

Πανεπιστήμιο Πειραιά
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην
«Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων»
με ειδίκευση στα Logistics

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

« ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
CRYSTAL BALL »

Σίσκος Παναγιώτης ΜΠΛ/0419

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Εμίρης

Πρόλογος

Η εργασία αυτή εκτελέστηκε στα πλαίσια της απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, με ειδίκευση “Logistics” , στο τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Η εργασία είναι δομημένη σε δύο βασικά μέρη:

- Στο θεωρητικό μέρος, στο οποίο γίνεται αναφορά στη Διαχείριση Κινδύνων Έργου, στην προσομοίωση Monte Carlo και στο λογισμικό Crystal Ball.
- Στο πρακτικό μέρος, στο οποίο παρουσιάζονται δύο εφαρμογές του λογισμικού (μια σε τεχνικό έργο και μια σε έργο logistics).

Καθώς έχουν εκτελεστεί αρκετές μελέτες για τη διοίκηση κινδύνων και έργων γενικότερα, θεώρησα σκόπιμο η αναφορά μου στα θεωρητικά κομμάτια της εργασίας να είναι λιτή και να περιλαμβάνει τα πλέον απαραίτητα για τη δομή της και την απαραίτητη αλληλουχία στην ανάπτυξή της. Ουσιαστικό βάρος δόθηκε στη δημιουργία και την ανάπτυξη των μοντέλων, καθώς και στην ανάλυσή τους που περιλαμβάνεται στο δεύτερο μέρος της εργασίας.

Ιδιαίτερη αναφορά θέλω να κάνω στον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος κ. **Δημήτρη Εμίρη**, ο οποίος εκτός από την επίβλεψη της εργασίας ήταν ο οδηγός και ο εμπνευστής μιας παράπλευρης, αλλά σχετικής με την εργασία, προσπάθειας που οδήγησε στην επιστημονική δημοσίευση ενός άρθρου στο Παγκόσμιο Συνέδριο της IPMA που διοργανώθηκε στη Σαγκάη της Κίνας τον Οκτώβρη του 2006.

Τον ευχαριστώ πολύ για την πολύ αποδοτική συνεργασία μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Μέρος 1^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	3
1 Διαχείριση Κινδύνων Έργου	3
1.1 Εισαγωγή	3
1.2 Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων	8
1.3 Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων	10
2 Η τεχνική Monte Carlo	15
2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	15
2.2 Ανάλυση Monte Carlo	16
2.3 Προσομοίωση Monte Carlo και διοίκηση έργου	18
2.4 Η διαδικασία της προσομοίωσης	20
2.5 Αδυναμίες της τεχνικής Monte Carlo	20
3 Η προσομοίωση στην πράξη – Το Λογισμικό Crystal Ball.....	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Χρήστες του Crystal Ball.....	22
3.3 Περιβάλλον του Crystal Ball	22
3.4 Πλεονεκτήματα του Crystal Ball	23
3.5 Φιλοσοφία προσομοίωσης με τη βοήθεια του Crystal Ball.....	23
Μέρος 2^ο – ΠΡΑΚΤΙΚΟ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	25
4 Μοντελοποίηση ρίσκου και αβεβαιότητας στο χρονοδιάγραμμα έργων Rapid Tunnel Excavation με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystal Ball.....	25
4.1 Σύντομη Περιγραφή της Μεθόδου RTE.....	25
4.2 Ο Παράγοντας Ρίσκο σε ένα RTE έργο.....	27
4.3 Προσομοίωση Ρίσκου στο Χρονοδιάγραμμα με Χρήση του Crystal Ball ...	30
4.4 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων	33
4.5 Χρήσιμα «Εργαλεία» μετά την Προσομοίωση	36
5 Μοντελοποίηση ρίσκου και αβεβαιότητας στην απόφαση επιλογής τοποθεσίας για τη δημιουργία ενός Κέντρου Διανομής.....	39
5.1 Σύντομη Περιγραφή του Προβλήματος	39
5.2 Δομή του Μοντέλου	40
5.3 Ο Ρόλος του Crystal Ball	43
5.4 Προσομοίωση και Αποτελέσματα.....	45
5.5 Προσομοίωση με χρήση του OptQuest	48
6 Συμπεράσματα και Συζήτηση.....	52
7 Βιβλιογραφία	54

Μέρος 1^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

1 Διαχείριση Κινδύνων Έργου

1.1 Εισαγωγή

Η Διαχείριση Κινδύνων Έργου (Project Risk Management) περιλαμβάνει τις διεργασίες που ασχολούνται με το σχεδιασμό διαχείρισης, τον προσδιορισμό, την ανάλυση, την απόκριση και την παρακολούθηση των κινδύνων σε ένα έργο. Οι περισσότερες από τις διεργασίες αυτές επικαιροποιούνται κατά τη διάρκεια του έργου. Οι στόχοι της Διαχείρισης Κινδύνων Έργου είναι η μεγιστοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών των θετικών γεγονότων και η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών των αντίξοων γεγονότων. Το Σχήμα 1-1 παρέχει μία επισκόπηση των διεργασιών Διαχείρισης Κινδύνων Έργου και το Σχήμα 1-2 παρέχει ένα διάγραμμα ροής για τις διεργασίες αυτές καθώς και τις εισόδους τους, τις εξόδους τους και άλλες σχετικές διεργασίες Γνωστικών Περιοχών. Οι διεργασίες Διαχείρισης Κινδύνων Έργου περιλαμβάνουν τις εξής:

- **Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων** - αποφάσεις για το πώς θα προσεγγισθούν, θα σχεδιασθούν και θα εκτελεστούν οι δραστηριότητες διαχείρισης κινδύνων σε ένα έργο.
- **Προσδιορισμός Κινδύνων** - καθορισμός των κινδύνων που μπορεί να επηρεάσουν το έργο και καταγραφή των χαρακτηριστικών τους.
- **Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων** - ιεράρχηση των κινδύνων για περαιτέρω ανάλυση ή δράση μέσω εκτίμησης και συνδυασμού της πιθανότητας εμφάνισής τους και των επιπτώσεών τους.
- **Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων** - αριθμητική ανάλυση της επίδρασης των προσδιορισμένων κινδύνων στους στόχους του συνολικού έργου.
- **Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους** - ανάπτυξη επιλογών και ενεργειών προκειμένου να βελτιωθούν οι ευκαιρίες και να μειωθούν οι απειλές για τους στόχους του έργου.
- **Παρακολούθηση και Έλεγχος Κινδύνων** – εποπτεία των προσδιορισμένων κινδύνων, παρακολούθηση των υπολειπόμενων κινδύνων, αναγνώριση νέων

κινδύνων, εκτέλεση σχεδίων απόκρισης σε κινδύνους και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Αυτές οι διεργασίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καθώς και με τις διεργασίες στις άλλες Γνωστικές Περιοχές. Κάθε διεργασία μπορεί να εμπεριέχει προσπάθεια από ένα ή περισσότερα άτομα ή ομάδες ατόμων βάσει των αναγκών του έργου. Κάθε διεργασία γενικά εμφανίζεται τουλάχιστον μια φορά σε μία ή περισσότερες φάσεις εφόσον το έργο διαιρείται σε φάσεις. Αν και οι διεργασίες παρουσιάζονται εδώ ως διακριτά στοιχεία με σαφώς καθορισμένες διασυνδέσεις, στην πράξη μπορεί να επικαλύπτονται και να αλληλεπιδρούν με τρόπους που δεν παρουσιάζονται με λεπτομέρεια εδώ.

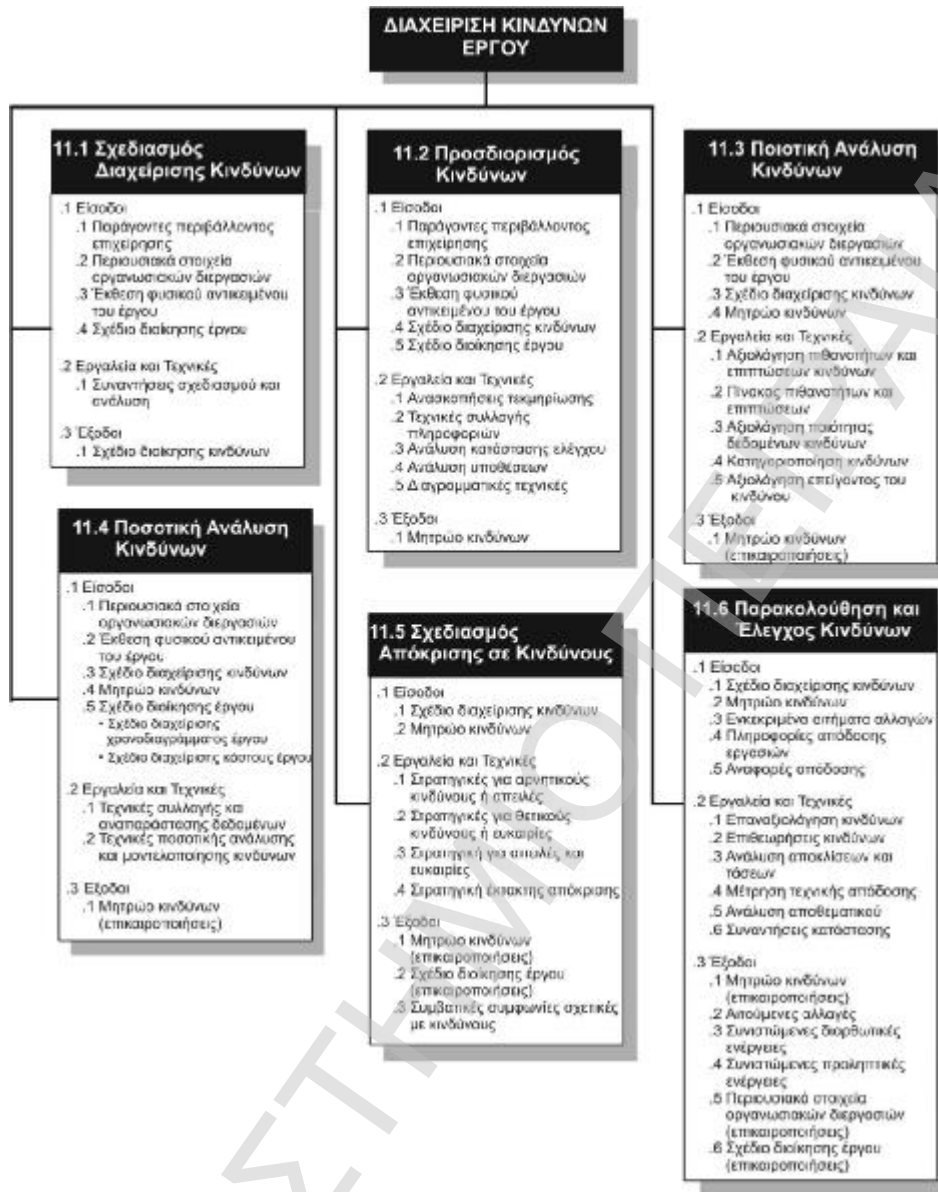
Ο κίνδυνος (ρίσκο ή διακινδύνευση) σε ένα έργο είναι ένα αβέβαιο γεγονός ή συνθήκη η οποία, εάν συμβεί, έχει μία θετική ή αρνητική επίδραση σε τουλάχιστον ένα στόχο του έργου, όπως το χρόνο, το κόστος, το φυσικό αντικείμενο ή την ποιότητα (δηλαδή, όπου ο χρονικός στόχος του έργου είναι να γίνει παράδοση συμβατή με ένα συμφωνημένο χρονοδιάγραμμα, ή όπου ο στόχος κόστους του έργου είναι να γίνει παράδοση εντός των ορίων του συμφωνημένου κόστους, κλπ.). Ένας κίνδυνος μπορεί να έχει μία ή περισσότερες αιτίες και, εάν συμβεί, μία ή περισσότερες συνέπειες. Μία αιτία, π.χ., μπορεί να αφορά μία περιβαλλοντική άδεια εκτέλεσης εργασίας ή εκχώρηση με επαρκούς προσωπικού στο σχεδιασμό ενός έργου. Το γεγονός κινδύνου είναι ότι η αδειοδοτική αρχή μπορεί να δαπανήσει περισσότερο χρόνο απ' ό,τι σχεδιάστηκε για την έκδοση αδειάς, ή ότι το προσωπικό σχεδιασμού δεν είναι κατάλληλο για τη δραστηριότητα. Εάν συμβεί οποιοδήποτε από αυτά τα αβέβαια γεγονότα, μπορεί να υπάρξουν συνέπειες για το κόστος, το χρονοδιάγραμμα, ή την απόδοση του έργου. Οι συνθήκες κινδύνων μπορεί να περιλαμβάνουν απόψεις του οργανωσιακού περιβάλλοντος του έργου οι οποίες πιθανώς συνεισφέρουν στους κινδύνους του έργου, όπως ελλείψεις πρακτικές διοίκησης έργων, έλλειψη ολοκληρωμένων συστημάτων διοίκησης, πολλαπλά παράλληλα έργα, ή εξάρτηση από εξωτερικούς συμμετέχοντες που δεν μπορούν να ελεγχθούν.

Ο κίνδυνος σε ένα έργο έχει τις ρίζες του στην αβεβαιότητα που είναι παρούσα σε όλα τα έργα. Γνωστοί κίνδυνοι θεωρούνται αυτοί που έχουν προσδιορισθεί και αναλυθεί και ενδεχομένως είναι δυνατό να γίνει σχεδιασμός για αυτούς χρησιμοποιώντας τις διεργασίες που περιγράφονται παρακάτω. Οι άγνωστοι κίνδυνοι δεν μπορούν να τύχουν προληπτικής διαχείρισης και μια προσεκτική απόκριση από

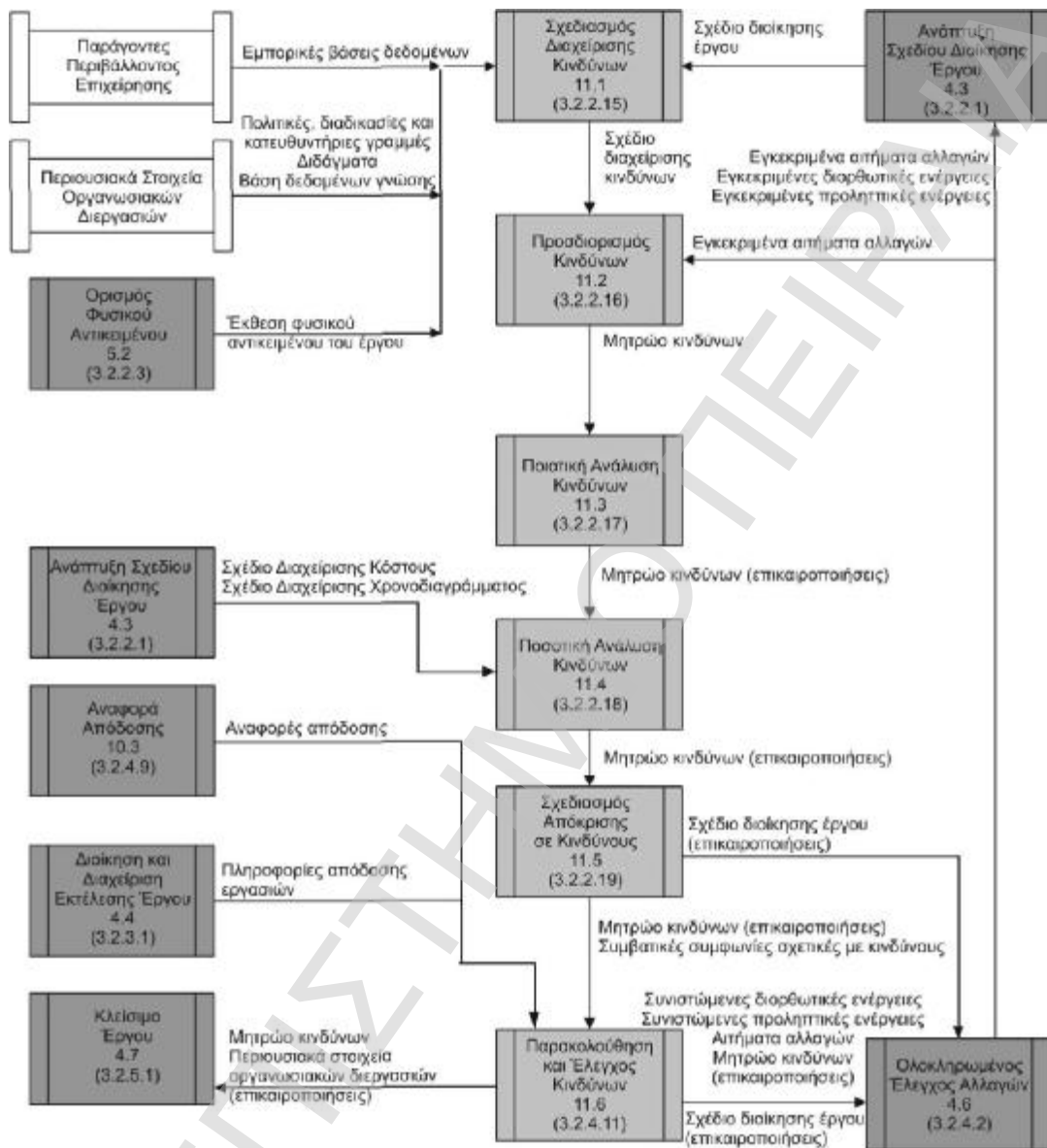
την ομάδα έργου είναι να διατεθούν γενικά έκτακτα αποθεματικά για τέτοιους κινδύνους, καθώς και για οποιουδήποτε γνωστούς κινδύνους για τους οποίους μπορεί να μην είναι οικονομικά αποτελεσματικό ή δυνατό να αναπτυχθεί μία προληπτική απόκριση.

Οι οργανισμοί αντιλαμβάνονται τον κίνδυνο καθότι σχετίζεται με απειλές για την επιτυχία του έργου ή με ευκαιρίες για τη βελτίωση των πιθανοτήτων επιτυχίας του έργου. Οι κίνδυνοι που αποτελούν απειλές για το έργο μπορεί να γίνουν αποδεκτοί εάν ισοσταθμίζουν το όφελος που μπορεί να προκύψει παίρνοντας το ρίσκο. Η υιοθέτηση σχεδίου ταχείας εκτέλεσης, που ίσως να μην επιτευχθεί είναι ένα ρίσκο που λαμβάνεται ώστε να επιτευχθεί μία νωρίτερη ημερομηνία ολοκλήρωσης. Οι κίνδυνοι που αποτελούν ευκαιρίες, όπως επιτάχυνση εργασιών μέσω ανάθεσης πρόσθετου προσωπικού, μπορεί να επιδιωχθούν για να ωφεληθούν οι στόχοι του έργου.

Η στάση των ατόμων και κατ' επέκταση των οργανισμών, απέναντι στους κινδύνους, επηρεάζει τόσο την ακρίβεια της αντίληψης του κινδύνου όσο και τους τρόπους απόκρισης. Η στάση απέναντι στους κινδύνους πρέπει να αποσαφηνίζεται όποτε είναι δυνατό. Μία συνεπής προσέγγιση στους κινδύνους που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του οργανισμού πρέπει να αναπτύσσεται για κάθε έργο, ενώ η επικοινωνία για τον κίνδυνο και τη διαχείρισή του πρέπει να είναι ανοικτή και έντιμη. Οι αποκρίσεις σε κινδύνους αντικατοπτρίζουν την αντίληψη του οργανισμού για την ισορροπία μεταξύ λήψης και αποφυγής κινδύνων. Προκειμένου να είναι επιτυχημένος, ένας οργανισμός πρέπει να είναι προσηλωμένος στην προληπτική και συνεπή εξέταση της διαχείρισης κινδύνων καθ' όλη την έκταση του έργου.



