



**ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ
ΤΗΣ EARNED VALUE
ΜΕ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗ**

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΩΝ. ΡΙΚΟΣ

καθ. ΚΛΕΑΝΘΗΣ ΣΥΡΑΚΟΥΛΗΣ

ΒΟΛΟΣ, 2019

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από μένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Βόλος, Μάιος 2018.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τον καθηγητή μου, κ. Κλεάνθη Συρακούλη,
για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου και την καθοδήγηση σε όλη την πορεία.

Τον Πέτρο Ανδριανό, μεταπτυχιακό φοιτητή στο Project Management,
για τις πολύτιμες συμβουλές του πάνω στις προσωμειώσεις.

Τον Ιωάννη Δήμου, Communications & IT Service Management Expert (NCIAgency),
για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις επί του ολοκληρωμένου κειμένου της εργασίας.

Τους συμφοιτητές μου στο μεταπτυχιακό,
για τη συντροφικότητα από το πρώτο μάθημα μέχρι και τη παράδοση της εργασίας.

Το σύνολο των καθηγητών του Πανεπιστημίου,
για την αλόγυστη ενασχόληση τους με την παροχή γνώσεων προς κάθε κατεύθυνση.

Τη σύζυγο, τα παιδιά μου, του γονείς μου, τον αδερφό και την αδερφή μου,
για την αμέριστη συμπαράσταση και διαρκή στήριξη σε κάθε μικρό ή μεγάλο εγχείρημά μου.

Όλους αυτούς θα ήθελα να τους ευχαριστήσω. Γιατί καμία προσπάθεια δεν είναι ποτέ καθαρά ατομική. Και χωρίς όλους τους παραπάνω, δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Μικροί και μεγάλοι στόχοι επιτυγχάνονται, όταν ο κάθε άνθρωπος σκέφτεται τον συνάνθρωπό του και ενεργεί με κατανόηση και αγάπη.

Σας ευχαριστώ για την βοήθεια στην κατάκτηση ενός δικού μου στόχου.

*Στη Σαβίνα
και τον Κωνσταντίνο*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ

ΤΗΣ EARNED VALUE

ΜΕ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ 1

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 2

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 3

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 5

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 7

ABSTRACT 7

KEYWORDS 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ PROJECT MANAGEMENT 8

1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ PROJECT MANAGEMENT 11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

EARNED VALUE MANAGEMENT

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η EVM 13

2.2 ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ EVM 14

2.3 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΗΣ EARNED VALUE 16

2.4 ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ EVM 18

2.4.1 PLANNED VALUE 19

2.4.2 EARNED DURATION 19

2.4.3 EARNED SCHEDULE 19

2.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ 21

2.5.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ PLANNED VALUE 23

2.5.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ EARNED DURATION 23

2.5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE 23

2.6 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ EVM 24

2.7 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ EVM ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ 25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 32

3.2 MONTE CARLO 32

3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΡΓΩΝ 34

3.4 PROJECT DATA 37

3.5 ΕΡΓΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ PATTERSON 39

3.6 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΤΟ EXCEL 40

3.7 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΙΣΚΟ 41

3.7.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΥΧΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ 42

3.7.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ 43

3.8 ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ @Risk 44

3.9 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 46

3.10 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ	47
3.11 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	50
4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ	53
4.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ	58
4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΗΣ EARNED VALUE	61
4.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CV, CP και SPI	62
4.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE	63
4.4.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
5.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	68
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
5.3 ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	77
ΣΥΝΟΨΗ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
PLANNED VALUE	86
ACTUAL COST	87
EARNED VALUE	88

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 (ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ PDWR ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ)	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 (ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΦΟΡΜΟΥΛΕΣ)	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 (ΕΡΓΟ ΣΕ ΜΟΡΦΗ PATTERSON)	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ EXCEL ΑΡΧΙΚΑ)	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ EXCEL ΤΕΛΙΚΑ)	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ MS PROJECT)	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 (ΚΟΣΤΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ)	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ @RISK)	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GANTT ΣΤΟ @RISK)	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 (OUTPUT ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ)	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 (OUTPUT ΣΤΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ)	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ)	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ)	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ @Risk)	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 (ΠΑΛΙΕΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 (ΚΕΡΔΙΣΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ)	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 17 (PV, AC, EV)	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 18 (CV, SV, CPI, SPI)	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 19 (ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE)	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 (SPI(t), SV(t))	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 (ESTIMATE AT COMPLETION)	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 22 (TCSPI(t))	66
ΓΡΑΦΗΜΑ 1 (PV, AC, EV)	68
ΓΡΑΦΗΜΑ 2 (PD, RD, EAC(ES1), EAC(ES2))	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 (ΣΦΑΛΜΑ ES1)	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 24 (ΣΦΑΛΜΑ ES2)	71
ΓΡΑΦΗΜΑ 3 (ERROR ES1, ERROR ES2)	72
ΓΡΑΦΗΜΑ 4 (MPE(ES1), PME(ES2))	72
ΓΡΑΦΗΜΑ 5 (MAPE (ES1), MAPE(ES2))	72
ΓΡΑΦΗΜΑ 6 (SPI(t), TCSPI(t))	73

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΗΣ EARNED VALUE ME ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία, γίνεται εκτενής παρουσίαση της δημιουργίας, του ιστορικού και των τελευταίων εξελίξεων και προεκτάσεων της μεθόδου Earned Value Management. Στη συνέχεια, με τη χρήση της μεθόδου προσομείωσης Monte Carlo και τη βοήθεια των προγραμμάτων MS Project για τον χρονοπρογραμματισμό και @Risk για την εκτέλεση της προσομείωσης, μελετάται ένα τυχαίο έργο, ώστε να προκύψουν οι μετρικές της EVM για το συγκεκριμένο έργο. Με τις μετρικές αυτές, εκτελείται πρόβλεψη της τελικής διάρκειας του έργου, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους πρόβλεψης της EVM και διάφορους δείκτες απόδοσης του έργου. Οι παραπάνω προβλέψεις αξιολογούνται στατιστικά με τη χρήση των MPE (Mean Percentage Error) και MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Τέλος, από την αξιολόγηση προκύπτουν συμπεράσματα ως προς την δυνατότητα παραγωγής αξιόπιστων προβλέψεων της EVM, ικανά να κατευθύνουν τον εκάστοτε διαχειριστή στη σωστή σχεδίαση ενός έργου αλλά και τη λήψη διορθωτικών μέτρων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αυτών.

ABSTRACT

EVALUATION OF EARNED VALUE METRICS VIA SIMULATION

In the present dissertation, is attempted a thorough presentation of the creation, history and latest developments in the duration and cost of a project forecasting method called Earned Value Management. Using the Monte Carlo simulation method and by the help of MS Project for the scheduling and @Risk for the simulation, a random project is studied in order to get the EVM metrics. Using these metrics and the EVM forecasting formulas, the final duration of the project is predicted. The predictions are statistically analysed using the MPE (Mean Percentage Error) and MAPE (Mean Absolute Percentage Error) and evaluated. Finally, useful conclusions are drawn from that evaluation in relevance to the capability of EVM to produce reliable forecasts. These conclusions may help any Project Manager in the correct planning of a project and also in taking the proper corrective actions during the project execution.

KEYWORDS

Project Management, Earned Value, simulation, forecasting accuracy, Monte Carlo.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ PROJECT MANAGEMENT

Από τότε που οι άνθρωποι εργάστηκαν σε ομάδες για να χτίσουν τα καταφύγια τους, ή για να καλλιεργήσουν και να παράγουν την τροφή τους, υπήρχαν έργα και διαχείριση έργων. Η διαχείριση έργων δηλαδή, ή αλλιώς Project Management, εφαρμόζεται από τότε που άρχισε να δραστηριοποιείται ο άνθρωπος πάνω στη Γή.

Υπάρχουν αναρίθμητα παραδείγματα έργων που σχεδιάστηκαν και επιχειρήθηκαν κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας. Άλλα από αυτά ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και άλλα ήταν καταδικασμένα να αποτύχουν. Πολλά από αυτά απαιτούσαν τεράστιο εργατικό δυναμικό, πολυετή εργασία και λεπτομερή σχεδίαση και εκτέλεση. Από τις πυραμίδες της Αιγύπτου, μέχρι τη διάνοιξη του Ισθμού της Κορίνθου, η ανθρώπινη ιστορία, εξεταζόμενη από τη σκοπιά της διαχείρισης έργων, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, είναι γεμάτη παραδείγματα πολύπλοκων και φιλόδοξων έργων. Δυστυχώς όμως, παρά τα τεράστια επιτεύγματα του ανθρώπου, δεν υπάρχουν πολλές καταγραφές από τις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν.

Μόλις τη δεκαετία του '50, άρχισαν οι ανα τον κόσμο οργανισμοί να χρησιμοποιούν συστηματικά εργαλεία για να διαχειριστούν πολύπλοκα έργα. Κατά κοινή ομολογία, οι Ένοπλες Δυνάμεις των Η.Π.Α. ήταν αυτές που συνεισέφεραν σημαντικά στον σχηματισμό και την καταγραφή μεθόδων για την επιτυχή διαχείριση μεγάλων έργων, κατά τη διάρκεια αλλά κυρίως αμέσως μετά τον II Παγκόσμιο Πόλεμο. Βέβαια υπήρξαν και άλλα μεγάλα έργα που συνεισέφεραν σημαντικά, όπως το Manhattan Project, όπου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε η πρώτη ατομική βόμβα και χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι διαχείρισης.

Στον ακαδημαϊκό χώρο, δεν υπάρχει συμφωνία ως προς το πότε ξεκίνησε το σύγχρονο project management. Στο βιβλίο του “An introduction to the History of Project Management: From the Earliest Times to A.D.1900”, ο Y.C. Chiu, ισχυρίζεται ότι τόσο ο Henry Foyal όσο και ο Henry Gantt είναι οι πατέρες του σύγχρονου project management (Chiu Y., 2010). Ο H. Fayol, ήταν Γάλλος μηχανικός σε μια εταιρία σιδήρου, τη μεγαλύτερη του είδους της στη Γαλλία του I Παγκοσμίου πολέμου. Κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής του με τα θέματα της

διοίκησης της εταιρίας, ο Fayol, αναγνώρισε πέντε λειτουργίες της διοίκησης που θεωρούσε ότι είναι οικουμενικές και που κάθε διαχειριστής έργων εφαρμόζει στην καθημερινότητά του έως έναν βαθμό. Οι πέντε λειτουργίες ήταν η σχεδίαση, η οργάνωση, η διοίκηση, ο συντονισμός και ο έλεγχος. Παρ' όλη την κριτική που δεχτήκανε τις επόμενες δεκαετίες, οι λειτουργίες αυτές εξακολουθούν να δίνουν μια δομημένη εξήγηση για τις εργασίες που είναι σημαντικές για τους managers.

