει ότι $\Sigma p_i=1$ αφού η ροή χρημάτων για όλες τις ημέρες ισούται με τη συνολική προσφορά.

Δηλαδή ακολουθείται περίπου ο τύπος 6.4 στου Stark (1968), ως ακολούθως

$$p_i = \sum_{j=1}^{n} Aij / T_{fixed}. \tag{6.18}$$

$A_j = r_j * C_j$ (6.19)

όπου,

A_{ij}, το ποσό πληρωμής για την εργασία j που αναμένεται να εκτελεστεί στην ημέρα i (ή στο μήνα i, ανάλογα με τη μονάδα του χρόνου) και A_j, το ποσό πληρωμής για την εργασία j

$T_{fixed} = r_p * C$ (6.20)

$$C = \sum_{i=1}^{j} C_j \quad (6.21)$$

Ως Εντροπία κατά τα γνωστά θεωρούμε το:

$H_i = \Sigma p_i \ln(1/p_i)$ (6.22)

Τέλος η υφιστάμενη τρέχουσα αξία του έργου (net present value) κατά τα γνωστά υπολογίζεται από τη σχέση

$$PV = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j}^{n} A_{ij} (1+r)^{-i} \quad (6.23)$$

όπου i=1,2,3…N οι ημέρες (μήνες του έργου) και j=1,2, …n οι εργασίες του έργου και r είναι το επιτόκιο.

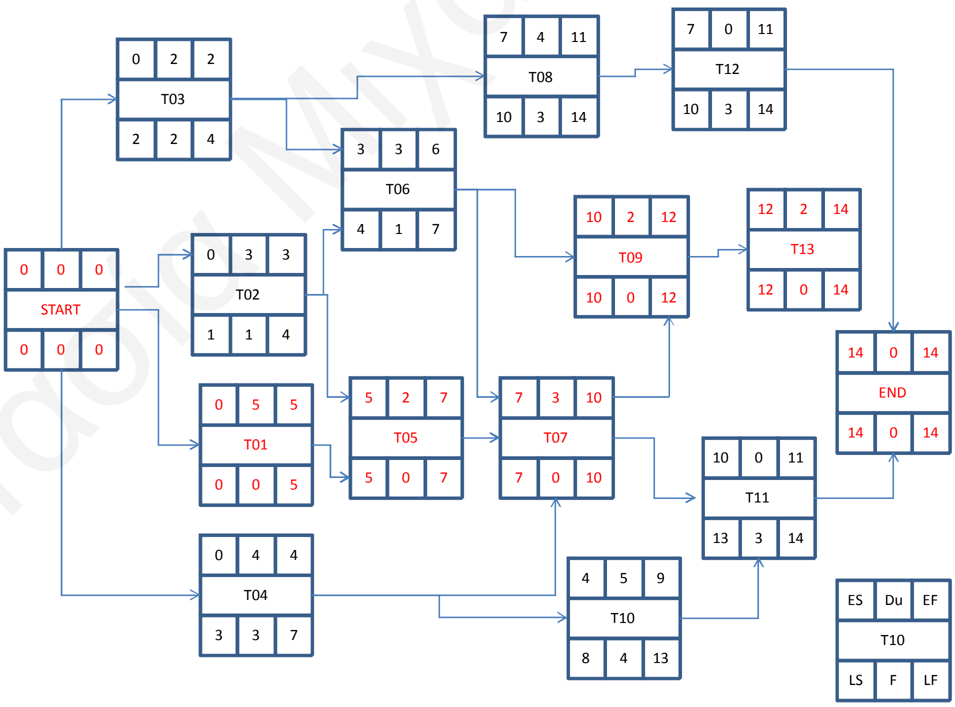
1.26 Λύση παραδείγματος μη ισο-ζυγισμένης προσφοράς με χρήση της Εντροπίας όπως καθορίστηκε από το Shannon

Ο εργολάβος επιδιώκει να αυξήσει το NPV του έργου. Αυτή η τιμή είναι η πραγματική αξία των λεφτών που θα αποκομίσει για το ποσό της προσφοράς του. ΄Οσο μεγαλύτερη είναι αυτή η αξία, τόσο πιο κερδισμένος είναι ο Εργολάβος.

Αυτή η επιδίωξη του εργολάβου για μεγιστοποίηση NPV επιτυγχάνεται όπως επεξηγήθηκε πιο πάνω με έμπροσθεν φόρτιση (front end loading). Είναι δε ακριβώς η αντίστροφη επιδίωξη από τη μεγιστοποίηση της Εντροπίας των χρηματοροών, και αυτό γιατί η μέγιστη Εντροπία σημαίνει, με βάση τα όσα επεξηγήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, ισο-κατανομή και όχι ανισο-κατανομή. Αντίθετα, η επιδίωξη ελαχιστοποίησης της Εντροπίας συνάδει με την επιδίωξη για μεγιστοποίηση του NPV μόνο που τότε η λύση δεν είναι μονοσήμαντη (Κεφάλαιο 5). Ελάχιστη Εντροπία, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.3 μπορεί να έχουμε είτε στην έμπροσθεν φόρτιση (front end loading), είτε στην όπισθεν φόρτιση (back end-loading), είτε σε άλλο εστιασμένο loading.

1.26.1 Επίλυση παραδείγματος

Μελετάται η ίδια περίπτωση που μελετήθηκε στη δημοσίευση Χριστοδούλου (2009), (Διάγραμμα 6.1), που είναι ένα μικρό έργο το οποίο αποτελείται από 13 εργασίες. Υπολογίζεται η ενωρίτερη έναρξη και λήξη για κάθε εργασία. Το κόστος κεφαλαίου είναι 5% διαιρεμένο με το 12 .



Διάγραμμα 0.1 Δικτύωμα προς επίλυση (Χριστοδούλου 2009)

Δεδομένα είναι επίσης, το κόστος κάθε εργασίας, ο υπολογισμός του οποίου δεν εμπίπτει στις επιδιώξεις αυτής της διατριβής. Στον πίνακα 6.3 φαίνεται το κόστος αυτό καθώς και η αξία της εργασίας με σταθερό πολλαπλασιαστή προσφοροδότησης κατανεμημένο ισόποσα σε όλες τις εργασίες.

Ακολουθούμε την επίλυση με τα βήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω που είναι παρόμοια με αυτά των Κεφαλαίων 3 και 4, δηλαδή:

- Προσομοίωση του προβλήματος
- Ανάπτυξη μηχανισμού παραγωγής πιθανών λύσεων
- Επίλυση, συμπεράσματα, αποτελέσματα

Πίνακας 0.3 Δεδομένα παραδείγματος προσφοροδότησης (Χριστοδούλου 2009)

Εργασία	Διάρκεια (σε μήνες)	Κόστος	Ποσοστό προσφοροδότησης για όλο το έργο r	Αξία εργασίας
T01	5	34800	1,15	40020
T02	3	80700	1,15	92805
T03	2	76800	1,15	88320
T04	4	83000	1,15	95450
T05	2	80250	1,15	92287,5
T06	3	68700	1,15	79005
T07	3	55750	1,15	64112,5
T08	5	37200	1,15	42780
T09	2	39100	1,15	44965
T10	5	30113	1,15	34629,95
T11	1	81450	1,15	93667,5
T12	4	33800	1,15	38870
T13	2	62250	1,15	71587,5
		763913		878499,95

1.26.2 Προσομείωση του προβλήματος

Χρειάζεται να γίνει προσομοίωση του προβλήματος ως να πρόκειται για πρόβλημα τύχης με ενδεχόμενα $\{x_1, x_2, x_3, \ldots x_\nu\}$ και με πιθανότητες $\{p_1, p_2, p_3, \ldots p_\nu\}$.

Για αυτό τίθενται οι ακόλουθοι ορισμοί:

Ορίζουμε ως γεγονότα A_i, τα ποσά των χρημάτων που ρέουν ανά ημέρα i $\{A_1, A_2, A_3, \ldots A_N\}$.

Ισχύει τότε

$$\sum_{i=1}^{N} A_i = T_{fixed} \tag{6.24}$$

όπου

$$A_i = \sum_{j}^{n} A_{ji} \tag{6.25}$$

Για να υπολογιστεί το A_{ij} (που είναι το ποσό των χρημάτων την ημέρα i από τη δραστηριότητα j), πρέπει να εντοπίζουμε κάθε ημέρα αν η δραστηριότητα j (συν)τρέχει μία συγκεκριμένη ημέρα (i) του έργου, αν η έναρξη της πραγματοποιείται πριν ή κατά την ημέρα ενδιαφέροντος (i) και η λήξη της συμβαίνει μετά ή κατά την ημέρα ενδιαφέροντος (i).

Ως p_i παίρνουμε το αποτέλεσμα της εξίσωσης (6.18). Από τον ορισμό αυτό παρατηρείται ότι ικανοποιούνται οι βασικές προϋποθέσεις για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία στον προγραμματισμό, δηλαδή $\Sigma p_i=1$.

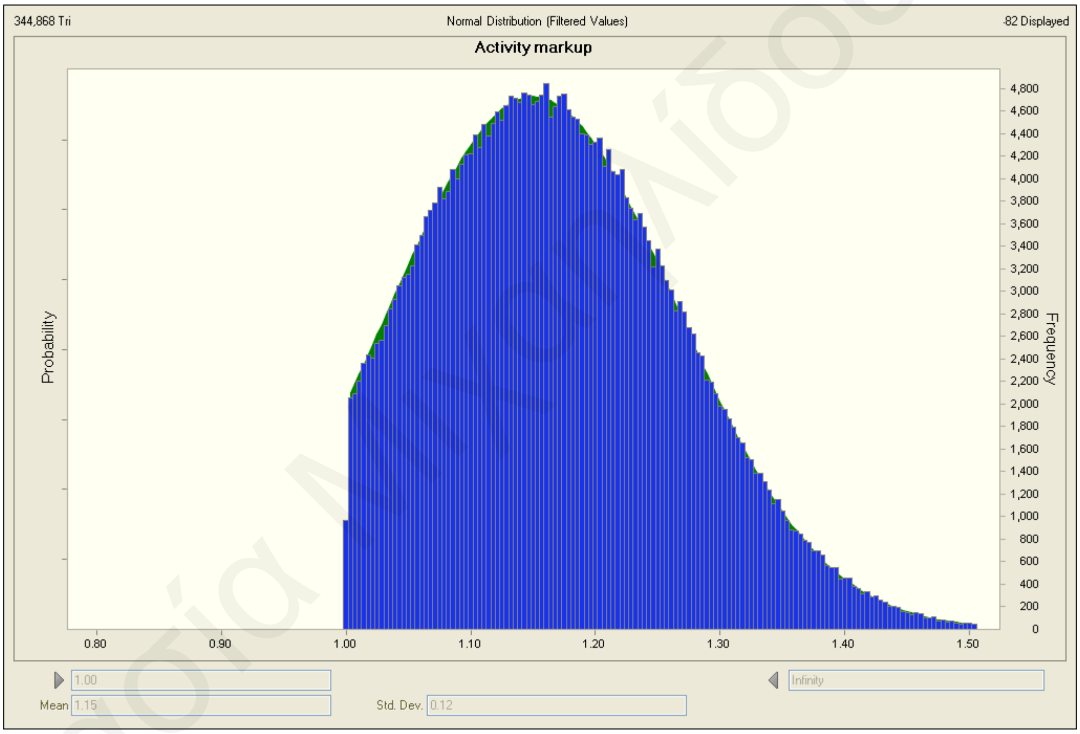
1.26.3 Ανάπτυξη του μηχανισμού παραγωγής πιθανών λύσεων

Ετοιμάζεται ένα φύλλο εργασίας excel στο οποίο γίνεται μαθηματική απεικόνιση του Δικτυώματος (Πίνακας 6.4). Στόχος είναι το πρόβλημα της Εντροπίας να επιλυθεί με Προσομοιωτή Crystall Ball, ο οποίος θα παράγει γρήγορα μεγάλο αριθμό πιθανών λύσεων.

Αυτό που θεωρείται ως μεταβλητή είναι η μεταβλητή r_j (πριν τη διόρθωση), η οποία προσομοιώνεται όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 0.2 . Ο μέσος όρος ισούται με r_p (1.15) με κάτω όριο την μονάδα, όπως επεξηγήθηκε προηγουμένως, και τυπική απόκλιση 0.12 (10% r_p).

Πίνακας 0.4 Φύλλο Excel με δραστηριότητες και παραμέτρους τους

#	Δραστη ριότητα	Διάρκεια	ES	EF	Activity bare cost	Activity markup (ri)	Activity total value, ActVal	Corrected activity markup ri* = ri* v	Activity final value (after correction), Aj	Activity daily cost = Aj/Dur
1	T01	5	0	5	34800	1,15	40020	1,15	40020	8004
2	T02	3	0	3	80700	1,15	92805	1,15	92805	30935
3	T03	2	0	2	76800	1,15	88320	1,15	88320	44160
4	T04	4	0	4	83000	1,15	95450	1,15	95450	23862,5
5	T05	2	5	7	80250	1,15	92287,5	1,15	92287,5	46143,75
6	T06	3	3	6	68700	1,15	79005	1,15	79005	26335
7	T07	3	7	10	55750	1,15	64112,5	1,15	64112,5	21370,8333
8	T08	5	2	7	37200	1,15	42780	1,15	42780	8556
9	T09	2	10	12	39100	1,15	44965	1,15	44965	22482,5
10	T10	5	4	9	30113	1,15	34629,95	1,15	34629,95	6925,99
11	T11	1	10	11	81450	1,15	93667,5	1,15	93667,5	93667,5
12	T12	4	7	11	33800	1,15	38870	1,15	38870	9717,5
13	T13	2	12	14	62250	1,15	71587,5	1,15	71587,5	35793,75
14	END	0	14	14	763913	Ttotal	878499,95		878499,95	62749,9964



Διάγραμμα 0.2 Τυπικό διάγραμμα πολλαπλασιαστών εργασιών r_j

Προσομοιώνεται ως κανονική κατανομή με τιμή αποκοπής (cutoff) την μονάδα

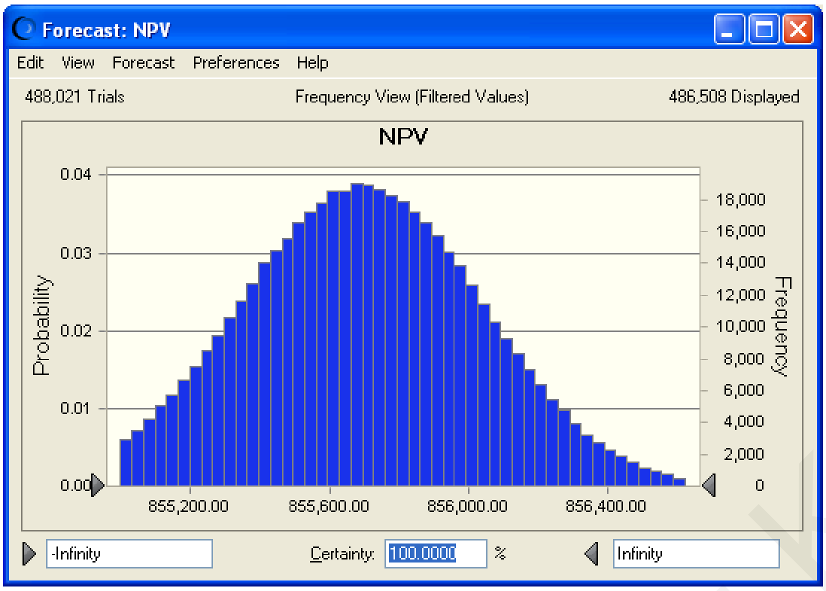
Για υπολογιστεί το A_{ij} στο φύλλο Excel, γίνεται κατά τα γνωστά ένας πίνακας, σε συνέχεια του πρώτου (Πίνακας 6.5) με στήλες τις ημέρες του έργου από την ημέρα 1 μέχρι την τελική. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου παραδείγματος αυτός ο αριθμός είναι ίσος με 14. Οι γραμμές του πίνακα είναι οι δραστηριότητες (j) με αποτέλεσμα να έχουμε ένα πίνακα (matrix), όπου σε κάθε κελί καθορίζεται ένα σενάριο (if statement) ως ακολούθως: αν η έναρξη, (start), της εργασίας (j) είναι μικρότερη ή ίση με την ημέρα i (από το 1 έως το 14) και η λήξη (finish) μεγαλύτερη ή ίση με την ημέρα (δηλαδή αν η δραστηριότητα συν/τρέχει εκείνη την ημέρα) τότε στο κελί να καταχωρηθεί το ποσό της εργασίας ανά ημέρα.