Σχήμα 1-1. Επισκόπηση Διαχείρισης Κινδύνων Έργου

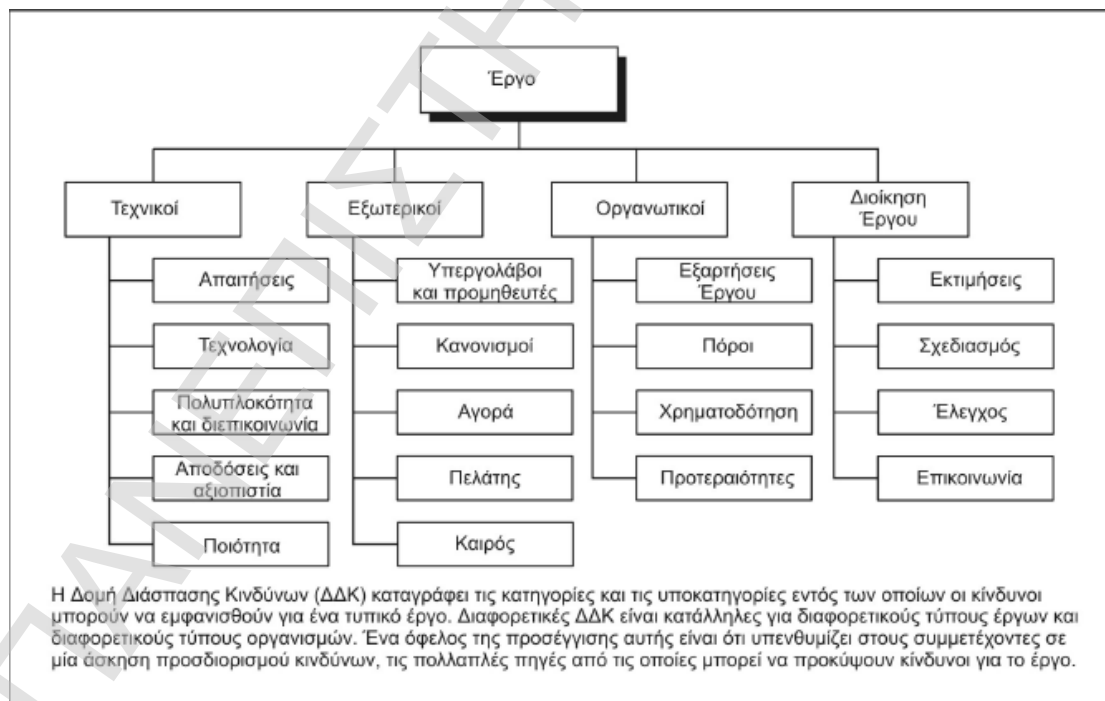


Σχήμα 1 -2. Διάγραμμα Ροής Διεργασιών Διαχείρισης Κινδύνων Έργου

1.2 Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων

Αναφορά στη διεργασία αυτή γίνεται γιατί θεωρείται η σημαντικότερη στη Διαχείριση Κινδύνων. Οι υπόλοιπες διεργασίες δεν αναλύονται περαιτέρω καθώς δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας, με εξαίρεση την Ποσοτική Ανάλυση των Κινδύνων η οποία αποτελεί συνδυαστικό κρίκο με την υπόλοιπη ανάλυση.

Ο προσεκτικός και αναλυτικός σχεδιασμός βελτιώνει την πιθανότητα επιτυχίας των υπολοίπων πέντε διεργασιών διαχείρισης κινδύνων. Ο Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων είναι η διεργασία απόφασης του πώς θα προσεγγισθούν και θα εκτελεστούν οι δραστηριότητες διαχείρισης κινδύνων για ένα έργο. Ο σχεδιασμός των διεργασιών διαχείρισης κινδύνων είναι σημαντικός ώστε να διασφαλισθεί ότι το επίπεδο, ο τύπος και η διορατικότητα της διαχείρισης κινδύνων αντιστοιχούν τόσο στον κίνδυνο όσο και στη σημαντικότητα του έργου για τον οργανισμό, ώστε να παρασχεθούν επαρκείς πόροι και χρόνος για τις διεργασίες αυτές και να θεσπισθεί μία συμφωνημένη βάση αξιολόγησης κινδύνων. Η παρούσα διεργασία πρέπει να ολοκληρώνεται από νωρίς κατά το σχεδιασμό του έργου, καθότι είναι κρίσιμη για την επιτυχή εκτέλεση των υπολοίπων διεργασιών.



Σχήμα 1-3. Δομή Διάσπασης Κινδύνων

Προσδιορισμένες Συνθήκες για Κλίμακες Επιπτώσεων Κινδύνου στους Κύριους Στόχους Έργου (Παρουσιάζονται παραδείγματα αρνητικών επιπτώσεων μόνον)					
Στόχος Έργου	Αναφέρονται σχετικές ή αριθμητικές κλίμακες				
	Πολύ Χαμηλή/.05	Χαμηλή/.10	Μέτρια/.20	Υψηλή/.40	Πολύ υψηλή/.80
Κόστος	Ασήμαντη αύξηση του κόστους	<10% αύξηση κόστους	10-20% αύξηση κόστους	20-40% αύξηση κόστους	>40% αύξηση κόστους
Χρόνος	Ασήμαντη αύξηση του χρόνου	<5% αύξηση χρόνου	5-10% αύξηση χρόνου	10-20% αύξηση χρόνου	>20% αύξηση χρόνου
Εύρος	Μείωση εύρους μόλις ανιληπτή	Επηρεάζονται δευτερεύουσες περιοχές του εύρους	Επηρεάζονται κύριες περιοχές του εύρους	Μείωση εύρους μη αποδεκτή από χορηγό	Το στοιχείο τέλους έργου είναι πρακτικά άχρηστο
Ποιότητα	Υποβάθμιση ποιότητας μόλις ανιληπτή	Επηρεάζονται μόνο πολύ απαιτητικές εφαρμογές	Μείωση ποιότητας απαιτεί έγκριση του χορηγού	Μείωση ποιότητας μη αποδεκτή από χορηγό	Το στοιχείο τέλους έργου είναι πρακτικά άχρηστο

Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει παραδείγματα ορισμών των επιπτώσεων κινδύνου για τέσσερις διαφορετικούς στόχους σε ένα έργο. Αυτοί πρέπει να προσαρμόζονται στη διαδικασία Σχεδιασμού Διοίκησης Κινδύνων για το μεμονωμένο τέλος έργου και για τα κατώφλια κινδύνων του οργανισμού. Οι ορισμοί των επιπτώσεων μπορούν να αναπτυχθούν για τις ευκαιρίες με παρόμοιο τρόπο.

Σχήμα 1-4. Παραδείγματα Επιπτώσεων Κινδύνων

Πίνακας Πιθανοτήτων και Επιπτώσεων										
Πιθανότητα	Απειλές					Ευκαιρίες				
	0.90	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72	0.72	0.36	0.18	0.09
0.70	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56	0.56	0.28	0.14	0.07	0.04
0.50	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40	0.40	0.20	0.10	0.05	0.03
0.30	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24	0.24	0.12	0.06	0.03	0.02
0.10	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05

Επίπτωση (κλίμακα αναλογίας) σε ένα στόχο (π.χ., κόστος, χρόνος, εύρος ή ποιότητα)

Κάθε κίνδυνος βαθμολογείται ως προς την πιθανότητα να συμβεί καθώς και τις επιπτώσεις σε ένα στόχο εάν συμβεί. Τα κατώφλια του οργανισμού για χαμηλούς, μέτριους ή υψηλούς κινδύνους παρουσιάζονται στον πίνακα και καθορίζουν εάν ο κίνδυνος βαθμολογείται ως υψηλός, μέτριος ή χαμηλός για το στόχο αυτό.

Σχήμα 1-5.Βαθμολόγηση Κινδύνων

1.3 Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων

Η Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων εφαρμόζεται σε κινδύνους που έχουν ιεραρχηθεί από τη διεργασία Ποιοτικής Ανάλυσης Κινδύνων ως εν δυνάμει και ουσιαστικά επιδρώντες στα ανταγωνιστικά αιτήματα του έργου. Η διεργασία Ποιοτικής Ανάλυσης Κινδύνων αναλύει τις επιπτώσεις αυτών των γεγονότων κινδύνων και αντιστοιχίζει μία αριθμητική βαθμολόγηση στους κινδύνους. Ακόμη, παρουσιάζει μία ποσοτική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων υπό την παρουσία αβεβαιότητας. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η προσομοίωση Monte Carlo και η ανάλυση αποφάσεων προκειμένου να:

- Ποσοτικοποιηθούν τα πιθανά αποτελέσματα του έργου και οι πιθανότητές τους
- Αποτιμηθεί η πιθανότητα επίτευξης συγκεκριμένων στόχων
- Προσδιορισθούν οι κίνδυνοι που απαιτούν τη μεγαλύτερη προσοχή με ποσοτικοποίηση της σχετικής συνεισφοράς τους στο συνολικό κίνδυνο του έργου
- Προσδιορισθούν ρεαλιστικοί και επιτεύξιμοι στόχοι για το κόστος, το χρόνο ή το φυσικό αντικείμενο, δεδομένων των κινδύνων
- Καθορισθεί η βέλτιστη στρατηγική διοίκησης έργου όταν ορισμένες συνθήκες ή αποτελέσματα είναι αβέβαια.

Η Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων εν γένει έπεται της Ποιοτικής Ανάλυσης Κινδύνων, αν και οι έμπειροι διοικητές κινδύνων την εκτελούν ορισμένες φορές αμέσως μετά τον Προσδιορισμό Κινδύνων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων μπορεί να μην είναι απαραίτητη προκειμένου να αναπτυχθούν αποτελεσματικές αποκρίσεις σε κινδύνους. Η διαθεσιμότητα χρόνου και κονδυλίων καθώς και η ανάγκη για ποιοτικές και ποσοτικές δηλώσεις σχετικά με τους κινδύνους και τις επιπτώσεις τους, θα καθορίσουν ποια μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο έργο. Η Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων πρέπει να επαναλαμβάνεται έπειτα από το Σχεδιασμό Απόκρισης σε Κινδύνους, καθώς και ως τμήμα της Παρακολούθησης και Ελέγχου Κινδύνων, προκειμένου να καθορισθεί εάν ο συνολικός κίνδυνος για το έργο έχει μειωθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Οι τάσεις των αποτελεσμάτων μπορούν να υποδείξουν την ανάγκη για περισσότερες ή λιγότερες ενέργειες διαχείρισης κινδύνων. Αποτελεί είσοδο στη διεργασία Σχεδιασμού Απόκρισης σε Κινδύνους.



Σχήμα 1-6. Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων: Είσοδοι, Εργαλεία & Τεχνικές, Έξοδοι

Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων: Εργαλεία και Τεχνικές
Τεχνικές Συλλογής και Αναπαράστασης Δεδομένων

- **Συνεντεύξεις**

Τεχνικές συνεντεύξεων χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της πιθανότητας και των επιπτώσεων των κινδύνων στους στόχους του έργου. Η απαιτούμενη πληροφορία εξαρτάται από τον τύπο των κατανομών πιθανοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν. Π.χ., πρέπει να συλλεχθεί πληροφορία για το αισιόδοξο (χαμηλό), απαισιόδοξο (υψηλό) και πιο πιθανό σενάριο αν χρησιμοποιηθούν ορισμένες συνήθεις κατανομές, ή το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση για άλλες. Παραδείγματα εκτιμήσεων τριών σημείων για το κόστος απεικονίζονται στο Σχήμα 1-7. Η καταγραφή της αιτιολόγησης του εύρους κινδύνων είναι σημαντικό στοιχείο της συνέντευξης, καθώς μπορεί να παράσχει πληροφορίες για την αξιοπιστία και την πιστότητα της ανάλυσης.

Εύρος Εκτιμήσεων Κόστους για το Έργο

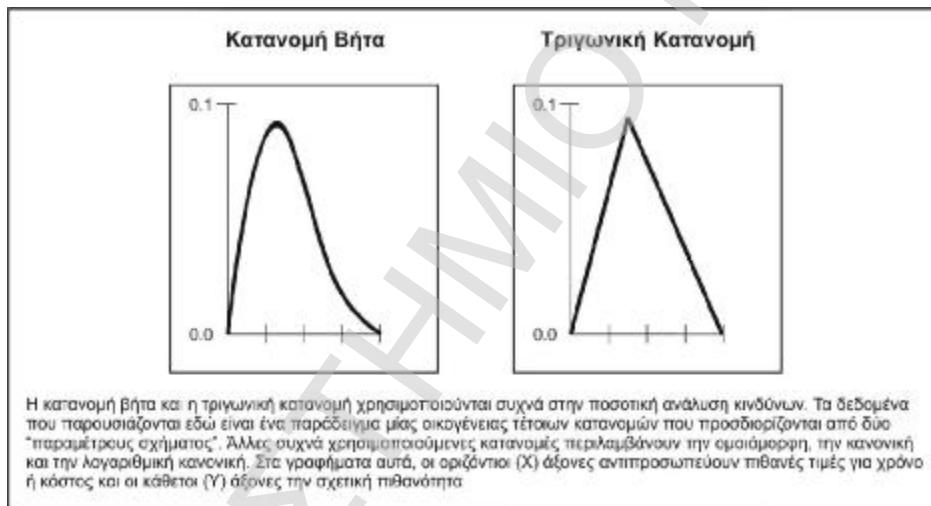
Στοιχείο ΔΑΕ	Χαμηλή	Πιθανότερη	Υψηλή
Σχεδιασμός	\$4M	\$6M	\$10M
Κατασκευή	\$16M	\$20M	\$35M
Δοκιμή	\$11M	\$15M	\$23M
Συνολικό Έργο		\$41M	

Η συνέντευξη για τους κινδύνους προσδιορίζει τις εκτιμήσεις τριών σημείων για κάθε στοιχείο της ΔΑΕ για τριγωνικές ή άλλες ασύμμετρες κατανομές. Στο παράδειγμα αυτό, η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου ακριβώς ή χαμηλότερα από την παραδοσιακή εκτίμηση των \$41M είναι σχετικά μικρή, όπως φαίνεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Σχήμα 1-7. Εύρος των Εκτιμήσεων Κόστους Έργου όπως Συλλέχθηκαν κατά τη Συνέντευξη Κινδύνων

- **Κατανομές πιθανοτήτων**

Οι συνεχείς κατανομές πιθανοτήτων αναπαριστούν την αβεβαιότητα των τιμών, όπως τις διάρκειες των δραστηριοτήτων και το κόστος των συστατικών του έργου. Οι διακριτές κατανομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση αβέβαιων γεγονότων, όπως το αποτέλεσμα μίας δοκιμής ή ένα πιθανό σενάριο σε ένα δένδρο αποφάσεων. Δύο δείγματα ευρέως χρησιμοποιούμενων συνεχών κατανομών φαίνονται στο Σχήμα 1-8. Οι ασύμμετρες αυτές κατανομές απεικονίζουν σχήματα συμβατά με τα δεδομένα που συνήθως αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης κινδύνων έργου. Οι ομοιόμορφες κατανομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν δεν υπάρχει προφανής τιμή η οποία να είναι πιθανότερη από κάθε άλλη μεταξύ των προσδιορισμένων άνω και κάτω ορίων, όπως στην περίπτωση του πρώιμου σταδίου του σχεδιασμού εννοιών.



Σχήμα 1-8. Παραδείγματα Συνηθέστερα Χρησιμοποιούμενων Κατανομών Πιθανοτήτων

- **Εμπειρογνωμοσύνη**

Ειδήμονες στο αντικείμενο, εσωτερικοί ή εξωτερικοί προς τον οργανισμό, όπως ειδικοί στατιστικοί ή μηχανικοί, μπορούν να αξιολογήσουν δεδομένα και τεχνικές.

Τεχνικές Ποσοτικής Ανάλυσης και Μοντελοποίησης Κινδύνων

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές Ποσοτικής Ανάλυσης Κινδύνων περιλαμβάνουν:

- **Ανάλυση ευαισθησίας**

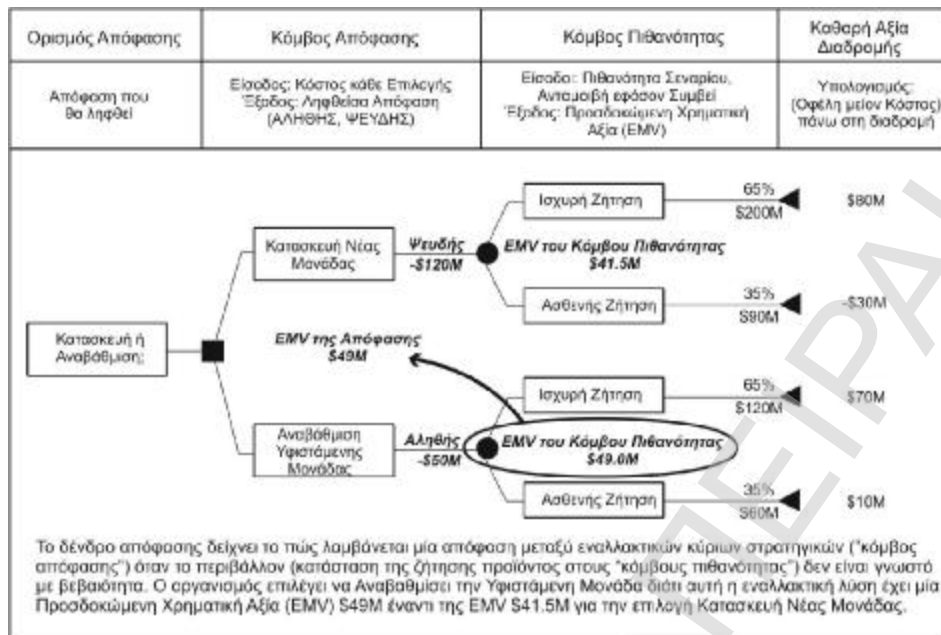
Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθάει στον καθορισμό του ποιοι κίνδυνοι έχουν τις μέγιστες δυνητικές επιπτώσεις στο έργο. Εξετάζει την έκταση στην οποία η αβεβαιότητα για κάθε στοιχείο του έργου επηρεάζει τον εξεταζόμενο στόχο, όταν όλα τα άλλα στοιχεία αβεβαιότητας διατηρούνται στις τιμές της βάσης αναφοράς τους. Μία τυπική απεικόνιση της ανάλυσης ευαισθησίας είναι το διάγραμμα τυφώνα (tornado diagram), το οποίο είναι χρήσιμο για τη σύγκριση της σχετικής σημαντικότητας μεταβλητών που έχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας σε σχέση με αυτές που είναι περισσότερο ευσταθείς.

- **Ανάλυση προσδοκώμενης χρηματικής αξίας**

Η ανάλυση προσδοκώμενης χρηματικής αξίας (expected monetary value, EMV) είναι μία στατιστική έννοια που υπολογίζει το μέσο αποτέλεσμα όταν το μέλλον περιλαμβάνει σενάρια που μπορεί να συμβούν ή να μην συμβούν (π.χ., ανάλυση υπό αβεβαιότητα). Η EMV ευκαιριών συνήθως εκφράζεται ως θετική τιμή, ενώ αυτή των κινδύνων ως αρνητική. Η EMV υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό της τιμής κάθε δυνατού αποτελέσματος με την πιθανότητα να συμβεί και κατόπιν προσθέτοντάς τις όλες μαζί. Μία συνήθης χρήση αυτού του τύπου ανάλυσης είναι η ανάλυση δένδρου αποφάσεων (Σχήμα 1-9). Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση συνιστώνται για χρήση στην ανάλυση κινδύνων κόστους και χρόνου, καθότι είναι περισσότερο ισχυρές και λιγότερο υποκείμενες σε λάθος χρήση απ' ό,τι η ανάλυση EMV.

- **Ανάλυση δένδρου αποφάσεων**

Μία ανάλυση δένδρου αποφάσεων έχει συνήθως τη δομή ενός δένδρου (Σχήμα 1-9) που περιγράφει μία απόφαση υπό εξέταση καθώς και τις επιπτώσεις για κάθε μία από τις διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις και τα δυνατά σενάρια. Ενσωματώνει το κόστος κάθε διαθέσιμης επιλογής, τις πιθανότητες κάθε δυνατού σεναρίου και τις ανταμοιβές για κάθε εναλλακτικό λογικό μονοπάτι. Η επίλυση του δένδρου αποφάσεων παρέχει την EMV (ή κάποιο άλλο μέτρο που ενδιαφέρει τον οργανισμό) για κάθε εναλλακτική λύση, όταν όλες οι ανταμοιβές και οι επακόλουθες αποφάσεις ποσοτικοποιούνται.



Σχήμα 1-9. Διάγραμμα Δένδρου Αποφάσεων

• **Μοντελοποίηση και προσομοίωση**

Μία προσομοίωση του έργου χρησιμοποιεί ένα μοντέλο το οποίο μεταφράζει τις αβεβαιότητες που έχουν προσδιορισθεί σε λεπτομερειακό επίπεδο του έργου σε δυνητικές επιπτώσεις στους στόχους του έργου. Οι προσομοιώσεις έργων πραγματοποιούνται συνήθως με χρήση της τεχνικής Monte Carlo. Σε μία προσομοίωση, το μοντέλο του έργου υπολογίζεται πολλές φορές (επαναλαμβάνεται), με τις τιμές εισόδου να είναι στοχαστικές από μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (π.χ., κόστος στοιχείων έργου ή διάρκεια προγρ/μένων δραστηριοτήτων) επιλεγμένων για κάθε επανάληψη από τις κατανομές πιθανοτήτων κάθε μεταβλητής. Υπολογίζεται μία κατανομή πιθανότητας (π.χ., συνολικό κόστος ή ημερομηνία ολοκλήρωσης).