Ο δεύτερος πατέρας του σύγχρονου project management σύμφωνα με τον Chiu, είναι ο Henry Gantt. Ο Gand ήταν αμερικανός μηχανικός και αργότερα σύμβουλος διαχείρισης. Είναι ευρύτερα γνωστός για τα διαγράμματα Gantt. Τα διαγράμματα Gantt είναι σημαντικά στην ιστορία του σύγχρονου project management, διότι αναγνωρίζουν τη χρησιμότητα του κατακερματισμού μεγάλων έργων σε μικρότερες εργασίες. Ταυτόχρονα κάνουν σαφές ότι υπάρχουν εργασίες που εξαρτώνται από άλλες. Τα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλα έργα, όπως το φράγμα Hoover, και χρησιμοποιούνται έως και σήμερα.

Σύμφωνα με τον Y.H.Kwak, η εποχή του σύγχρονου project management ξεκίνησε το 1958 με την ανάπτυξη της μεθόδου PERT/CPM (Y.H.Kwak, 2003). Οι τεχνικές αυτές, παρ' όλο που αλληλοεπικαλύπτονται ελαφρώς, δικαιωματικά θεωρούνται η αφετηρία του σύγχρονου project management. Αναπτύχθηκαν σε δύο διαφορετικά και παράλληλα πεδία: αυτό του ναυτικού και αυτό της βιομηχανίας χημικών. Το 1958, το ναυτικό των Η.Π.Α., ξεκίνησε το project Polaris, για την κατασκευή του πρώτου υποβρύχιου πυρηνικού βалиστικού πυραύλου. Μέσα από αυτό το project, το ναυτικό δημιούργησε την Program Evaluation Review Technique ή αλλιώς μέθοδο PERT. Λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας του έργου, η τεχνική αυτή ήταν καλή στο να οπτικοποιήσει τις επιλογές των διαχειριστών.

Σχεδόν ταυτόχρονα με τη μέθοδο PERT, εφευρέθηκε και η μέθοδος CPM. Η Critical Path Method, ήταν αποτέλεσμα της προσπάθειας που κατέβαλε η εταιρία Du Pont για την κατασκευή ενός μεγάλου εργοστασίου χημικών. Η μέθοδος προέκυψε από την προσπάθεια της εταιρίας να εκτιμήσει το κόστος και τη διάρκεια του έργου.

Στην προσπάθειά του να καταγράψει την ιστορία του Project Management, ο Kwak, το 2003, την χώρισε σε τέσσερις περιόδους. Στην πρώτη περίοδο, μέχρι το 1958, μπήκαν οι βάσεις οι προερχόμενες από την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και των μεταφορών που ανέδειξαν τις βασικές αρχές και ανάγκες ταυτόχρονα διαχείρισης των μεγάλων έργων τη

εποχής, ενώ ταυτόχρονα εφευρέθηκαν τα διαγράμματα Gantt, τα οποία άρχισαν να κάνουν ορατό το σύγχρονο πεδίο της διαχείρισης έργων.

Το χαρακτηριστικό της δεύτερης περιόδου, από το 1958 έως το 1979, είναι η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιούνται σημαντικές τεχνολογικές εφευρέσεις συμπεριλαμβανομένου του internet, κάνουνε την εμφάνισή τους οι τεχνικές PERT/CPM και πρωτοεμφανίζεται η μέθοδος Work Breakdown Structure (WBS) ως μέθοδος κατακερματισμού των μεγάλων project σε σύνολο μικρότερων εργασιών/tasks. Την περίοδο αυτή δημιουργείται το 1965 ο πρώτος οργανισμός σχετικά με το project management, η International Project Management Association (IPMA), που μέχρι σήμερα είναι ο κύριος εκπρόσωπος του κλάδου. Πολύ σύντομα, το 1969, ιδρύεται και το Project Management institute (PMI), που είναι γνωστό για το βιβλίο που εκδίδει, το project Managemnt Body Of Knoowlwdge (PMBOK). Το βιβλίο αυτό αποτελεί μέχρι σήμερα, με τις αναθεωρήσεις του, τον οδηγό καλής πρακτικής στον κλάδο του Project Management.

Οδηγός στην τρίτη περίοδο, από το 1980 έως το 1994, ήταν η περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας και η δημιουργία προγραμμάτων για τη διαχείριση μεγάλων και πολύπλοκων έργων. Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκε το μοντέλο PRojects IN Controlled Environments (PRINCE) που ήταν και το πρώτο σημαντικό μοντέλο του είδους του. Την ίδια περίοδο εκδόθηκε το PMBOK ως μία προσπάθεια καταγραφής όλων των αποδεκτών πρακτικών πάνω στο project management.

Τέλος, στην τέταρτη περίοδο εξέλιξης του project management, από το 1995 μέχρι σήμερα, η τεχνολογία εξακολουθεί να οδηγεί τις εξελίξεις και να επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι project managers. Το 1996, το μοντέλο PRINCE, αναβαθμίζεται στην έκδοση PRINCE2, ενώ πολύ σύντομα, το 1997, εισάγεται μια καινούρια μέθοδος, η Critical Chain Project Managemenet (CCPM), η οποία σε αντίθεση με την PERT/CPM, εστιάζει στους πόρους που απαιτούνται για την ολοκλήρωση ολόκληρου του έργου, και όχι μόνο συγκεκριμένων εργασιών αυτού. Τέλος, το 1998, οι οργανισμοί προτύπων (ANSI και IEEE) των Η.Π.Α., αναγνωρίζουν το PMBOK ως πρότυπο στη Διαχείριση έργων.

Ο κλάδος του project management εξακολουθεί να αναπτύσσεται μέχρι και σήμερα που θεωρείται περισσότερο επιστήμη παρά τέχνη. Η ζήτηση για επαγγελματική διαχείριση έργων σε κλάδους όπως της τεχνολογίας, της μηχανικής, των επιχειρήσεων, της υγείας, της

παιδείας και των κατασκευών είναι συνεχώς αυξανόμενη. Πληθώρα πανεπιστημιακών τίτλων προσφέρονται σε όσους επιθυμούν να ειδικευθούν στο αντικείμενο του project management, και ως εκ τούτου η διαχείριση έργων αποτελεί πλέον έναν καλά εδραιωμένο εργασιακό κλάδο με κύρος ισάξιο άλλων τομέων της ανθρώπινης δραστηριότητας.

1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ PROJECT MANAGEMENT

Σύμφωνα με το PMBOK, Project (έργο), είναι η «προσωρινή προσπάθεια δημιουργίας ενός μοναδικού προϊόντος, υπηρεσίας ή αποτελέσματος». (**PMBOK, 5th ed.**) Το γεγονός ότι η προσπάθεια είναι προσωρινή σημαίνει ότι το έργο έχει σαφώς καθορισμένη αρχή και τέλος, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι και το αποτέλεσμα του έργου είναι προσωρινό.

Project Management (PM, διαχείριση έργων), είναι η εφαρμογή γνώσεων, εργαλείων και τεχνικών στις δραστηριότητες του project με σκοπό να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτού. Το Project Management επιτυγχάνεται μέσα από την κατάλληλη εφαρμογή 47 λογικά ομαδοποιημένων διεργασιών, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε πέντε ομάδες διεργασιών που σύμφωνα πάντα με το PMBOK είναι οι παρακάτω:

1. Εναρξη
2. Σχεδίαση
3. Εκτέλεση
4. Παρακολούθηση/έλεγχος
5. Κλείσιμο

Η διαχείριση των έργων περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, διαδικασίες όπως την αναγνώριση των απαιτήσεων του έργου, των αναγκών και ανησυχιών των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια της σχεδίασης και της εκτέλεσης του έργου, την κατάλληλη και επαρκή επικοινωνία με τους stakeholders (εμπλεκόμενους) και την εξισορρόπηση των περιρισμών του έργου μερικοί από τους οποίους είναι:

1. Ο σκοπός
2. Η ποιότητα
3. Το χρονοδιάγραμμα
4. Ο προϋπολογισμός
5. Οι πόροι και

6. Οι κίνδυνοι

Η σχέση ανάμεσα στους παραπάνω παράγοντες που επηρεάζουν τα έργα είναι τέτοια που αν αλλάξει ένας από αυτούς, τότε σχεδόν σίγουρα θα επηρεαστούν ένας ή περισσότεροι από τους υπόλοιπους. Για παράδειγμα, εάν το χρονοδιάγραμμα γίνει πιο σύντομο, τότε κατα πάσα πιθανότητα θα αυξηθεί ο προϋπολογισμός. Εάν ο προϋπολογισμός δεν μπορεί να αυξηθεί, τότε πιθανόν να πρέπει να μειωθεί η ποιότητα κ.ο.κ.. Οι stakeholders, έχουν τη δική τους άποψη ως προς το τι είναι σημαντικό σε κάθε έργο, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επιπλέον κίνδυνοι για την επιτυχή ολοκλήρωση του έργου, εάν ο διαχειριστής δεν καταφέρει να εξισοροπήσει όλα τα παραπάνω, μέσα από σωστή και αποτελεσματική επικοινωνία όλων των εμπλεκόμενων μερών. Αυτή ακριβώς η πιθανότητα αλλαγών στο έργο, είναι που καθιστά τη σωστή σχεδίαση του έργου μια διαρκή επιδίωξη του project manager.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

EARNED VALUE MANAGEMENT

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η EVM

Μια από τις σημαντικότερες διεργασίες του Project Management, είναι ο έλεγχος του έργου. Έλεγχος, είναι η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων του έργου σε τακτά χρονικά διαστήματα, η δημιουργία αναφορών για την πραγματική εξέλιξη του ως προς το χρόνο και το κόστος και όλα αυτά με σημείο αναφοράς το αρχικό πλάνο του έργου (baseline) (**Fleming & Koppelman, 2000**). Η EVM (Earned Value Management), είναι ένα εργαλείο του Project Management, που ενσωματώνει τον σκοπό των εργασιών του έργου με στοιχεία κόστους, προγράμματος και απόδοσης αυτού (**Zhang, 2006**). Χρησιμοποιεί στοιχεία τόσο από το χρονοπρόγραμμα βάσης (baseline schedule), όσο και από τα στοιχεία που λαμβάνουμε σε προσυμφωνημένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου (data date) και βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την πρόοδο υλοποίησης του έργου από άποψη χρόνου και κόστους, καθώς και τη συνολική υγεία αυτού.