Πίνακας 0.5 Φύλλο Excel με μήνες, ποσά, πιθανότητες και Εντροπίες

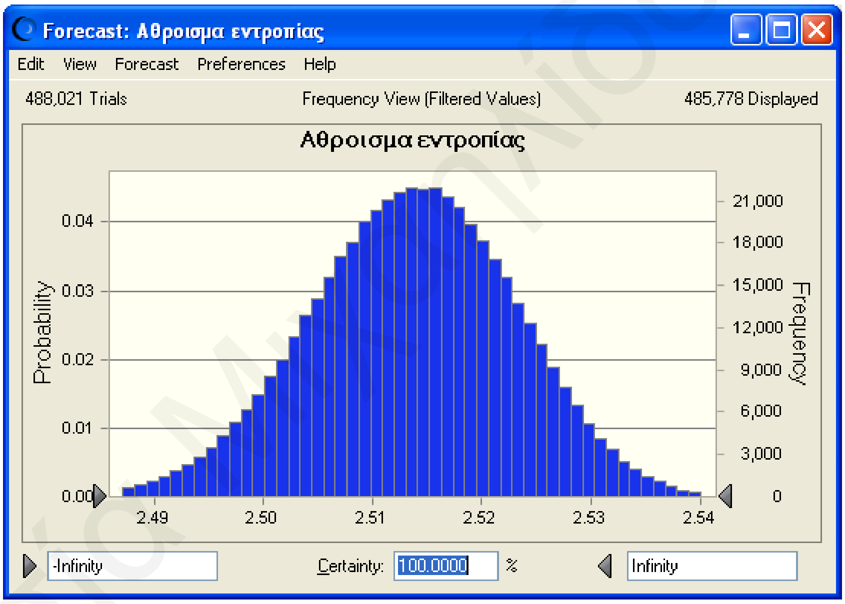
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
		Ημέρα 1η	Ημέρα 2η	Ημέρα 3η	.....												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Activity daily cost =Aj/Dur																	
8004	0	8004	AjI=IF(AND($D4<M$2;$E4>= M$2);$K4; 0)		8004	8004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30935	0	30935			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44160	0	44160			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23862,5	0	23863	23862,5	23862,5	23862,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46143,75	0	0	0	0	0	0	46143,8	46143,8	0	0	0	0	0	0	0	0	
26335	0	0	0	0	26335	26335	26335	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21370,8333	0	0	0	0	0	0	0	0	21370,8	21370,8	21370,8	0	0	0	0	0	
8556	0	0	0	8556	8556	8556	8556	8556	0	0	0	0	0	0	0	0	
22482,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22482,5	22482,5	0	0	0	
6925,99	0	0	0	0	0	6925,99	6925,99	6925,99	6925,99	6925,99	0	0	0	0	0	0	
93667,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93667,5	0	0	0	0	
9717,5	0	0	0	0	0	0	0	0	9717,5	9717,5	9717,5	9717,5	0	0	0	0	
35793,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35793,8	35793,8	0	
62749,9964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ai	106962	106962	71357,5	66757,5	49821	87960,7	61625,7	38014,3	38014,3	31088,3	125868	22482,5	35793,8	35793,8	0	0
	NPV	106518	106076	70472,9	65656,4	48795,9	85793,4	59857,9	36770,6	36618	29822,2	120240	21388,2	33910,3	33769,6	0	0
	pi	0,1218	0,12175	0,08123	0,07599	0,05671	0,10013	0,07015	0,04327	0,04327	0,03539	0,14328	0,02559	0,04074	0,04074	0	0
	Entropy	0,2564	0,25638	0,20392	0,19584	0,16275	0,23042	0,18639	0,13588	0,13588	0,11824	0,27838	0,09381	0,1304	0,1304	0	0

1.26.4 Αποτελέσματα

Στόχος, όπως ορίστηκε στην αρχή, είναι η μεγιστοποίηση του NPV και ταυτόχρονα η ελαχιστοποίηση του κινδύνου. Επεξηγήθηκε επίσης ότι η Εντροπία ως μέγεθος παίρνει τις κατώτερες της τιμές, είτε όταν το NPV είναι μέγιστο (front end loading), είτε όταν είναι ελάχιστον (back end loading). Στο Διάγραμμα 0.3 φαίνεται η διακύμανση του NPV και στο Διάγραμμα 0.4 η διακύμανση της Εντροπίας. Αξιοσημείωτο είναι το γράφημα που δείχνει τη μεταβολή του ποσοστού του NPV προς την Εντροπία (Διάγραμμα 6.5). Παρατηρείται ότι τιμές χαμηλής Εντροπίας δίνονται τόσο για μικρές τιμές όσο και μεγάλες τιμές του NPV. Και αυτό γιατί μία χαμηλή Εντροπία μπορεί να σημαίνει front loading (μέγιστο NPV) ή back loading (ελαχιστον NPV), όπως φαίνεται από το διάγραμμα.



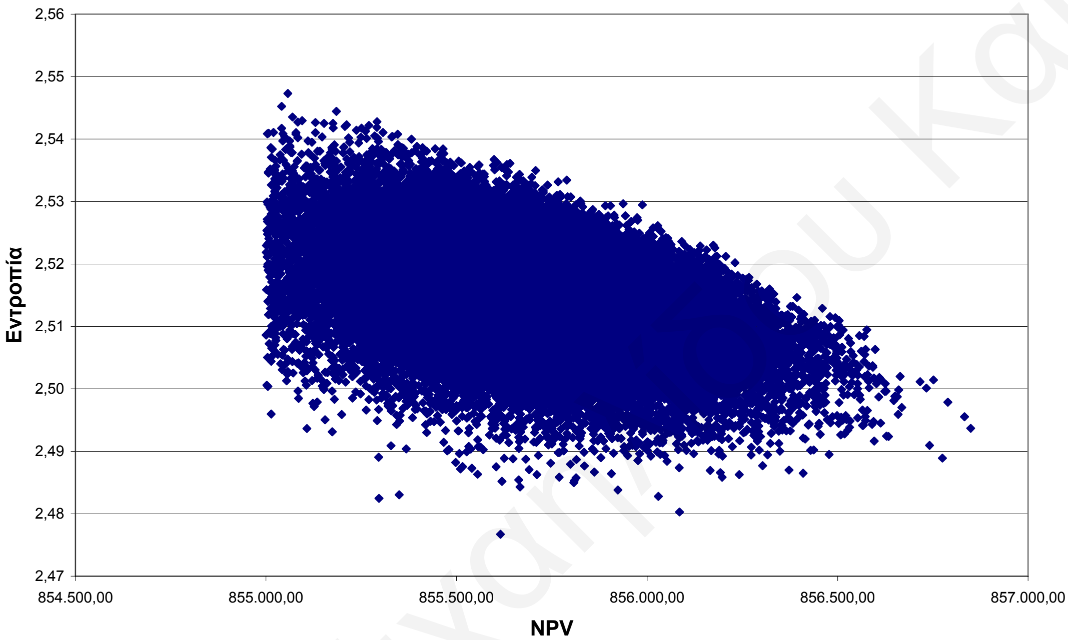
Διάγραμμα 0.3 Διακύμανση NPV.



Διάγραμμα 0.4 Διακύμανση Εντροπίας

Επομένως η Εντροπία (ελάχιστη) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέγεθος που θα αντικαταστήσει το NPV. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση ενός άλλου μεγέθους, του κινδύνου που αντιμετωπίζει ο Εργολάβος από την ανισοκατανομή του Κέρδους επί των εργασιών.

Η συσχέτιση του κινδύνου με την Εντροπία σε αυτό το κεφάλαια γίνεται βασιζόμενο στη λογική που λέει ότι ο κίνδυνος που αναλαμβάνεται από τον Εργολάβο που ανισοκατανέμει το κέρδος του είναι να υπερφορτώσει εργασίες με υπερβολικό ποσοστό κέρδους (πολύ μεγαλύτερο του r_p) και τελικά οι ποσότητες από αυτές τις εργασίες να μειωθούν. Επομένως όσο πιο κοντά στην ισο-κατανομή του κέρδους (επομένως μέγιστη Εντροπία) βρίσκεται ο Εργολάβος, τόσο μειώνει τον κίνδυνο αυτό. Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται μαθηματική τεκμηρίωση αυτής της λογικής.



Διάγραμμα 0.5 Συσχέτιση Εντροπίας με NPV

1.27 Επιλογή καλύτερης λύσης

Η επιλογή της καλύτερης λύσης μπορεί επομένως να γίνει με δύο κριτήρια.

α) ικανοποιητικό NPV

β) μεγαλύτερη δυνατή Εντροπία (δηλαδή μικρότερος δυνατόν κίνδυνος).

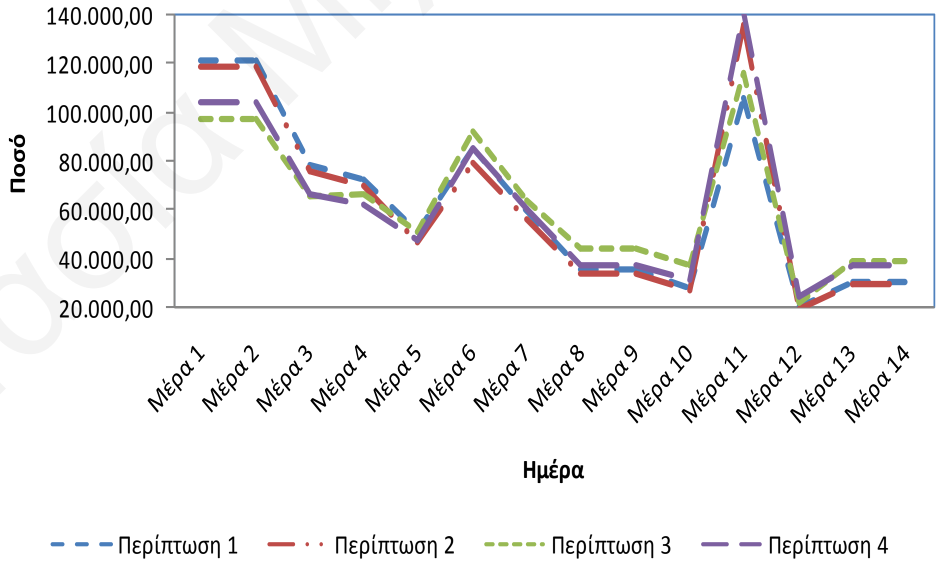
Ο συνδυασμός αυτό εμπεριέχει τη λογική ότι για παρόμοιες τιμές NPV αναζητείται εκείνη η επιλογή που θα δώσει τη μεγαλύτερη δυνατή Εντροπία, και επομένως την μεγαλύτερη δυνατή ισο-κατανομή του κέρδους (O&P) επί του πραγματικού κόστους. Αυτό θα βοηθήσει στην επιλογή της λύσης με το μικρότερο δυνατό κίνδυνο από τυχόν διακυμάνσεις στις τιμές.

Σίγουρα αποκλείονται οι περιπτώσεις μέγιστης Εντροπίας, γιατί αυτές οδηγούν σε παντελή ισοκατανομή και επομένως υποφέρει το NPV. Επίσης αποκλείονται οι περιοχές μέγιστου NPV και ελάχιστης Εντροπίας, γιατί εμπεριέχουν ψηλό ρίσκο. Οι περιπτώσεις που επιλέγονται για περαιτέρω μελέτη φαίνονται στον Πίνακα 6.6

Πίνακας 0.6 Περιπτώσεις ενδιαφέροντος

Περίπτωση	**NPV**	**Αθροισμα Εντροπίας**	**Μ.Ο**	**σ**
Περίπτωση 1	857.209,81	2,49	62.750,00	35335,06
Περίπτωση 2	856.563,72	2,47	62.750,00	38691,86
Περίπτωση 3	855.020,82	2,55	62.750,00	28148,09
Περίπτωση 4	855.000,10	2,51	62.750,00	34158,67

Έχει αναπαρασταθεί στο διάγραμμα 6.6 η κατανομή της χρηματοροής για τις τέσσερις περιπτώσεις που έχουν επιλεγεί. Η πρώτη περίπτωση αφορά σε μέγιστο NPV και η τρίτη σε μέγιστη Εντροπία. Είναι φανερή οπτικά η βελτίωση της ισο-κατανομής της ροής, με αύξηση της Εντροπίας. Εισάγεται επίσης ακόμα ένα μέτρο, αυτό της τυπικής απόκλισης «σ» των τιμών ανά μήνα των τεσσάρων περιπτώσεων, που βοηθά ώστε η οπτική παρατήρηση να τεκμηριωθεί με ακόμα ένα μαθηματικό μέγεθος. Πράγματι, η τυπική απόκλιση της 3ης Περίπτωσης, (μέγιστης Εντροπίας) είναι η μικρότερη (Πίνακας 6.6).



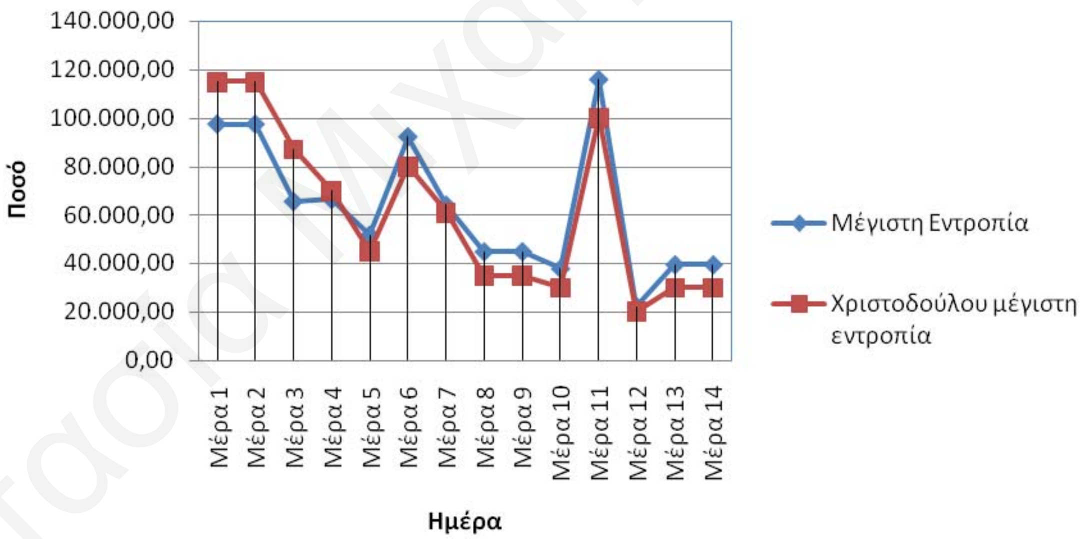
Διάγραμμα 0.6 Κατανομή ποσών πληρωτέων ανά ημέρα σε ενδιαφέρουσες περιπτώσεις μεγάλου NPV ή μεγάλης Εντροπίας.

Οι τιμές NPV και Εντροπίας για κάθε περίπτωση φαίνονται στον πίνακα 6.6.

1.28 Συζήτηση – Συμπεράσματα Κεφαλαίου 6.

Στα προβλήματα προσφοροδότησης η Εντροπία δίνει μονοσήμαντη απάντηση για υπολογισμό του κινδύνου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το αντισταθμιστικό μέγεθος της επιδίωξης για μέγιστο NPV.

Η επίλυση Χριστοδούλου (2009) πρότεινε παρομοίως ότι η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μέτρο του Κινδύνου. Στο Διάγραμμα (6.7) γίνεται σύγκριση των λύσεων με επιδίωξη της εξομάλυνσης (leveling) των χρηματοροών (leveling – μέγιστη Εντροπία) μεταξύ των δύο προσεγγίσεων για οπτική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής παρουσιάζονται με μεγαλύτερη εξομάλυνση σε σχέση με την επίλυση Χριστοδούλου (2009), παρόλο που δεν μπορούν να συγκριθούν πλήρως, γιατί στην επίλυση Χριστοδούλου (2009) δεν σταθεροποιήθηκε το συνολικό ποσό της προσφοράς.



Διάγραμμα 0.7 Σύγκριση ισοκατανεμημένων χρηματοροών (leveled cash flows, Χριστοδούλου 2009 και παρούσα διατριβή).

Η σημαντική βελτίωση που επιτεύχθηκε σε σχέση με την προσέγγιση Χριστοδούλου (2009) είναι ότι η επίλυση του προβλήματος έγινε με εφαρμογή των αρχών του Shannon (1948). Αυτό προσδίδει στην παρούσα προσέγγιση πλήρη αξιοπιστία που εδράζεται στην μαθηματική απόδειξη της 1ης ιδιότητας της Εντροπίας (Κεφάλαιο 2), Αντίθετη στην προσέγγιση Χριστοδούλου (2009) δεν χρησιμοποιήθηκε η Εντροπία κατά Shannon (1948).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Η ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΜΕΤΡΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΙΝΥΔΝΟΥ – ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΟΥ MARKOWTIZ (1959)

Εισαγωγή

Με τις μη ισοζυγισμένες προσφορές ο Εργολάβος ουσιαστικά διαφοροποιεί προς όφελος του τις προσφερόμενες τιμές με αποτέλεσμα τη διαφορά στη μέγιστη τρέχουσα αξία που καρπούται να την στερεί από τον Ιδιοκτήτη. Υπάρχει μεγάλη συζήτηση για το θέμα αυτό και πολλοί μελετητές πρότειναν διάφορους τρόπους προστασίας του Ιδιοκτήτη (Catell et al, 2007). Το παράδοξο και τιμωρητικό ίσως όμως συμβαίνει όταν ο Εργολάβος ετοιμάζει μία προσφορά στην οποία δεν έχει κατανέμει το ίδιο ποσοστό κέρδους (unbalanced) και τελικά οι ποσότητες στις εργασίες τις οποίες έχει υπερ-φορτώσει μειώνονται. Αυτό είναι ένα ρίσκο που ο Εργολάβος θα πρέπει να μπορεί να προβλέψει, αλλιώς κινδυνεύει να χάσει μεγάλο μερίδιο του κέρδους του από μία ενέργεια ανισο-κατανομής.