Για μία ανάλυση κινδύνου για το κόστος, μία προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιήσει την παραδοσιακή WBS ή μία δομή ανάλυσης κόστους ως μοντέλο της. Για μία ανάλυση κινδύνου για το χρονοδιάγραμμα, χρησιμοποιείται το χρονοδιάγραμμα από τη Μέθοδο Διαγράμματος Προτεραιότητας (Precedence Diagramming Method - PDM).

2 Η τεχνική Monte Carlo

2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η Monte Carlo, είναι ίσως η πλέον δημοφιλής, ανάμεσα σε αρκετές, επιστημονική μέθοδος διοίκησης. Είναι απλή και μοντέρνα και προσφέρει τα μέσα για να λυθούν εξισώσεις μέσα από κατανομές πιθανοτήτων. Πρόκειται για μία αριθμητική μέθοδο επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων, με την προσομοίωση τυχαίων μεταβλητών.

Δημιουργήθηκε ο 1949 από τους μαθηματικούς John von Neumann και Stanislan Ulam, αλλά καθώς είναι μία μέθοδος που απαιτεί πολλή και επαναλαμβανόμενη εργασία, αναπτύχθηκε περαιτέρω με τη χρήση των υπολογιστών. Δανείζεται τ' όνομα της από την μητρόπολη των τυχερών παιχνιδιών και πηγή έμπνευσης για τη δημιουργία της ήταν η πλέον απλή μηχανή παραγωγής τυχαίων αριθμών, η ρουλέτα.

Για να υπολογιστεί το εμβαδόν μίας προσημειωμένης περιοχής πάνω σε μία επιφάνεια, που ονομάζεται S και βρίσκεται εντός ενός τετραγώνου, πλευράς 1 (αυθαίρετες μονάδες). Έστω N ο αριθμός των επιλεγμένων σημείων στο τετράγωνο και N' ο αριθμός των ευρισκομένων στην επιφάνεια S , σημείων. Γεωμετρικά είναι σχεδόν βέβαιο ότι η επιφάνεια S θα είναι ίση με το λόγο N'/N . Όσο μεγαλύτερο είναι το N , τόσο μεγαλύτερη και η ακρίβεια του αποτελέσματος. Μετά από καταμέτρηση, $N=40$, $N'=12$, άρα $N'/N=12/40$, δηλαδή $N'/N=0.30$, την στιγμή που στη πραγματικότητα είναι 0-35. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να μετρηθεί ένα πολυδιάστατο μέγεθος, μέσα σ' ένα πολυδιάστατο χώρο.

Η μέθοδος Monte Carlo, έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- Απλή μορφή του αλγόριθμου υπολογισμού. Σαν κανόνας, ένα πρόγραμμα γράφεται για να φέρει σε πέρας τον υπολογισμό μίας τυχαίας δειγματοληψίας.
- Το σφάλμα των υπολογισμών είναι ανάλογο με το μέγεθος $-\sqrt{D/N}$, όπου D είναι μία σταθερά και N ο αριθμός των δοκιμών. Για να μειώσει λοιπόν κάποιος το σφάλμα κατά 10 φορές (ένα δεκαδικό ψηφίο), πρέπει ν' αυξήσει τον αριθμό των δειγματοληψιών κατά 100.

Η επίτευξη υψηλής ακρίβειας, είναι σχεδόν αδύνατο. Συνεπώς, κατά κανόνα η Monte Carlo είναι κατάλληλη μέθοδος, όταν στο επιθυμητό αποτέλεσμα επιτρέπεται σφάλμα μεταξύ 5-10%. Ωστόσο μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατό να επιτευχθεί με τη μέθοδο, αν προσομοιωθεί το πρόβλημα με διαφορετικές τυχαίες παραμέτρους.

Για να κατανοηθεί τι είδους προβλήματα επιλύονται με την Monte Carlo, είναι αναγκαίο να τονιστεί, ότι μπορεί να διαπραγματευτεί κάθε διαδικασία που επηρεάζεται από τυχαίους παράγοντες.

2.2 Ανάλυση Monte Carlo

Η διακύμανση και η αβεβαιότητα στις παραμέτρους σε μία διαδικασία αποτίμησης του ρίσκου φανερώνει την αβεβαιότητα στην εκτίμηση του κινδύνου. Οι μορφές της αβεβαιότητας που σχετίζονται με το ρίσκο είναι:

1. Η φυσική διακύμανση η οποία είναι πραγματική στις παραμέτρους που εξετάζονται και δεν μπορούν να μειωθούν μέσα από την αύξηση της συχνότητας της μέτρησης.

2. Η αβεβαιότητα της εκτίμησης η οποία μπορεί να μειωθεί μέσα από την αύξηση της γνώσης για τις παραμέτρους.

Η αβεβαιότητα που οφείλεται στην φυσική διακύμανση ή στην έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων είναι συχνά μεγάλη με επακόλουθο τα αποτελέσματα να είναι αληθινά ανάλογα με την ένταση και το μέγεθος των παραμέτρων. Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωριστούν οι υποθέσεις εκείνες που έχουν μεγάλη επιρροή στην πρόγνωση του μοντέλου. Αν οι υποθέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλη αβεβαιότητα αξίζει να ερευνηθεί τρόπος να μειωθεί η αβεβαιότητα των υποθέσεων αυτών.

Ένας άλλος τρόπος για να ελεγχθεί και να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα στο μοντέλο είναι να εκτελεστεί μία ανάλυση πιθανοτήτων αβεβαιότητας. Μία κοινή μέθοδος ανάλυσης πιθανοτήτων είναι η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo. Στην ανάλυση Monte Carlo η διακύμανση και η αβεβαιότητα κάθε παραμέτρου αντικατοπτρίζεται από μία κατανομή συχνοτήτων. Ο χρήστης χρειάζεται να παρέχει το είδος της κατανομής (κανονική, λογαριθμική, ενιαία) μαζί με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, καθώς και τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές για κάθε μία παράμετρο. Βασισμένη στην κατανομή των συχνοτήτων η τεχνική Monte Carlo επιλέγει τυχαία παραγόμενα δεδομένα και υπολογίζει το αποτέλεσμα. Στην συνέχεια

μία σειρά από νέα δεδομένα παράγονται τυχαία και υπολογίζονται τα αποτελέσματα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η στατιστική κατανομή του μοντέλου καταλήξει σε μία σταθερή κατάσταση. Για απλά φυσικά μοντέλα μία κατανομή συχνοτήτων χαρακτηρίζεται ως καλή όταν η συνθήκη σταθερότητας επιτυγχάνεται μετά από μερικές χιλιάδες εκτελέσεις. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης Monte Carlo είναι η στατιστική κατανομή των παραγόμενων παραμέτρων με την μέση τιμή τους, την τυπική απόκλιση κτλ.

Προκειμένου να μειωθούν τα λάθη και να μην εμφανιστούν καταχρήσεις εμπιστοσύνης από την χρήση της μεθόδου Monte Carlo απλές αρχές μπορούν να ακολουθηθούν. Οι Burnmaster και Anderson προτείνουν 14 αρχές καλής πρακτικής προκειμένου να βοηθήσουν τους ανθρώπους να εκτελέσουν και να αναθεωρήσουν τις εκτιμήσεις για τα ρίσκα ειδικά σε περιπτώσεις που σχετίζονται με χημικές ουσίες και περιβαλλοντικά ζητήματα. Οι συγγραφείς προτείνουν ότι με τη χρήση των συγκεκριμένων αρχών η αποτίμηση του κινδύνου μέσα από την μέθοδο Monte Carlo για τα επικίνδυνα απόβλητα θα ήταν ευκολότερη στο να γίνει κατανοητή.

Η ανάλυση Monte Carlo είναι μία από τις πιο απλές μαθηματικές τεχνικές για να εφαρμοσθούν οι αξιολογήσεις των κινδύνων. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει συνδυασμό των αποτελεσμάτων από χιλιάδες τυχαίες δειγματοληψίες από κατανομές πιθανοτήτων με τέτοιο τρόπο ώστε να παραχθούν κατανομές που αντανακλούν την αναμενόμενη ποικιλία συχνοτήτων και αποτελεσμάτων. Η αξιολόγηση της ανάλυσης Monte Carlo απαιτεί την εξέταση της καταλληλότητας των υποθέσεων.

Το πρώτο βήμα για την εξομοίωση Monte Carlo είναι η κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο αντικατοπτρίζει ένα πρόβλημα. Η κατασκευή του προβλήματος περιέχει τους μαθηματικούς συνδυασμούς (πρόσθεση, πολλαπλασιασμός, λογάριθμοι) του μοντέλου το οποίο μπορεί να εκφραστεί σαν κατανομή πιθανοτήτων.

Για παράδειγμα αν ένα άτομο επιθυμεί να εξομοιώσει την καθημερινή έκθεση σε διαιτητικό μικροβιοκτόνο σε ανθρώπους από μικροβιοκτόνο που εντοπίζεται στις τομάτες μπορεί να εξομοιωθεί με επαναλαμβανόμενη επιλογή τιμών από δύο ξεχωριστές κατανομές. Η μία κατανομή αντιπροσωπεύει την κατανάλωση της τομάτας και η δεύτερη αντιπροσωπεύει τα επίπεδα του μικροβιοκτόνου στις τομάτες. Εδώ η τελική μεταβλητή (καθημερινή έκθεση σε μικροβιοκτόνο) ορίζεται σαν το προϊόν δυο μεταβλητών (κατανάλωση τομάτας και της συγκέντρωσης μικροβιοκτόνου). Κάθε τυχαίο ζευγάρι των μεταβλητών επιλέγεται μέσα από μία επαναλαμβανόμενη δειγματοληψία και πολλαπλασιάζοντας μεταξύ τους, το προϊόν

παρουσιάζεται σαν ένα σημείο στην κατανομή της τελικής μεταβλητής. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται χιλιάδες φορές και τα χιλιάδες αποτελέσματα δημιουργούν μία κατανομή συχνοτήτων.

Αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνικής Monte Carlo είναι η παραγωγή τυχαίων αριθμών. Παρόμοιο με την ρίψη των ζαριών, το λογισμικό διαθέτει μία μηχανή παραγωγής τυχαίων αριθμών η οποία παράγει τυχαίες ακολουθίες αριθμών. Δύο βασικές μορφές δειγματοληψίας είναι η Τυχαία δειγματοληψία (Monte Carlo δειγματοληψία) και η Λατινική δειγματοληψία.

Η τυχαία ή Monte Carlo δειγματοληψία εκτιμάει τις κατανομές πιθανοτήτων με καθαρά τυχαίο τρόπο, και είναι χρήσιμο στην προσπάθεια το μοντέλο να αποσπάσει μία τυχαία δειγματοληψία από ένα πληθυσμό ή για να πραγματοποιηθούν στατιστικά πειράματα. Ωστόσο η τυχειότητα του δείγματος προτείνει ότι αν δεν πραγματοποιηθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός από επαναλήψεις τότε μερικά κομμάτια της κατανομής θα είναι λανθασμένα. Επειδή σε όλες τις αναλύσεις κινδύνων η μελέτη των άκρων της κατανομής είναι σημαντική πρέπει να υπάρχει ακριβής αναπαράσταση της κατανομής του μοντέλου που εξετάζεται.

2.3 Προσομοίωση Monte Carlo και διοίκηση έργου

Η Monte Carlo είναι συμπληρωματική μέθοδος στο δέντρο αποφάσεων. Όπως έχει γίνει κατανοητό, καθεμία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. Η φύση του προβλήματος, τα διαθέσιμα εργαλεία και η προτίμηση της ομάδας ή του ατόμου που θα λάβει την απόφαση, θα επιλέξουν την αρμόζουσα μέθοδο. Η προσομοίωση, συνήθως προτιμάται, όταν:

- Έχουμε αρκετές αβεβαιότητες και ανοιχτά ενδεχόμενα
- Το πρόβλημα εντάσσεται στο πλαίσιο κι άλλων προβλημάτων μέσα στο έργο
- Είναι επιθυμητές οι πιθανολογικές κατανομές των αποτελεσμάτων
- Περιλαμβάνεται πιο περίπλοκη διαδικασία απόφασης

Στον αντίποδα, τα δέντρα αποφάσεων, αρμόζουν περισσότερο σε περιπτώσεις, όπου:

- Περιλαμβάνεται μία αλληλουχία αποφάσεων
- Υπάρχουν γεγονότα μικρών πιθανοτήτων
- Όταν ένα απλό μοντέλο επαρκεί

Στην ανάπτυξη της μεθόδου του δέντρου αποφάσεων το βασικό πρόβλημα, εντοπίζεται στον τρόπο ανάπτυξης της λύσης, όπου για περίπλοκα προβλήματα, εξαιτίας του τεράστιου αριθμού υπολογισμών που πρέπει να εκτελεστούν, το καθιστά δύσχρηστο και καθόλου ευέλικτο. Η προσομοίωση, αντίθετα, δεν παρουσιάζει τέτοια προβλήματα. Επιτρέπει μία πλουσιότερη και λεπτομερέστερη παρουσίαση, που μερικές φορές είναι σημαντική.

Ανάμεσα στα πεδία εφαρμογής είναι και η επίλυση της EV. Ένα έμμεσο όφελος είναι και η παρουσίαση αποτελεσμάτων σε μορφή διαγραμμάτων προσεγγιστικών κατανομών. Η προσομοίωση εξαρτάται από δύο ουσιώδη στοιχεία:

- Ένα μοντέλο που παρουσιάζει τα αποτελέσματα του έργου και την τιμή των αποτελεσμάτων.
- Μία τεχνική που επαναλαμβανόμενα δημιουργεί σεναρία, οδηγούμενη από τυχαία δειγματοληψία στοιχείων από κατανομές πιθανοτήτων.

Η εξομοίωση δεν αποτελεί πανάκεια στα προβλήματα της διοίκησης κινδύνων. Ωστόσο έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Επιτρέπει μία πιο πλούσια και λεπτομερή αναπαράσταση. Επομένως, η τεχνική της εξομοίωσης μπορεί να λύσει κάθε πρόβλημα αξιολόγησης. Ο μαθηματικός John von Neumann διάδωσε την τεχνική Monte Carlo ενώ συμμετείχε σε ένα έργο σχεδιασμού μίας ατομική βόμβας. Αναγνώρισε ότι η απλή δειγματοληψία μπορούσε να λύσει μερικά προβλήματα τα οποία δεν επιλύονται με άλλο τρόπο.

Η πραγματική χρήση της τεχνικής Monte Carlo σε συνδυασμό με το έργο είναι ο έλεγχος των κινδύνων. Σε πολλές περιπτώσεις οι ειδικοί επιθυμούν να ελέγξουν τους κινδύνους ή το κόστος ή και τα δύο. Η Monte Carlo προσομοίωση απαιτεί την χρήση του υπολογιστή εξαιτίας της φύσης της διαδικασίας.

Η τεχνική Monte Carlo δεν χρησιμοποιήθηκε συχνά μέχρι τα τελευταία 10 χρόνια. Υπάρχουν δύο λόγοι για αυτό. Πρώτον, τα έργα είναι πολύ πιο ακριβά σήμερα και το κέρδος καθώς και το πρόγραμμα της υλοποίησης είναι κρίσιμο. Δεύτερον, τα λογισμικά που είναι διαθέσιμα τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα ή και σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά τα οποία καθιστούν τον προγραμματισμό των έργων απλούστερο και γρηγορότερο και ακόμα περισσότερο ακριβή.

2.4 Η διαδικασία της προσομοίωσης

Ένας βρόγχος επαναλήψεων περιβάλλει το μοντέλο του έργου και ελέγχει τη διεργασία, δημιουργώντας πολλές αληθοφανείς 'δοκιμαστικές' λύσεις. Κάθε δοκιμή είναι ένα πέρασμα στ' αριστερά του διαγράμματος, το οποίο δημιουργεί ένα πιθανό αποτέλεσμα για την πορεία του έργου. Το λογισμικό δημιουργεί αρκετές περιπτώσεις, ώσπου ένας ορισμένος από πριν αριθμός δοκιμών πραγματοποιηθεί. Απαιτούνται αρκετές εκατοντάδες επαναλήψεις, ώστε να καταλήξουμε σ' ένα λογικό συμπέρασμα για την EV. Μία συνήθης αλληλουχία βημάτων στην προσομοίωση, είναι η ακόλουθη:

- Δειγματισμός από κατανομές πιθανοτήτων, που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες τυχαίες ή πιθανολογικές μεταβλητές v .
- Αντικαθιστούμε τις τιμές της δοκιμής με τυχαίες μεταβλητές στο προσδιοριστικό μοντέλο.
- Αποθήκευση προεπιλεγμένων τιμών αποτελεσμάτων, π.χ.: χρόνος, κόστος.
- Επιστροφή στο πρώτο βήμα και εκκίνηση του αριθμού των επαναλήψεων, εωσότου το αποτέλεσμα περιβάλλεται από την επιθυμητή ακρίβεια.
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Η παρουσίαση της EMV είναι σίγουρα αρκετή, από μόνη της, ώστε να αποτελέσει εργαλείο λήψης απόφασης. Συνηθίζεται όμως, να περιλαμβάνεται στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων και η κατανομή της PV.

2.5 Αδυναμίες της τεχνικής Monte Carlo

Η χρήση της τεχνικής αυτής περιορίζεται στις αβεβαιότητες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να εκφραστούν σαν πιθανότητες. Μπορεί να χρειαστεί μεγάλος χρόνος για να υπολογισθούν υπολογιστικά μοντέλα. Συνήθως αυτό παρακάμπτεται με τη χρήση άλλης τεχνικής δειγματοληψίας (Latin Hypercube Sampling)

Η μετάφραση της κατανομής πιθανοτήτων από τις εκροές του μοντέλου δεν είναι πάντα ξεκάθαρη για τους λήπτες αποφάσεων καθώς δεν υπάρχει κανόνας που να οδηγεί τους μελετητές σχετικά με τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης της κατανομής.

3 Η προσομοίωση στην πράξη – Το Λογισμικό Crystal Ball

3.1 Εισαγωγή

Καθώς το Microsoft Excel αποδεικνύεται πολύτιμο εργαλείο για μικρά προβλήματα, περισσότερο εξειδικευμένα λογισμικά αναλαμβάνουν να λύσουν τα πολύπλοκα προβλήματα και να παρουσιάσουν αρτιότερα τ' αποτελέσματα. Το προϊόν που επικρατεί στην αγορά είναι το Crystal Ball της Decisioneering Inc.

Το λογισμικό Crystal Ball είναι ένα φιλικό προς το χρήστη πρόγραμμα πρόβλεψης και ανάλυσης κινδύνων το οποίο απομακρύνει την αβεβαιότητα στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε από την εταιρεία Decisioneering το 2000 και από τότε έχουν κυκλοφορήσει διαφορετικές εκδόσεις ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών.

Μέσα από την τεχνική της προσομοίωσης το λογισμικό Crystal Ball γίνεται ένα αποτελεσματικό εργαλείο στα χέρια των ειδικών που λαμβάνουν αποφάσεις. Μπορούν να απαντηθούν ερωτήσεις του τύπου : « Θα παραμείνει η εταιρεία μέσα στα όρια του προϋπολογισμού αν δημιουργηθεί μία εγκατάσταση;» ή «Ποιες είναι οι πιθανότητες το έργο να ολοκληρωθεί μέσα στον προβλεπόμενο χρόνο;» Με τη βοήθεια του λογισμικού μπορεί ένα άτομο να γίνει πιο αποτελεσματικό στην λήψη σοβαρών αποφάσεων στο περιβάλλον που εργάζεται.

Το λογισμικό Crystal Ball είναι εύκολο στην εκμάθηση και στην χρήση του. Σε αντίθεση με τα άλλα προγράμματα πρόβλεψης και ανάλυσης κινδύνων δεν χρειάζεται να γνωρίζει κανείς κάποιες περίεργες παραμετροποιήσεις ή άλλες γλώσσες μοντελοποίησης. Το μόνο που χρειάζεται προκειμένου να ξεκινήσει είναι ένα φύλλο εργασίας.

Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι ότι μέσα από το λογισμικό τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά. Χρησιμοποιείται η τεχνική Monte Carlo και το λογισμικό προβλέπει όλες τα πιθανά αποτελέσματα για μία δεδομένη κατάσταση. Παρουσιάζει και τα διαστήματα εμπιστοσύνης ώστε να μπορεί κανείς να γνωρίζει την πιθανότητα ένα συγκεκριμένο γεγονός να λάβει θέση.