Η EVM, έχει εξελιχθεί σ'την πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδο παρακολούθησης της απόδοσης ενός έργου. Συχνά χρησιμοποιούνται οι όροι Earned Value Project Management, Earned Value System ή Earned Value Analysis, χωρίς να υπάρχει ουσιαστικά διαφορά μεταξύ τους. Προσφέρει στους διαχειριστές έργων ένα εργαλείο ώστε να μπορούν να αξιολογήσουν εγκαίρως την υγεία ενός έργου κατά τη διάρκεια της ζωής του. Πιο συγκεκριμένα, η EVM, χρησιμοποιείται για να:

1. Εκτιμηθούν το κόστος και ο χρόνος μέχρι την ολοκλήρωση του έργου,
2. Αναγνωρισθεί ο αντίκτυπος γνωστών προβλημάτων στο κόστος και τη διάρκεια του έργου,
3. Σκιαγραφηθεί με εγκυρότητα το κόστος και το χρονοδιάγραμμα του έργου,
4. Εντοπιστούν πιθανά προβλήματα στην πορεία του έργου,
5. Παρέχει έγκαιρα πληροφορίες για το έργο και να
6. Αναγνωρισθούν προβλήματα του έργου που δεν είχαν εντοπιστεί νωρίτερα (**EVM Handbook, 2003**).

Σήμερα η EVM έχει γίνει ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για έργα διαφόρων μεγεθών, τόσο στον δημόσιο όσο και τον ιδιωτικό τομέα. Έχουν αναπτυχθεί ισχυρές

ηλεκτρονικές πλατφόρμες για το PM, που εμπεριέχουν τους υπολογισμούς της EVM και αυξάνεται ραγδαία η ακαδημαϊκή έρευνα γύρω από το αντικείμενο.

2.2 ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ EVM

Οι βασικές ιδέες που σχημάτισαν την EVM, προέρχονται από δυο ξεχωριστούς τρόπους σκέψης: αυτόν των μηχανικών της βιομηχανίας και αυτόν των project managers. Οι μηχανικοί, συνειδητοποίησαν από τον 19^ο αιώνα ακόμα, ότι για να μετρήσουν την απόδοση μιας γραμμής παραγωγής καθώς και τη σχέση κόστους και οφέλους της διαδικασίας παραγωγής, έπρεπε να παίρνουν κάποιες μετρήσεις. Δημιούργησαν για τον σκοπό αυτό λοιπόν, ένα πρότυπο κόστους, το οποίο συμπεριλάμβανε το κόστος και την αξία σε κάθε μονάδα παραγόμενου προϊόντος.

Μέχρι την έλευση της μεθόδου CPM στα τέλη της δεκαετίας του '50, τα έργα αντιμετωπιζόνταν πολύ διαφορετικά από τις γραμμές παραγωγής. Ήταν μοναδιαίες προσπάθειες για τις οποίες δεν υπήρχαν καθόλου standards. Οι μέθοδοι PERT/CPM ήταν οι πρώτες συστηματικές προσπάθειες για λεπτομερή σχεδίαση έργων και για έλεγχο αυτών μετά από λογική ανάλυση και λήψη αποφάσεων. Διαγράμματα τύπου Gantt χρησιμοποιούνταν ήδη για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς όμως κάποια συστηματική προσέγγιση του προβλήματος.

Όταν εφαρμόστηκε η μέθοδος PERT, έγινε σαφές ότι αν το κόστος των δραστηριοτήτων ενός έργου, συνυπολογιζόταν στη διάρκεια αυτών, μπορούσε να παραχθεί ένα ισχυρό σύστημα για την πρόβλεψη και τον έλεγχο του κόστους ολόκληρου του έργου. Το Department of Defense των Η.Π.Α. (US DoD), και η NASA, ως οι μεγαλύτεροι φορείς έργων της εποχής, είδαν άμεσα το πιθανό όφελος από ένα τέτοιο σύστημα. Το 1962 λοιπόν, προσπάθησαν να εφαρμόσουν με τους μεγαλύτερους υπεργολάβους ένα τέτοιο σύστημα, υπό τον τίτλο PERT/Cost. Η προσέγγιση αυτή εμπεριέχει την έννοια της earned value και έτσι αρχίζουν να συγκλίνουν η κυβερνητική προσέγγιση με αυτή της βιομηχανίας. Το μόνο που χρειαζόταν για να εφαρμοστεί το σύστημα PERT/Cost, ήταν να συγκριθεί το πραγματικό κόστος ενός έργου μέχρι μια ημερομηνία, με τη συμφωνημένη εργασία που θα έπρεπε να έχει πραγματοποιηθεί μέχρι την ίδια ημερομηνία, ώστε να φανεί αν το έργο κοστίζει περισσότερο ή λιγότερο από το συμφωνημένο.

Δυστυχώς, ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκε το σύστημα PERT/Cost, ήταν πολύπλοκος και γραφειοκρατικός, με αποτέλεσμα σε πρώτη φάση να απορριφθεί από τις ιδιωτικές εταιρείες. το DoD, δεχόμενο ισχυρή κριτική για τις μεθόδους του, αναγκάστηκε να αποδεχθεί τα σφάλματά του και αποφάσισε να κρατήσει μια πιο διαλακτική στάση, κατά την οποία οι εταιρείες θα μπορούσαν κατά τις συμβάσεις έργων με το DoD, να επιλέγουν οι ίδιες τον τρόπο διαχείρισης /management των έργων που αναλάμβαναν, με την προϋπόθεση όμως να πληρούν μια σειρά από κριτήρια, τα οποία θα αποτελούσαν ενδείξεις καλής διαχειριστικής πρακτικής. Τα κριτήρια αυτά τελικά αποτέλεσαν το 1967 μια οδηγία του DoD, την οδηγία DODI 7000.2 με την ονομασία “Performance Measurement for Selected Acquisitions”. Η οδηγία έγινε ευρέως γνωστή με την ονομασία Cost/Schedule Control Systems Criteria (C/SCSC) ή αλλιώς “C-Spec”.

Το σύστημα C/SCSC, δεν ήταν ένα μακρόσυρτο κείμενο, παρά μια σειρά από 35 απλά κριτήρια που έπρεπε να τηρούνται στη διαχείριση των έργων. Και πάλι όμως, ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκαν, σε συνδιασμό με τους ανθρώπους που έλεγχαν την εφαρμογή τους για λογαριασμό του DoD, οδήγησαν σε ένα δαιδαλώδες σύστημα κριτηρίων, ερωτηματολογίων και οδηγιών, που κάθε άλλο παρά εύκολο ήταν στην εφαρμογή του. Αποτέλεσμα για άλλη μια φορά ήταν η αποδοχή του από τη βιομηχανία να είναι μικρή και να αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό.

Παρά τις δυσχέρειες, η ανάγκη του DoD για λεπτομερή έλεγχο και ανατροφοδότηση για τα έργα που ανέθετε στις βιομηχανίες, το οδήγησε στο να χρηματοδοτεί τα υπερβολικά ποσά που απαιτούνταν για την εφαρμογή της C-Spec. Με την έλευση της δεκαετίας του '70 όμως, άρχισαν να αναπτύσσονται υπολογιστικά συστήματα που βοηθούσαν την εφαρμογή του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα άρχισε να συσσωρεύεται γνώση γύρω από το αντικείμενο. Πολύ σύντομα, έγινε σαφές ότι απαιτούνταν μια καινούρια αναθεώρηση των μεθόδων του DoD, προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα και να μειωθούν τα έξοδα που προκαλούσε η μέθοδος του DoD.

Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, το DoD, χρηματοδότησε το 1984 μια έρευνα, το συμπέρασμα της οποίας ήταν ότι το C-Spec, ήταν μεν αποτελεσματικό, υπήρχε όμως διάσταση ανάμεσα στο DoD και τις βιομηχανίες για τον τρόπο με τον οποίο έπρεπε να εφαρμοστεί. Στις αρχές της δεκαετίας του '90, το DoD που αν μη τι άλλο πρωτοστάτησε στη χρήση των μεθόδων που περιείχαν την έννοια της earned value, οδήγησε τις εξελίξεις για άλλη

μια φορά, εκδίδοντας (το 1996) τις οδηγίες DoD 5000, που άλλαξαν πλήρως το σκηνικό, δίνοντας έμφαση στην ικανοποίηση των πελατών, την αποτελεσματική ολοκλήρωση πολύπλοκων συστημάτων και την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Μέχρι το τέλος του 1996, οι βιομηχανίες, προσαρμόσαν το σύστημα C/SCSC στα δικά τους δεδομένα και κράτησαν τα 32 από τα 35 αρχικά κριτήρια του συστήματος (στην πλειοψηφία τους ακριβώς ίδια με τα προηγούμενα), ενώ το DoD ακολούθησε και το ίδιο με την καινούρια οδηγία DoD 5000.2R που περιείχε τα ίδια 32 κριτήρια. Τελικά, το 1998 δημιουργήθηκε το πρότυπο ANSI/EIA-748-1998, το οποίο εγκρίθηκε το 1998 και υιοθετήθηκε το 1999 από το DoD, το οποίο είναι πλέον το πρότυπο της Earned Value Management (**Webb, 2003**).

2.3 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΗΣ EARNED VALUE

Όπως ανφέρθηκενωρίτερα, η EVM, είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η πρόοδος του φυσικού αντικειμένου ενός έργου και να ενσωματώσει σε αυτή τα τρία βασικά στοιχεία του έργου, σκοπό, κόστος και διάρκεια (**Vanhoucke, 2009**). Λαμβάνει υπόψη της την πρόοδο του φυσικού αντικειμένου, το χρόνο που χρειάστηκε και το κόστος που προκλήθηκε μέχρι τη χρονική στιγμή που εξετάζουμε.

Για να μετρηθεί η πρόοδος του έργου, απαιτείται ένα σταθερό χρονικό πλαίσιο, το baseline schedule, που έχει σαφώς καθορισμένη αρχή και τέλος, τόσο για το σύνολο του έργου, όσο και για κάθε δραστηριότητα χωριστά. Αποτέλεσμα αυτού είναι κάθε δραστηριότητα να έχει συγκεκριμένο αξία και διάρκεια, την λεγόμενη Planned Value (PV). Η συνολική διάρκεια του έργου που ισούται με τη διάρκεια που προκύπτει από τη μέθοδο CPM, ονομάζεται Planned Duration (PD). Η χρονική στιγμή που γίνεται η λήψη στοιχείων ενός έργου, ονομάζεται Actual Time, η μέχρι τότε διάρκεια Actual Duration (AD), ενώ το σύνολο του κόστους όλων των δραστηριοτήτων του έργου όταν αυτό ολοκληρωθεί είναι το Budget At Completion (BAC).