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο αναπτύχθηκε μία απιχειρηματολογία για το ότι η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο αποτίμησης του ρίσκου αφού όσο ο εργολάβος μειώνει την Εντροπία (και επομένως καταφεύγει σε λύσεις άνισης φόρτισης εργασιών) τόσο αυξάνει το ρίσκο του από διαφοροποιήσεις στις ποσότητες των εργασιών που υπερ-φόρτωσε.

Στο Κεφάλαιο αυτό αποδεικνύεται με χρήση γνωστών μεθόδων αποτίμησης κινδύνου γιατί είναι λογική η πιο πάνω παραδοχή ότι δηλαδή η Εντροπία μπορεί να θεωρηθεί ως το μέτρο του κινδύνου που αναλαμβάνει ένας Εργολάβος που προχωρεί σε ανισοκατανομή

1.29 Σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίου

Ενδιαφέρουσα είναι η μελέτη των Cattell et al, (2004) επί του θέματος. Η εισήγηση τους είναι να μεταφερθεί η προσέγγιση Markowitz (1959) στο χώρο των προσφοροδοτήσεων.

Η θεωρία του Markowitz (1959) βασίζεται στην βασική αρχή της Οικονομικής Μηχανικής (Financial Engineering) ότι η απόδοση (revenue) ενός οικονομικού εργαλείου (π.χ. μίας μετοχής) είναι ανάλογη του ρίσκου που εμπεριέχει. Έτσι π.χ. μετοχές με ψηλό ρίσκο (που ως ρίσκο θεωρείται ο βαθμός διακύμανσης στην απόδοση της μετοχής, ο οποίος μετρείται με την τυπική απόκλιση) αναμένεται να έχουν ψηλές αποδόσεις. Επιπλέον όμως, με βάση την ίδια θεωρία υπάρχουν μετοχές που έχουν παρόμοια απόδοση και διαφορετικό ρίσκο και άλλες με ψηλό ρίσκο και διαφορετική απόδοση. Με βάση τα πιο πάνω η θεωρία προτείνει ένα μοντέλο που βοηθά στον εντοπισμό του καλύτερου συνδυασμού μετοχών (χαρτοφυλάκιο μετοχών) στο οποίο ανάλογα με το ρίσκο που είναι διατεθειμένος να πάρει ο επενδυτής οι μετοχές αθροιστικά θα έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Η έννοια αυτή αποδίδεται με τον όρο «αποτελεσματικό μέτωπο κατά Markowitz» (optimal Markowitz frontier).

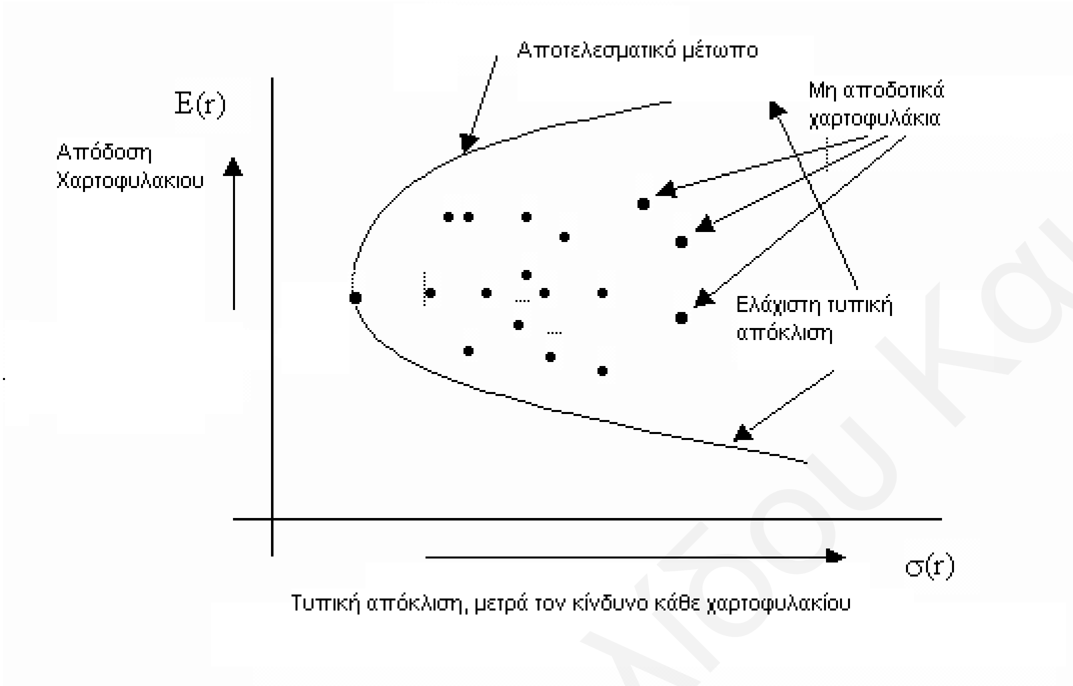
Στο Διάγραμμα 7.1, φαίνεται ένα παράδειγμα αποτελεσματικού μετώπου μετοχών. Είναι φανερό ότι ένα χαρτοφυλάκιο μετοχών που δεν βρίσκεται πάνω σε αυτό το μέτωπο δίνει την ίδια απόδοση με μεγαλύτερο ρίσκο σε σχέση με ένα άλλο που βρίσκεται.

Τα βήματα που προτείνονται από τη θεωρία του Markowitz για εντοπισμό του καλύτερου χαρτοφυλακίου των μετοχών έχουν ως ακολούθως:

α) Υπολογισμός του κινδύνου του χαρτοφυλακίου ως το μέτρο της συνολικής διακύμανσης του χαρτοφυλακίου $\min \omega^T \Sigma \omega$, όπου ω είναι το μητρώο (1xn) των βαρυτήτων των μετοχών εντός του χαρτοφυλακίου ($\Sigma \omega_i = 1$) και Σ το μητρώο (nxn) συνδιακύμανσης των μετοχών.

β) Υπολογισμός της απόδοσης του χαρτοφυλακίου $r_p = \omega^T R$, όπου R είναι το

1xn μητρώο στήλης των επιμέρους αποδόσεων των μετοχών του χαρτοφυλακίου.



Διάγραμμα 0.1 Αποτελεσματικό μέτωπο, Απόδοση χαρτοφυλακίων ως προς αντίστοιχο κίνδυνο, Markowitz (1959)

Όπως προτείνεται στη μελέτη των Cattell et al (2004), υπάρχουν αναλογίες στο χαρτοφυλάκιο των μετοχών με το χαρτοφυλάκιο των μοναδιαίων τιμών μίας προσφοράς. Ενώ στο δεύτερο ο Εργολάβος δεν μπορεί να επιλέξει εργασίες από μία μεγαλύτερη γκάμα (όπως ο επενδυτής μπορεί να κάνει με την τεράστια γκάμα των μετοχών), εντούτοις μπορεί να επιλέξει το βάρος που θα έχει κάθε εργασία στο χαρτοφυλάκιο των μοναδιαίων τιμών του. Αυτό το βάρος στο προηγούμενο Κεφάλαιο αποδόθηκε με το σύμβολο rj* - εξίσωση 6.17 .

1.30 Κατάστρωση του προβλήματος της ανισο-κατανομής του κέρδους για ελάχιστο ρίσκο με χρήση των αρχών του Markowitz 1959)

Επιδίωξη αυτού του κεφαλαίου είναι να αποδείξει ότι η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μέτρο αξιολόγησης του κινδύνου που αντιμετωπίζει ένας εργολάβος που προβαίνει σε ανι-σοκατανομή των τιμών. Ο κίνδυνος αυτός εστιάζεται στις πιθανές διαφοροποιήσεις από τις ποσότητες των εργασιών. Υιοθετώντας την εισήγηση Cattell et al (2004), θα αποδειχθεί αυτό μέσω της χρήσης της θεωρίας του Modern Portfolio (Markowitz 1959)

Για να γίνει αυτό τίθενται οι ακόλουθοι ορισμοί/παραδοχές:

α) Η πιθανή διακύμανση στις ποσότητες των εργασιών της προσφοράς αποτελεί την εξεταζόμενη πηγή ρίσκου, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω Η διακύμανση αυτή θεωρείται ότι ακολουθεί κανονική κατανομή. Επειδή το βασικός κόστος (bare cost) κάθε εργασίας είναι ευθέως συσχετισμένο με την ποσότητα (ποσότητα επί μοναδιαία τιμή κόστους = βασικό κόστος), θεωρείται ότι ο κίνδυνος από τη διαφοροποίηση στις ποσότητες των εργασιών μπορεί να εκφραστεί ως κίνδυνος από τη διαφοροποίηση στο βασικό κόστος. Θεωρείται με αυτό τον τρόπο ότι, το βασικό κόστος κάθε εργασίας ακολουθεί την κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση ίση με 10% της μέσης τιμής. Αυτή η διακύμανση αποτελεί την αιτία του πιθανού κινδύνου που αναλαμβάνει ένας εργολάβος όταν τιμολογεί την προσφορά του.

β) Θεωρείται ότι δεν υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των εργασιών. Αυτό είναι μία απλούστευση, και μεταφράζεται ως εάν όταν αφαιρείται π.χ. ποσότητα από μία εργασία, αυτό να μην συνεπάγεται αλυσιδωτά μεταβολές σε άλλες ποσότητες. Αυτό γίνεται ώστε το μητρώο S να απλοποιηθεί σε ένα διαγώνιο πίνακας όπου τα στοιχεία της διαγωνίου είναι οι τυπικές αποκλίσεις του κόστους.

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_j^2 & \\ & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \qquad (7.1)$$

Έτσι το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των δύο μητρώων $\omega^T \Sigma\, \omega$ απλοποιείται σε μία εξίσωση υπολογισμού του ρίσκου ως ακολούθως:

$$risk = \sum w_j{}^2 \sigma_j{}^2, \qquad (7.2)$$

όπου για την περίπτωση των εργασιών το w_j ισούται με

$$(r_j)' = r_j * -1 \tag{7.3}$$

Όπου r_j^* δίνεται από την εξίσωση 6.14.

και επομένως:

$$\text{risk} = \Sigma(rj)'^2 * \sigma_j^2 \tag{7.4}$$

Η απόδοση του χαρτοφυλακίου των δραστηριοτήτων (το ποσό που πληρώνεται ο εργολάβος) είναι

$$T_{fixed} = \sum_{j=1}^{N} A_j = \sum_{j=1}^{N} C_j r_j' = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{N} A_{ij} = r_p C. \tag{7.4}$$

όπου

C_j, το κόστος (bare cost) κάθε δραστηριότητας

r_j', ο διορθωμένος πολλαπλασιαστής κάθε δραστηριότητας

A_{ij}, το ποσό πληρωμής για την εργασία j που αναμένεται να εκτελεστεί στην ημέρα i (ή στο μήνα i, ανάλογα με τη μονάδα του χρόνου

i=1,2,3…ν οι ημέρες (μήνες του έργου) και j=1,2, …n οι εργασίες του έργου

Ισχύουν βέβαια, οι εξισώσεις 6.15 ως 6.20.

Γίνεται και πάλι η επίλυση του ίδιου προβλήματος, όπως και στο Κεφάλαιο 6. Στο Πίνακα 7.1, φαίνεται το φύλλο εργασίας excel, με μεταβλητή και πάλι το r_j

Πίνακας 0.1 Φύλλο εργασίας excel

#	Δραστηριότητα	Διάρκεια	ES	EF	Activity bare cost	Activity markup (ri)	Activity total value, ActVal	Corrected activity markup ri΄ = ri* v	Activity final value (after correction)	Activity daily cost	σ^2	risk= (ri΄)*(ri`)*σ^2
1	T01	5	0	5	34800	1,15	40020	1,15	40020	8004	800,4	18,009
2	T02	3	0	3	80700	1,15	92805	1,15	92805	30935	3093,5	69,60375
3	T03	2	0	2	76800	1,15	88320	1,15	88320	44160	4416	99,36
4	T04	4	0	4	83000	1,15	95450	1,15	95450	23862,5	2386,25	53,690625
5	T05	2	5	7	80250	1,15	92287,5	1,15	92287,5	46143,75	4614,375	103,8234375
6	T06	3	3	6	68700	1,15	79005	1,15	79005	26335	2633,5	59,25375
7	T07	3	7	10	55750	1,15	64112,5	1,15	64112,5	21370,8333	2137,083333	48,084375
8	T08	5	2	7	37200	1,15	42780	1,15	42780	8556	855,6	19,251
9	T09	2	10	12	39100	1,15	44965	1,15	44965	22482,5	2248,25	50,585625
10	T10	5	4	9	30113	1,15	34629,95	1,15	34629,95	6925,99	692,599	15,5834775
11	T11	1	10	11	81450	1,15	93667,5	1,15	93667,5	93667,5	9366,75	210,751875
12	T12	4	7	11	33800	1,15	38870	1,15	38870	9717,5	971,75	21,864375
13	T13	2	12	14	62250	1,15	71587,5	1,15	71587,5	35793,75	3579,375	80,5359375
14	END	0	14	14	763913	Ttotal	878499,95	14,95	878499,95	62749,9964		850,3972275

1.31 Αποτελέσματα

α) Το ρίσκο με την Εντροπία έχουν αντιστρόφως ανάλογη σχέση. ΄Οσο πιο μεγάλη η Εντροπία, τόσο λιγότερο το ρίσκο, και αυτό είναι λογικό αφού μέγιστη Εντροπία σημαίνει ισο-κατανομή του κέρδους και έτσι αφαιρούνται οι κίνδυνοι από αλλαγή στις ποσότητες.

β) Για παρόμοιο NPV υπάρχουν διαφορετικές τιμές ρίσκου και επομένως κάθε προσφοροδότης πρέπει να επιλέξει αυτή με το λιγότερο ρίσκο. (Διάγραμμα 7.2).

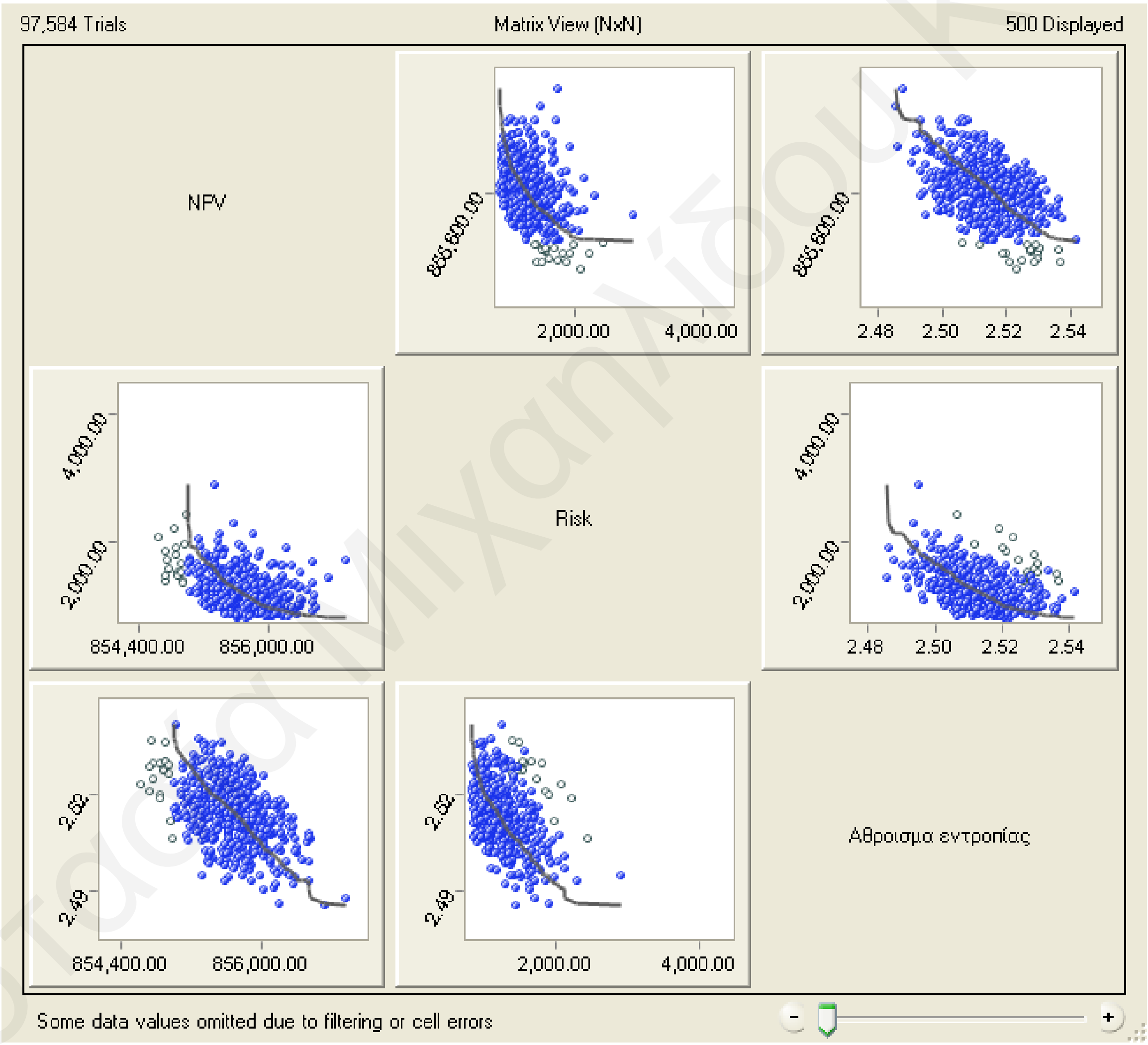
γ) Στα διαγράμματα 7.3 ως 7.5, αναπαρίστανται για τις διάφορες τιμές που παίρνουν οι συντελεστές $r_{j,}$ (όπου j=1 ως ν οι δραστηριότητες), τα μεγέθη NPV, risk και Εντροπία. Οι πρώτες 6 τιμές του συντελεστή r_j αντιστοιχούν (και για τις τρεις γραφικές παραστάσεις) σε τιμές ψηλού NPV και οι επόμενες 7 σε τιμές μικρού ρίσκου. Συνολικά δηλαδή ξεκινώντας από την πρώτη έως την $13^η$ τιμή, έχουμε τιμές μεγάλου προς μικρό ρίσκο και μεγάλου προς μικρό NPV.