3.2 Χρήστες του Crystal Ball

Το λογισμικό αναφέρεται στους λήπτες αποφάσεων και από άτομα επιχειρήσεων που αναλύουν τους δυνητικές νέες αγορές μέχρι τους επιστήμονες όταν αξιολογούν πειράματα και υποθέσεις. Αναφέρεται επίσης και στους σχεδιαστές στρατηγικής, οικονομικούς αναλυτές, διευθυντές marketing, συμβούλους και σε οποιονδήποτε άλλον που χρησιμοποιεί φύλλα εργασίας προκειμένου να προβλέψει αβέβαιες καταστάσεις. Το λογισμικό αυτό διδάσκεται και στα Αμερικάνικα σχολεία και πανεπιστήμια. Το λογισμικό είναι εύκολο στην εκμάθηση και εύκολο στη χρήση και έχει αναπτυχθεί με μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Δεν χρειάζονται υψηλές γνώσεις στατιστικής ή γνώσεις υπολογιστών ώστε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό με όλες τις δυνατότητες του. Αυτό που χρειάζεται είναι μία βασική γνώση του υπολογιστικού συστήματος και της ικανότητας να δημιουργηθούν μοντέλα σε φύλλα εργασίας.

3.3 Περιβάλλον του Crystal Ball

Το λογισμικό Crystal Ball είναι ένα πρόγραμμα εξομοίωσης το οποίο βοηθάει στην ανάλυση των κινδύνων και της αβεβαιότητας που σχετίζονται με τα φύλλα εργασίας του excel.

Αποτελεί ένα πρόγραμμα προσθήκης στο excel με τις δικές του επιλογές, μπάρες και εργαλεία και ουσιαστικά ξεκινάει από το σημείο που τελειώνει το excel και επιτρέπει να συνεχίσει ο χρήστης με την εφαρμογή Monte Carlo.

Επειδή το excel δεν περιέχει συναρτήσεις προσομοίωσης το λογισμικό Crystal Ball χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει χιλιάδες από εναλλακτικά σενάρια τα οποία μπορούν στη συνέχεια να αναλυθούν. Η προσεκτική εξέταση αυτών των σεναρίων μπορεί να δώσει μία εικόνα των πιθανοτήτων ένα γεγονός να συμβεί και τον κίνδυνο να μη συμβεί.

Το λογισμικό έχει σχεδιασθεί για στατιστικούς και για μη στατιστικούς. Η πρόβλεψη, η τάση οι πίνακες και οι αναφορές βοηθούν να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα στους διευθυντές και στους πελάτες. Ουσιαστικά λειτουργεί πάνω στο περιβάλλον το excel με την βοήθεια ορισμένων μακροεντολών. Επομένως κατά τη

χρήση του λογισμικού παρέχονται όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του excel και των φύλλων εργασίας.

3.4 Πλεονεκτήματα του Crystal Ball

Όταν κάποιος ασχοληθεί με το λογισμικό και το αφομοιώσει ικανοποιητικά θα είναι σε θέση:

- Να λαμβάνει καλύτερες αποφάσεις
- Να σχεδιάζει μοντέλα προσομοίωσης πραγματικών καταστάσεων.
- Να επιλέγει τις κατάλληλες κατανομές πιθανοτήτων σαν εισροή δεδομένων
- Να εφαρμόζει βασικά στατιστικά στοιχεία
- Να μεταφράζει τα αποτελέσματα του λογισμικού ικανοποιητικά.

3.5 Φιλοσοφία προσομοίωσης με τη βοήθεια του Crystal Ball

Η εξομοίωση με την τεχνική Monte Carlo επιλέγει τυχαία τιμές οι οποίες είναι οι πιθανές διάρκειες για κάθε μία δραστηριότητα. Την επιλογή της διάρκειας κάθε δραστηριότητας ακολουθεί ο υπολογισμός της ημερομηνίας ολοκλήρωσης ενός έργου με τα συγκεκριμένα δεδομένα. Στη συνέχεια υπολογίζεται η κρίσιμη διαδρομή και οι διάρκειες του έργου.

Η εξομοίωση επιτρέπει την επιλογή διαφορετικών κατανομών. Αυτό μπορεί να γίνει για μία δραστηριότητα, μία ομάδα δραστηριοτήτων ή και για ολόκληρο το έργο. Η επιλογή της κατανομής μπορεί να γίνει μεταξύ της Ομοιόμορφης, της διωνυμικής, της τριγωνικής, της Beta, της Poisson της κανονικής και άλλων. Στην συνέχεια η εξομοίωση λειτουργεί μέσα από τα παρακάτω βήματα:

- Καθορίζεται το εύρος των τιμών για τη διάρκεια κάθε δραστηριότητας αν έχουμε την εξέλιξη ενός έργου.
- Επιλέγεται μία κατανομή πιθανοτήτων, για κάθε δραστηριότητα
- Αν είναι αναγκαίο υπολογίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση.
- Εισάγονται οι συσχετίσεις των δραστηριοτήτων
- Ο υπολογιστής ξεκινά την προσομοίωση

- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές μέχρι να φθάσουν ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων ή μέχρι τα αποτελέσματα να έχουν την επιθυμητή ακρίβεια.

- Τα αποτελέσματα εξάγονται σε μορφές εκθέσεων.

- Το πιο κοινό αποτέλεσμα από τη χρήση του λογισμικού είναι ένα διάγραμμα το οποίο απεικονίζει την πιθανότητα ύπαρξης κάθε γεγονότος. Παρουσιάζεται σαν ιστόγραμμα συχνοτήτων. Γενικά δημιουργείται και ένα σωρευτικό διάγραμμα. Με τον τρόπο αυτό απεικονίζεται γραφικά η πιθανότητα κάθε γεγονότος.

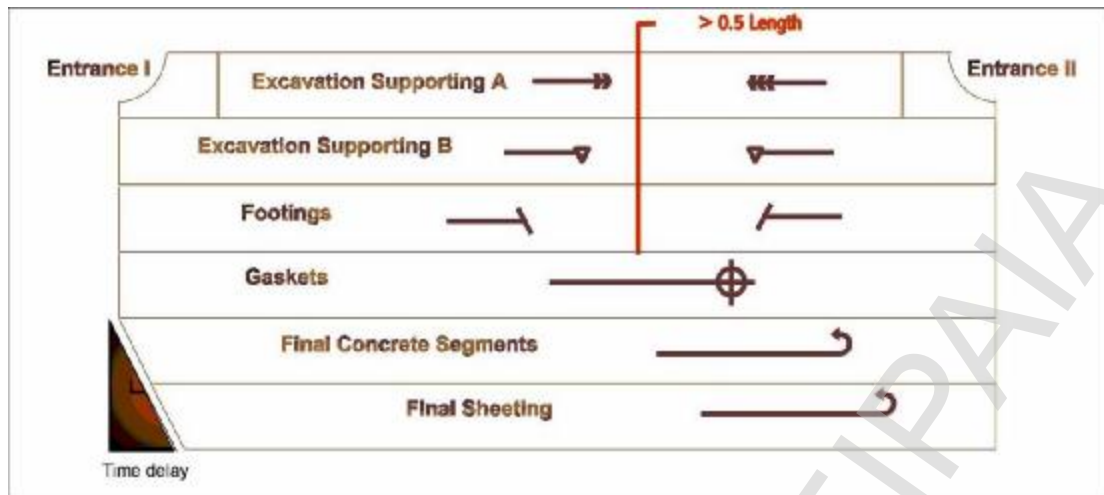
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

Μέρος 2^ο – ΠΡΑΚΤΙΚΟ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4 Μοντελοποίηση ρίσκου και αβεβαιότητας στο χρονοδιάγραμμα έργων Rapid Tunnel Excavation με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystal Ball

4.1 Σύντομη Περιγραφή της Μεθόδου RTE

Η δυνατότητα της παράλληλης πραγματοποίησης μερικών δραστηριοτήτων ενός έργου διάνοιξης τούνελ, μέσω της εκσκαφής από δύο κατευθύνσεις, οδήγησε στη δημιουργία της μεθόδου Rapid Tunnel Excavation. Ένα βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι διαφορετικές ομάδες εργασίας δουλεύουν ταυτόχρονα και διατηρώντας λογικές αποστάσεις, υπολογίζοντας το χρόνο και τον τύπο του εδάφους, προχωρούν αποφεύγοντας προστριβές και αλληλεπιδράσεις. Ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης και των δύο δραστηριοτήτων δεν ισούται με το άθροισμα των επιμέρους διαρκειών, αλλά με τη διάρκεια της πρώτης δραστηριότητας συν την χρονική απόσταση. Το κλειδί στην επιτυχία είναι να αποτραπούν οι ομάδες εργασίας να δουλεύουν από την μια άκρη ως την άλλη, μέχρι να βγουν από το τούνελ. Κάποιες ομάδες μπορούν να ξεκινήσουν από την πρώτη είσοδο και να συνεχίσουν μέχρι να ολοκληρώσουν λίγο περισσότερο από το μισό εκ του συνολικού μήκους του τούνελ. Στη συνέχεια, μπορούν να βγουν από το τούνελ, να μεταφερθούν στην άλλη είσοδο και να αρχίσουν να δουλεύουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Έχει καταγραφεί ότι με αυτή τη μέθοδο περισσότερες ομάδες μπορούν να δουλέψουν ταυτόχρονα, επιτυγχάνοντας τελικά ακόμα μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης.



Σχήμα 4-1. Αλληλουχία δραστηριοτήτων σε ένα RTE έργο

Υπάρχει τέτοιος συνδυασμός δραστηριοτήτων, που επιτρέπει τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Όταν τελειώσει το πρώτο μέρος της δραστηριότητας *Excavation- Supporting A*, το συνεργείο μετακινείται στην άλλη είσοδο, ενώ ταυτόχρονα ξεκινά η δραστηριότητα *Excavation-Supporting B* από την πρώτη είσοδο. Τα συνεργεία των δραστηριοτήτων *Excavation- Supporting B* και *Footings* δουλεύουν παρομοίως, ενώ ταυτόχρονα με τα *Footings* ξεκινά η δραστηριότητα των *Gaskets*. Μετά τη καθορισμένη χρονική απόσταση, τα συνεργεία *Final Concrete Segment* και *Final Sheeting* ξεκινούν να δουλεύουν μέσα στο τούνελ. Το σχήμα 4-1 αναπαριστά την αλληλουχία των δραστηριοτήτων στη μέθοδο *rapid tunnel excavation*, όπου μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι τρεις πρώτες σημαντικές δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα, με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και του χρόνου εκτέλεσης, σε αντίθεση με τις μεθόδους εκσκαφής από μια μόνο είσοδο.

Πρέπει να τονιστεί ότι είναι πολύ κρίσιμο να εντοπιστεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα το χρονικό σημείο όπου οι σχετικές με το τσιμέντο δραστηριότητες (π.χ., *gaskets*, *concrete segments*, κτλ.) πρέπει να αρχίσουν, δεδομένου ότι αυτές εκτελούνται μόνο προς μια κατεύθυνση τόσο για πρακτικούς λόγους (το μηχάνημα που τοποθετεί το τσιμέντο δεν μπορεί να μετακινηθεί προς τα πίσω από τη στιγμή που θα μπει στο τούνελ), όσο και για λόγους ασφαλείας (συνήθως όταν γίνεται εκσκαφή σε ένα κομμάτι του τούνελ, καμιά δραστηριότητα δεν εκτελείται ταυτόχρονα στο ίδιο κομμάτι). Το πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου ότι η

τοποθέτηση τσιμέντου από την Είσοδο 1 ξεκινά ενώ η εκσκαφή από την Είσοδο 2 είναι σε εξέλιξη (και εκτελείται παράλληλα με αυτήν), έτσι ελαχιστοποιείται ο χρόνος ολοκλήρωσης σε σύγκριση τόσο με την μέθοδο εκσκαφής από μια κατεύθυνση, όσο και με κάθε άλλη διπλής κατεύθυνσης μέθοδο που περιμένει να ολοκληρωθούν όλες οι εργασίες εκσκαφής πριν την τοποθέτηση του τσιμέντου.

4.2 Ο Παράγοντας Ρίσκο σε ένα RTE έργο

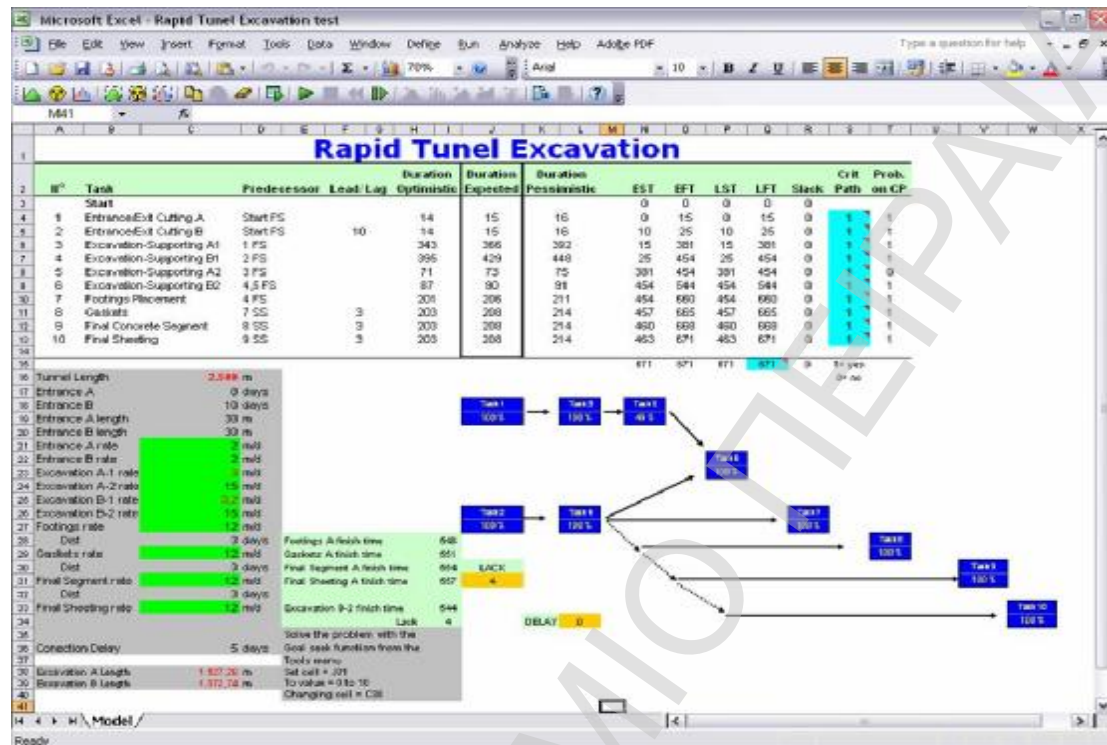
Η προσέγγιση Rapid Tunnel Excavation είναι μια καινοτόμος μέθοδος στην διάνοιξη τούνελ από δύο κατευθύνσεις, με σκοπό την βελτιστοποίηση στην χρήση των πόρων και την ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης. Καταστάσεις διάνοιξης τούνελ αντιμετωπίζεται συχνά σε αρκετά κατασκευαστικά έργα. Τέτοια τυπικά κατασκευαστικά έργα συχνά υπερκαλύπτουν τις αρχικές εκτιμήσεις κόστους και διάρκειας, ακόμα και όταν πολλές πιθανές αλλαγές ληφθούν υπόψη. Οι μελλοντικές εκτιμήσεις δεν είναι γεγονότα αλλά δηλώσεις πιθανοτήτων για το πώς θα κυλήσουν τα πράγματα. Επειδή οι εκτιμήσεις είναι πιθανολογικές αποτιμήσεις, το χρονοδιάγραμμα και τα κόστη μπορούν στην πραγματικότητα να είναι πολύ διαφορετικά από ότι υπολογίστηκαν ακόμα και από επαγγελματίες εκτιμητές. Οι λόγοι είναι συχνά παράγοντες που βρίσκονται εκτός ελέγχου του Διοικητή του προγράμματος, αλλά μπορούν να είναι και ενδημικοί στην διαδικασία εκτίμησης, την στρατηγική του έργου ή την κουλτούρα του οργανισμού. Μια μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου είναι διαθέσιμη που εξασφαλίζει περισσότερο ακριβείς εκτιμήσεις. Η μέθοδος βασίζεται πάνω στην προσομοίωση Monte Carlo. Βοηθά στην έλκυση καλύτερων πληροφοριών καθώς αναγνωρίζει ότι το χρονοδιάγραμμα και το κόστος του έργου είναι αβέβαια.

Τα κατασκευαστικά έργα είναι συνδεδεμένα με μια φαινομενική αποτυχία στην ολοκλήρωσή τους εντός του προβλεπόμενου χρονοδιαγράμματος. Σαν αποτέλεσμα, η υπερβολή, είναι κοινό. Μια εκτίμηση διογκωμένου χρόνου ενσωματώνεται στις περισσότερες δραστηριότητες απλά σε περίπτωση που αντιμετωπιστούν προβλήματα, και ο παράγοντας «για κάθε ενδεχόμενο» κάνει την εμφάνιση του σε πολλά Gantt charts. Η αβεβαιότητα για μια κατάσταση συχνά υποδεικνύει ρίσκο, που είναι η

δυνατότητα απώλειας, ζημιάς και κάθε ανεπιθύμητου γεγονότος. Σχεδόν κάθε αλλαγή, καλή ή κακή, περιέχει ρίσκο. Μια τυπική ανάλυση συχνά θα αποκαλύψει πολλές πιθανές περιοχές ρίσκου: υπερκάλυψη χρονοδιαγράμματος και προϋπολογισμού, ελλείψεις στο απόθεμα, αποτελέσματα γεωλογικής μελέτης, διακυμάνσεις στο προσωπικό, αλλαγές στο κόστος εργασίας, κυβερνητικές εγκρίσεις κ.τ.λ. Από τη στιγμή που το ρίσκο έχει αναγνωριστεί, ένα μοντέλο μπορεί να βοηθήσει στην ποσοτικοποίησή του. Ποσοτικοποίηση του ρίσκου σημαίνει να πάρει αυτό μια τιμή, που θα βοηθήσει στην απόφαση για το πότε αυτό αξίζει να αναληφθεί. Παραδοσιακά, η ανάλυση με προγράμματα λογιστικού φύλλου, προσπάθησε να ενσωματώσει την αβεβαιότητα με έναν από τους παρακάτω τρεις τρόπους: εκτιμήσεις σημείου, εκτιμήσεις εύρους και What-if σενάρια. Δεν χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση αυτών των εργαλείων σε αυτό το σημείο. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για την εφαρμογή μιας ανάλυσης ρίσκου, αλλά μια μέθοδος περιλαμβάνει το στήσιμο ενός μοντέλου. Ένα καλό μοντέλο μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο στον εντοπισμό της ύπαρξης του ρίσκου, από τη στιγμή που τα κελιά με συναρτήσεις και παραπομπές αναδεικνύουν σχέσεις αιτίου-αιτιατού μεταξύ των μεταβλητών.