Η EVM απαιτεί τη χρήση τριών παραμέτρων για να αξιολογήσει την απόδοση ενός έργου: την Planned Value (PV), το Actual Cost (AC) και την Earned Value (EV). Η PV, όπως είδαμε προκύπτει από τη σχεδίαση ακόμη του έργου με τη μέθοδο CPM και αποκαλείται και Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS). Το AC είναι το αθροιστικό πραγματικό κόστος

που έχει καταναλωθεί για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων μέχρι τη στιγμή που εξετάζουμε το έργο (Actual Time, AT) και αποκαλείται και Actual Cost of Work Performed (ACWP). Η EV αντιπροσωπεύει το ποσό που έχει προϋπολογισθεί για την εκτέλεση των εργασιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι το AT και λέγεται και Budgeted Cost of Work Performed (BCWP). Διακρίνουμε άμεσα, ότι η EV αναφέρεται στον προϋπολογισμό για τις δραστηριότητες που ΕΧΟΥΝ ΕΚΤΕΛΕΣΤΕΙ τη στιγμή της AT, σε αντίθεση με την PV που αναφέρεται στον προϋπολογισμό των δραστηριοτήτων που ΕΙΧΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΕΙ να έχουν εκτελεστεί τη στιγμή της AT. Η EV ισούται με το κόστος μιας δραστηριότητας, επί το ποσοστό ολοκλήρωσής της (Anbari, 2003).

Οι επιδόσεις οποιουδήποτε έργου, τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα, καθορίζονται από τη σύγκριση των τριών παραπάνω παραμέτρων, PV, AC και EV. Αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτών, είναι η δημιουργία των παρακάτω πολύ σημαντικών μετρικών. Το Cost Variance (CV) είναι η συμμόρφωση του έργου στο κομμάτι του προϋπολογισμού και ισούται με $CV=EV-AC$. Το Schedule Variance (SV), είναι η συμμόρφωση του έργου ως προς το πρόγραμμα και ισούται με $SV=EV-PV$.

Ταυτόχρονα προκύπτουν και δυο δείκτες για τις επιδόσεις του έργου. Ο Cost Performance Index (CPI), είναι ένας δείκτης της απόδοσης του έργου ως προς τον προϋπολογισμό και ισούται με $CPI=EV/AC$. Ο Schedule Performance Index (SPI), είναι ένας δείκτης της απόδοσης του έργου, ως προς το χρονοπρόγραμμα και ισούται με $SPI=EV/PV$. Όταν το έργο προχωράει όπως έχει σχεδιασθεί, τότε οι παραπάνω δείκτες είναι ίσοι με τη μονάδα. Όταν προχωράνε γρηγορότερα ή οικονομικότερα από το σχεδιασθέν, είναι μεγαλύτεροι από τη μονάδα, ενώ τέλος όταν το έργο καθυστερεί ή ξεπερνάει τον προϋπολογισμό, οι δείκτες είναι μικρότεροι της μονάδας.

Επιπλέον των παραπάνω μετρικών και δεικτών, όπως έδειξε ο Anbari (2003), πλήθος άλλων δεικτών μπορούν να εξαχθούν, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς ενός έργου. Το Critical Ratio (CR), που είναι το γινόμενο του CPI με τον SPI, ($CR=CPI*SPI$), χρησιμοποιείται ως ενδείκτης της συνολικής υγείας ενός έργου. Κι εδώ ένα CR ίσο με 1 δείχνει ότι το έργο προχωράει ακριβώς όπως σχεδιάστηκε, ή τουλάχιστον, αν υστερεί ως προς το χρονοπρόγραμμα, υπερτερεί στον προϋπολογισμό ή το αντίθετο.

Επίσης, οι παραπάνω μετρικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πολύ σημαντική λειτουργία της πρόβλεψης και πρόληψης ως προς την μελλοντική πορεία του έργου. Το

κόστος του έργου κατα την ολοκλήρωσή του, Estimate At Completion (EAC) μπορεί να υπολογισθεί με τρεις τρόπους. Αν οι συνθήκες εκτέλεσης του έργου έχουν αλλάξει μέχρι τη στιγμή του AT, τότε το EAC θα είναι το μέχρι στιγμής κόστος AC, συν το κόστος που υπολογίζεται εκ νέου για τις υπόλοιπες δραστηριότητες του έργου που εκκρεμούν Estimate To Complete (ETC), δηλαδή $EAC1=AC+ETC$. Εάν το έργο παρά τη μέχρι τώρα απόδοσή του, συνεχίσει σύμφωνα με τη σχεδιασθείσα πορεία του, τότε το EAC θα ισούται με το μέχρι τώρα κόστος AC συν το κόστος που υπολογίζεται για την ολοκλήρωση του που θα είναι BAC-EV, άρα $EAC2=AC+BAC-EV$ ή αλλιώς $EAC2=BAC-(EV-AC)=BAC-CV$ το οποίο είναι και λογικό μιας και μας δείχνει ότι το κόστος θα είναι ίσο με τον προϋπολογισμό του (BAC) μείον την μέχρι στιγμής απόκλιση του (CV). Τέλος, αν οι συνθήκες δείχνουν ότι το έργο θα συνεχίσει την πορεία του με τον τρόπο που εκτελείται μέχρι τώρα, τότε το EAC θα ισούται με το μέχρι τώρα κόστος AC, συν το υπολοιπόμενο κόστος BAC-EV, τροποποιημένο κατά τον δείκτη CPI, δηλαδή $EAC3=AC+(BAC-EV)/CPI$ ή αλλιώς $EAC3=AC+BAC/CPI-EV/CPI=AC+BAC/CPI-AC=BAC/CPI$, το οποίο τελικά είναι το BAC τροποποιημένο κατά τον CPI.

Με τον ίδιο τρόπο, μπορούμε να προβλέψουμε την πορεία του έργου ως προς το πρόγραμμα (χρόνο) ολοκλήρωσής του και να υπολογίσουμε το Time Estimate At Completion (TEAC) βασιζόμενοι στο baseline Schedule At Completion (SAC). Με τις ίδιες περιπτώσεις όπως και το κόστος, έχουμε το $TEAC1=AT+TEAC$, $TEAC2=SAC-CV$ και $TEAC3=SAC/SPI$.

2.4 ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ EVM

Οι δείκτες που αναλύουν το κόστος, όπως είδαμε παραπάνω έχουν αναλυθεί διεξοδικά από τα πρώτα στάδια ακόμα εξέλιξης της EVM. Για να μπορέσουμε όμως να παρακολουθήσουμε τη χρονική εξέλιξη ενός έργου με μεγαλύτερη ακρίβεια, απαιτείται να μετατρέψουμε τους δείκτες του χρονοπρογράμματος από χρηματικές μονάδες σε μονάδες χρόνου. Στη βιβλιογραφία, έχουν προταθεί τρεις μέθοδοι για να μετρηθεί η απόδοση ενός έργου ως προς το χρονοπρόγραμμα: η Planned Value, η Earned Duration και η Earned Schedule.

2.4.1 PLANNED VALUE

Η πρώτη είναι αυτή που παρουσιάστηκε και παραπάνω, της “σχεδιασμένης αξίας”, δηλαδή της Planned Value, που εισήχθη από τον Anbari το 2003. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις γνωστές μετρικές της EVM και εισάγει την έννοια της Planned Value Rate, του ρυθμού δηλαδή με τον οποίο αυξάνεται η αξία του έργου. Η Planned Value Rate (PVrate), προκύπτει αν διαιρέσουμε το κόστος του έργου από το baseline plan (BAC) με τη σχεδιασμένη διάρκεια του έργου (PD), δηλαδή $PVrate = BAC/PD$. Να σημειωθεί ότι το PVrate που προκύπτει είναι σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδες χρόνου (για παράδειγμα σε € /μήνα). Αν τώρα διαιρέσουμε το Schedule Variance (που ισούται με EV-PV και είναι σε χρηματικές μονάδες) με το PVrate, τότε παίρνουμε τη χρονική απόκλιση του έργου σε μονάδες χρόνου. Δηλαδή $Time\ Variance = SV/PVrate$. Όταν το έργο προχωράει όπως σχεδιάστηκε (EV-PV=0), τότε και SV=0. Αν το έργο καθυστερεί, τότε SV<0 και αν το έργο προχωράει πιο γρήγορα από το σχεδιασθέν, τότε SV>0 (Anbari, 2003).

2.4.2 EARNED DURATION

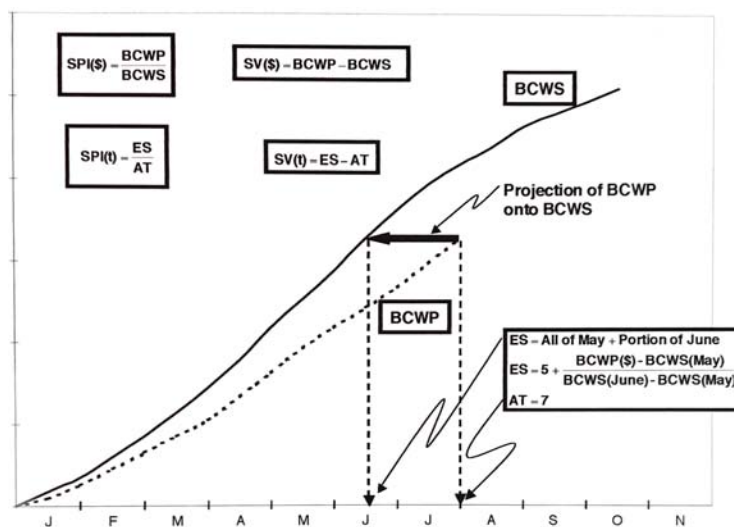
Το 2003 και το 2004, οι Jakob και Kane εισήγαγαν τη μέθοδο της “κερδισμένης διάρκειας”, Earned Duration (ED). Η μέθοδος αυτή εισήχθη ως ένας τρόπος να προβλεφθεί με περισσότερη ακρίβεια η τελική διάρκεια ενός έργου, χρησιμοποιώντας τον SPI. Η ED, προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε την πραγματική μέχρι στιγμής διάρκεια ενός έργου, με τον SPI, δηλαδή $ED = AD * SPI$. Όπως φαίνεται από την εξίσωση, αν το έργο προχωράει σύμφωνα με το σχέδιο, τότε SPI=1 και συνεπώς και ED=AD. Αν τώρα το έργο καθυστερεί, τότε SPI<1, οπότε και ED<AD και το αντίθετο (Jacob, 2003), (Jacob & Kane, 2004).