Φαίνεται ότι οι τιμές μικρού ρίσκου και μεγάλης εντροπίας είναι μεταξύ τους ισοδύναμες έννοιες. Φαίνεται επίσης ότι προς τις τιμές μικρού ρίσκου ή μεγάλης εντροπίας οι τιμές των συντελεστών r_j γίνονται περίπου ίσες με r_p.

Λογικά επομένως θεωρήθηκε ότι η Εντροπία μετρά το ρίσκο που προκύπτει από την ανισοκατανομή του Κέρδους επί του βασικού κόστους των δραστηριοτήτων.

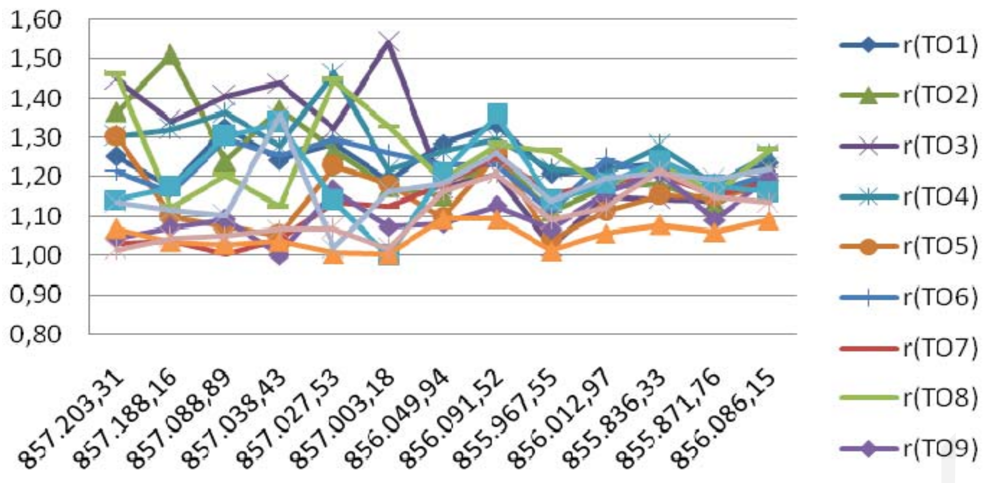
1.32 Συμπεράσματα Κεφαλαίου 7

Με βάση την πιο πάνω απόδειξη, προκύπτει ότι ένας προσφοροδότης μπορεί να χρησιμοποιήσει την Εντροπία για να μετρήσει το ρίσκο του από μία μη ισο-ζυγισμένη προσφοροδότηση. ΄Οσο απομακρύνεται η Εντροπία από τη μέγιστη τιμή, τόσο το ρίσκο μεγαλώνει. Η Εντροπία δίνει μονοσήμαντη απάντηση ως προς το μέγεθος του ρίσκου.

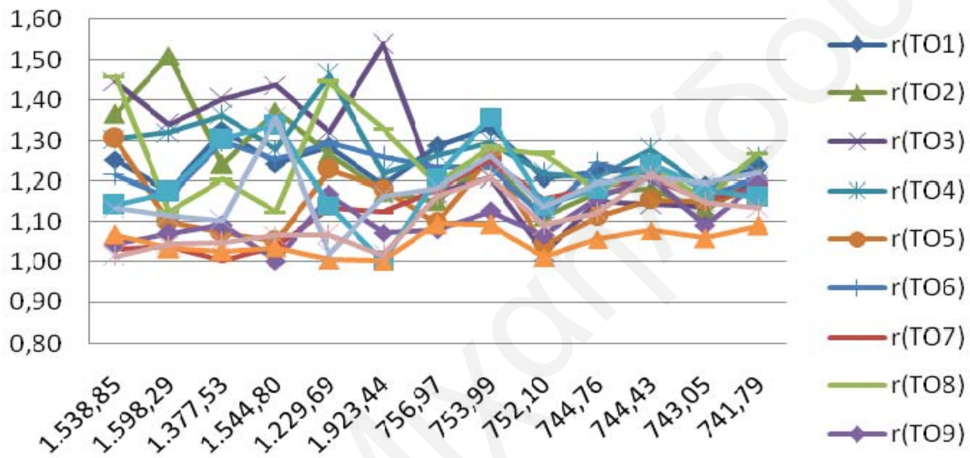


Διάγραμμα 0.2 Σχέση NPV με Ρίσκο και Εντροπία.

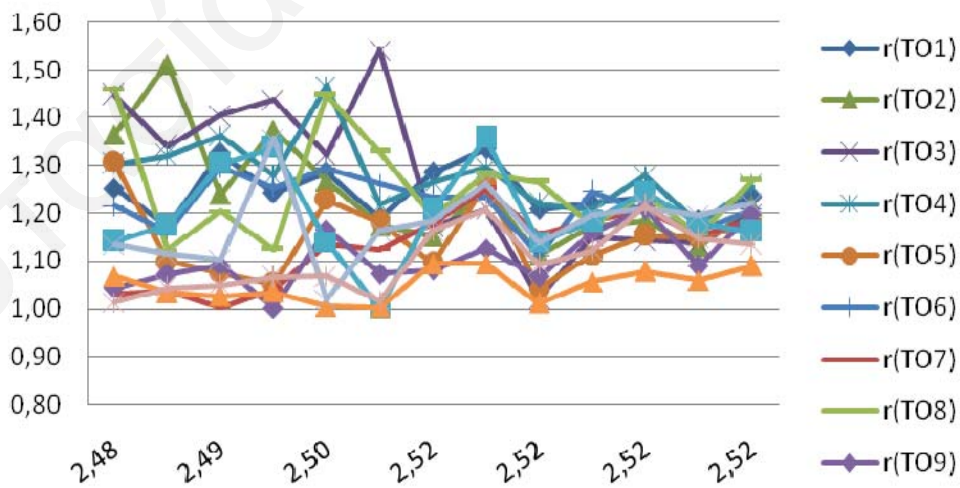
Ρίσκο και Εντροπία είναι αντιστρόφως ανάλογες σχέσεις.



Διάγραμμα 0.3 Τιμές r_i ως προς NPV



Διάγραμμα 0.4 Τιμές r_i ως προς το ρίσκο



Διάγραμμα 0.5 Τιμές r_i ως προς την Εντροπία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ ΕΡΓΩΝ

Εισαγωγή

Πολλές εταιρείες και δημόσια τμήματα / Οργανισμοί αντιμετωπίζουν την πρόκληση να καταφέρουν να υλοποιήσουν μία ομάδα έργων (χαρτοφυλάκιο έργων) μέσα σε στενά χρονικά πλαίσια που καθορίζονται από την πολιτική τους ή τους οικονομικούς τους στόχους.

Ένα συχνό λάθος που γίνεται είναι ότι κατά τον καταρτισμό του χαρτοφυλακίου των απαραίτητων έργων, η εταιρεία δεν λαμβάνει σοβαρά υπόψη μία παράμετρο την οποία δεν έχει σε αφθονία, δηλαδή τους ανθρώπινους πόρους. Συχνά το αποτέλεσμα είναι μία πολύ μεγάλη λίστα, με έργα που όλα έχουν πολύ ασφυκτικά χρονοδιαγράμματα και τα οποία απαιτούν για να ολοκληρωθούν έγκαιρα, προσωπικό αριθμητικά πολύ μεγαλύτερο από αυτό που είναι διαθέσιμο.

Στα Κεφάλαια 3 και 4 αναπτύχθηκε η μέθοδος ισο-κατανομής των ανθρώπινων πόρων σε ένα έργο με τη χρήση της Εντροπίας. Στο Κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται παρόμοια προσέγγιση που βοηθά στον καταρτισμό ενός ρεαλιστικού χρονοπρογράμματος του χαρτοφυλακίου των έργων που θα ισο-κατανέμει, κατά το δυνατόν, το εμπλεκόμενο ανθρώπινο δυναμικό. Ταυτόχρονα ως δεύτερη επιδίωξη, πέραν της ισο-κατανομής, τίθεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση οικονομικών και άλλων οφελών από την υλοποίηση των έργων.

Ο στόχος αυτού του Κεφαλαίου τίθεται ως ακολούθως.

Να επιτευχθεί κατά το δυνατόν ισοκατανομή του χρόνου του προσωπικού, στη *συμμετοχή για υλοποίηση έργων, με τέτοιο τρόπο και σε τέτοια έργα ώστε το όφελος να μεγιστοποιηθεί.*

1.33 Παραδοχές και ορισμοί

Τίθενται οι ακόλουθοι ορισμοί και παραδοχές.

- Ισοκατανομή των πόρων του μεμονωμένου έργου. Θεωρείται ότι εντός του ίδιου έργου έχει επιτευχθεί ισοκατανομή των ανθρώπινων πόρων με χρήση της Εντροπίας (Κεφάλαια 3 και 4).

- Αποτίμηση οφέλους έργου. Για σκοπούς γενίκευσης της προσέγγισης το όφελος του έργου μπορεί να είναι οικονομικό ή άλλου είδους (π.χ. κοινωνικό, περιβαλλοντικό, η συγκράτηση πελατών κ.τ.λ.). Η αξία του οφέλους θα αποτιμάται με βάση μία κλίμακα από 1 ως 5 (1 χαμηλή αξία και 5 ψηλή αξία έργου).

- Μέγεθος και περιεχόμενο χαρτοφυλακίου έργων. Θεωρούμε για σκοπούς της διατριβής, ότι το χαρτοφυλάκιο των έργων περιλαμβάνει 60 έργα ετησίως. Θεωρούμε επίσης ότι το περιεχόμενό του, δηλαδή τα συγκεκριμένα έργα που το συναποτελούν παραμένει σταθερό.

- Χρόνοι έργου. Η διάρκεια εκτέλεσης κάθε έργου μπορεί να μεταβάλλεται, μέσα όμως σε κάποια πλαίσια. Η έναρξη του έργου θα μπορεί να μετακινηθεί. Μάλιστα αυτό θα αποτελεί και ένα παράγοντα τον οποίο θα ρυθμίζει η μέθοδος της Εντροπίας ώστε να εντοπιστεί το βέλτιστο χρονοπρόγραμμα.

- Διαθέσιμος χρόνος στελεχών. Ο διαθέσιμος χρόνος κάθε μέλους του προσωπικού /στελέχους για έργα είναι περίπου 30% του ολικού του χρόνου στην εργασία. Ο λόγος που τίθεται αυτός ο περιορισμός είναι ότι υπάρχουν εταιρείες (όπως π.χ. η ΑΤΗΚ) όπου το προσωπικό που εμπλέκεται στην υλοποίηση των έργων εκτελεί και άλλα καθήκοντα. Το ποσοστό αυτό είναι παράμετρος που μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες. Π.χ σε εταιρείες όπου τα στελέχη ασχολούνται μόνο με έργα (π.χ. εταιρεία ανάπτυξης λογισμικών προγραμμάτων), τότε το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι 100%.

1.34 Χρήση της Εντροπίας για βελτίωση του χρονοπρογραμματισμού χαρτοφυλακίου των έργων – Περιπτωσιακή μελέτη ΑΤΗΚ-ένα στέλεχος

Η ΑΤΗΚ (Cyta) είναι ένας δημόσιος Οργανισμός που υλοποιεί κάθε χρόνο μεγάλο αριθμό έργων μέσα στα πλαίσια του αναπτυξιακού της προγράμματος. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως η προς μελέτη περίπτωση της εφαρμογής της μεθόδου της Εντροπίας.

Το πρώτο παράδειγμα που θα επιλυθεί είναι ένα χαρτοφυλάκιο 16 έργων (υποσύνολο του ολικού χαρτοφυλακίου), στο οποίο συμμετέχει ένα στέλεχος. Θεωρείται δηλαδή ότι στα 16 αυτά έργα συμμετέχουν διάφορα άτομα, ένα όμως στέλεχος συμμετέχει σε όλα τα έργα, με διαφορετικά κάθε φορά ποσοστά του χρόνου του. Ο αριθμός 16 (δηλαδή να συμμετέχει ένα άτομο/στέλεχος σε 16 διαφορετικά έργα) είναι ιδιαίτερα μεγάλος, θεωρείται όμως ότι έτσι καλύπτει όλες τις περιπτώσεις. Στόχος είναι να μετακινηθούν, (διαφοροποιηθούν) οι ημερομηνίες έναρξης, λήξης και διάρκειες των 16 έργων με τέτοιο τρόπο ώστε το στέλεχος να διαθέτει μέχρι 30% του χρόνου του που είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό για αυτόν (παράγραφος 8.1), με όσο το δυνατόν ισοζυγισμένο τρόπο.

1.34.1 Δεδομένα για κάθε έργο

Για κάθε έργο (j) καθορίζονται τα ακόλουθα:

- Το ποσοστό του απαιτούμενου χρόνου που το στέλεχος θα πρέπει να διαθέτει σε κάθε έργο ($p_{bas(j)}$). Το ποσοστό αυτό ονομάζεται βασικό ποσοστό και ορίζεται ως ακολούθως: το ποσοστό του χρόνου που το στέλεχος πρέπει να αφιερώσει στο έργο, για την αρχική διάρκεια του έργου. Αυτό σημαίνει ότι αν η διάρκεια του έργου μεγαλώσει, το ποσοστό αυτό θα μειωθεί αναλογικά και το αντίστροφο.

- Αρχική διάρκεια του έργου είναι η αρχικά υπολογιζόμενη διάρκεια ($d_{or(j)}$)

- Τελική διάρκεια του έργου ($d_{final(j)}$). Στη διάρκεια του έργου επιτρέπουμε μία διακύμανση. Συγκεκριμένα επιτρέπουμε να υπάρχει διακύμανση που θα ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο όρο την αρχική διάρκεια και τυπική απόκλιση που καθορίζεται ανάλογα με τα στενά περιθώρια του έργου. Αυτή η μεταβλητότητα μας επιτρέπει να μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη ισο-κατανομή του πόρου (όπως το παράδειγμα του Κεφαλαίου 4).

- Η αξία ή το όφελος του έργου κυμαίνεται μεταξύ της βαθμολογίας 1 ως 5 (A_j)

- Βραδύτερη δυνατή έναρξη για κάθε έργο ισούται με το χρόνο που επιθυμούμε να έχουμε ολοκληρώσει όλα τα έργα μείον την αρχική διάρκεια κάθε έργου. Στο παράδειγμα, ο χρόνος που επιθυμούμε να ολοκληρωθούν όλα τα έργα είναι 12 μήνες.