Παρόλα αυτά ένα από τα μειονεκτήματα των συμβατικών μοντέλων είναι ότι μόνο μια τιμή μπορεί να εισαχθεί κάθε φορά. Αυτό είναι το σημείο που η προσομοίωση Monte Carlo και το λογισμικό Crystal Ball εμφανίζεται. Ένα μοντέλο είναι ένα λογιστικό φύλλο που έχει αναβαθμιστεί από οργανωτή δεδομένων σε ένα εργαλείο ανάλυσης. Ένα μοντέλο αναπαριστά μια διαδικασία με συνδυασμούς δεδομένων, συναρτήσεων και λειτουργιών. Με τη προσθήκη κελιών που βοηθούν στην κατανόηση και στην ανάλυση δεδομένων, το φύλλο δεδομένων γίνεται ένα λογιστικό μοντέλο. Το Crystal Ball βοηθά στον ορισμό των αβέβαιων μεταβλητών με ένα τελειώς καινοτόμο τρόπο: ορίζοντας το κάθε κελί με ένα εύρος ή σύνολο τιμών. Μια μορφή προσομοίωσης λογιστικού φύλλου είναι η προσομοίωση Monte Carlo, η οποία παράγει τυχαίες τιμές για τις αβέβαιες μεταβλητές ξανά και ξανά για να προσομοιώσει το μοντέλο. Η λέξη προσομοίωση αναφέρεται σε κάθε αναλυτική μέθοδο που δημιουργήθηκε για τη μίμηση πραγματικών συστημάτων, ειδικά όταν οι άλλες αναλύσεις είναι μαθηματικά πολύπλοκες ή πολύ δύσκολες στην αναπαραγωγή. Χωρίς την βοήθεια της προσομοίωσης, ένα μοντέλο λογιστικού φύλλου θα εμφανίσει ένα μεμονωμένο αποτέλεσμα, συννηθέστερα το πιο πιθανό ή το μέσο σενάριο. Η ανάλυση ρίσκου με λογιστικό φύλλο χρησιμοποιεί ταυτόχρονα ένα μοντέλο και την

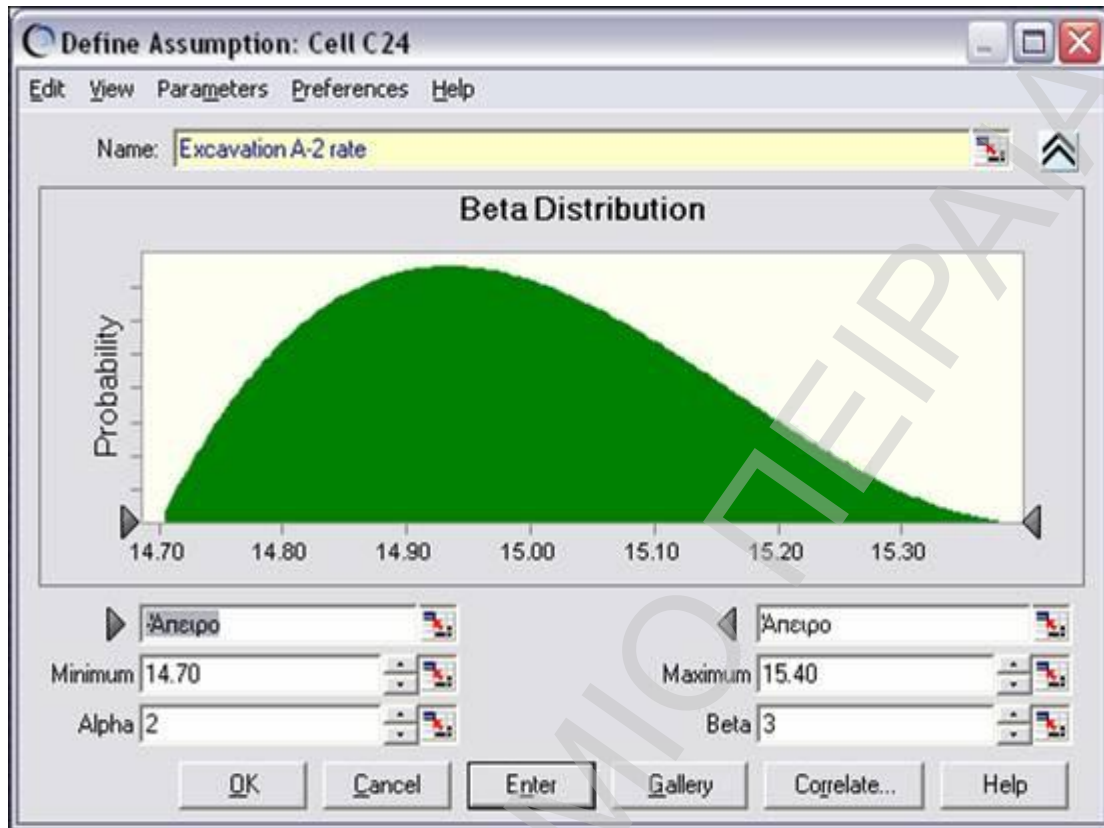
προσομοίωση για να αναλύει αυτόματα την επίδραση των μεταβλητών στο αποτέλεσμα του μοντελοποιημένου συστήματος.



Σχήμα 4-2. Μοντελοποίηση

Για κάθε αβέβαιη μεταβλητή (που έχει ένα εύρος πιθανών τιμών), οι πιθανές τιμές μπορούν να οριστούν βάση μιας πιθανολογικής κατανομής. Ο τύπος της κατανομής της πιθανότητας που θα επιλεγεί εξαρτάται από τις συνθήκες που περιβάλλουν τη μεταβλητή. Η ενσωμάτωση τέτοιου είδους λειτουργίας σε ένα φύλλο Excel, απαιτεί τη γνώση της εξίσωσης που αναπαριστά τη συγκεκριμένη κατανομή. Με το Crystal Ball, αυτές οι εξισώσεις υπολογίζονται αυτόματα. Το Crystal Ball μπορεί ακόμα να ταιριάζει μια κατανομή σε κάθε μορφής ιστορικά στοιχεία. Μια προσομοίωση υπολογίζει πολλαπλά σενάρια ενός μοντέλου με επαναλαμβανόμενες δειγματοληψίες τιμών από τις κατανομές των πιθανοτήτων για τις αβέβαιες μεταβλητές και χρησιμοποιεί έπειτα αυτές τις τιμές για το κάθε κελί. Κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής, το Crystal Ball τυχαία επιλέγει μια τιμή από τις ορισμένες δυνατότητες (από το εύρος και το σχήμα της κατανομής) για κάθε αβέβαιη μεταβλητή και μετά ξαναυπολογίζει το φύλλο. Οι κατανομές πιθανοτήτων που περιγράφουν την

αβεβαιότητα που περιβάλλει συγκεκριμένες μεταβλητές εισόδου αναφέρονται στο Crystal Ball σαν "assumptions".



Σχήμα 4-3. Ορισμός Υποθέσεων – “assumptions”

4.3 Προσομοίωση Ρίσκου στο Χρονοδιάγραμμα με Χρήση του Crystal Ball

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή μοντελοποιήθηκαν οι δραστηριότητες ενός RTE έργου, ενσωματώνοντας κατανομές πιθανοτήτων για κάθε μια από αυτές. Στη συνέχεια εκτελέστηκαν 10000 επαναλήψεις του σεναρίου εκτέλεσης με τη χρήση της Monte Carlo προσομοίωσης. Η απορρέουσα κατανομή διευκρινίζει την πιο πιθανή χρονική στιγμή ολοκλήρωσης και επίσης κάνει μια πολύ καλή προσέγγιση της κατανομής του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου, υποκείμενης στις «υποθέσεις του μοντέλου. Πειραματικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα στην προσομοίωση (Σχήμα 4-4).


<i>Total Length</i>	2500 m	<i>Dynamic of Gaskets Workshop</i>	12 m/day
<i>Length of Entrances</i>	20 m	<i>Dynamic of Final Concrete Segment Workshop</i>	12 m/day
<i>Dynamic of Entrance Workshop</i>	2 m/day	<i>Dynamic of Final Sheeting Workshop</i>	12 m/day
<i>Dynamic of Excavation A' Workshop</i>	5 m/day	<i>Translocation Time</i>	10 days
<i>Dynamic of Excavation B' Workshop</i>	12 m/day	<i>Distance Time between Workshops</i>	5 days
<i>Dynamic of Footings Workshop</i>	15 m/day	<i>Precision of results</i>	20 m

Σχήμα 4-4. Ρεαλιστικά Δεδομένα ενός RTE Έργου

Στο Crystal Ball, ορίζεται ένα «assumption» για ένα κελί με τιμή διαλέγοντας μια κατανομή πιθανότητας που περιγράφει την αβεβαιότητα των δεδομένων στο κελί.. Για να επιτευχθεί αυτό, επιλέγεται μια κατανομή από τη Gallery του Crystal Ball. Η επιλογή κατανομής για ένα «assumption» είναι από τα πιο ενδιαφέροντα βήματα στη δημιουργία ενός μοντέλου στο Crystal Ball. Το Crystal Ball έχει 21 συνεχείς και διακριτές κατανομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή ενός «assumption», συμπεριλαμβανομένου και μιας «προσαρμόσιμης» κατανομής, που μπορεί να είναι συνδυασμός συνεχών και διακριτών πεδίων. Η κατανομή που περιγράφει καλύτερα την αβεβαιότητα των «υποθέσεων» στο μοντέλο είναι η Βήτα κατανομή (Σχήμα 4-5). Έτσι περιγράφεται ένα εύρος πιθανών τιμών για κάθε αβέβαιο κελί στο λογιστικό φύλλο του Excel. Όλη η γνώση για κάθε «assumption» εκφράζεται έτσι απευθείας. Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν οι παρακάτω «υποθέσεις»:

- **Entrance A rate**
- **Entrance B rate**
- **Excavation A-1 rate**
- **Excavation A-2 rate**
- **Excavation B-1 rate**
- **Excavation B-2 rate**
- **Footings rate**
- **Gaskets rate**
- **Final Concrete Segment rate**
- **Final Sheeting rate**

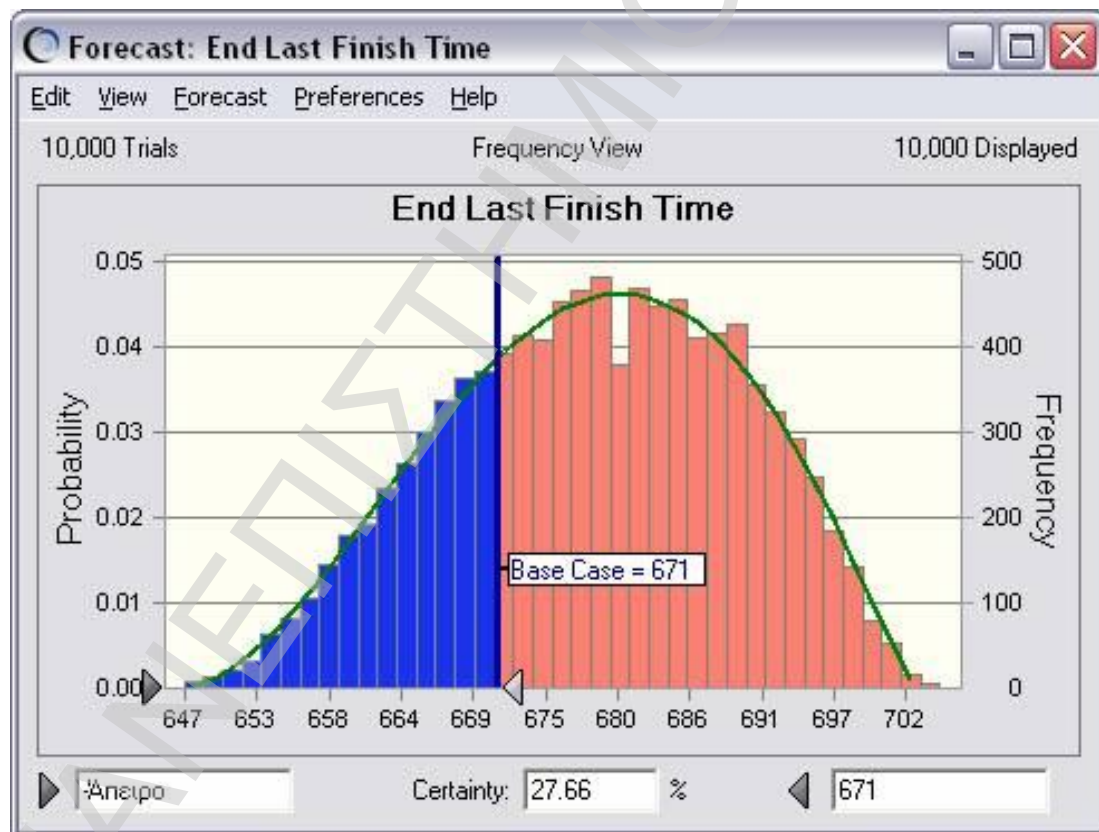
Αφού έχουν οριστεί τα «assumption» κελιά του μοντέλου, πρέπει να οριστεί το κελί ή τα κελιά της «πρόβλεψης» ή «forecast». Αυτά τα κελιά περιέχουν μαθηματικούς τύπους που αναφέρονται σε ένα ή περισσότερα κελιά «υποθέσεων». Στο συγκεκριμένο μοντέλο το ζητούμενο είναι η πιθανότητα του αρχικά εκτιμώμενου χρόνου ολοκλήρωσης καθώς και το εύρος των πιθανών τιμών του. Με τη χρήση της **Monte Carlo** προσομοίωσης, το Crystal Ball εκθέτει τα αποτελέσματα σε ένα διάγραμμα «πρόβλεψης» που δείχνει το συνολικό εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων και την πιθανότητα επιτυχίας του καθενός από αυτά. Επιπρόσθετα, το Crystal Ball κρατάει στοιχεία των αποτελεσμάτων για κάθε σενάριο.

 <p>Beta</p>	<ul style="list-style-type: none">• Minimum and maximum range is between 0 and a positive value.• Shape can be specified with two positive values, alpha and beta.	Represents variability over a fixed range, describes empirical data.	Representing the reliability of a company's devices.
---	---	--	--

Σχήμα 4-5. Η κατανομή Βήτα από την Gallery του Crystal Ball

4.4 Ανάλυση των Αποτελεσμάτων

Αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση, αρχίζει η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα διαγράμματα των «forecast» είναι κατανομές συχνοτήτων. Δείχνουν τον αριθμό της συχνότητας εμφάνισης των τιμών που λαμβάνουν χώρα σε ένα δεδομένο πεδίο ή ομαδικό διάστημα και επίσης δείχνουν πως κατανέμονται αυτές οι συχνότητες. Το διάγραμμα δείχνει επίσης το εύρος βεβαιότητας της πρόβλεψης. Είναι προκαθορισμένο, το εύρος της βεβαιότητας να περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το μείον άπειρο έως το συν άπειρο. Το Crystal Ball συγκρίνει τον αριθμό των τιμών μέσα στο εύρος της βεβαιότητας με τον αριθμό των τιμών σε ολόκληρο το εύρος για να υπολογίσει το επίπεδο της βεβαιότητας (Σχήματα 4-6, 4-7, 4-8, 4-9).



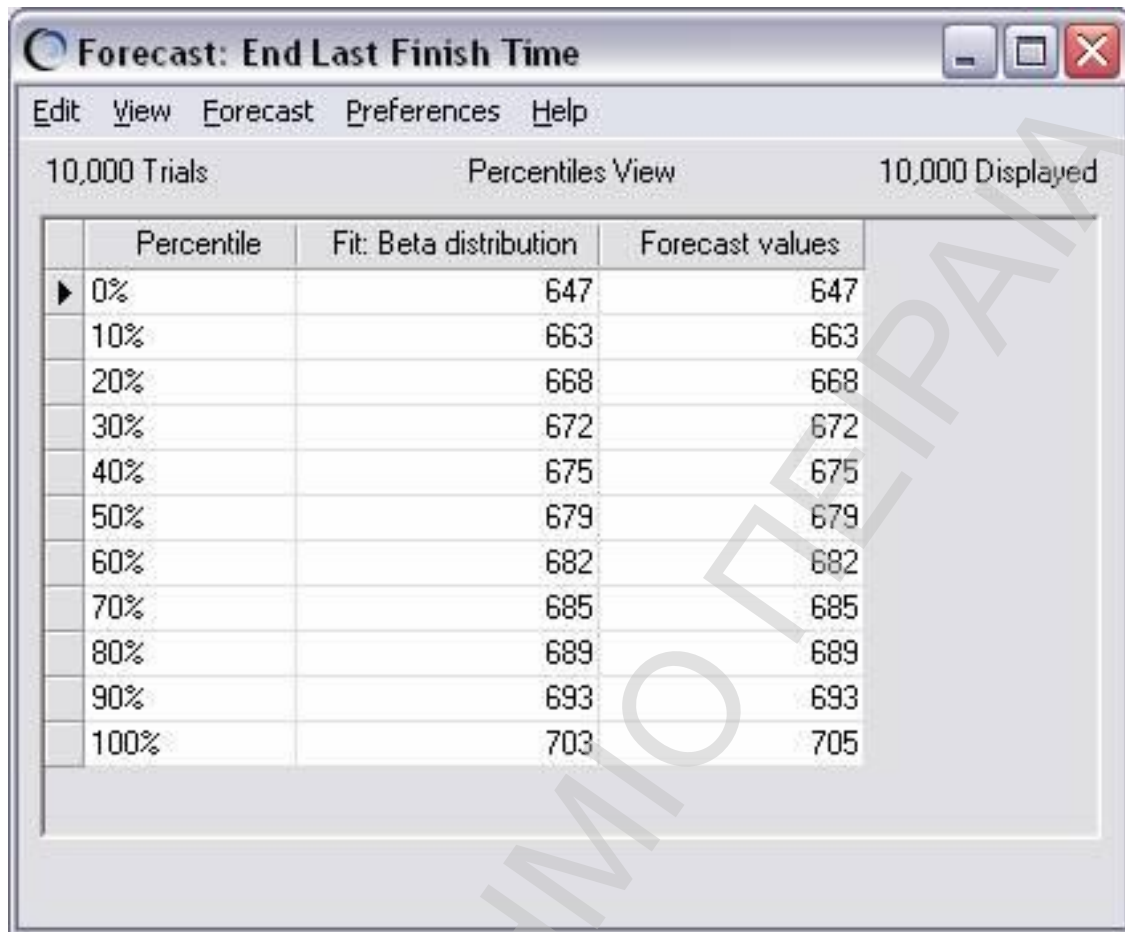
Σχήμα 4-6. Η κατανομή των συχνοτήτων της προσομοίωσης

Statistic	Fit: Beta distribution	Forecast values
Trials	---	10,000
Mean	678	678
Median	679	679
Mode	680	---
Standard Deviation	11	11
Variance	125	125
Skewness	-0.16539	-0.16537
Kurtosis	2.3	2.3
Coeff. of Variability	0.01651	0.01651
Minimum	647	647
Maximum	703	705
Mean Std. Error	---	0

Σχήμα 4-7. Στατιστικά στοιχεία

Distribution	A-D	Chi-Square	K-S	Parameters
Beta	.53	111.26	.01	Minimum=647,Maximum=703,Alpha=2.8587,Bet
Triangular	18.88	389.59	.03	Minimum=647,Likeliest=682,Maximum=705
Weibull	21.88	485.44	.03	Location=645,Scale=37,Shape=3.24117
Normal	28.64	578.86	.04	Mean=678,Std. Dev.=11
Lognormal	30.68	588.22	.04	Mean=678,Std. Dev.=11
Student's t	34.00	657.57	.04	Midpoint=679,Scale=11,Deg. Freedom=29.9992
Gamma	42.44	715.47	.05	Location=589,Scale=1,Shape=62.27376
Logistic	42.93	1015.46	.04	Mean=678,Scale=7
Min Extreme	56.54	869.82	.05	Likeliest=684,Scale=10
Max Extreme	128.58	1782.13	.07	Likeliest=673,Scale=11
Uniform	693.58	3991.21	.18	Minimum=647,Maximum=705
Pareto	1829.65	12531.67	.31	Location=647,Shape=21.3637
Exponential	4437.87	352353.33	.62	Rate=0

Σχήμα 4-8. Ιεράρχηση καταλληλότητας των κατανομών



The screenshot shows a software window titled "Forecast: End Last Finish Time". The window has a menu bar with "Edit", "View", "Forecast", "Preferences", and "Help". Below the menu bar, it displays "10,000 Trials", "Percentiles View", and "10,000 Displayed". The main content is a table with the following data:

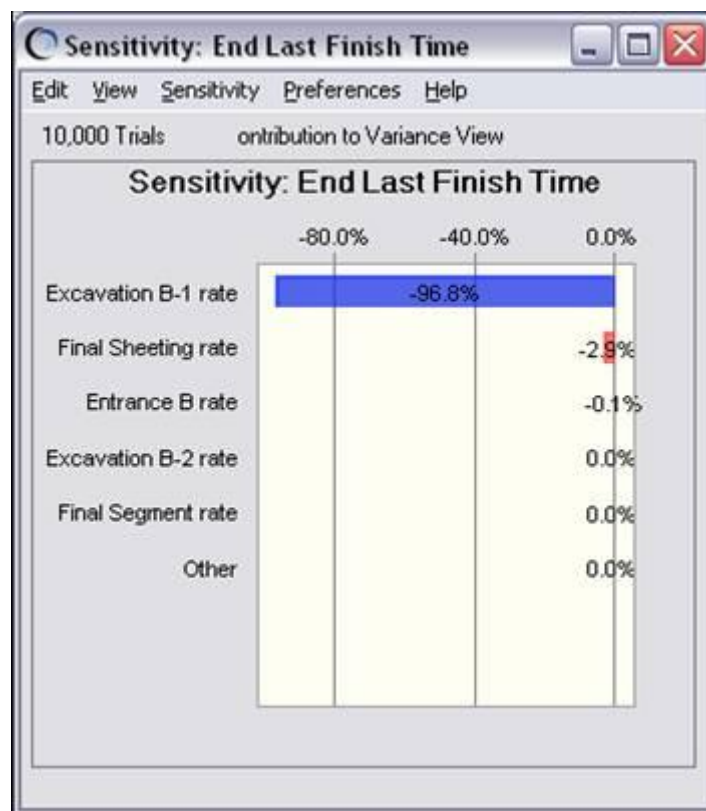
	Percentile	Fit: Beta distribution	Forecast values
▶	0%	647	647
	10%	663	663
	20%	668	668
	30%	672	672
	40%	675	675
	50%	679	679
	60%	682	682
	70%	685	685
	80%	689	689
	90%	693	693
	100%	703	705

Σχήμα 4-9. Ποσοτώσεις

4.5 Χρήσιμα «Εργαλεία» μετά την Προσομοίωση

Διάγραμμα Ευαισθησίας

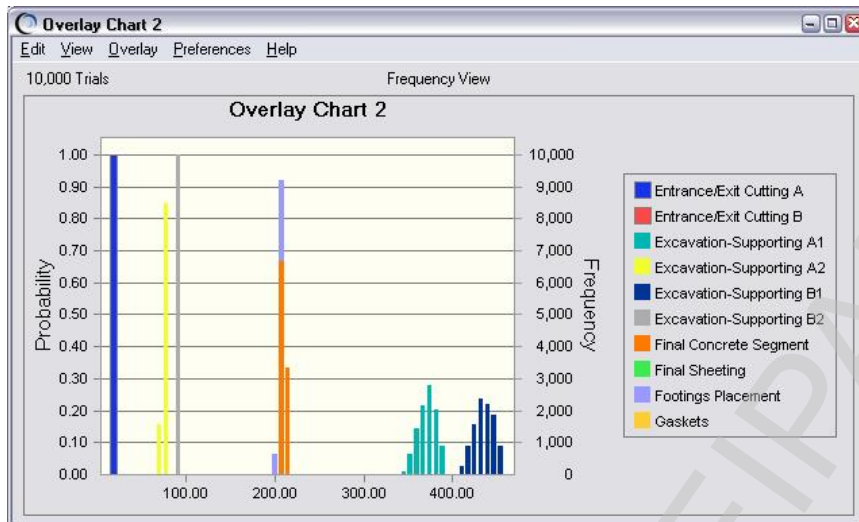
Το διάγραμμα ευαισθησίας δείχνει την επιρροή που έχει το κάθε κελί «υπόθεσης» (assumption) σε ένα συγκεκριμένο κελί «πρόγνωσης» (forecast). Στη διάρκεια της προσομοίωσης, Το Crystal Ball ιεραρχεί τα «assumptions» σύμφωνα με τη συσχέτιση τους (ή ευαισθησία) σε κάθε κελί «forecast». Το διάγραμμα ευαισθησίας απεικονίζει αυτήν την ιεράρχηση σαν διάγραμμα με μπάρες, υποδεικνύοντας ποια «assumptions» είναι περισσότερο ή λιγότερο σημαντικά στο μοντέλο (Σχήμα 4-10).