2.4.3 EARNED SCHEDULE

Επίσης το 2003, εισήχθη για πρώτη φορά από τον Lipke η έννοια του “κερδισμένου προγράμματος”, της γνωστής ως Earned Schedule (ES). Η ES είναι ανάλογη της EV, μόνο που αναφέρεται στο χρονοπρόγραμμα. Η ES καθορίζεται συγκρίνοντας την EV (κόστος που

έχει προϋπολογισθεί για την δουλειά που έχει εκτελεστεί) με την PV (κόστος που έχει προϋπολογισθεί για την δουλειά που έπρεπε να έχει εκτελεστεί μέχρι τη στιγμή του ελέγχου).

Πιο αναλυτικά, η ES σε μια χρονική στιγμή, υπολογίζεται ως εξής: χρησιμοποιώντας την EV που έχουμε τη στιγμή του υπολογισμού, βλέπουμε η τιμή αυτή σε ποιο χρονικό σημείο της PV αντιστοιχεί. Η ES, θα είναι ίση με τον συνολικό χρόνο μέχρι το σημείο αυτό, αυξημένο κατά ένα ποσοστό του επόμενου χρονικού διαστήματος. Στο παρακάτω γράφημα για παράδειγμα που έχουμε τις καμπύλες της PV (BCWS) και της EV (BCWP) και το έργο παρακολουθείται σε μήνες, βλέπουμε ότι στην αρχή του Αυγούστου, η τιμή της EV, προβάλεται στην τιμή της PV που αντιστοιχεί στον ολοκληρωμένο Μάιο και ένα κομμάτι του Ιουνίου. Το κομμάτι αυτό του Ιουνίου ισούται με το τμήμα της PV που εκτείνεται στο ημιτελές διάστημα $(EV - PV_{(MAY)})$ διαιρεμένο με την PV που είχε σχεδιαστεί για το διάστημα αυτό $(PV_{(JUNE)} - PV_{(MAY)})$. Δηλαδή $ES = MAY + (EV - PV_{(MAY)}) / (PV_{(JUNE)} - PV_{(MAY)})$. Αν θέλαμε να γενικεύσουμε τον τύπο για μια χρονική στιγμή t, τότε θα είχαμε $ES = t + (EV - PV_{(t)}) / (PV_{(t+1)} - PV_{(t)})$. (Lipke, 2003)



Χρησιμοποιώντας το concept της ES, μπορούμε να κατασκευάσουμε δυο νέους δείκτες που λειτουργούν ως καλές εναλλακτικές για τους δείκτες απόδοσης του χρονοδιαγράμματος της Planned Value (SV και SPI). Οι δείκτες αυτοί είναι ο $SV(t)$ που ισούται με $ES - AT$ και ο $SPI(t)$ που ισούται με ES/AT . (Lipke, 2003)

Από τη στιγμή που εισήχθη η μέθοδος της ES από τον Lipke, πολλοί ήταν αυτοί που επαλήθευσαν την αξιοπιστία της μεθόδου με δεδομένα πραγματικών έργων, αλλά και

επέκτειναν και διεύρυναν τη χρήση της. Ο **Henderson (2003)**, έδειξε την εγκυρότητα της μεθόδου σε έξι έργα, ενώ τα επόμενα χρόνια επέκτεινε τη χρήση της μεθόδου σε πλήθος έργων από διάφορες χώρες. (**Henderson, 2004**), (**Henderson, 2005**), (**Henderson & Zwikael, 2008**). Τέλος, ο ίδιος ο Lipke με τους συνεργάτες του επιβεβαίωσε στατιστικά τη μεθοδό του βασισμένος σε μια δεξαμενή πραγματικών έργων. (**Lipke et al, 2008**)

2.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

Μια από τις βασικές υποχρεώσεις του project manager όπως είδαμε και νωρίτερα, είναι να παίρνει αποφάσεις για την μελλοντική πορεία των εργασιών κα δραστηριοτήτων του έργου. Επίσης είδαμε ότι η EVM έχει ως απότερο στόχο να βοηθάει τον διαχειριστή στη διαδικασία λήψης απόφασης με το να του παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για να μπορέσει να κάνει σωστή πρόβλεψη ως προς την εναπομείνουσα διάρκεια του έργου (και κατ' επέκταση και τη συνολική του διάρκεια) και ως προς το κόστος που θα απαιτηθεί για να ολοκληρωθεί το έργο (και άρα και το συνολικό του κόστος). Με τα εργαλεία αυτά ο διαχειριστής θα μπορέσει να κάνει διορθωτικές ενέργειες όταν απαιτούνται και θα μπορέσει να εντοπίσει τυχόν προβλήματα του παρελθόντος, αλλά και ευκαιρίες για το μέλλον του έργου.

Φυσικά, οποιαδήποτε πρόβλεψη ως προς το κόστος και τη διάρκεια ενός έργου, δεν μπορεί παρά να βασιστεί στη μέχρι στιγμής πραγματική απόδοση του έργου. Η εκτίμηση για τη διάρκεια του έργου (Estimate A Completion - EAC) και για το κόστος του έργου (Estimate At Completion (time) - EAC(t)) εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το έργο. Σύμφωνα με τον **Anbari (2003)** και όπως τις κωδικοποίησαν οι **Vandevoorde και Vanhoucke (2006)**, οι καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ένα έργο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1), όπου PDWR=Planned Duration of Work Remaining.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 (ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ PDWR ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ)

	Μέθοδος πρόγνωσης			
Κατάσταση	Anbari (2003) Jacob (2003) Lipke (2003)			Σχόλια
EAC(t) σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό	Παρακολούθηση του χρονοδιαγράμματος			Η τελική διάρκεια αναμένεται να είναι σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, ανεξάρτητα από την προηγούμενη επίδοση του έργου. Η κατάσταση κρύβει τον κίνδυνο, να αναδειχθούν προβλήματα που δεν έχουν αυτοεπίλυση.
Νέα PDWR	Ανασχεδιασμός			Οι αρχικές υποθέσεις δεν ισχύουν για την εναπομείνασα εργασία. Η χρήση των δεικτών μέτρησης της επίδοσης δεν είναι πλέον αποδεκτή και απαιτείται νέος σχεδιασμός για τις υπόλοιπες εργασίες.
PDWR αρκετά υψηλή	Ανασχεδιασμός			Υπάρχουν μη αναστρέψιμα προβλήματα ποιότητας, τα οποία απαιτούν επιπλέον χρόνο για τον εντοπισμό τους. Τα ενδιαφερόμενα μέρη έχουν ήδη χάσει το ενδιαφέρον τους για το έργο. "Αν το έργο τελειώσει, θα πρόκειται για θαύμα"
PDWR σύμφωνα με το σχεδιασμό	EAC(t) _{PV1} EAC(t) _{ED1} EAC(t) _{ES1}			Το παρελθόν δεν αποτελεί καλό στοιχείο πρόγνωσης. Τα προβλήματα του παρελθόντος δεν επηρεάζουν το μέλλον του έργου και το υπόλοιπο των εργασιών θα εξελιχθεί σύμφωνα με το σχεδιασμό.
PDWR σύμφωνα με την τάση του SPI	EAC(t) _{PV2} EAC(t) _{ED2} EAC(t) _{ES2}			Τα δεδομένα του παρελθόντος είναι χρήσιμα για την πρόγνωση. Και η υπολειπόμενη εργασία μπορεί να διορθωθεί με βάση τις παρατηρήσεις.
PDWR σύμφωνα με την τάση του SCI	EAC(t) _{PV3} EAC(t) _{ED3} EAC(t) _{ES3}			Τα δεδομένα κόστους και χρόνου από το παρελθόν είναι χρήσιμα για πρόγνωση. Ο δείκτης SCI = SPI * CPI (Schedule Cost Index) είναι ο κρίσιμος δείκτης.
Όνομα μεθόδου	Planned Value	Earned Duration	Earned Schedule	

Στην αριστερή στήλη φαίνονται οι πιθανές καταστάσεις του έργου. Στη μεσαία στήλη είναι οι μέθοδοι πρόγνωσης της πορείας του έργου σύμφωνα με τους Anbari, Jacob και Lipke. Οι πρώτες τρεις περιπτώσεις δεν μας ενδιαφέρουν καθότι το έργο είτε προχωράει ακριβώς όπως σχεδιάστηκε, είτε οι συνθήκες έχουν αλλάξει τόσο που δεν είναι εφικτή/επιθυμητή οποιαδήποτε πρόβλεψη. Στις επόμενες τρεις περιπτώσεις, το έργο προχωράει είτε σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό (PV1, ED1, ES1), είτε ακολουθεί την τάση του SPI (PV2, ED2, ES2), είτε την τάση του SCI (PV3, ED3, ES3). Ανάλογα λοιπόν με τον τρόπο με τον οποίο θεωρούμε ότι θα εξελιχθεί το έργο και ανάλογα με τη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε για να προβλέψουμε την πορεία του έργου, έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις.

2.5.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ PLANNED VALUE

Με τη μέθοδο της Planned Value, έχουμε ότι η πρόγνωση για την χρονική ολοκλήρωση του έργου δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- $EAC(t)_{PV1}=PD-TV$, όπου $TV=SV/PVrate$ και $PVrate=BAC/PD$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με τον σχεδιασμό)
- $EAC(t)_{PV2}=PD/SPI$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με την τάση του SPI)
- $EAC(t)_{PV3}=PD/SCI$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με την τάση του SCI)

2.5.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ EARNED DURATION

Στη μέθοδο αυτή, όπου $ED=AD*SPI$, χρησιμοποιείται ένας δείκτης απόδοσης (Performance Factor, PF) ο οποίος όταν το έργο προχωράει σύμφωνα με τη σχεδίαση, τότε $PF=1$, όταν το έργο ακολουθεί την τάση του SPI, τότε $PF=SPI$ και όταν το έργο ακολουθεί τον SCI, τότε $PF=SCI$. Η γενική φόρμουλα που μας δίνει την πρόγνωση σε αυτή τη μέθοδο είναι: $EAC(t)_{ED}=AD+(PD-ED)/PF$. Έτσι έχουμε τις παρακάτω σχέσεις:

- $EAC(t)_{ED1}=PD+AD*(1-SPI)$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF=1$)
- $EAC(t)_{ED2}=PD/SPI$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF=SPI$)
- $EAC(t)_{ED3}=PD/SCI+AD*(1-1/CPI)$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF=SCI$)

Εάν οι εργασίες του έργου δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμα και ο πραγματικός χρόνος είναι ήδη μεγαλύτερος από αυτόν που σχεδιάστηκε, τότε στις παραπάνω σχέσεις, ο PD αντικαθίσταται από τον AD.