- Υφιστάμενη τρέχουσα αξία (Net present value, NPV) του χαρτοφυλακίου υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο που υπολογίζεται το οικονομικό NPV. Στην περίπτωση εδώ έχουμε:

$$NPV = \sum_{i=1}^{\nu} \sum_{j=1}^{k} \frac{A_j}{(1+r)^i} \qquad (8.1)$$

όπου

A_j η αξία ή το όφελος του έργου j, η οποία θεωρείται ότι αποδίδεται το μήνα (i) στον οποίο ολοκληρώνεται το έργο και μετρείται μεταξύ 1 ως 5.

1,2,3,….j τα έργα του χαρτοφυλακίου

ν οι μήνες από τον $1^{\text{ο}}$ μέχρι το τελευταίο για τον οποίο γίνεται σχεδιασμός

r = 0,02 το μηνιαίο κόστος κεφαλαίου

Είναι φανερό ότι όσο τα έργα καθυστερούν να ολοκληρωθούν, τόσο η υφιστάμενη τρέχουσα αξία του μειώνεται. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε, θέτοντας ως στόχο την εξασφάλιση του μέγιστου δυνατού NPV από όλα τα έργα, να επιλέγονται λύσεις από τις εναλλακτικές όπου:

- NPV = μέγιστο
- Εντροπία = μέγιστη (ώστε να εξασφαλίζεται ισο-κατανομή του χρόνου του στελέχους επί των έργων).

1.34.2 Προσομοίωση του προβλήματος

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα Κεφάλαια, για τον υπολογισμό της Εντροπίας ενός συστήματος ή ενός πειράματος χρειάζεται να προσομοιωθεί το πρόβλημα ως να πρόκειται για πρόβλημα τύχης με ενδεχόμενα $\{x_1, x_2, x_3, \ldots x_\nu\}$ και με πιθανότητες $p_1, p_2, p_3, \ldots p_\nu$.

Ορίζουμε ως γεγονότα, το ποσοστό του χρόνου που θα διαθέτει το στέλεχος ανά μήνα για όλα τα έργα, $\{R_1, R_2, R_3, \ldots R_\nu\}$, με R_i το ποσοστό που τυχαία κατανέμεται ανά μήνα. i.

Ισχύει τότε

$$\sum_{i=1}^{\nu} R_i = R_T \qquad (8.2)$$

όπου R_T το συνολικό ποσοστό χρόνου που θα αφιερώσει το στέλεχος στα έργα στην υπό αναφορά περίοδο.

και ν ο συνολικός αριθμός των μηνών εκτέλεσης των έργων.

Ορίζουμε επίσης ως πιθανότητα του γεγονότος i, το ποσοστό των πόρων που ανατίθεται στο έργο ανά μήνα (R_i) ως προς τον συνολικό ποσοστό (R_T).

$$p_i = \frac{R_i}{R_T} \tag{8.3}$$

Και τέλος ορίζουμε ως Εντροπία

$$H = \sum_{i=1}^{\nu} p_i \ln\left(\frac{1}{p_i}\right) \tag{8.4}$$

Όπου i=1 ως ν οι μήνες.

Από τον ορισμό αυτό παρατηρείται ότι ικανοποιούνται οι βασικές προϋποθέσεις για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία στον προγραμματισμό, δηλαδή Σpi=1.

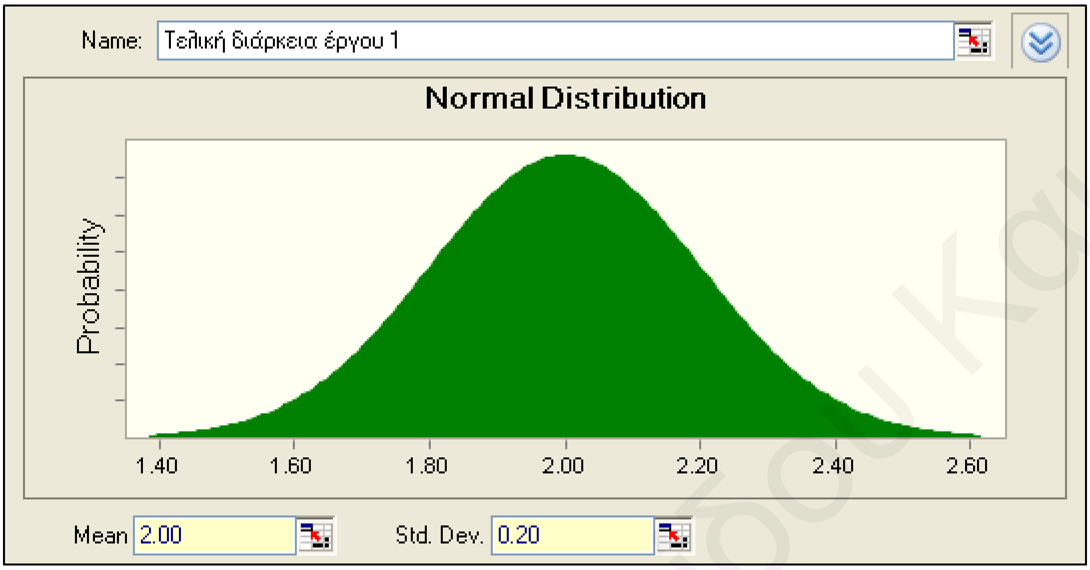
Ετοιμάζεται ένα φύλλο εργασίας excel (Πίνακας 8.1) στο οποίο γίνεται μαθηματική απεικόνιση του προβλήματος με στόχο την παραγωγή λύσεων. Στόχος είναι το πρόβλημα της Εντροπίας να επιλυθεί με Προσομοιωτή Crystall Ball, ο οποίος θα δοκιμάζει κάθε φορά, μεταβάλλοντας τις διάρκειες των έργων και την έναρξη τους (μέσα στα πλαίσια που τέθηκαν πιο πάνω) να δώσει τη λύση της μέγιστης Εντροπίας.

Πίνακας 0.1 Excel για προσομοίωση του προβλήματος

Δεδομένα έργα για συμμετοχή ενός Στελέχους										
α/α έργου	Βασικό ποσοστό	Τελικό ποσοστό	Τελική διάρκεια έργου	Αρχική διάρκεια έργου	Τυπική απόκλιση διάρκειας	΄Οφελος	NPV	΄Εναρξη	Λήξη	Βραδύτερος χρόνος έναρξης
΄Εργο 1	0,03	0,0265046	2,26375553	2	0,2	5	4,595164	2	4,263756	10
΄Εργο 2	0,06	0,0623502	4,81152847	5	0,5	5	4,456458	1	5,811528	7
΄Εργο 3	0,015	0,0138859	4,32092571	4	0,4	1	0,899993	1	5,320926	8
΄Εργο 4	0,06	0,0626166	1,91642579	2	0,2	5	4,719416	1	2,916426	10
΄Εργο 5	0,03	0,0310786	1,93058769	2	0,2	6	4,92886	8	9,930588	10
΄Εργο 6	0,015	0,0169602	3,53770269	4	0,4	1	0,795745	8	11,5377	8
΄Εργο 7	0,15	0,1470739	3,05968559	3	0,3	5	4,613771	1	4,059686	9
΄Εργο 8	0,03	0,0354083	3,38903588	4	0,4	6	5,183275	4	7,389036	8
΄Εργο 9	0,06	0,0662214	5,43630776	6	0,6	2	1,626582	5	10,43631	6
΄Εργο 10	0,03	0,0322549	2,7902721	3	0,3	5	4,038051	8	10,79027	9
΄Εργο 11	0,03	0,0292694	2,04992145	2	0,2	4	3,619343	3	5,049921	10
΄Εργο 12	0,09	0,0927674	1,94033648	2	0,2	2	1,849875	2	3,940336	10
΄Εργο 13	0,03	0,0321565	1,86587269	2	0,2	2	1,889657	1	2,865873	10
΄Εργο 14	0,015	0,0167515	1,79088824	2	0,2	1	0,946233	1	2,790888	10
΄Εργο 15	0,015	0,0152786	1,96353359	2	0,2	1	0,924513	2	3,963534	10
΄Εργο 16	0,03	0,026585	1,12845748	1	0,1	3	2,876181	1	2,128457	11

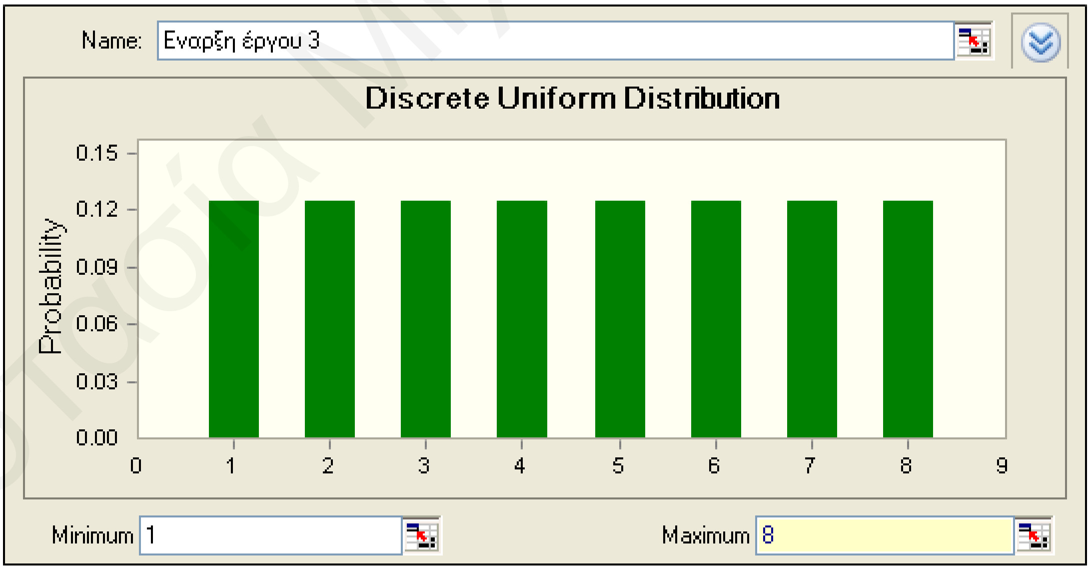
Ενεργοποιείται ο προσομοιωτής «Decisioneering's Crystal Ball». Οι στήλες "Τελική διάρκεια" και "έναρξη" καθορίζονται ως ακολούθως.

α) Η Τελική διάρκεια, $d_{final(j)}$ θεωρείται ως μεταβλητή που ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο όρο και τυπική απόκλιση όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 8.2.1 πιο πάνω (Διάγραμμα 8.1).



Διάγραμμα 0.1 Διακύμανση τελική διάρκειας έργου $d_{final(j)}$

β) Η έναρξη (Διάγραμμα 8.2) θεωρείται ως διακριτή μεταβλητή από το μήνα 1 έως την βραδύτερη έναρξη.



Διάγραμμα 0.2 Έναρξη έργου

Με τον πιο πάνω τρόπο ουσιαστικά ορίζουμε ότι τα έργα που έχουν περιθώριο να μετακινηθούν, μπορούν να το κάνουν μέχρι το σημείο της βραδύτερης δυνατής έναρξης που έχουν

Με παρόμοιο τρόπο, όπως στην ανάλυση των Κεφαλαίων 3 και 4:

$R_i = \Sigma r_{ji}$ (8.6)

όπου
i, μήνας
j, έργο
R_i το ποσοστό του χρόνου που το στέλεχος αφιερώνει για όλα τα έργα που είναι εμπλεκόμενος ανά μήνα,
r_{ji} το ποσοστό του χρόνου του που το στέλεχος αφιερώνει σε κάθε μήνα i για το έργο j.

Ένα έργο κατά τα γνωστά (συν)τρέχει κατά ένα συγκεκριμένο μήνα (i) αν η έναρξη του πραγματοποιείται πριν ή τον μήνα ενδιαφέροντος (i) και η λήξη του συμβαίνει μετά ή κατά τον μήνα ενδιαφέροντος (i).

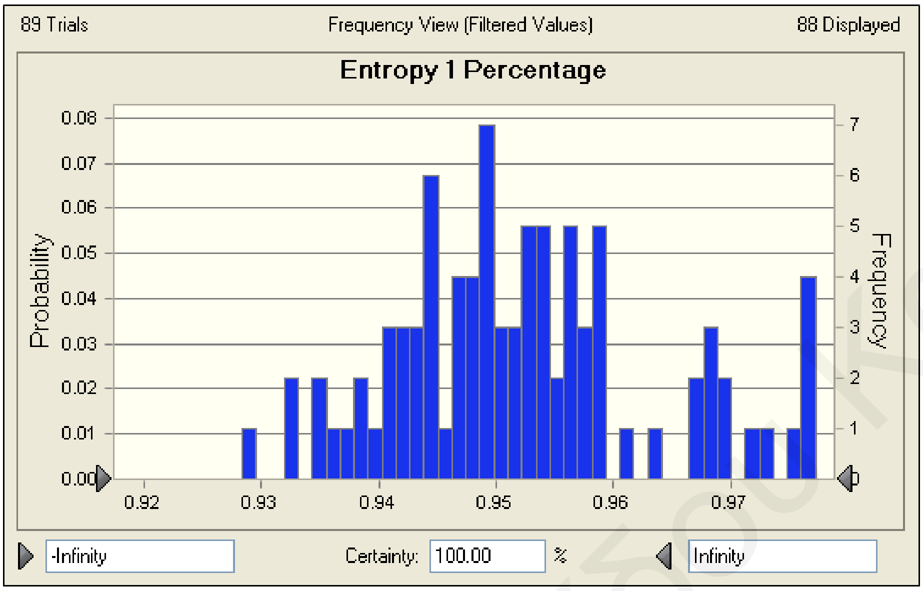
Για υπολογισμό των πόρων στο φύλλο Excel ακολουθούνται τα ίδια βήματα που αναπτύχθηκαν σε έκταση στα Κεφάλαια 3 και 4.

1.34.3 Αποτελέσματα / Συμπεράσματα

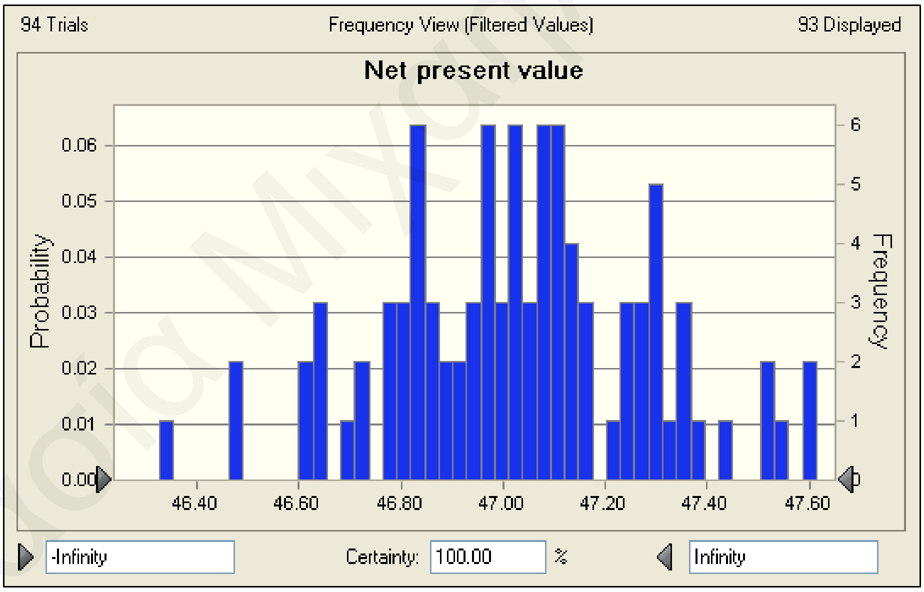
Παρατηρούμε ότι η Εντροπία (το ποσοστό της Εντροπίας ως προς τη μέγιστη) παίρνει τιμές από 0,92 μέχρι και 0,97 (Διάγραμμα 8.3). Διακύμανση παρουσιάζει επίσης για τις διάφορες λύσεις, η υφιστάμενη τρέχουσα αξία (NPV), Διάγραμμα 8.4.

Συγκρίνοντας τρεις διαφορετικές επιλογές (μέγιστου NPV, μέγιστης Εντροπίας και μέσου NPV και Εντροπίας. Διάγραμμα 8.5), διαπιστώνεται ότι:

α) Η λύση του μέγιστου NPV, ωθεί τα έργα να ξεκινήσουν νωρίτερα. Τότε το στέλεχος φαίνεται να εργάζεται τους πρώτους μήνες, αλλά να αδρανοποιείται στη συνέχεια. Η λύση της μέγιστης εντροπίας γίνεται εις βάρος του NPV. Η καλύτερη λύση βρίσκεται στη μέση.