Σχήμα 4-10. Διάγραμμα ευαισθησίας

Διάγραμμα Overlay

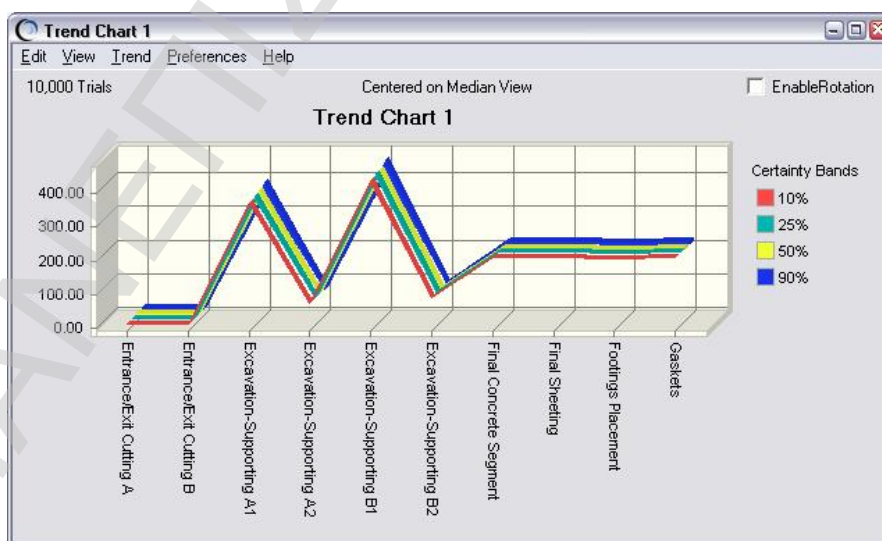
Μετά την ολοκλήρωση μιας προσομοίωσης με πολλαπλά σχετιζόμενα «forecasts», το Crystal Ball δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας του διαγράμματος overlay που δείχνει τα δεδομένα των συχνοτήτων επιλεγμένων «forecasts» σε μια θέση. Έτσι, μπορούν να συγκριθούν διαφορές ή ομοιότητες που διαφορετικά μπορεί να μην ήταν διακριτές. Το διάγραμμα overlay μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να δώσει έμφαση σε αυτά τα χαρακτηριστικά, ή να χρησιμοποιηθεί για να ταιριάζει τυπικές στα «forecasts» (Σχήμα 4-11).



Σχήμα 4-11. Διάγραμμα πολλαπλών “forecasts” - Overlay

Διάγραμμα Τάσης – «Trend»

Μετά την ολοκλήρωση μιας προσομοίωσης με πολλαπλά σχετιζόμενα «forecasts», το Crystal Ball δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας του διαγράμματος τάσης – «trend» που δείχνει το εύρος βεβαιότητας για όλα τα «forecasts» σε ένα μεμονωμένο διάγραμμα. Τα εύρη εμφανίζονται σαν σειρές πρότυπων δεσμών. Κάθε δεσμός αναπαριστά το εύρος βεβαιότητας μέσα στο οποίο πέφτουν οι πραγματικές τιμές των «forecasts». Για παράδειγμα, ο δεσμός που αναπαριστά το 90% του εύρους της βεβαιότητας δείχνει το εύρος των τιμών μέσα στις οποίες υπάρχει 90% πιθανότητα να πέσει η πρόγνωση - «forecast» (Σχήμα 4-12).



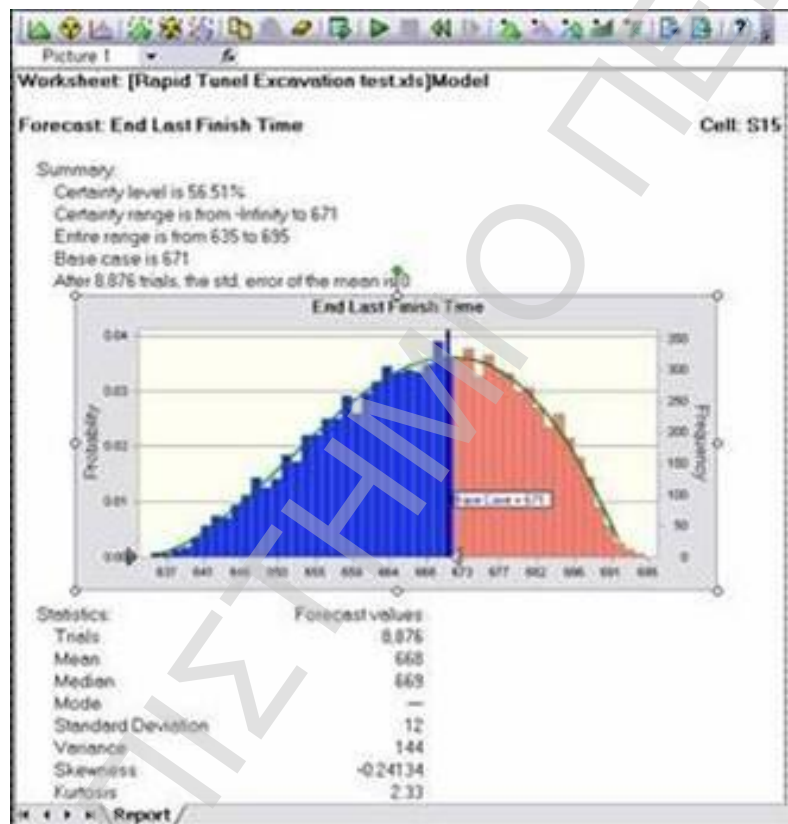
Σχήμα 4-12. Διάγραμμα «Τάσης» των σχετιζόμενων “forecasts”

Reports - Αναφορές

Το Crystal Ball έχει ισχυρές δυνατότητες δημιουργίας φύλλων αναφορών ή reports. Μπορεί να προσαρμόσει τα «reports» ώστε να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα διαγράμματα και δεδομένα (Σχήμα 4-12):

- Διαγράμματα «Assumption», «forecast», «overlay», «trend» και «sensitivity»
- Σύνοψη «Forecast», στατιστικά, ποσοτώσεις και μετρήσεις συχνότητας
- Παραμέτρους των «Assumptions»

Τα Reports δημιουργούνται σαν φύλλα του Excel.



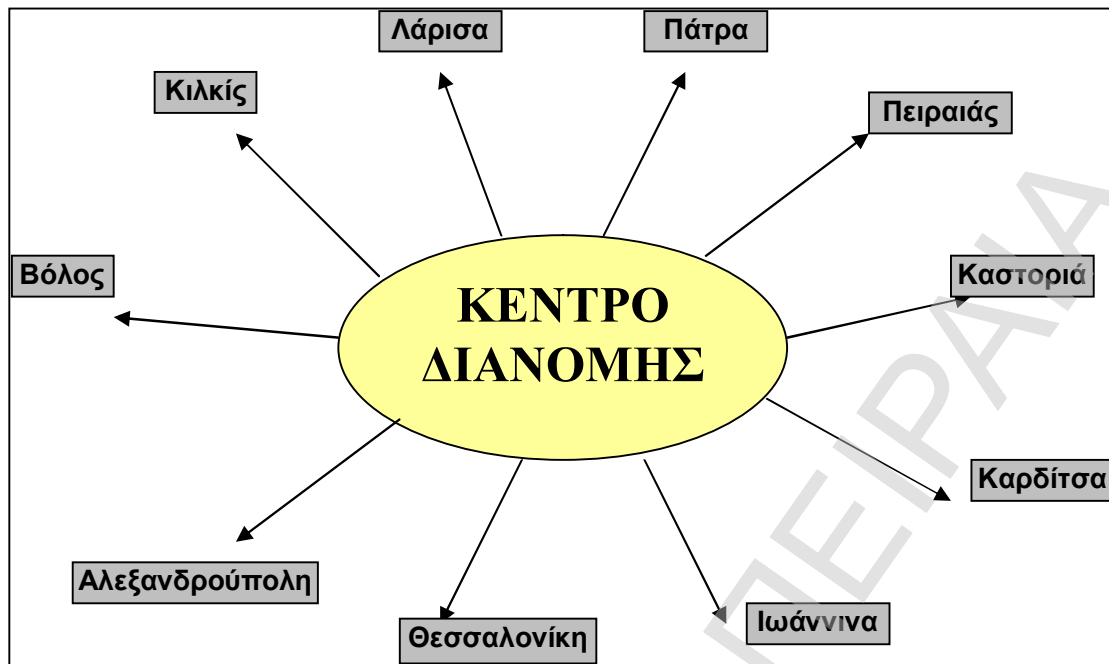
Σχήμα 4-13. Αναφορές – “Reports”

5 Μοντελοποίηση ρίσκου και αβεβαιότητας στην απόφαση επιλογής τοποθεσίας για τη δημιουργία ενός Κέντρου Διανομής

5.1 Σύντομη Περιγραφή του Προβλήματος

Η απόφαση για την τοποθεσία κατασκευής ενός κέντρου διανομής, νέου εργοστασίου, αποθήκης ή οποιασδήποτε άλλης μονάδας αποτελεί ένα σημαντικό και κοινό διοικητικό δίλημμα. Σε καθαρά Logistics επίπεδο για μια τέτοια απόφαση πρέπει να υπολογιστούν οι αβεβαιότητες στα μεταφορικά κόστη από την κύρια μονάδα στους «δορυφόρους», τα λειτουργικά κόστη και τα απαιτούμενα αρχικά κεφάλαια επένδυσης. Αυτό το μοντέλο αναλύει τα κόστη που σχετίζονται με τρεις πιθανές τοποθεσίες διανομής και δίνει τη δυνατότητα να επιλεγεί η ιδανική τοποθεσία με τη χαμηλότερη επένδυση κεφαλαίου και κόστη λειτουργίας (Σχήμα 5-1).

Έχουν επιλεγεί τρεις πιθανές τοποθεσίες σε τρεις διαφορετικούς νομούς (Θεσσαλονίκη, Λάρισα και Αττική) για ένα νέο κέντρο διανομής. Όπως φαίνεται στο φύλλο με τις παραμέτρους του μοντέλου, τα μεταφορικά και λειτουργικά κόστη καθώς και η επένδυση κεφαλαίου θα ποικίλουν για κάθε τοποθεσία. Υποθέτουμε ότι η τιμή του πετρελαίου, ο αριθμός των υπαλλήλων, τα έτη λειτουργίας, KwH ανά έτος και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας θα παραμείνουν σταθερά ανεξάρτητα από την τοποθεσία που θα επιλεγεί. Στο μοντέλο έχουν καταγραφεί 10 «δορυφορικές» τοποθεσίες τις οποίες πρέπει να εξυπηρετεί το κέντρο διανομής. Κάθε τοποθεσία εξυπηρετείται με διαφορετικό ρυθμό ανά εβδομάδα και ο υπολογισμός της απόστασης ανά εβδομάδα εμπεριέχει ένα συντελεστή απόστασης που συνυπολογίζει πιθανές παρακάμψεις, κωλυσιεργείες οδικές συνθήκες και έμμεσες διαδρομές από το Κέντρο στους «δορυφόρους».



Σχήμα 5-1. Το κέντρο διανομής και οι «δορυφόροι»

5.2 Δομή του Μοντέλου

Αρχικά, στη γραμμή 5, βλέπουμε ότι κανένα Κέντρο δεν έχει επιλεγεί (Σχήμα 5-2). Εισάγοντας τον αριθμό 1 σε οποιοδήποτε από τα κελιά Απόφασης G8:G10, εισάγεται αυτόματα το αντίστοιχο Κέντρο στη γραμμή 5 (μπορούμε να επιλέξουμε ένα Κέντρο κάθε φορά). Όταν δοκιμάζουμε μια τοποθεσία, το μοντέλο ξαναυπολογίζει τις αποστάσεις από τους «δορυφόρους» καθώς και τα κόστη στη γραμμή 5, από το φύλλο των Παραμέτρων. Δοκιμάζοντας για κάθε Κέντρο, το excel εμφανίζει τη «Σύνδο» ως την τοποθεσία με το μικρότερο συνολικό κόστος. Αλλά αν ενσωματωθεί η αβεβαιότητα στα υποκείμενα κόστη μπορεί να επηρεαστεί ριζικά η οριστική επιλογή του καταλληλότερου Κέντρου Διανομής (Σχήμα 5-3).

Κέντρο Διανομής						
Προσμοιωμένη Τοποθεσία		Κεφάλαιο	Λειτουργικό	Μεταφορικό	Συνολικό	
Τοποθεσία	Νομός	Επένδυσης	Κόστος	Κόστος	Κόστος	
0	Χωρίς Επιλογή	€0	€0	€0	€0	
Πιθανές Τοποθεσίες		Νομός	Μισθός (€/Ω)	Αποφάσεις		
1	Σύνδος	ΘΕΣ	€12,34	0	0	
2	Βλ. ΠΕ. Λάρισας	ΛΑΡ	€12,74	0	0	
3	Κορυμφί	ΑΤΤ	€11,87	0	0	
Καταστήματα	Νομός	Πληθυσμός	Διαδρομές	Απόσταση	Συντελεστής	km ανά
			ανά Εβδομάδα	(km)	Απόστασης	Εβδομάδα
13	Αλεξανδρούπολη	ΕΒΡ	210000	4,2	0,000	1.500
14	Βόλος	ΜΑΓ	90000	1,8	0,000	1.500
15	Θεσσαλονίκη	ΘΕΣ	1500000	30	0,000	1.500
16	Ιωάννινα	ΙΩΑ	320000	6,4	0,000	1.500
17	Καρδίτσα	ΚΑΡ	46000	0,92	0,000	1.500
18	Καστοριά	ΚΑΣ	58000	1,16	0,000	1.500
19	Κιλκίς	ΚΙΛ	65000	1,3	0,000	1.500
20	Λάρισα	ΛΑΡ	420000	8,4	0,000	1.500
21	Πάτρα	ΑΧΑ	500000	10	0,000	1.500
22	Πορταός	ΑΤΤ	1450000	29	0,000	1.500

Σχήμα 5-2. Το φύλλο του μοντέλου, αρχική μορφή

Κέντρο Διανομής						
Προσμοιωμένη Τοποθεσία		Κεφάλαιο	Λειτουργικό	Μεταφορικό	Συνολικό	
Τοποθεσία	Νομός	Επένδυσης	Κόστος	Κόστος	Κόστος	
1	Σύνδος	ΘΕΣ	€70.000.000	€25.283.940	€7.942.033	€80.376.362
2	Βλ. ΠΕ. Λάρισας	ΛΑΡ				
3	Κορυμφί	ΑΤΤ				
Πιθανές Τοποθεσίες		Νομός	Μισθός (€/Ω)	Αποφάσεις		
1	Σύνδος	ΘΕΣ	€12,34	1	1	
2	Βλ. ΠΕ. Λάρισας	ΛΑΡ	€12,74	0	0	
3	Κορυμφί	ΑΤΤ	€11,87	0	0	
Καταστήματα	Νομός	Πληθυσμός	Διαδρομές	Απόσταση	Συντελεστής	km ανά
			ανά Εβδομάδα	(km)	Απόστασης	Εβδομάδα
13	Αλεξανδρούπολη	ΕΒΡ	210000	4,2	330,000	4158
14	Βόλος	ΜΑΓ	90000	1,8	280,000	1512
15	Θεσσαλονίκη	ΘΕΣ	1500000	30	25,000	2250
16	Ιωάννινα	ΙΩΑ	320000	6,4	290,000	5568
17	Καρδίτσα	ΚΑΡ	46000	0,92	200,000	552
18	Καστοριά	ΚΑΣ	58000	1,16	170,000	592
19	Κιλκίς	ΚΙΛ	65000	1,3	65,000	254
20	Λάρισα	ΛΑΡ	420000	8,4	200,000	5040
21	Πάτρα	ΑΧΑ	500000	10	580,000	17400
22	Πορταός	ΑΤΤ	1450000	29	520,000	45240

Σχήμα 5-3. Εισαγωγή επιλογής στα κελιά «αποφάσεων»

Για την επεξεργασία των συμπληρωματικών και απαραίτητων στοιχείων κόστους που απεικονίζονται στο φύλλο του μοντέλου, έχουν δημιουργηθεί 2 φύλλα. Το πρώτο περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους που αφορούν το κόστος και επηρεάζει τα αντίστοιχα κελιά του βασικού φύλλου. Αναφέρεται ως φύλλο Παραμέτρων (Σχήμα 5-4). Το δεύτερο περιλαμβάνει τις χιλιομετρικές αποστάσεις που ενημερώνουν τα αντίστοιχα πεδία στο βασικό φύλλο. Αναφέρεται ως φύλλο των αποστάσεων (Σχήμα 5-5).