2.5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE

Και σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούμε τον δείκτη PF για να δηλώσουμε την υπολογιζόμενη μελλοντική πορεία του έργου, ενώ η τιμή της ES δίνεται από τη σχέση που είδαμε παραπάνω: $ES=t+(EV-PV_{(t)})/(PV_{(t+1)}-PV_{(t)})$. Η γενική φόρμουλα που μας δίνει την πρόγνωση σε αυτή τη μέθοδο είναι: $EAC(t)_{ES}=AD+(PD-ES)/PF$. Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- $EAC(t)_{ES1}=AD+(PD-ES)$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF=1$)

- $EAC(t)_{ES2} = AD + (PD - ES) / SPI(t)$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF = SPI(t)$)
- $EAC(t)_{ES3} = AD + (PD - ES) / SCI(t)$ (το έργο προχωράει σύμφωνα με το $PF = SCI(t)$)

2.6 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ EVM

Σημαντική έρευνα έχει διεξαχθεί πάνω στην EVM και τις προεκτάσεις της τα τελευταία τριάντα χρόνια, με σκοπό τη βελτίωση του ελέγχου του κόστους και της διάρκειας των έργων. Ο **Anbari (2003,2004)** ανέδειξε τις περισσότερες πλευρές της μεθόδου και έδωσε τις πρώτες φόρμουλες πρόβλεψης της πορείας ενός έργου ανάλογα με τη μέχρι στιγμής συμπεριφορά του και την υπολογιζόμενη μελλοντική πορεία του.

Από την αρχή όμως τη εφαρμογής της μεθόδου της EVM σε πραγματικά έργα αλλά και την περεταίρω μαθηματική/επιστημονική εμβάθυνση στις δυνατότητες και την αξιοπιστία της, φάνηκαν και οι αδυναμίες της. Η πρώτη αδυναμία της EVM ήταν το γεγονός ότι όλες οι μετρικές της ήταν σε μονάδες κόστους, τόσο για τον προϋπολογισμό όσο και για το χρονοδιάγραμμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι δείκτες του χρονοδιαγράμματος να είναι αντιδιαίσθητικοί και να είναι αρκετά δύσκολο για τους διαχειριστές να εξοικειωθούν μαζί τους.

Η δεύτερη αδυναμία ήταν ότι επειδή οι δείκτες του χρονοδιαγράμματος ήταν εκφρασμένοι σε μονάδες κόστους, ήταν πολύ δύσκολη η σύγκρισή τους με το ίδιο το χρονοδιάγραμμα, για παράδειγμα με την υπολογιζόμενη ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου.

Η τρίτη και πιο σημαντική αδυναμία ήταν ότι οι δείκτες της EVM επιδείκνυαν “παράξενη” συμπεριφορά στη φάση της ολοκλήρωσης του έργου. Είναι προφανές ότι η EV είναι ίση με την PV όταν το έργο ολοκληρώνεται. Έτσι ο SV είναι τότε ίσος με το μηδέν (δηλαδή είτε το έργο ολοκληρώθηκε στην ώρα του είτε όχι, η χρονική απόκλιση είναι μηδενική) και ο SPI είναι ίσος με τη μονάδα (δηλαδή το έργο απέδωσε “άριστα” άσχετα αν καθυστέρησε να ολοκληρωθεί ή όχι). (**Henderson, 2007**)

Με τον καιρό, η χρήση της EVM περιορίστηκε στους δείκτες κόστους, εξαιτίας των παραπάνω προβλημάτων. Αυτός όμως ήταν και ο λόγος που παρουσιάστηκαν και εξελίχθηκαν οι προεκτάσεις της μεθόδου, οι Earned Duration και Earned Schedule, ώστε οι project managers να έχουν στα χέρια τους αξιόπιστα εργαλεία που θα τους βοηθούν στην πρόβλεψη της διάρκειας και του κόστους του εκάστοτε έργου, μεγάλου ή μικρού.

2.7 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ EVM ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ

Η αναγνώριση από τον επιστημονικό και επιχειρηματικό κόσμο της χρησιμότητας της μεθόδου EVM και των προεκτάσεών της, οδήγησε σημαντικό μέρος της έρευνας στη διαχείριση έργων στην κατεύθυνση της απόδειξης της εγκυρότητας των μεθόδων, της βελτίωσής τους και της αξιολόγησής τους με τη χρήση σύγχρονων στατιστικών εργαλείων και μεθόδων προσωμείωσης έργων, αλλά και τη χρήση δεδομένων από πραγματικά έργα.

Ήδη από τη δεκαετία του '90, οι ερευνητές αρχίζουν να ερευνούν την αξιοπιστία αλλά και τη σταθερότητα των μετρικών της EVM, με στόχο και ελπίδα πάντα τα ευρήματά τους να καθίστανται χρήσιμα τόσο στα μεγάλα κυβερνητικά προγράμματα, όσο και στις ιδιωτικές επιχειρήσεις και τη βιομηχανία γενικότερα. Οι **Christensen & Payne, 1992** και **Christensen & Heise, 1993** ασχολούνται με την αξιοπιστία και τη σταθερότητα του CPI και καταλήγουν στο πρώιμο συμπέρασμα ότι ο CPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της πορείας ενός έργου μιας και είναι σταθερός από το 20% της ολοκλήρωσης ενός έργου (με εύρος διακύμανσης $< 0,2$). Οι **Christensen et al., 1995** εξάλλου, κάνουν μια διεξοδική ανασκόπηση των έως τότε μεθόδων που έχουν προταθεί για τον υπολογισμό του EAC και παραδεχόμενοι την επικυδυνότητα που ενέχουν οποιεσδήποτε γενικεύσεις, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι καμία μέθοδος δεν είναι σωστή για όλα τα έργα και ότι ο SPI είναι αρκετά αξιόπιστος στην αρχική φάση ενός έργου, οπότε και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια, ενώ αργότερα χάνει την προβλεπτική του ικανότητα εξαιτίας του γεγονότος ότι με την ολοκλήρωση του έργου αγγίζει τη μονάδα (όπως έχουμε δει $SPI=EV/PV$, και στο τέλος κάθε έργου $EV=PV$ οπότε και $SPI=1$, άσχετα με το αν το έργο ολοκληρώθηκε σύμφωνα με το χρονοπρόγραμμα ή όχι).

Οι **Zwikael et al. (2000)**, επιχείρησαν από πολύ νωρίς να αξιολογήσουν την αξιοπιστία της EVM ως προς τον υπολογισμό του τελικού κόστους ενός έργου. Το συμπέρασμά τους ήταν ότι τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα δίδονται όταν γίνεται η υπόθεση ότι οι οικονομικές αποκλίσεις θα συνεχιστούν με τον ίδιο ρυθμό και η ακρίβεια των υπολογισμών βελτιώνεται όταν το έργο έχει περάσει το 60% της ολοκλήρωσής του. Εξάλλου, όπως φάνηκε πολύ γρήγορα, ο CPI δεν μεταβάλεται πολύ σε ένα έργο ($\pm 0,10$) από την τιμή

που έχει στο 20% της ολοκλήρωσης του έργου, οπότε και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς πρόβλεψης. (**Christensen & Templin, 2002**)

Το 2003 είναι μια σημαδιακή χρονιά για την EVM μιας και τότε δημοσιεύθηκε το άρθρο του Lipke που εισήγαγε την μέθοδο της Earned Schedule (**Lipke, 2003**). Στο άρθρο του ο Lipke, παρουσίασε με απλότητα και αμεσότητα το σκεπτικό και τη μέθοδό του η οποία ήρθε να καλύψει τα κενά των έως τότε μεθόδων. Η παρουσίαση της Earned Schedule, πυροδότησε μια πολυετή σειρά από μελέτες και αναλύσεις της EVM, καθώς και συγκρίσεις στις διάφορες προσεγγίσεις της, αλλά και την πρόταση διαφόρων παραλλαγών, ανάλογα με τα εργαλεία που είχαν οι εκάστοτε μελετητές, ή τις απαιτήσεις συγκεκριμένων κλάδων της βιομηχανίας όπως θα δούμε και παρακάτω. Οι **Alvarado et al. (2004)** εξάλλου, έδειξαν ότι η EVM είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης έργων διότι καταφέρνει και συνδέει τον σκοπό με το πρόγραμμα και τον προϋπολογισμό και διότι βοηθάει τους διαχειριστές να αναγνωρίσουν έγκαιρα πότε ένα έργο έχει προβλήματα και να κάνουν τις απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες

Πολύ σύντομα μετά την παρουσίαση της Earned Schedule από τον Lipke, το 2005, έχουμε την πρώτη συγκριτική ανάλυση των διαφόρων προβλεπτικών μεθόδων για τη διάρκεια ενός έργου χρησιμοποιώντας τις μετρικές της EVM (**Vandevorde & Vanhoucke, 2005**). Η έρευνα αρχικά συγκρίνει τους SV και SPI της κλασικής EVM με τους SV(t) και SPI(t) της Earned Schedule. Το βασικό συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή ενός έργου, οι διάφορες μέθοδοι της EVM, θα δώσουν παρόμοια αποτελέσματα στα αρχικά στάδια του έργου. Στην τελική φάση όμως του έργου, η Earned Schedule είναι αυτή που μπορεί να δώσει τα κατάλληλα ερεθίσματα στους διαχειριστές ώστε να προβούν σε περαιτέρω ανάλυση πιθανών προβλημάτων ως προς δραστηριότητες που δεν προχωρούν βάση του χρονοπρογράμματος, ιδίως αν αυτές είναι μέρος της κρίσιμης διαδρομής του έργου. Στην ίδια έρευνα παρουσίασαν για πρώτη φορά ένα γενικό μοντέλο πρόβλεψης βασισμένο στην ES ικανό να εφαρμοστεί σε ποικιλία έργων, ενώ οι ίδιοι περαιτέρω επιβεβαίωσαν το μοντέλο τους πραγματοποιώντας εκτενή προσωμείωση σε ένα σύνολο 3100 έργων, με 30 δραστηριότητες το καθένα, σε 9 διαφορετικά σενάρια (**Vanhoucke & Vandevorde, 2006**).