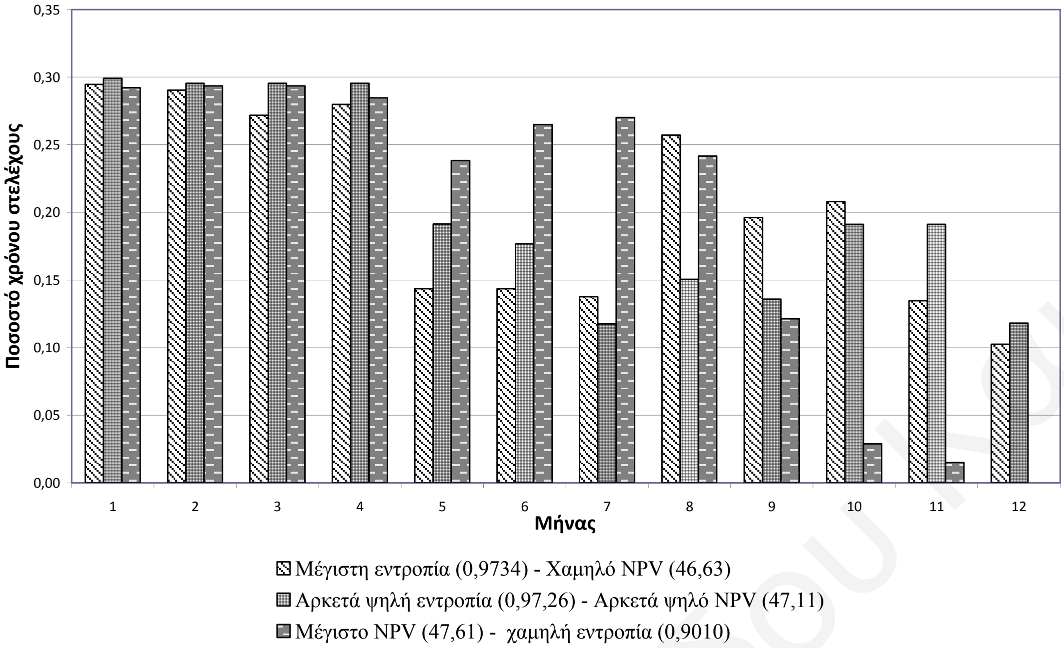


Διάγραμμα 0.3 Ποσοστό Εντροπίας



Διάγραμμα 0.4 Υφιστάμενη τρέχουσα αξία χαρτοφυλακίου (Net present value)

β) Είναι ενδιαφέρον να χρησιμοποιηθεί ως μέγεθος αποτίμησης της διακύμανσης του ποσοστού του χρόνου του στελέχους ανά μήνα η τυπική απόκλιση των ποσοστών αυτών. Στον πίνακα 8.2 φαίνονται οι τυπικές αποκλίσεις για τις τρεις λύσεις. Η μέγιστη Εντροπία δίνει τη μικρότερη τυπική απόκλιση (= διακύμανση), μεταξύ των ποσοστών των 12 μηνών.



Διάγραμμα 0.5 Κατανομή χρόνου στελέχους στην περίπτωση μέγιστης Εντροπίας και μέγιστου NPV και σε ενδιάμεση περίπτωση.

Πίνακας 0.2 Τυπική απόκλιση τριών περιπτώσεων.

	Μέση τιμή	σ
Μέγιστη εντροπία (0,9734) - Χαμηλό NPV (46,63)	0,20499876	0,071216
Αρκετά ψηλή εντροπία (0,97,26) - Αρκετά ψηλό NPV (47,11)	0,20484056	0,072445
Μέγιστο NPV (47,61) - χαμηλή εντροπία (0,9010)	0,19536853	0,118677

1.35 Χρήση της Εντροπίας για βελτίωση του χρονοπρογραμματισμού του χαρτοφυλακίου των έργων. Επίλυση για όλα τα στελέχη για όλα τα έργα. Περιπτωσιακή μελέτη έργων ΑΤΗΚ

Επεκτείνεται το παράδειγμα της παραγράφου 8.2. Θεωρούμε ένα χαρτοφυλάκιο στο οποίο υπάρχουν 60 έργα. Για την εκτέλεση κάθε έργου απαιτείται μία ομάδα εργασίας (ομάδα στελεχών).

Τα στελέχη που απαιτούνται στην ομάδα εργασίας θεωρείται ότι κατέχουν ένα συγκεκριμένο ρόλο (π.χ. Διαχειριστής Έργου-Project manager, ειδικός επί τεχνικών θεμάτων, ειδικός για συστήματα πληροφορικής κ.τ.λ.).

Ορίζουμε με παρόμοιο τρόπο όπως στην ενότητα 8.2, ξεχωριστά για κάθε ρόλο (k) το ποσοστό του χρόνου $\{R_{1(k)}, R_{2(k)}, R_{3(k)}, \ldots R_{\nu(k)}\}$, με $R_{i(k)}$, που απαιτείται ανά μήνα i.

Ισχύει τότε

$$R_{i(k)} = \sum_{\iota=1}^{\nu} \sum_{j=1}^{m} r_{i,j(k)} \tag{8.8}$$

και

$$\sum_{i}^{\nu} R_{i(k)} = R_T(k) \tag{8.9}$$

Όπου

i = 1 ως ν, οι μήνες

j=1 ως ν, τα έργα

$r_{i,j(k)}$ τα μηνιαία τελικά ποσοστά που ο ρόλος (k) πρέπει να αφιερώσει σε όλα τα έργα j που τυγχάνει να είναι ενεργοποιημένα τον μήνα i

$R_{T(k)}$ το συνολικό ποσοστό χρόνου που θα αφιερώσει ο ρόλος (k) στα έργα στην υπό αναφορά περίοδο.

τότε ισχύει

$$p_{i(k)} = \frac{R_{i(k()}}{R)} \tag{8.10}$$

$$H_{(k)} = \sum_{i=1}^{\nu} p_{i(k)} \ln\left(\frac{1}{p_{i(k)}}\right) \tag{8.11}$$

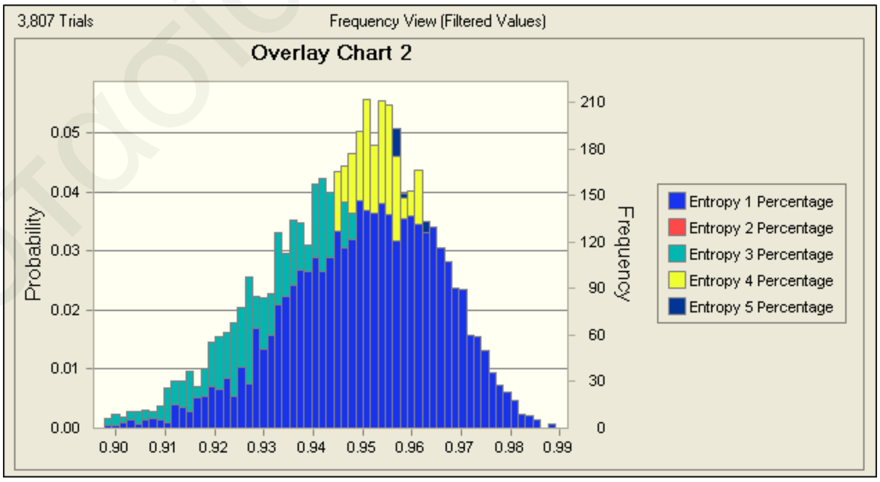
Από τον ορισμό αυτό παρατηρείται ότι ικανοποιούνται οι βασικές προϋποθέσεις για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εντροπία ανά ρόλο στον προγραμματισμό, δηλαδή Σpi(k)=1.

Ουσιαστικά η προσέγγιση είναι μεταφορά της ισο-κατανομής με δύο ή περισσότερους πόρους που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4, μόνο που στην περίπτωση αυτή αντί να διαχειριζόμαστε ένα έργο, διαχειριζόμαστε ένα χαρτοφυλάκιο έργων.

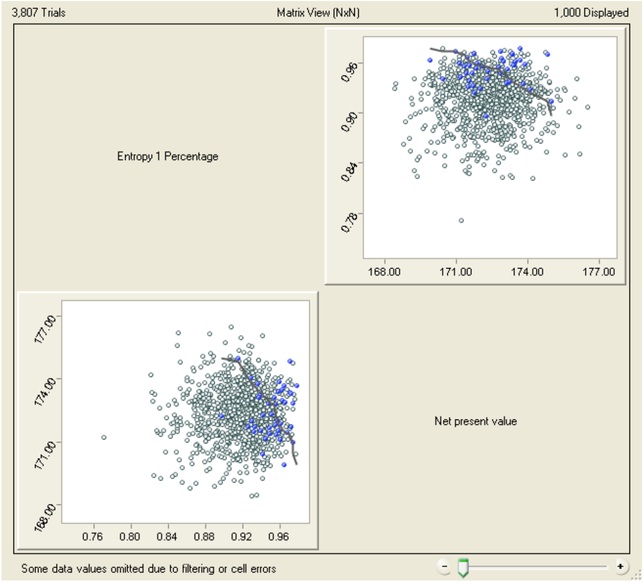
Ετοιμάζεται κατά τα γνωστά το φύλλο excel και χρησιμοποιείται ο προσομοιωτής Crystal Ball. Όπως και στο Κεφάλαιο 4, πρέπει να αποφασιστεί πριν την επίλυση μία ιεράρχηση της σημασίας των ρόλων. Στο παράδειγμα επιλέγεται ο ρόλος 1 να είναι μεγαλύτερης σημασίας από τους ρόλους 2 και 3, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι μεγαλύτερης σημασίας από τους ρόλους 4 και 5. Επίσης με παρόμοιο τρόπο όπως στην ενότητα 8.2, λαμβάνεται υπόψη η υφιστάμενη τρέχουσα αξία του χαρτοφυλακίου (NPV) και η προσπάθεια μεγιστοποίησής της.

1.35.1 Αποτελέσματα

Στο Διάγραμμα 8.6 φαίνεται η διακύμανση στις εντροπίες των πέντε ρόλων. Στο Διάγραμμα 8.7 φαίνεται η συσχέτιση της Εντροπίας και του πρώτου ρόλου με το NPV. Η σχέση είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη, αφού η μεγαλύτερη τρέχουσα αξία επιτυγχάνεται όταν όλα τα έργα αρχίσουν και ολοκληρωθούν το ενωρίτερο δυνατόν, αντί να εκτελούνται με κριτήριο την ισοκατανομή του χρόνου του πόρου 1.



Διάγραμμα 0.6 Εντροπίες των πέντε ρόλων



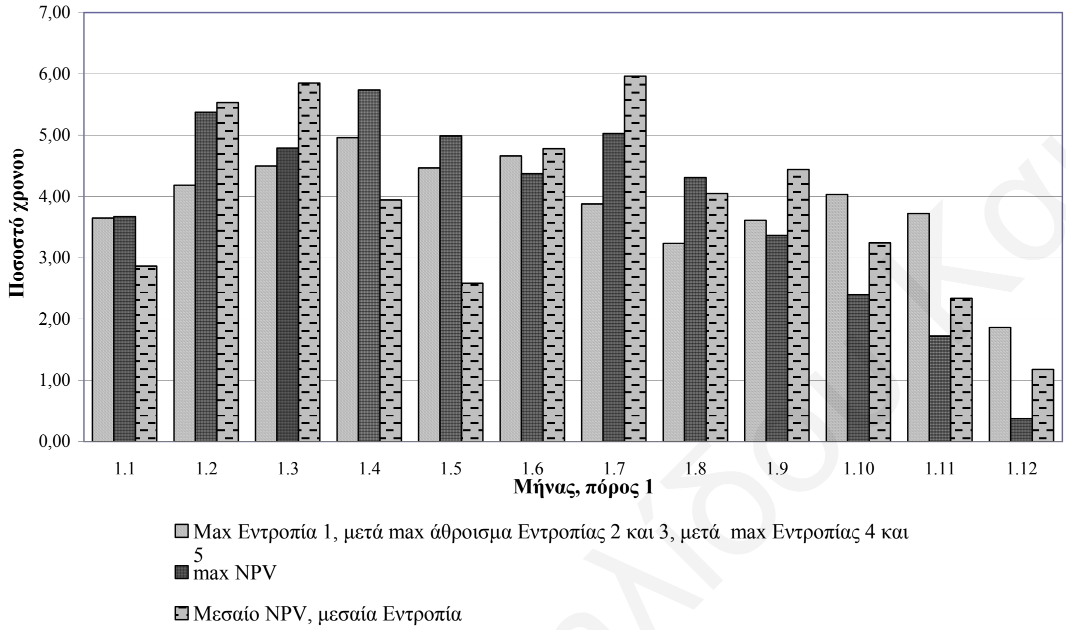
Διάγραμμα 0.7 Συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της Εντροπίας του ρόλου 1 και της αξίας του χαρτοφυλακίου (NPV).

Επιλέγονται να εξεταστούν τρεις λύσεις, μέγιστου NPV, μέγιστης Εντροπίας και μέσης κατάστασης (Πίνακας 8.3). Παρατηρούμε ότι η καλύτερη κατανομή στο χρόνο του ρόλου 1 γίνεται στη μέγιστη Εντροπία, ενώ η χειρότερη κατανομή στην μέγιστη τρέχουσα αξία. Τέλος μία μεσαία κατάσταση φαίνεται να συμβιβάζει τα ίδιο άκρα. (Διάγραμμα 8.8). Για όλους τους ρόλους ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις. Παρατηρούμε ότι έχουμε κάποια υπο-απασχόληση στους τελευταίους τρεις μήνες. Αυτό οφείλεται στους περιορισμούς που έχουν τεθεί, ότι δηλαδή όλα τα έργα θα πρέπει να έχουν συμπληρωθεί σε ένα χρόνο (εφόσον μιλούμε για τον ετήσιο προγραμματισμό) και έτσι στο τέλος μόνο κάποια έργα εξακολουθούν να τρέχουν.

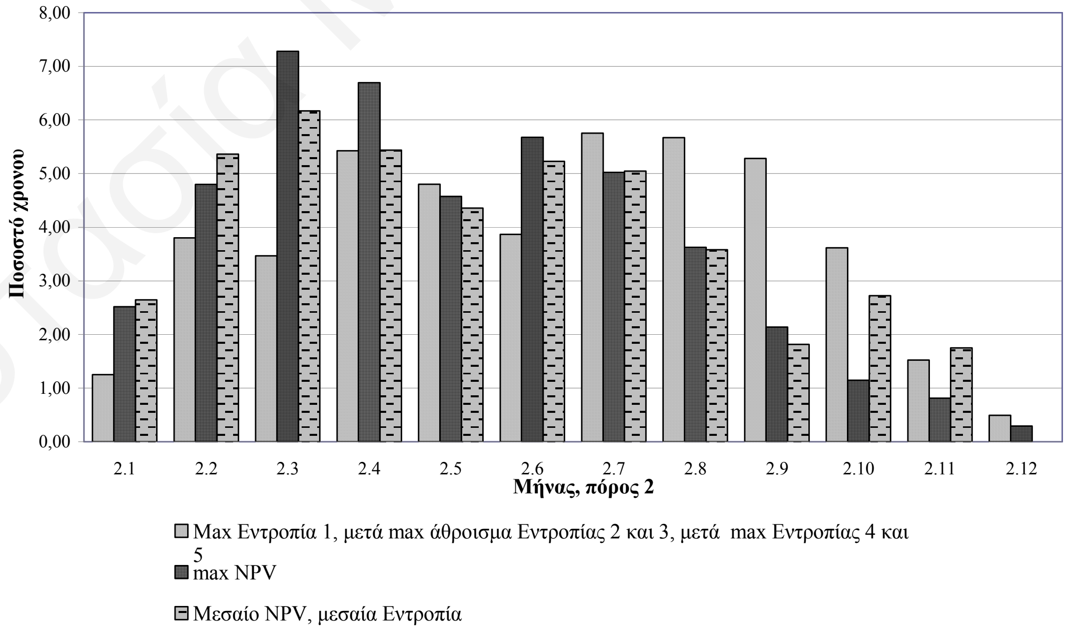
Πίνακας 0.3 Εναλλακτικές επιλογές με βάση εντροπία 1^{ου} πόρου

Επιλεγεισες λύσεις	Entropy 1 Percentage	Entropy 2 Percentage	Entropy 3 Percentage	Entropy 4 Percentage	Entropy 5 Percentage	Entropy percentage of 2 and 3	Entropy percentage of 4 and 5	Net present value
Max Εντροπία 1, μετά max άθροισμα Εντροπίας 2 και 3, μετά max Εντροπίας 4 και 5	0,99	0,99	0,93	0,97	0,97	1,90	1,94	173,09
max NPV	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	1,93	1,89	176,13
Μεσαίο NPV, μεσαία Εντροπία	0,97	0,97	0,92	0,95	0,95	1,84	1,90	175,05

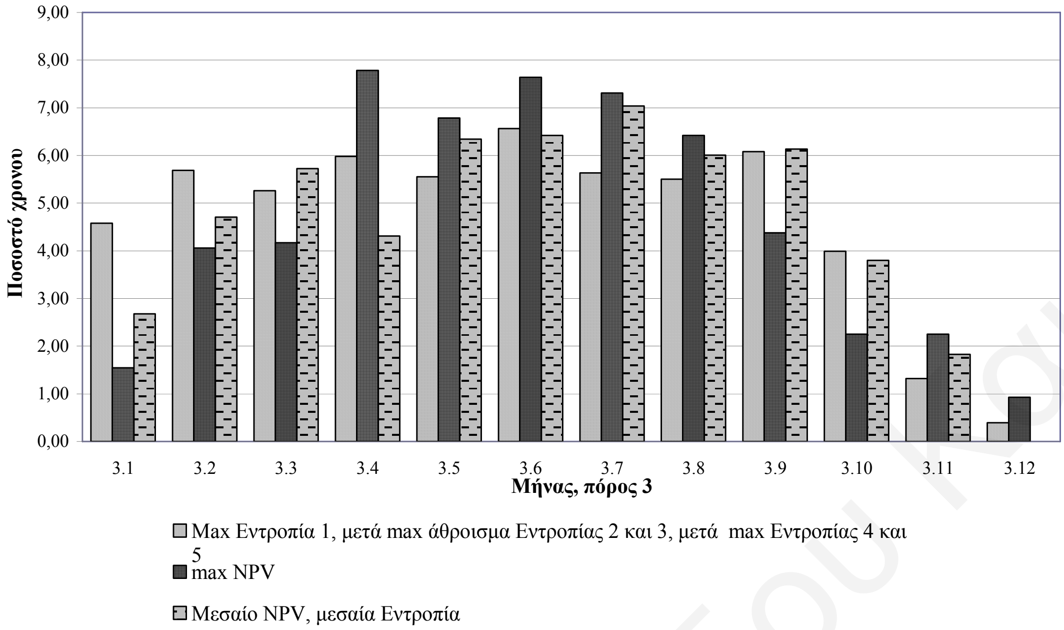
Η επιλογή μεταξύ της μίας από τις τρεις περιπτώσεις θα γίνει με βάση τις προτεραιότητες της εταιρείας ανά πάσα στιγμή. Αν π.χ. θεωρείται για την εταιρεία ως πιο κρίσιμος παράγοντας να απασχολείται το προσωπικό της με ίσο τρόπο, τότε επιλέγεται η πρώτη εναλλακτική λύση. Στα διαγράμματα 8.9 μέχρι 8.12 φαίνεται η διακύμανση του χρόνου των πόρων 2,3,4, και 5 αντίστοιχα για τις ίδιες εναλλακτικές λύσεις.