Παράμετροι

Μεταφορικό Κόστος

Οδικοί	Μέσος Μισθός	Τυπ. Απ. Λόβος	Όρος	Μισθός
Σίνθος	€16,98	€2,31	13,6	39,6
Βι. ΠΕ. Λάρισα	€17,98	€1,38	7,7	39,7
Κορωπί	€17,41	€2,28	13,1	40,5
Ταμή Πετρελαίου €/κιμ	€1,50			

Λειτουργικό Κόστος

Εργάτες	Μέσος Μισθός	Τυπ. Απ. Λόβος	Όρος	Μισθός
Σίνθος	€12,34	€0,65	5,3	34,4
Βι. ΠΕ. Λάρισα	€12,74	€0,98	7,7	37
Κορωπί	€11,87	€0,50	4,2	32,8
Αριθμός Υπαλλήλων	960			
Ετη Λειτουργίας	13,0			
Κιωτ ανά έτος	11.000.000			
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας €/κιωτ	€5,08			

Κεφαλαίο Επένδυσης

Σίνθος	€70.000.000
Βι. ΠΕ. Λάρισα	€90.000.000
Κορωπί	€5.000.000

Σχήμα 5-4. Το φύλλο των Παραμέτρων

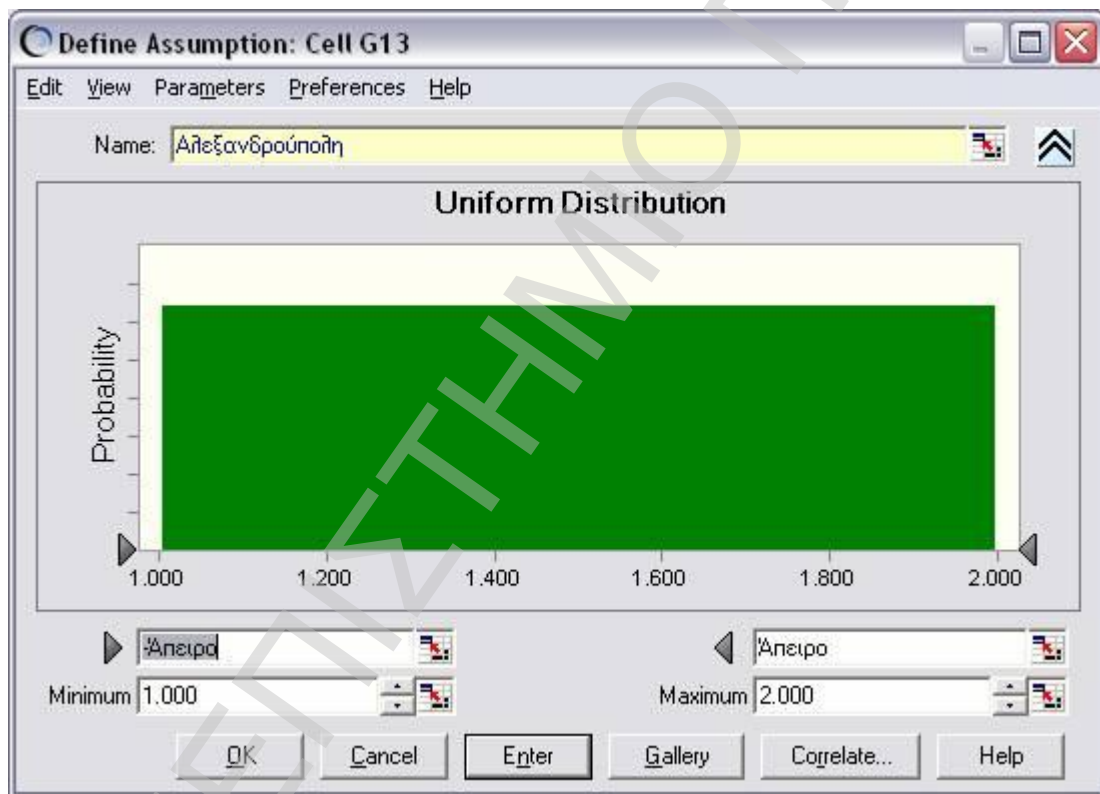
Αποστάσεις

	Σίνθος	Βι.ΠΕ., Λάρισα	Κορωπί
Αλιζάντροπολη	330	510	830
Βόλος	280	60	340
Θεσσαλονίκη	25	190	520
Ιωάννινα	290	180	410
Καρόιτα	200	90	320
Καστοριά	170	310	620
Κιλκίς	65	260	575
Λάρισα	200	20	310
Πάτρα	660	400	210
Πειραιάς	520	340	20

Σχήμα 5-5. Το φύλλο των Αποστάσεων

5.3 Ο Ρόλος του Crystal Ball

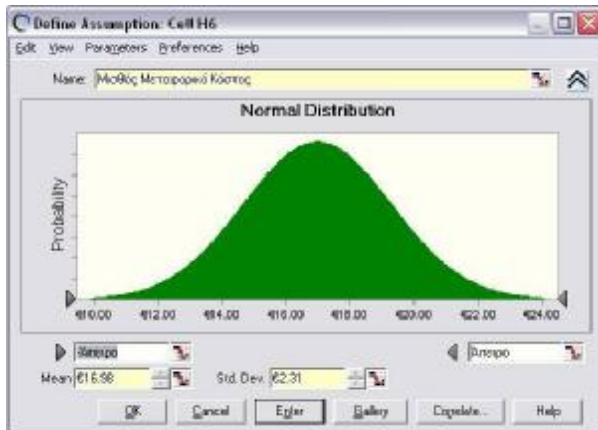
Το Crystal Ball εμπλουτίζει το μοντέλο του Excel επιτρέποντας τη δημιουργία κατανομών πιθανοτήτων που περιγράφουν την αβεβαιότητα που περιβάλλει κάποιες δεδομένες μεταβλητές, στη συγκεκριμένη περίπτωση τα κόστη γύρω από κάθε πιθανή τοποθεσία κέντρου διανομής. Το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει πολλαπλές κατανομές πιθανοτήτων, γνωστές ως «assumptions». Στα κελιά G13:G22 στο φύλλο του Μοντέλου, ο Συντελεστής Απόστασης για κάθε «δορυφόρο» είναι μια Ομοιόμορφη κατανομή που παίρνει συνεχόμενες τιμές μεταξύ 1 και 2 (Σχήμα 5-6). Αυτό γίνεται για να συνοπολογιστεί η αβεβαιότητα της διαδρομής μεταξύ των δυο τοποθεσιών προσθέτοντας στην ουσία πιθανά χιλιόμετρα που σχετίζονται με παρακάμψεις και έμμεσες οδούς ή πιθανά κυκλοφοριακά προβλήματα.



Σχήμα 5-6. Η ομοιόμορφη κατανομή για το Συντελεστή απόστασης

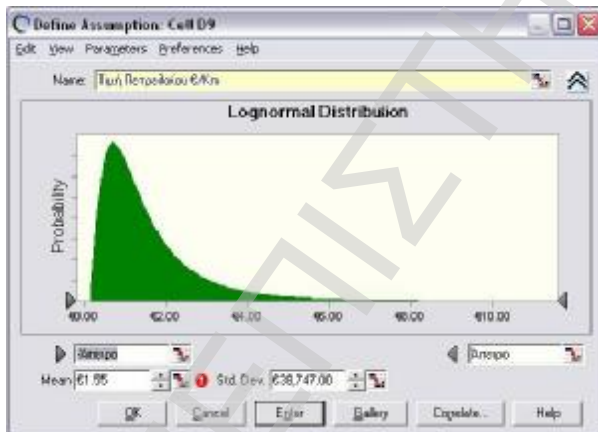
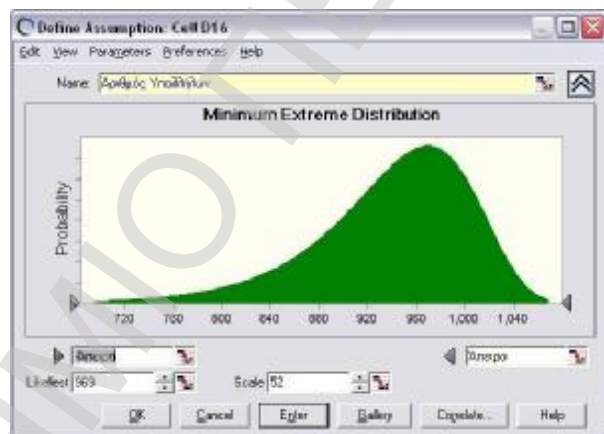
Υπάρχουν επιπρόσθετα «assumptions» στο φύλλο των Παραμέτρων που σχετίζονται με μισθούς, κόστη, επενδύσεις και πόρους. Κάθε «assumption» διαφοροποιείται βάσει των υποκείμενων δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό της αβεβαιότητας που περιβάλλει κάθε μεταβλητή. Για παράδειγμα, η Τιμές του πετρελαίου κίνησης μπορεί να ποικίλουν και μια Λογαριθμική κατανομή περιγράφει το πιθανό εύρος των τιμών και πιθανοτήτων του συγκεκριμένου πόρου. Η εμφάνιση των λεπτομερειών του κάθε «assumption» καθώς και ο τρόπος με τον οποίο

αυτό έχει οριστεί μπορεί να γίνει με το πάτημα του κουμπιού «Define Assumption» στη μπάρα εργαλείων του Crystal Ball (Σχήματα 5-7, 5-8, 5-9, 5-10).



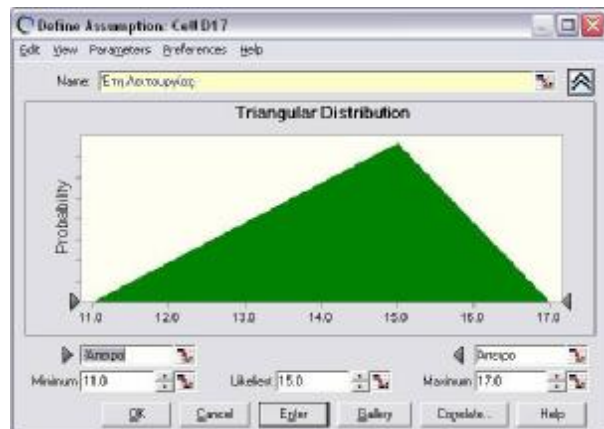
Σχήμα 5-7. Η Κανονική Κατανομή Απεικόνιση του εύρους των Μισθών του Μεταφορικού Κόστους

Σχήμα 5-8. Η Κατανομή Minimum Extreme Απεικόνιση της διακύμανσης στον αριθμό των υπαλλήλων



Σχήμα 5-9. Η Λογαριθμική Κατανομή Απεικόνιση της διακύμανσης της τιμής του πετρελαίου κίνησης

Σχήμα 5-10. Η Τριγωνική Κατανομή Απεικόνιση της διακύμανσης των ετών λειτουργίας

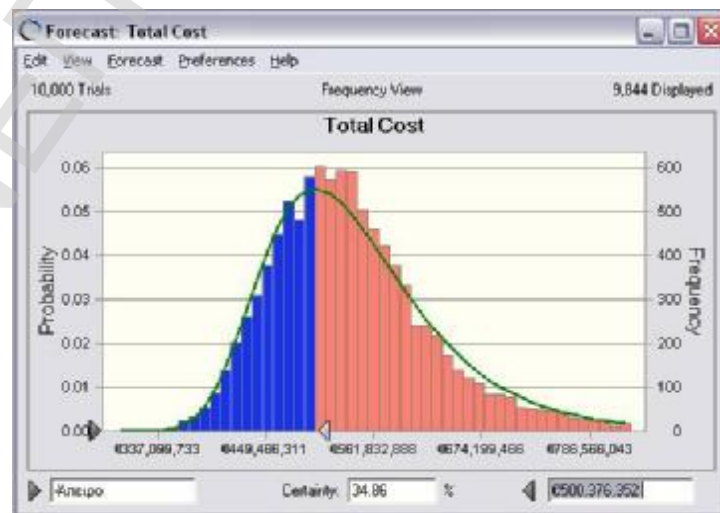


Το μοντέλο περιλαμβάνει και ένα Crystal Ball forecast, το Συνολικό κόστος, που φαίνεται σε γαλάζιο κελί και του οποίου οι λεπτομέρειες μπορούν να εμφανιστούν, παρομοίως, με το πάτημα του κουμπιού «Define Forecast» στη μπάρα εργαλείων του Crystal Ball.

Τέλος, το μοντέλο χρησιμοποιεί επιπρόσθετα μια λειτουργία του Crystal Ball, τον Έλεγχο Ακρίβειας ή Precision Control, που ορίζεται συγχρόνως με το «forecast» και ενεργοποιείται στις Προτιμήσεις Προσομοίωσης (Run Preferences). Αν έχει οριστεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός δοκιμών (π.χ., 100.000), το Precision Control θα «τρέξει» τόσες προσομοιώσεις έως ότου επιτύχει το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας (π.χ., 95% σιγουριά ότι το «forecast» είναι μεταξύ +/- 4% του εκτιμώμενου μέσου). Το Precision Control εξασφαλίζει ότι «έτρεξαν» αρκετές δοκιμές για ακριβή αποτελέσματα στην προσομοίωση.

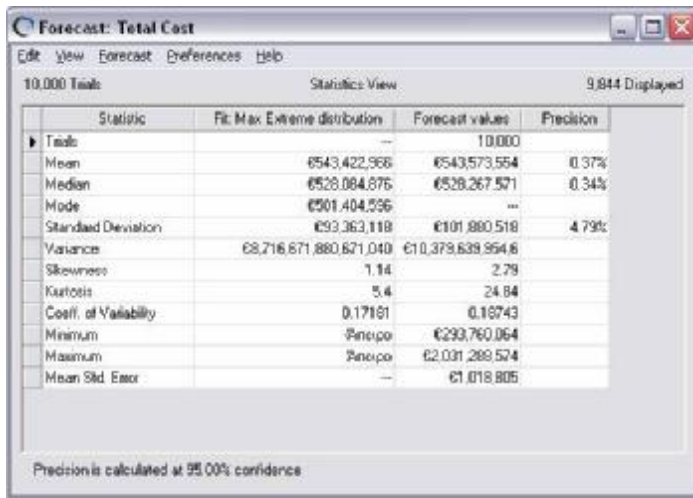
5.4 Προσομοίωση και Αποτελέσματα

Για να ξεκινήσει η προσομοίωση πρέπει να επιλεγεί ένα Κέντρο. Μπορεί να επιλεγθεί μόνο ένα από τα Κέντρα για περαιτέρω ανάλυση την κάθε φορά, τοποθετώντας τον αριθμό 1 στο κελί των «αποφάσεων» ή «Decision» στο φύλλο του μοντέλου. Αυτόματα το προς ανάλυση Κέντρο εμφανίζεται στη γραμμή 5. Το excel έχει ήδη υπολογίσει το εκτιμώμενο συνολικό κόστος. Αφού «τρέξει» μια προσομοίωση του Crystal Ball, εμφανίζεται το διάγραμμα του «forecast» (Σχήμα 5-11), το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του συνολικού κόστους. Ποιο είναι το μέσο συνολικό κόστος μετά την ενσωμάτωση της αβεβαιότητας; Ποια η πιθανότητα να υπερβεί τελικά το κόστος την αρχική εκτίμηση;

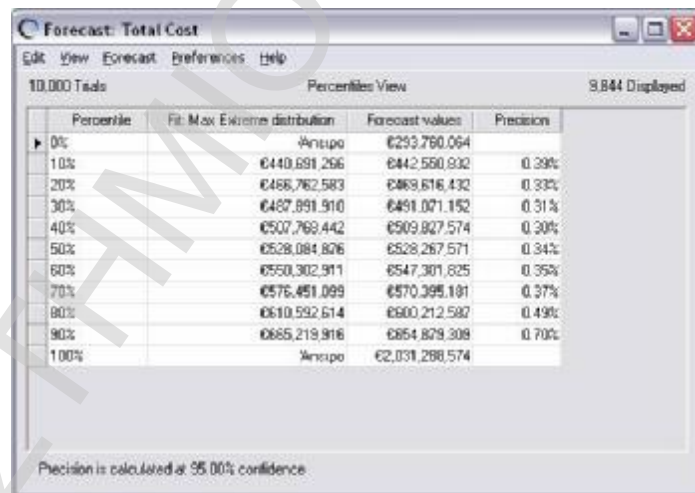


Σχήμα 5-11. Η κατανομή συχνοτήτων του συνολικού κόστους μετά την προσομοίωση

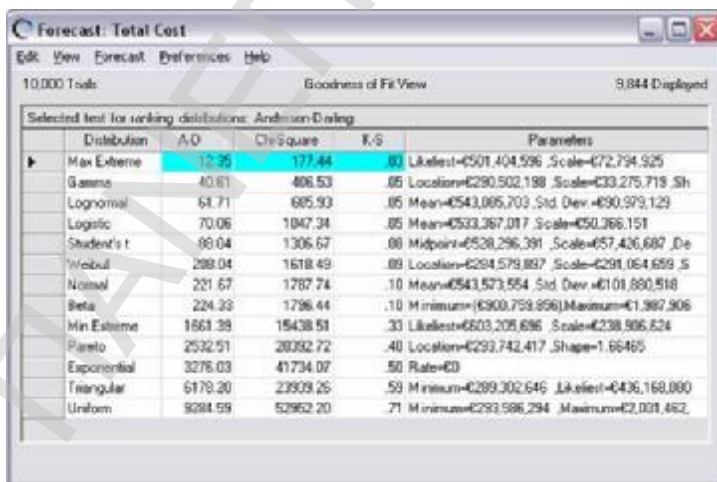
Όπως προαναφέρθηκε στο παράδειγμα του προηγούμενου μοντέλου υπάρχουν 3 ακόμα διαγράμματα που βοηθούν στην περαιτέρω ανάλυση και παρουσιάζονται επιγραμματικά στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 5-12. Απεικόνιση Στατιστικών στοιχείων

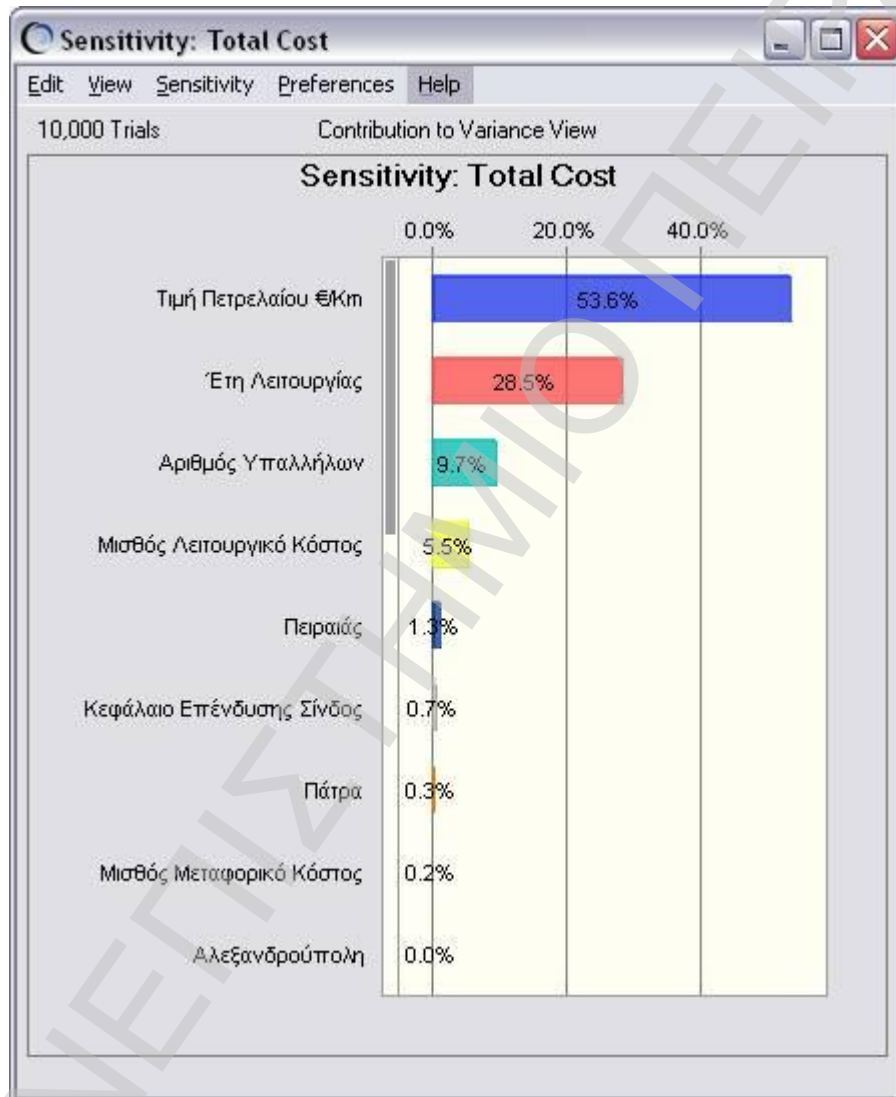


Σχήμα 5-13. Απεικόνιση Ποσοστώσεων



Σχήμα 5-14. Ιεράρχηση καταλληλότητας των κατανομών

Για την ανάλυση των «υποθέσεων» ή «assumptions» που έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο συνολικό κόστος, χρησιμοποιείται το διάγραμμα ευαισθησίας (Sensitivity Chart)(Σχήμα 5-15). Αφού εντοπιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το αποτέλεσμα, μπορεί να εξεταστεί σε περισσότερο βάθος η δυνατότητα αναπροσαρμογής τους, αυξομειώνοντας την αβεβαιότητα στους υπολογισμούς.