Όπως φαίνεται και παραπάνω, από το 2004 και μετά, ξεκινά η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας να εμπλουτίσει την EVM με εργαλεία και τυπολογίες ικανές να

δώσουν αποτελέσματα σε όλων των ειδών τα έργα. Ο **Cioffi, 2004**, χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη φόρμουλα της στατιστικής και εισάγει τις S-curves στην EVM. Ταυτόχρονα, το 2005 ο ίδιος επιχειρήσε να δώσει στην EVM μια νέα τυπολογία μέσα από έναν καθαρά επιστημονικό τρόπο, με σκοπό πάντα τη δυνατότητα ρεαλιστικών προβλέψεων για την πορεία του έργου (**Cioffi, 2005**).

Το 2006, ο Lipke, αποφασίζει με άρθρο του στο έγκριτο περιοδικό Measurable News να εισαγάγει τη στατιστική και τις μεθόδους της στην EVM. Σκοπός του είναι να παρακαμφθεί η έλλειψη δεδομένων για πειραματισμό πάνω στις προβλεπτικές μεθόδους της EVM κι έτσι αυτή να γίνει πιο αξιόπιστη και αποτελεσματική (**The Measurable News, Winter 2006**). Την έρευνά του πάνω στο αντικείμενο συνεχίζει και τα χρόνια που ακολουθούν με αποτέλεσμα να καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η συνεχής ανάλυση του χρονοπρογράμματος ενός έργου είναι ενεργοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία, σε αντίθεση με τη χρήση στατιστικών μεθόδων που μπορούν να δώσουν στην EVM ευκολία στην εφαρμογή και αξιοπιστία ως προς το αποτέλεσμα (**Lipke et al., 2008**). Τα στατιστικά αυτά εργαλεία δημοσιεύει στο International Journal of Project Management το 2008. Να σημειωθεί ότι η έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο διεξήχθη από τους πλέον διακεκριμένους επιστήμονες του κλάδο, Lipke, Zwikael, Henderson και Anbari, ενώ ο Lipke επανέρχεται στο αντικείμενο το 2010 αποδεικνύοντας για άλλη και φορά την αξιοπιστία της EVM και της ES ειδικότερα σε συνδιασμό πάντα με τη στατιστική, παροτρύνοντας ταυτόχρονα τους διαχειριστές έργων να χρησιμοποιήσουν τα στατιστικά εργαλεία που προσφέρει.

Ο Lipke, χωρίς να σταματήσει την έρευνα πάνω στις στατιστικές μεθόδους που πρότείνει, εξακολουθεί ταυτόχρονα να συγκρίνει τις διάφορες μεθόδους και φόρμουλες της EVM, σε σύγκριση πάντα με την ES, ως προς την ικανότητά τους να παρέχουν ακριβείς προβλέψεις για τη διάρκεια ενός έργου. Το 2008 καταλήγει στο αποτέλεσμα ότι η ES δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την πρόβλεψη της διάρκειας ενός έργου, από όλες τις άλλες μεθόδους της EVM, και μάλιστα σε οποιοδήποτε ποσοστό ολοκλήρωσης του έργου και αν κάνουμε την πρόβλεψη (**Lipke, 2008**).

Την ίδια χρονιά, εισαγάγει μια πολύ σημαντική παράμετρο, τη συμμόρφωση με το πρόγραμμα, Schedule Adherence, την οποία ονομάζει P-factor. Ο P-factor, συνδέει άμεσα το πρόγραμμα εκτέλεσης του έργου με τα δεδομένα της EVM. Είναι ένας δείκτης συμμόρφωσης με το χρονοπρόγραμμα όπως προαναφέρθηκε, καταδικνείει δηλαδή εάν οι δραστηριότητες

εκτελούνται σύμφωνα με το πλάνο ή όχι, κάτι το οποίο είναι σημαντικό διότι μη συμμόρφωση με το πλάνο, είναι ενδεικτική για πιθανά μελλοντικά προβλήματα, όπως καθυστερήσεις, ανάγκη για επανεκτέλεση εργασιών (rework) και άλλα (**Lipke, 2008**).

Το 2007, οι Vanhoucke και Vandevorde διεξάγουν μια εκτενή έρευνα ως προς τις μεθόδους πρόβλεψης των Planned Value, Earned Value και Earned Schedule. Το αρχικό τους συμπέρασμα είναι ότι οι μετρικές της ES έχουν καλύτερη απόδοση από αυτές των άλλων μεθόδων και ταυτόχρονα είναι πιο αξιόπιστες σε όλα τα στάδια ολοκλήρωσης ενός έργου (**Vanhoucke & Vandevorde, 2007**). Αποδεικνύεται επίσης ότι κάτω από κανονικές συνθήκες, δηλαδή σε συνθήκες όπου ο SPI(t) προκύπτει από σωστά στοιχεία και είναι αξιόπιστος, η ES μας δίνει επίσης πολύ αξιόπιστες προβλέψεις, ενώ όταν κάποιο δεδομένο δεν είναι σωστό ή είναι αναξιόπιστο, η μέθοδος αδυνατεί να δώσει σωστές προβλέψεις (**Vanhoucke & Vandevorde, 2008**). Εξίσου σημαντική με την αξιοπιστία των δεδομένων φαίνεται να είναι η τοπολογική δομή ενός έργου. Όσο πιο σειριακή είναι αυτή, τόσο περισσότερες είναι οι κρίσιμες δραστηριότητες του έργου και τόσο πιο ακριβείς οι προβλέψεις της ES, ενώ σε έργα με πιο παράλληλες δομές και λιγότερες κρίσιμες δραστηριότητες δεν μπορούμε να έχουμε τόσο ακριβείς προβλέψεις. Και πάλι όμως η ES είναι ανώτερη στις προβλέψεις της από τις υπόλοιπες μεθόδους (**Vanhoucke & Vandevorde, 2009**).

Από το 2009 και μετά, αρχίζουν να εμφανίζονται για πρώτη φορά, καινούριοι τρόποι εφαρμογής της EVM, ή ακόμη και νέες προτάσεις ως προς τα μεθοδολογικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι διαχειριστές έργων, προκειμένου να επιτύχουν υψηλή ακρίβεια ως προς την πρόβλεψη κόστους και διάρκειας των έργων τους. Το 2009, ο Rujiranyong χρησιμοποιεί ένα νευρωνικό δίκτυο προκειμένου να προβλέψει τη διάρκεια και το κόστος ενός έργου και στη συνέχεια συγκρίνει τα αποτελέσματά του με αυτά της EVM για να καταλήξει ότι το νευρωνικό δίκτυο μπορεί να επιτύχει πολύ υψηλή ακρίβεια, εντούτις η ES δίνει τα πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους της EVM (**Rujiranyong, 2009**). Οι Zarei-Kesheh και Vanhoucke, τροποποιούνε ελαφρώς τον τρόπο υπολογισμού των μετρικών της ES και προτείνουν το 2009 την Integrated Earned Schedule, η οποία είναι ικανή να επιτύχει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια (**Zarei-Kesheh & Vanhoucke, 2009**). Η Naeni προτείνει ένα fuzzy μοντέλο υπολογισμού της EV για ένα έργο με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας κατά την εφαρμογή της EVM (**Naeni et al., 2010**), (**Naeni &**

Salehipour, 2010). Ο Tseng προτείνει έναν νέο δείκτη, το Critical Ratio in time (CR(t)) με τον οποίο υπολογίζει τη συνολική απόδοση ενός έργου, ενώ για να αξιολογήσει τα αποτελέσματά του χρησιμοποιεί την κατανομή Weibull (**Tseng, 2010**). Με όμοιο τρόπο, οι Pajares και Paredes προτείνουν τους Cost Control Index και Schedule Control Index, δυο δείκτες που συνδιάζουν την EVM με την διαχείριση ρίσκου κάτω από συγκεκριμένο confidence level ως προς τις στατιστικά μέγιστες τιές που μπορούν να πάρουν το κόστος και η διάρκεια ενός έργου (**Pajares & Paredes, 2010**)

Ο Lipke συνεχίζει αδιάλειπτα τα επόμενα έτη την αξιολόγηση και τη βελτίωση της ES. Το 2009 επαναξιολογεί την ακρίβεια της πρόβλεψης όλων των μεθόδων της EVM σε αντιδιαστολή πάντα με την ES (**Lipke, 2009**). Το 2011 ερευνά κατά πόσο ο CPI και ο SPI(t) καθώς και οι λογάριθμοί τους ακολουθούν κανονική κατανομή (**Lipke, 2011a**), έρευνα που είχε ξεκινήσει ο ίδιος από το 2002, με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων της EVM. Την ίδια χρονιά, ερευνά την επίδραση που έχουν οι περίοδοι μη δραστηριότητας (down time) ή παύσης εργασίας (stop work) στα μικρά έργα και προτείνει έναν τροποποιημένο τρόπο εφαρμογής της ES ώστε να επιτυγχάνεται η ίδια ακρίβεια ακρίβεια με τα μεγάλα έργα που δεν επηρεάζονται σημαντικά (**Lipke, 2011b**). Το 2014 και 2015, ασχολείται με την αξιοπιστία των προβλέψεων της ES, ορμόμενος και βασιζόμενος στην αντίστοιχη έρευνα των τελευταίων ετών από τους Vanhoucke και Vandevoorde, και διαπιστώνει ότι η ES είναι δυνητικά πιο αξιόπιστη ως προς τις προβλέψεις της από όσο δείχνουν οι έρευνες, ειδικά όταν ακολουθείται η μακρύτερη διαδρομή στην εκτέλεση ενός έργου και μάλιστα αυξάνεται, όσο το έργο προχωράει προς την ολοκλήρωσή του, χρησιμοποιώντας στοιχεία τόσο υποθετικά όσο και από πραγματικά έργα (**Lipke, 2014a, 2014b, 2015**). Πιο πρόσφατα, μόλις το 2017, τροποποιεί τους τύπους της EVM ώστε να παρακολουθούν την ολοκλήρωση των οροσήμων ενός έργου αντί όλων των δραστηριοτήτων αυτού, με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση οροσήμων (milestone management) των έργων (**Lipke, 2017**).