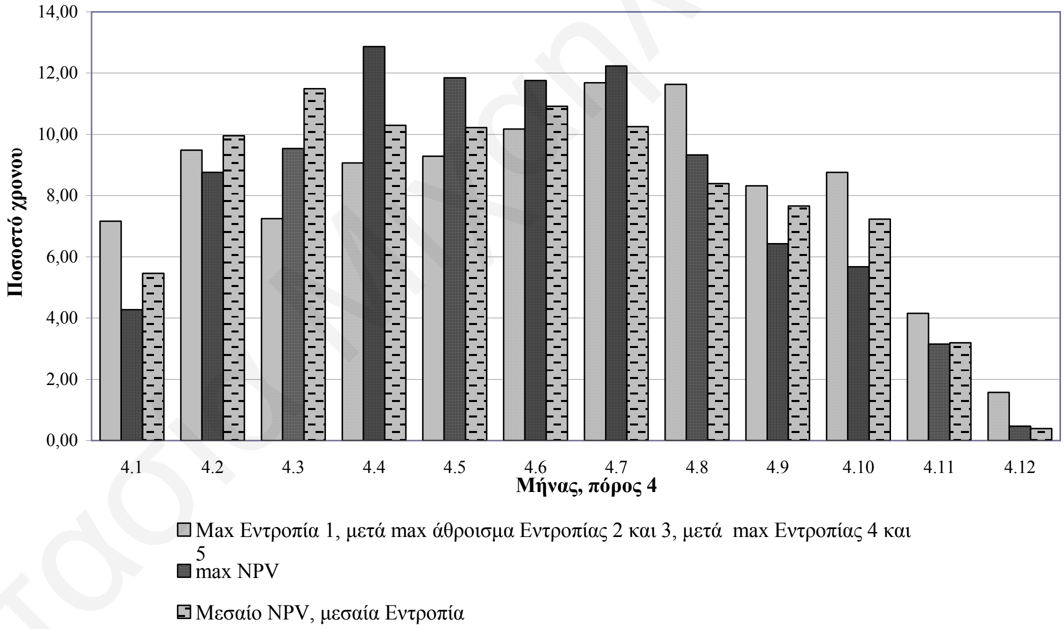
Διάγραμμα 0.8 Κατανομή ποσοστών ρόλου 1. Ο ρόλος 1 θεωρείται ο πιο σημαντικός.



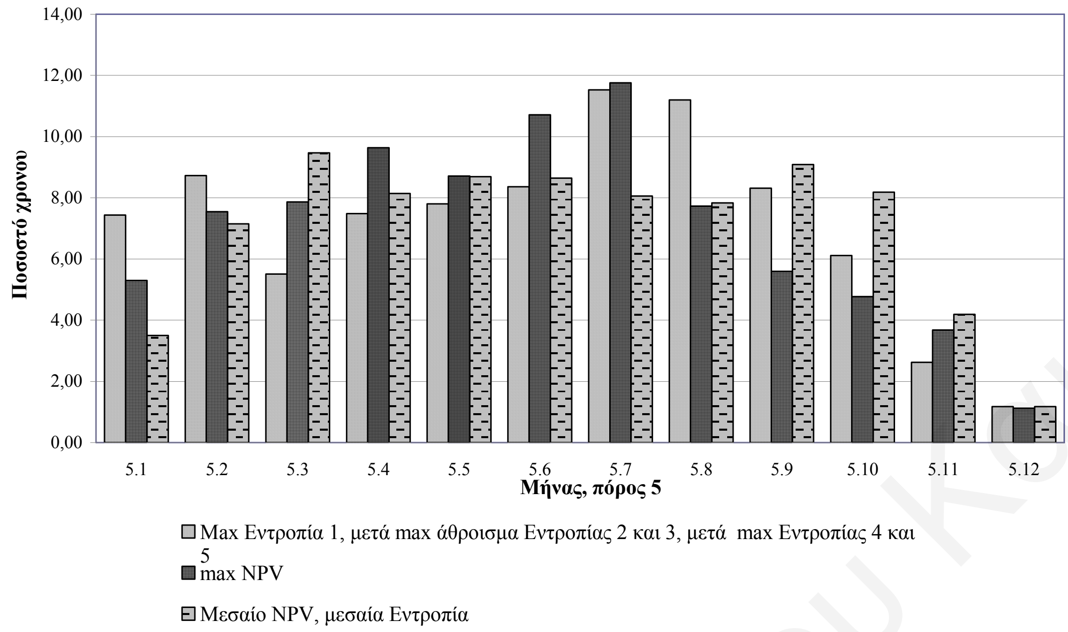
Διάγραμμα 0.9 Κατανομή ποσοστών ρόλου 2



Διάγραμμα 0.10 Κατανομή ποσοστών ρόλου 3



Διάγραμμα 0.11 Κατανομή ποσοστών ρόλου 4



Διάγραμμα 0.12 Κατανομή ποσοστών ρόλου 5.

Για σκοπούς σύγκρισης φαίνονται οι τιμές της τυπικής απόκλισης των ποσοστών των χρόνων των στελεχών για τις τρεις εναλλακτικές επιλογές. Η εντροπία δίνει τις καλύτερες λύσεις, όσον αφορά σε αυτή την παράμετρο της μειωμένης τυπικής απόκλισης (Πίνακας 8.4)

Πίνακας 0.4 Τυπικές αποκλίσεις διακύμανσης ποσοστού χρόνου των πέντε πόρων για τις εναλλακτικές επιλογές

	Πόρος 2		Πόρος 3		Πόρος 4		Πόρος 5		Πόρος 6	
	Μέση τιμή	σ	Μέση τιμή	σ	Μέση τιμή	σ	Μέση τιμή	σ	Μέση τιμή	σ
Max Εντροπία 1, μετά max άθροισμα Εντροπίας 2 και 3, μετά max Εντροπίας 4 και 5	3,89612517	0,811762	3,7455619	1,807535	4,7120657	1,932081	8,2126391	2,924962	7,1894482	3,036841
max NPV	3,84382752	1,620933	3,7151666	2,330018	4,6260745	2,508436	8,0267044	4,013656	7,0348295	3,064558
Μεσαίο NPV, μεσαία Εντροπία	3,89697334	1,504064	3,6762952	1,897108	4,5816433	2,156718	7,9548254	3,412178	7,010016	2,605123

1.36 Συμπεράσματα Κεφαλαίου 8

Στο Κεφάλαιο αυτό έγινε μεταφορά της προσέγγισης της Εντροπίας ως εργαλείο ισο-κατανομής ανθρώπινων πόρων από το επίπεδο του ενός έργου στο επίπεδο του χαρτοφυλακίου έργων. Φαίνεται ότι η μέθοδος αποδίδει πολύ αποτελεσματικά και λειτουργεί με ιδιαίτερη ευκολία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συμπεράσματα Διατριβής

Η διατριβή έχει θέσει τρεις στόχους. Την οριοθέτηση των προβλημάτων Πολιτικής Μηχανικής που μπορεί να επιλυθούν με τη χρήση της Εντροπίας, την κωδικοποίηση της διαδικασίας ως προς αυτά τα προβλήματα και τη βελτίωση προγενέστερων μελετών που χρησιμοποίησαν ως βάση την Εντροπία για επίλυση προβλημάτων.

Η διατριβή μέσα από την ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου για την Εντροπία, αλλά και την επιβεβαίωση μέσα από εφαρμογές, απέδειξε ότι το μέγεθος της Εντροπίας επιλύει με μονοσήμαντο τρόπο προβλήματα στα οποία χρειάζεται να γίνει ισο-κατανομή (π.χ. ανθρωπίνων πόρων). Επίσης, σε προβλήματα όπου η ανισο-κατανομή δημιουργεί κινδύνους, αποδείχθηκε ότι η Εντροπία μπορεί να δώσει μονοσήμαντες απαντήσεις σε θέματα αποτίμησης αυτού του κινδύνου. Μπορεί τότε η Εντροπία να χρησιμοποιηθεί ως το δεύτερο κριτήριο αποφάσεων.

Για να μπορεί η Εντροπία να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε ένα πρόβλημα, θα πρέπει οι παράμετροι του να προσομοιώνονται με τις αρχές του Shannon (1948). Οποιαδήποτε άλλη προσομοίωση εμπεριέχει σοβαρό κίνδυνο τα συμπεράσματα να είναι μην είναι πλήρως αξιόπιστα, αφού χρησιμοποιείται ένα μέγεθος που δεν στηρίζεται στην πιθανότητα αλλά σε άλλα μεγέθη και για την οποία δεν ισχύουν οι ιδιότητες της Εντροπίας κατά Shannon (1948). Μέσα σε αυτά τα πλαίσια βελτιώθηκε η προσέγγιση Χριστοδούλου (2009).

Η διαπίστωση ότι η Εντροπία προσφέρεται σε προβλήματα ισο-κατανομής, δημιουργεί τη βάση για επίλυση πολλών άλλων προβλημάτων που συγκεντρώνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1η Περίπτωση:

- Επιδίωξη η ισο-κατανομή (leveling)
- Η διαδικασία της κατανομής να μπορεί να θεωρηθεί τυχαία

2η Περίπτωση:

- Επιδίωξη η ανισο-κατανομή με στόχο τη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση ενός μεγέθους
- Η επιδίωξη της ανισο-κατανομής δημιουργεί κινδύνους που πρέπει να υπολογίζονται
- Η διαδικασία της κατανομής να μπορεί να θεωρηθεί τυχαία

Στην ενότητα 9.3 δίνονται προτάσεις μέσα σε αυτά τα πλαίσια.

1.37 Επιστημονική συνεισφορά της διατριβής

Η επιστημονική συνεισφορά της διατριβής συνοψίζεται ως ακολούθως:

α) Κατηγοριοποιήθηκαν τα προβλημάτων που επιλύονται ως προβλήματα Εντροπίας. Η Εντροπία μπορεί να δώσει μονοσήμαντες και αξιόπιστες λύσεις σε προβλήματα στα οποία επιδιώκεται η ισο-κατανομή και τα οποία μπορούν να προσομοιωθούν ως τυχαίες διαδικασίες. Επίσης η Εντροπία μπορεί να αντικαταστήσει το μέτρο αποτίμησης του Κινδύνου σε προβλήματα ανισο-κατανομής.

β) Αποδείχθηκε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων από την επίλυση προβλημάτων ισο-κατανομής με τη μέθοδο της Εντροπίας. Αποδείχθηκε μέσω των παραδειγμάτων που επιλύθηκαν ότι η μαθηματικά τεκμηριωμένη διαπίστωση (Gray 1990) ότι:

«Στην απόλυτη ισο-πιθανοτική εμφάνιση γεγονότων η Εντροπία παίρνει τη μέγιστη τιμή της»,(Κεφάλαιο 2, ιδιότητα 2η Εντροπίας)

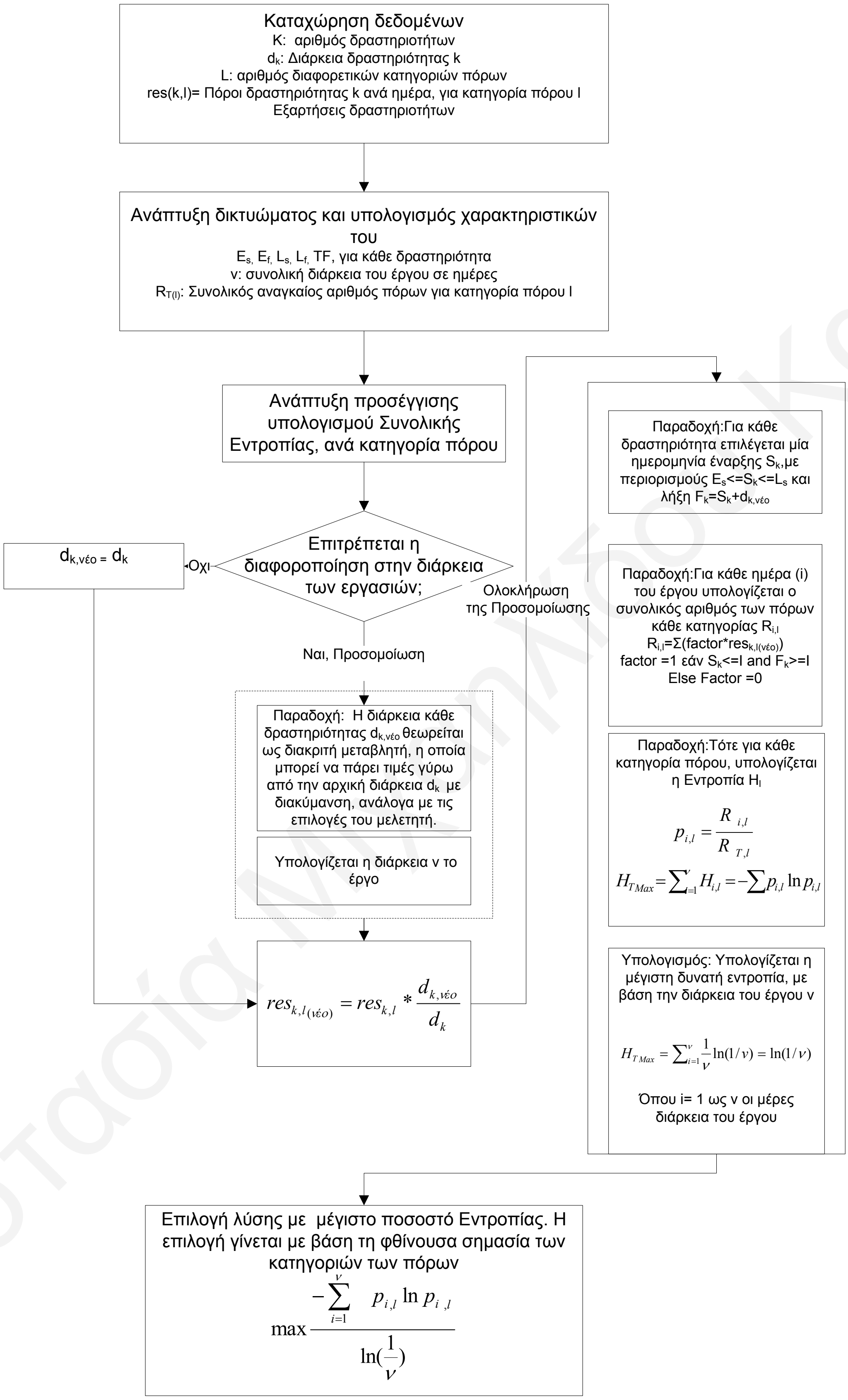
Επεκτείνεται στην πρακτικού ενδιαφέροντος διαπίστωση ότι :

«Στην απόλυτη ισο-κατανομή, η Εντροπία γίνεται μέγιστη».