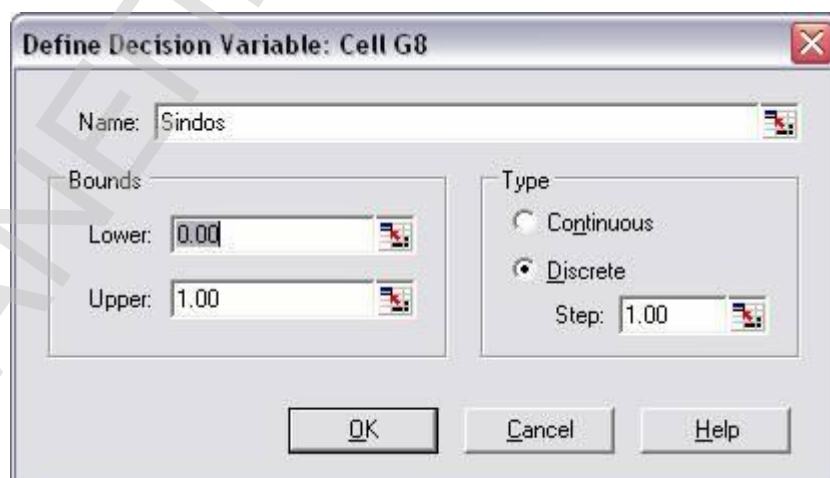
Σχήμα 5-15. Το Διάγραμμα Ευαισθησίας

5.5 Προσομοίωση με χρήση του OptQuest

Στο συγκεκριμένο μοντέλο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής ενός ξεχωριστού, πολύ ιδιαίτερου και χρήσιμου εργαλείου του Crystal Ball, που ονομάζεται OptQuest ή σε ελεύθερη μετάφραση Αναζήτηση της Βέλτιστης Λύσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του εργαλείου είναι να έχει γίνει έστω και μία προσομοίωση του μοντέλου. Στο συγκεκριμένο μοντέλο το ζητούμενο είναι να καθοριστεί ποιο από τα τρία Κέντρα θα είναι η πιο οικονομική επιλογή λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες (assumptions) με τις οποίες είναι δομημένο το μοντέλο. Είναι φανερό ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η χρήση του OptQuest δεν είναι ζωτικής σημασίας καθώς οι επιλογές είναι μόνο 3 και η επί μέρους προσομοίωσή τους γρήγορη. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις λήψης αποφάσεων μεταξύ πάρα πολλών επιλογών που καθιστούν την εφαρμογή του απαραίτητη. Εφαρμόζεται στο συγκεκριμένο μοντέλο προς εξοικείωση και γνωριμία με ένα τόσο ισχυρό εργαλείο.

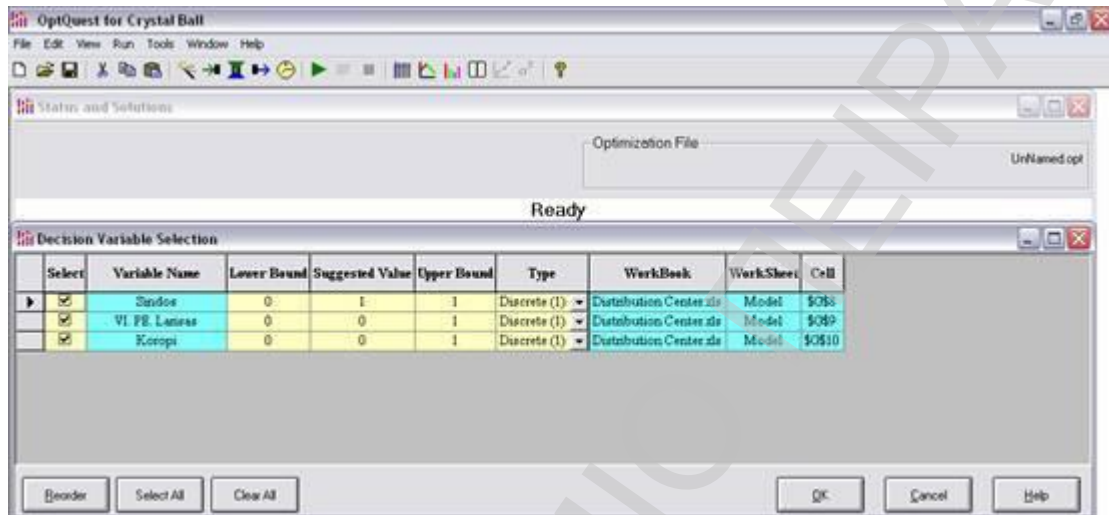
Το OptQuest απαιτεί μεταβλητές αποφάσεων (decisions), που είναι μεταβλητές του μοντέλου στις οποίες τον έλεγχο τον έχει ο χρήστης. Οι τρεις μεταβλητές απόφασης που έχουν οριστεί στο μοντέλο βρίσκονται στα κελιά G8:G10 του φύλλου του μοντέλου. Όπως προαναφέρθηκε η τιμή τους θα είναι 0 ή 1 και το κελί τους παίρνει προεπιλεγμένα το κίτρινο χρώμα.

Πατώντας το πλήκτρο Define Decision στη μπάρα εργαλείων του Crystal Ball εμφανίζονται οι λεπτομέρειες με τις οποίες έχει οριστεί η κάθε μεταβλητή (Σχήμα 5-16).

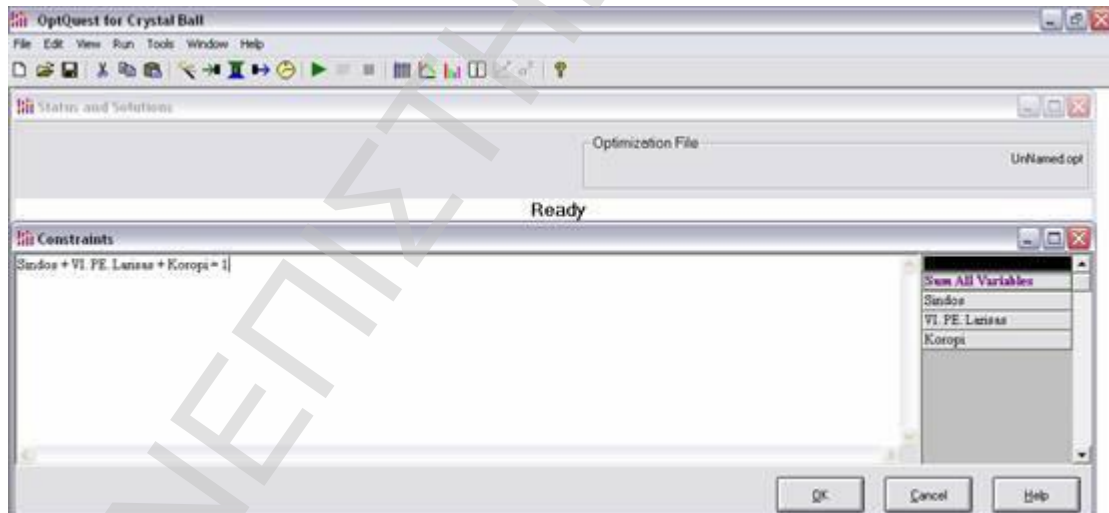


Σχήμα 5-16. Καθορισμός των Μεταβλητών Απόφασης

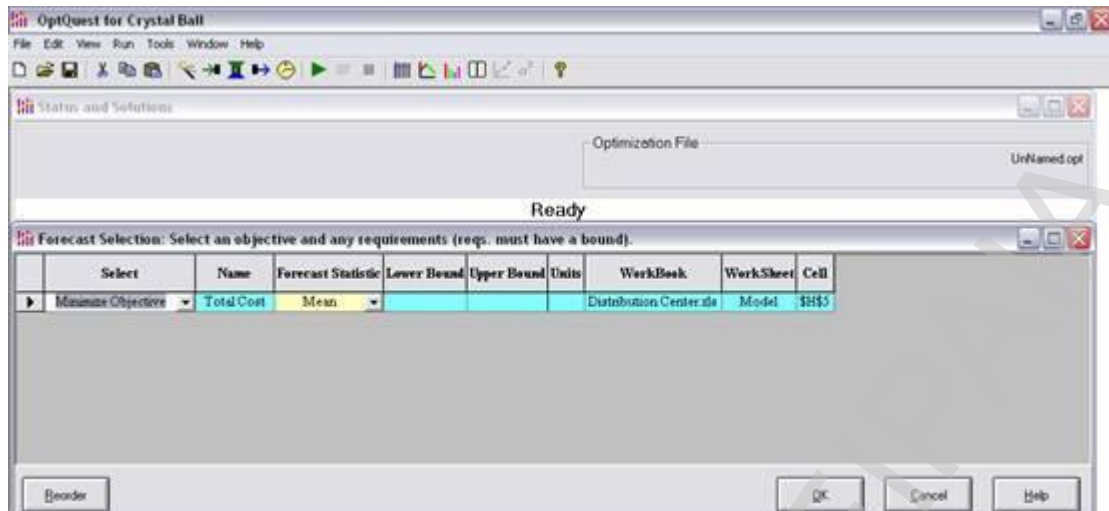
Το OptQuest ξεκινάει από το Run menu. Στην αρχική οθόνη του OptQuest, χρησιμοποιείται η επιλογή του Wizard, με σκοπό να καθοριστούν οι ρυθμίσεις της βελτιστοποίησης (Σχήμα 5-17). Το πρόβλημα έχει ένα περιορισμό (μπορεί να επιλεγεί μόνο ένα κέντρο κάθε φορά) (Σχήμα 5-18) και ένα αντικειμενικό στόχο: την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (Σχήμα 5-19).



Σχήμα 5-17. Επιλογή των μεταβλητών απόφασης

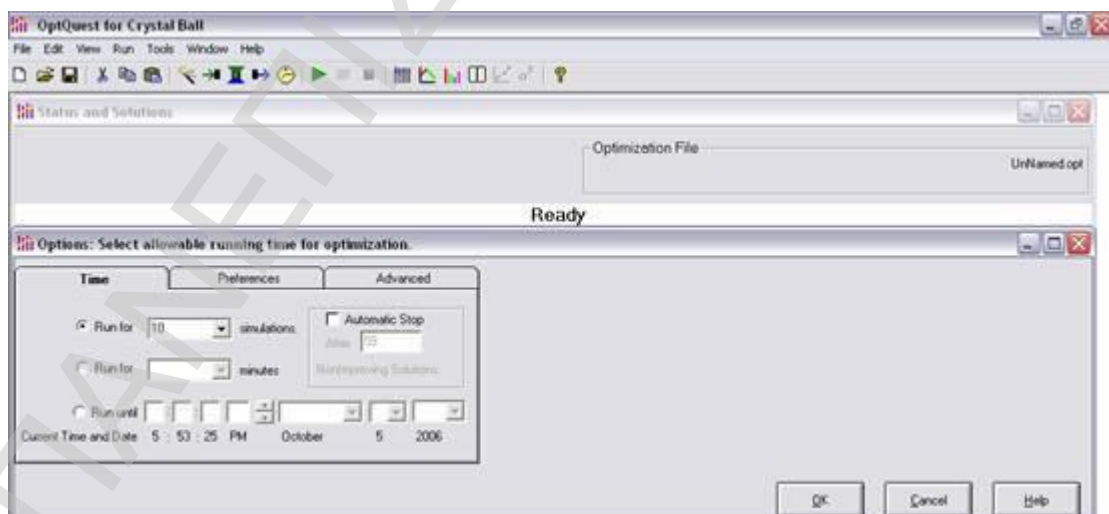


Σχήμα 5-18. Καθορισμός του περιορισμού



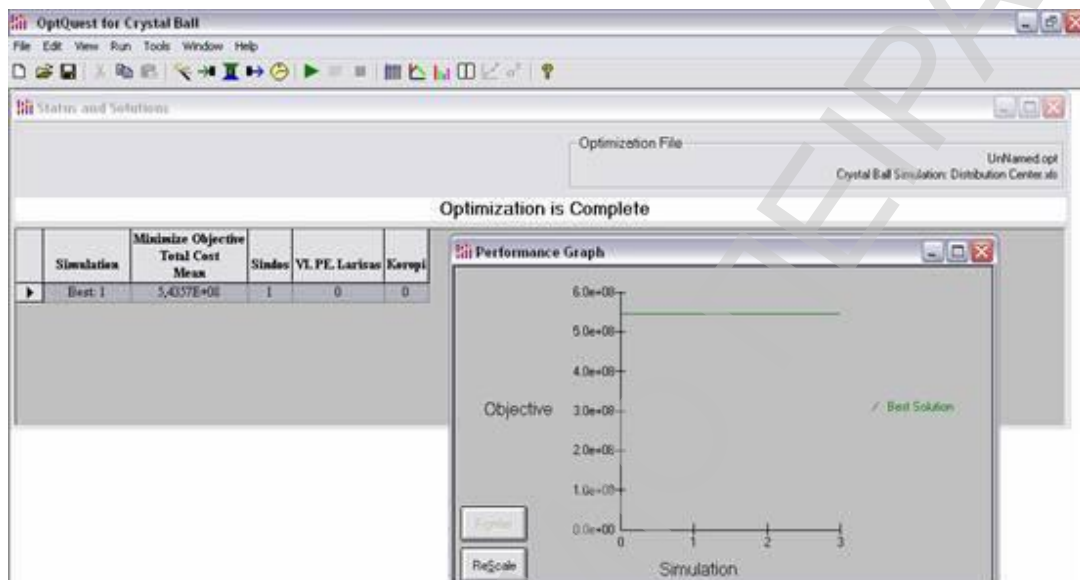
Σχήμα 5-19. Καθορισμός του αντικειμενικού στόχου

Για κάθε βελτιστοποίηση το OptQuest επιλέγει μια καινούρια τιμή, εντός του ορισμένου εύρους κάθε μεταβλητής απόφασης (π.χ., 0 ή 1) και στη συνέχεια «τρέχει» μια προσομοίωση του Crystal Ball. Στη συνέχεια το OptQuest αποθηκεύει τη μέση τιμή του συνολικού κόστους. Έπειτα «τρέχει» μια καινούρια προσομοίωση σε ένα νέο set μεταβλητών απόφασης. Το OptQuest επαναλαμβάνει αυτή τη διαδικασία συνεχόμενα, ψάχνοντας για το χαμηλότερο συνολικό κόστος μέχρι να εξετάσει όλες τις πιθανές λύσεις ή να φτάσει το όριο του προκαθορισμένου χρονικού περιορισμού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προαναφέρθηκε ότι υπάρχουν μόλις τρεις δυνατές επιλογές, έτσι το μοντέλο τρέχει γρήγορα (Σχήμα 5-20).



Σχήμα 5-20. Τελικές επιλογές της προσομοίωσης

Καθώς «τρέχει» το OptQuest, χρησιμοποιεί προηγμένες μεθόδους και τεχνικές για να αναλύει περασμένα αποτελέσματα και να βελτιώνει την ποιότητα και την ταχύτητα της διαδικασίας του. Υπάρχει επίσης, η δυνατότητα παρακολούθησης του διαγράμματος απόδοσης που γίνεται μια επιπεδοποιημένη γραμμή καθώς συγκλίνει προς το βέλτιστο αποτέλεσμα (Σχήμα 5-21).



Σχήμα 5-21. Απόδοση βέλτιστου αποτελέσματος

Πολύ χρήσιμη είναι επίσης η επιλογή, μετά το τέλος του OptQuest, της αντιγραφής της βέλτιστης λύσης πίσω στο φύλλο με τη χρήση της επιλογής Copy to Excel στο Edit menu. Έτσι το φύλλο απεικονίζει πλέον τη βέλτιστη λύση και το Crystal Ball απεικονίζει το διάγραμμα του «forecast» για την προσομοίωση με τη μέγιστη βελτιστοποίηση.

6 Συμπεράσματα και Συζήτηση

Η Διοίκηση Κινδύνων αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τις σύγχρονες επιχειρήσεις, που η χρήση του όμως στην Ελλάδα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο λόγω άγνοιας και έλλειψης σωστής οργάνωσης.

Παρόλα αυτά υπάρχουν πολλές εταιρίες, κυρίως αυτές που αναλαμβάνουν έργα και έχουν οργανώσει με βάση αυτό τη δομή τους, που δεν αγνοούν τη Διοίκηση Κινδύνων. Η συνήθης πρακτική στον προγραμματισμό έργων περιλαμβάνει την καταγραφή των διαφόρων πιθανών κινδύνων, τον εντοπισμό του σημείου προσβολής του έργου και εν τέλει ένα πλάνο αποφυγής τους.

Συνεπεία των παραπάνω, η παρούσα μελέτη δεν φιλοδοξεί να εισάγει κάτι το εντελώς καινοτόμο στην αντιμετώπιση των κινδύνων, καθώς η προσομοίωση είναι γνωστή στους έμπειρους Risk Managers.

Η εργασία αποτελεί μια εξειδικευμένη μελέτη και τριβή με το λογισμικό Crystal Ball και πως αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των κινδύνων. Μετά τη δημιουργία και το «στήσιμο» δύο μοντέλων με ρεαλιστικά δεδομένα μπορεί με βεβαιότητα να ειπωθεί ότι το Crystal Ball είναι ένα πανίσχυρο *προληπτικό* εργαλείο στη Διοίκηση Κινδύνων. Ο project manager και η ομάδα του έργου μπορούν να αντλήσουν ορισμένες σημαντικές πληροφορίες για το έργο και τους φορείς που εμπλέκονται σε αυτό όπως: Την πιθανότητα να ολοκληρωθεί στα αρχικά εκτιμώμενα σενάρια χρόνου και κόστους το έργο με ενσωματωμένες τις αβεβαιότητες, καθώς και τη βαρύτητα του κάθε κινδύνου ξεχωριστά στο τελικό αποτέλεσμα.

Η ανάλυση και εκτίμηση των κινδύνων δεν εκτελείται μόνο στην αρχή του έργου, αλλά και στα διάφορα στάδια αυτού. Όσο το έργο εξελίσσεται, οι αμφιβολίες γίνονται εξελίξεις και οι αποφάσεις αποκτούν συγκεκριμένες τιμές. Στην αρχή όμως (σύλληψη επιχειρηματικής ιδέας, μελέτη, προγραμματισμός και έναρξη έργου) υπάρχει πλήθος αμφιβολιών, πιθανών σεναρίων και έλλειψη ακριβούς πληροφόρησης. Αυτό είναι το σημείο που το λογισμικό επιτρέπει στην ομάδα διοίκησης του έργου να λάβει τις αρχικές και πιο σημαντικές αποφάσεις σε συνθήκες σχετικής ασφάλειας, καθώς ένα σωστά δομημένο μοντέλο δίνει τεράστιο όγκο πληροφοριών για τους παράγοντες που επηρεάζουν το έργο.

Το λογισμικό έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των μοντέλων και αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη. Μπορούν να αναφερθούν επιγραμματικά κάποιες που μπορούν να λογιστούν και σαν **κατευθύνσεις για περαιτέρω μελέτη**.

Υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν οι παράμετροι του μοντέλου με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Συγκεκριμένα, είναι δυνατό να οριστούν συσχετισμοί μεταξύ των “assumptions” με σκοπό να μοντελοποιηθούν αναλυτικότερα οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών. Έτσι, αυτός που αποφασίζει και αναλύει το διάγραμμα ευαισθησίας και είναι έτοιμος να προβεί σε οποιαδήποτε αλλαγή, να ενημερώνεται αυτόματα για τις επιπτώσεις αυτής της αλλαγής στις άλλες μεταβλητές του μοντέλου. Επίσης, όταν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα (που συχνά «θάβονται» στα αρχεία των εταιριών) γύρω από μια μεταβλητή, υπάρχει λειτουργία του λογισμικού που τα αναλύει και προτείνει την καταλληλότερη στατιστική κατανομή που τα περιγράφει. Το συγκεκριμένο εργαλείο δίνει τη δυνατότητα να αναλυθούν ποσοτικά τα δεδομένα από προηγούμενα έργα και αξιοποιεί το αρχείο της εταιρίας.

Το εύρος των εφαρμογών που έχει το προς ανάλυση λογισμικό είναι τεράστιο. Καλύπτει γνωστικές περιοχές όπως: Banking, Logistics, Προμήθειες, Κατασκευές, Χρηματοοικονομικά, Ανθρώπινους Πόρους, Τηλεπικοινωνίες, Project Management κλπ. Με λίγα λόγια μπορεί να χαρακτηριστεί ένα άριστο βοήθημα για αυτούς που καλούνται να πάρουν οποιαδήποτε απόφαση.

7 Βιβλιογραφία

1. Δημήτρης Εμίρης, Παπασωτηρίου 2006, **Οδηγός Βασικών Γνώσεων στη Διοίκηση Έργων (PMBOK)**
2. DECISIONEERING, **Crystal Ball User Manual**
3. DECISIONEERING, **OptQuest User Manual**
4. Riscmetrics Group, 1999, **Risk Management A Practical Guide**
5. Dale Cooper, Stephen Grey, Geoffrey Raymond, Phil Walker, 2005 John Wiley and Sons LTD, **Project Risk Management Guidelines**
6. Ilya M. Sobol, CRC Press, 1994, **A Primer for the Monte Carlo Method**
7. Emiris, Siskos, Pantouvakis (2006), **Modelling Risk and Uncertainty in the Scheduling of Rapid Tunnel Excavation Projects Using the Crystal Ball Software**, in proc. of the 20th IPMA World Conference, Oct 15-17, 2006, Shanghai, China
8. Internet, **Project Risk Management Articles**