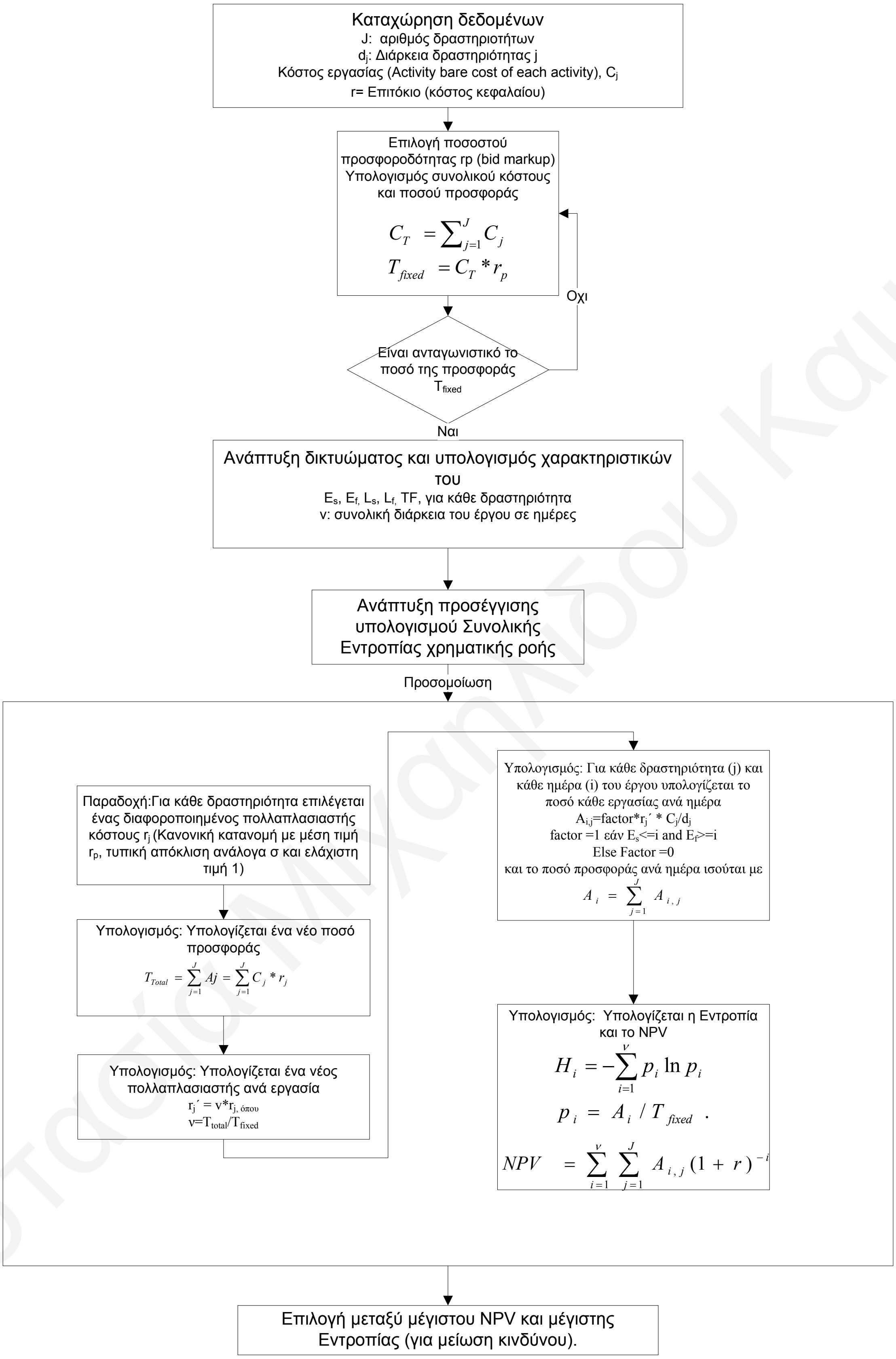
Η συνεισφορά της διατριβής στο θέμα αυτό επεκτείνεται στην επισήμανση ότι δεν μπορεί ο γενικός τύπος της Εντροπίας να χρησιμοποιηθεί για επίλυση προβλημάτων χωρίς να επιτευχθεί η προσομοίωση του προβλήματος σε παραμέτρους Shannon (1948).

γ) Κωδικοποιήθηκε η διαδικασία και οι αρχές επίλυσης συγκεκριμένων προβλημάτων. Ο μελετητής δεν χρειάζεται κάθε φορά να εφεύρει τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιήσει την Εντροπία με τον αναγκαίο τρόπο (με παραμέτρους Shannon), αφού στην διατριβή προσφέρεται βήμα προς βήμα η απαραίτητη διαδικασία.

Οι κωδικοποιήσεις φαίνονται στα Διαγράμματα 9.1 και 9.2. Είναι γενικευμένα λογικά διαγράμματα που μπορεί να πάρει ένας Μηχανικός και να καταλήξει σε μονοσήμαντη επίλυση των προβλημάτων ισο-κατανομής πόρων (για μία ή περισσότερες κατηγορίες πόρων και με δυνατότητα διαφοροποίησης της διάρκειας του έργου) και προσφοροδότησης.



Διάγραμμα 0.1 Γενικευμένη προσέγγιση ισο-κατανομή ανθρώπινων πόρων



Διάγραμμα 0-2 Γενικευμένη προσέγγιση ετοιμασίας προσφοροδότησης

1.38 Μελλοντική εργασία

Η μελλοντική ανάπτυξη της μεθόδου μπορεί να κινηθεί σε δύο κατευθύνσεις. Ο πρώτος είναι η επέκταση των εφαρμογών Πολιτικής Μηχανικής.

α) Ισο-κατανομή.

Εφαρμογές τέτοιου είδους:

- Η διαχείριση της κυκλοφορίας εντός του οδικού δικτύου, όπου η επιδίωξη είναι η κατά το δυνατόν ισο-κατανομή της κίνησης.
- Η ισοκατανομή πτήσεων ανά αεροπορική εταιρεία σε αεροδρόμια μετά από μία μεγάλη καθυστέρηση στην οποία έχει κλείσει το αεροδρόμιο. Η ισοκατανομή θα αφορά στο χρόνο καθυστέρησης που θα υποστεί κάθε εταιρεία.
- Η διαχείριση του προγράμματος εξετάσεων ή του προγράμματος μαθημάτων ενός πανεπιστημίου με ισο-κατανομή σε σχέση με τους φοιτητές. Η ισοκατανομή για το πρώτο θέμα θα αφορά στο χρόνο που θα έχουν για διάβασμα. Η ισοκατανομή στο δεύτερο θα μπορούσε να αφορά διάφορους παράγοντες, όπως αίθουσες, καθηγητές, χρόνο κ.τ.λ.

β) Αποτίμηση κινδύνου ανισο-κατανομής. Π.χ. αποτίμηση κινδύνου από την απόκλιση στον έλεγχο υλικών. Η Εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μέγεθος αποτίμησης της απόκλισης μεταξύ των αποτελεσμάτων, και επομένως του κινδύνου από αυτή.

Η δεύτερη κατεύθυνση για την μελλοντική εργασία επί των ευρημάτων της διατριβή αφορά στην μηχανογράφηση των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν στην διατριβή αυτή και η μετέπειτα εμπορία τους. Επίσης, λόγω της μαθηματική αξιοπιστίας της Εντροπίας ως το μέτρο ισο-κατανομής, υφιστάμενες λογισμικές εφαρμογές που στηρίζονται σε άλλες μεθόδους, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την Εντροπία ως το μέτρο προσέγγισης στην βέλτιστη λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdel-Razek, R. H. (1987). "Computerized analyses of estimating inaccuracy and tender variability: Causes, evaluation, and consequences." Ph.D. thesis, Loughborough Univ. of Technology, Loughborough,U.K.

Ashley, D. B., and Teicholz, P. M. (1977). "Pree stimate cash flow analysis." Journal of Construction,Divison, 103(3), 369–379.

Aslani, P. (2007). "Dynamic resource-constrained scheduling." PhD thesis, Polytechnic University, Brooklyn, NY.

Beeston, D. T. (1975). "One statistician's view of estimating." Chartered Surveyor, Building and Quantity Surveying Quarterly, 2(4), 49–54.

Brucker, P. and Knust, S. (2003). "Lower bounds for resource-constrained project scheduling problems." European Journal of Operational Research, 149, 302–313.

Brucker, P., Knust, S., Schoo, A., and Thiele, O. (1998). "A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem." European Journal of Operational Research,107, 272–288.

Cattell, D. W. (1987). "Item price loading." PACE'87 Progress in Architecture, Construction and Engineering, Vol. II, Johannesburg, South Africa, 1–20.

Cattell, D. W., Bowen, P. A., and Kaka, A. P. (2004). "A model to distribute mark-up amongst quotation component items: An outline." 2nd Postgraduate Conference on Construction Industry Development, CIDB, Cape Town, South Africa, 154–165.

Cattell, D. W., Bowen, P. A., and Kaka, A. P. (2007). «Review of unbalanced model budding in construction», Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 133, No. 8, August 2007, pp. 562-573,)

Christodoulou, S. (2005a). "Ant colony optimization in construction scheduling." ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, Cancun, Mexico.

Christodoulou, S. (2005b). "Scheduling construction activities using ant colony optimization.” Proc., 8th Int. Conf. on the Application of Artificial Intelligence to Civil, Structural and Environmental Engineering, Civil-Comp Press, Rome, Italy.

Christodoulou, S. (2007). “Resource-constrained scheduling using ant colony optimization.” Ninth International Conference on the Application of Artificial Intelligence to Civil, Structural and Environmental Engineering (AICC07), St. Julians, Malta.

Christodoulou, S. (2009). “A bid-unbalancing method for lowering a contractor’s financial risk. ”Construction Management and Economics, 26(12), 1291–1302.

Christodoulou, S. (2010). “Scheduling Resource-Constrained Projects with Ant Colony Optimization Artificial Agents”, Journal of Computing. in Civil Engineering, Volume 24, Issue 1, pp. 45-55

Christodoulou, S., Ellinas, G., and Michaelidou, Kamenou A. (2009). “The minimum moment method revisited using entropy maximazation” Journal of Construction Engineering and Management, Volume 136, Issue 5, pp. 518-527

Christodoulou, S., Ellinas, G., and Aslani, P. (2009). “Disorder considerations in resource constrained scheduling.” Construction Management and Economics, Volume 27, Issue 3 2009 , pages 229 – 240.

Crawford, J. (1996). “An approach to resource constrained project scheduling.” Proc., 1996 AI and Manufacturing Research Planning Workshop, G. F. Luger, ed., AAAI Press, Albuquerque, N.M..

Crowley, L. G. (2000). “Friedman and Gates—Another look.” Journal of Construction Engineering, 126(4), 306–312.

Demeulemeester, E. and Herroelen, W. (1992). “A branch-and-bound procedure for the multiple16 resource-constrained project scheduling problem.” Management Science, Vol.38, 1803–1818.

Demeulemeester, E. L. and Herroelen, W. S. (1997). “New benchmark results for the resource constrained project scheduling problem.” Management Science, Vol43, 1485–1492.

Diekmann, J. E., Mayer, R. H., Jr., and Stark, R. M. (1982). “Coping with uncertainty in unit price contracting.” Journal of Construction Division, 108(3).

Friedman, L. (1956). "A competitive bidding strategy." Operations Research, 4(1),104–112.

Garey, M. R., Graham, R. L., Johnson, D. S., and Yao, A. C. C. (1976). "Resource constrained scheduling as generalized bin packing." Journal Combinatorial Theory. Ser. A, 21, 257–298.

Gates, M. (1959). "Aspects of competitive bidding." Annual Report, Connecticut Society of Civil Engineers.

Gates, M. (1967). "Bidding strategies and probabilities." Journal Construction Division, Vol93,(C01), 75–107.

Gates, M. (1970). "Reply to Morin and Clough _June 1969." Journal Construction Division , Vol96(C02), 93–97.

Gray, R.M. (1990). " Information Systems Laboratory, Electrical Engineering Department, Stanford University, "Entropy and Information Theory"

Green, S. D. (1986). "The unbalancing of tenders." MSc dissertation, Heriot-Watt Univ., Edinburgh, U.K.

Green, S. D. (1989). "Tendering: Optimization and rationality." Construction Management and Economics., 7, 53–63.

Harris, R. B. (1978). Precedence and arrow networking techniques for construction. Wiley, New York.

Harris, R. B. (1990). "Packing method for resource leveling (pack)." Journal of Construction Engineering and Management, 116(2), 331–350.

Hegazy, T. (1999). "Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms." Journal of Construction Engineering and Management, 125(3), 167–175.

Hegazy, T. (2001). Computer-Based Construction Project Management. Prentice Hall.

Hiyassat, M. A. S. (2000). "Modification of minimum moment approach in resource leveling." Journal of Construction Engineering and Management, 126(4), 278–284.

Hiyassat, M. A. S. (2001). "Applying modified minimum moment method to multiple resource leveling." Journal of Construction Engineering and Management, 127(3), 192–198.

Imam T., Elsharawy G., Gomah M., Samy M. (2009) "Solving Transportation Problem Using Object-Oriented Model." International Journal of Computer Science and Network Security, 9(2), 378-389.

Kaka, A. P., and Price, A. D. F. (1991) . "Net cashflow models: Are they reliable?" Construction Management and Economics, 9, 291–308.

Kenley, R. (2003). "Financing construction: Cash flows and cash farming,Spon, London." Book.

Landsberg, P. (1984). "Is equilibrium always an entropy maximum?." Journal of Statistical Physics, Vol. 35, 159–169.Liu,

Y., Zhao, S.-L., Du, X.-K., and Li, S.-Q. (2005). "Optimization of resource allocation in construction using genetic algorithms." Machine Learning and Cybernetics, 2005. Proceedings of 2005 International Conference on, Vol. 6. 3428–3432.

Markowitz, H.M. (1959), "Portfolio Selection Efficient diversification of Investments", book by Cowels Foundation for Research in Economics at Yale University

Markowitz, H.M. (1991). "Foundations of Portfolio Theory." The Journal of Finance, Vol. 46, No. 2 (Jun., 1991), pp. 469-477

Martinez, J. and Ioannou, P. (1993). "Resource leveling based on the modified minimum moment heuristic." Computing in Civil and Building Engineering. ASCE, 287–294.

Martinez, J. C. and Ioannou, P. G. (1992). "Cpm level, resource leveling using the generalized minimum moment algorithm, user's guide.

McCaffer, R. (1979). "Cash flow forecasting." Quant. Surveyor, August,22–26.

Microsoft, Inc. (2000). Microsoft Project electronic manual. Microsoft Corporation, v2000 edition.

Mingozzi, A., Maniezzo, V., Ricciardelli, S., and Bianco, L. (1998). "An exact algorithm for the resource-constrained project scheduling problem based on a new mathematical formulation." Management Science, 44, 714–729.

Patterson, J. H. (1984). "A comparison of exact approaches for solving the multiple constrained resource, project scheduling problem." Management Science, 30, 854–867.

PMBOK – Project management Body of Knowledge Guide.

Primavera Systems, Inc. (2001). Primavera Project Planner electronic manual. Primavera Systems Inc., v3.1 edition.

Shannon, C. E. (1948). "A mathematical theory of communication." Bell Systems. Technology. Journal., Vol. 27, 323-332; 379-423.

Skitmore, M. (2002). "Predicting the probability of winning sealed bid auctions: A comparison of models." Journal Operations Research Society. Vol. 53, 47–56.

Stark, R. M. (1968). "Unbalanced bidding models—Theory." Journal of the Construction Division, 94(C02), 197–209.

Stark, R. M. (1972). "Unbalancing of tenders." Proc.-Inst. Civ. Eng., 51, 391–392.

Stark, R. M. (1974). "Unbalanced highway contract tendering." Journal Operations Research Society, Vol.25(3), 373–388.

Taylor, R. G., and Bowen, P. A. (1987). "Quantities generation/cost simulation modeling: A review of the state-of-the-art." Proc., PACE'87, Progress in Architecture, Construction and Engineering, Vol. II, Johannesburg, South Africa, Paper No. 25, 1–14.

Teicholz, P. M., and Ashley, D. B. (1978). "Optimal bid prices for unit price contract." Journal of the Construction Division, 104_1_, 57–67.

Tong, Y., and Lu, Y. (1992). "Unbalanced bidding on contracts with variation trends in client-provided quantities." Constrction Management and Economics, Vol. 10, 69–80.

Williams, H. P. (1993). Model solving in mathematical programming,Wiley, West Sussex, U.K.JOURNAL

Winston, W. L. and Venkataramanan, M. (2002). Introduction to mathematical programming. Pacific Grove, California: Thomson-Brooks/Cole, 4th ed. edition.

Εφραιμίδης, Ι. Χαρ. (1992), "Χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός των κατασκευών", Εκδόσεις ΕΜΠ, (Ελληνική βιβλιογραφία)