Παράλληλα, πλήθος ερευνητών, εξακολουθούν να προτείνουν νέα μεθοδολογικά εργαλεία προς χρήση από τους διαχειριστές έργων. Οι **Acebes et al., 2012**, προτείνουν ένα νέο γραφικό πλαίσιο (graphical framework) με το οποίο οι διαχειριστές έργων μπορούν να ασκήσουν καλύτερο έλεγχο και να κάνουν πιο έγκαιρες διορθωτικές κινήσεις με βάση τις προβλέψεις της EVM. Ο **Elshaer, 2012** εξετάζει την αξιοπιστία της ES σε ανώτερο Work Breakdown Structure ενώ ταυτόχρονα μελετά την επίδραση που έχουν οι πληροφορίες

ευαισθησίας των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων στην ακρίβεια των προβλέψεων. Οι **Aliverdi et al., 2012** χρησιμοποιούν γραφήματα που δανείζονται από τον στατιστικό έλεγχο ποιότητας και βρίσκουν ότι αυτά είναι ικανά να εντοπίσουν ακόμη και τις μικρότερες αποκλίσεις ενός έργου από το χρονοπρόγραμμα και τον προϋπολογισμό κάτι που δεν είναι εφικτό με τις κλασικές φόρμουλες της EVM. Οι **Narbaev & De Marco, 2013** χρησιμοποιούν το μοντέλο ανάπτυξης Gompertz και την καμπύλη (S-curve) αυτού για να βελτιώσουν τις προβλέψεις της EVM σε έργα με μικρή διάρκεια και/ή μικρό προϋπολογισμό. Για τον ίδιο λόγο, οι **Caron et al., 2013** χρησιμοποιούν την Μπεϋζιανή κατανομή (Bayesian model) και επιχειρούν να βελτιστοποιήσουν τόσο την εκτίμηση του τελικού κόστους ενός έργου, όσο και τη συνολική διάρκεια αυτού, ενώ οι **Kim & Kim, 2014**, αντλώντας δεδομένα από την EVM, χρησιμοποιούν το φίλτρο Kalman και επιτυγχάνουν προειδοποιητικά σημάδια για διορθωτικές ενέργειες από τα πρώτα ακόμα στάδια υλοποίησης ενός έργου.

Την ίδια περίοδο, οι Kuhl και Graciano χρησιμοποιούν, μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης, στοχαστικούς χρόνους και κόστη για τις δραστηριότητες των έργων. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να εκτιμήσουν την PV για όλη τη διάρκεια του έργου κι έτσι κατά την εκτέλεση του έργου και με τη χρήση της EVM να μπορούν να αξιολογούν την πορεία του έργου (**Kuhl & Graciano, 2014**). Επίσης στοχαστικό μοντέλο και εκτενή προσωμείωση χρησιμοποιούν οι **Acebes et al., 2015**, με σκοπό να αντλήσουν πληροφορίες για την συμπεριφορά του έργου κατά την εκτέλεσή του κι έτσι να μπορούν να γίνουν αξιόπιστες εκτιμήσεις για τη διάρκεια και το κόστος αυτού. Οι **Dodson et al., 2015**, προσπαθούν για πρώτη φορά να εισαγάγουν την έννοια της ποιότητας ως τρίτο παράγοντα (μαζί με την διάρκεια και το κόστος) στην EVM και προτείνουν ένα νέο μοντέλο εφαρμογής της EVM. Επίσης EVM τριών παραγόντων προτείνουν οι Chang και Yu το 2018 και μαζί με τη διάρκεια (time) και το κόστος (cost) εισαγάγουν για πρώτη φορά την έννοια της εργασίας (work) και με βάση το work rate του έργου εισηγούνται το Work Variance και το Work Performance Index ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί η πορεία του έργου ως προς τη φυσική εξέλιξη των εργασιών (**Chang & Yu, 2018**).

Ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δώσει στη μελέτη της EVM στο σύνολό της τα τελευταία χρόνια ο Mario Vanhoucke PhD. Ξεκινώντας πριν από το 2000, παρουσιάζει μια σειρά από δημοσιεύσεις σχετικά με τον δυναμικό χρονοπρογραμματισμό (dynamic scheduling), τους περιορισμένους πόρους στη σχεδίαση έργων (resource-constrained project scheduling), ενώ

το 2006 και 2007, σε συνεργασία με τον S. Vandevoorde, παρουσιάζει την πρώτη εκτενή σύγκριση των διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης της διάρκειας ενός έργου χρησιμοποιώντας την EVM (**Vandevoorde & Vanhoucke, 2006**), καθώς και την πρώτη εκτενή προσομείωση και αξιολόγηση των μετρικών της EVM για την πρόβλεψη της διάρκειας ενός έργου (**Vanhoucke & Vandevoorde, 2007**), έρευνες στις οποίες αναφερθήκαμε και νωρίτερα. Το 2010, αξιολογεί την ευαισθησία των δραστηριοτήτων και την τοπολογία του δικτύου ενός έργου με σκοπό να αξιολογήσει την απόδοση αυτού ως προς τον χρόνο εκτέλεσης και καταλήγει ότι και οι δυο παράγοντες είναι πολύ σημαντικοί σε κατώτερο επίπεδο WBS για δίκτυα που έχουν παράλληλη δομή (αντί για σειριακή) (**Vanhoucke, 2010**). Συνεχίζοντας την έρευνά του πάνω στο αντικείμενο, το 2012 επαναξιολογεί την αποτελεσματικότητα των μεθόδων ελέγχου ενός έργου χρησιμοποιώντας πραγματικά και φανταστικά (τεχνητά) δεδομένα και δίνει σαφείς οδηγίες προς τους διαχειριστές έργων για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τα διάφορα εργαλεία του project control και της EVM (**Vanhoucke, 2012**).

Τέλος, το 2015, σε μια σειρά από συνεργασίες με φοιτητές του πανεπιστημίου του Ghent (επιπέδου M.Sc. & Ph.D.) , αξιολογεί την σταθερότητα των μεθόδων πρόβλεψης της EVM (**Wauters & Vanhoucke, 2015**), συγκρίνει διάφορες μεθόδους ελέγχου των έργων χρησιμοποιώντας την EVM (**Colin & Vanhoucke, 2015**), αξιολογεί τις πλέον σύγχρονες ντετερμινιστικές μεθόδους πρόβλεψης της EVM (**Batselier & Vanhoucke, 2015a**) και κάνει μια εμπειρική αξιολόγηση της ακρίβειας της EVM ως προς την πρόβλεψη της διάρκειας και του κόστους ενός έργου (**Batselier & Vanhoucke, 2015b**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία και εργαλεία για την εκτέλεση της έρευνας. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, όπως έχει προαναφερθεί, είναι η προσομείωση με την τεχνική Monte Carlo, ώστε να παραχθούν στοιχεία αβεβαιότητας ως προς τη διάρκεια και το κόστος των δραστηριοτήτων ενός έργου. Ο τρόπος αυτός προσομείωσης, απαιτεί αρκετές παραδοχές, που θα τις εξετάσουμε παρακάτω, με αποτέλεσμα να θεωρείται ότι δεν έχει μεγάλη ακρίβεια. Εντούτις όμως, μόνο μέσα από ένα αυστηρά ελεγχόμενο περιβάλλον μπορούν να εξαχθούν ερευνητικά συμπεράσματα, τα οποία στη συνέχεια να μπορούν να δοκιμαστούν σε ένα πιο ρεαλιστικό περιβάλλον και τελικά σε συνθήκες πραγματικές, με πλήρη ρεαλισμό και στοιχεία από πραγματικά έργα.

3.2 MONTE CARLO

Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια αριθμητική μέθοδος για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων μέσω προσομείωσης τυχαίων αριθμών. Χρησιμοποιείται στην προσομείωση (simulation) και την ολοκλήρωση (integration). Η έκφραση μέθοδος Monte Carlo είναι πολύ γενική και περιλαμβάνει κυρίως στοχαστικές διαδικασίες, εκείνες δηλαδή που βασίζονται στην χρήση των τυχαίων αριθμών και της στατιστικής για την λύση προβλημάτων. Μιλώντας γενικά, κάθε πείραμα στο οποίο χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί για την εξέταση του προβλήματος, μπορεί να χαρακτηριστεί ως πείραμα Monte Carlo.

Μέθοδοι Monte Carlo εφαρμόζονται σε πάρα πολλούς επιστημονικούς τομείς, από την οικονομία, έως την πυρηνική φυσική και την χημεία και ακόμη ως τη ρύθμιση της κυκλοφορίας. Η μέθοδος "γεννήθηκε" το 1949, σε ένα άρθρο των N. Metropolis & S. Ulam με τίτλο "Η μέθοδος Monte Carlo" στο Journal of the American Statistics Association. Παρόλα αυτά η θεωρητική βάση της μεθόδου ήταν γνωστή πριν από το 1949, αφού αρκετά προβλήματα στατιστικής λύνονταν μέσω τυχαίας δειγματοληψίας, που είναι στην ουσία η μέθοδος Monte Carlo. Λόγω του γεγονότος ότι η προσομείωση τυχαίων μεταβλητών είναι μια δύσκολη διαδικασία για να γίνει χειρωνακτικά, η γενική χρήση της μεθόδου έγινε πρακτική

μόνο με την εμφάνιση και εξέλιξη των υπολογιστών. Η μέθοδος δανείστηκε το όνομα της, από το Πριγκηπάτο του Monaco, που είναι γνωστό για τα καζίνο του, γιατί μια από τις απλούστερες συσκευές παραγωγής τυχαίων αριθμών είναι η ρουλέτα.

Η χρήση των μεθόδων Monte Carlo στη μοντελοποίηση φυσικών προβλημάτων μας επιτρέπει να εξετάσουμε πολύπλοκα συστήματα που αλλιώς θα ήταν από δύσκολο έως αδύνατο. Η επίλυση εξισώσεων για παράδειγμα που περιγράφουν την αλληλεπίδραση δύο ατόμων είναι σχετικά εύκολη. Η λύση όμως των ίδιων εξισώσεων για εκατοντάδες ή χιλιάδες άτομα είναι αδύνατη. Με τις μεθόδους Monte Carlo, ένα μεγάλο σύστημα μπορεί να δειγματιστεί σε έναν αριθμό τυχαίων ρυθμίσεων, και αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουμε το σύστημα σαν σύνολο.

Η χρήση μοντέλων στις φυσικές, ανθρωπιστικές και μηχανικές επιστήμες, γίνεται με σκοπό να περιγραφούν οι αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε ένα σύστημα, με μαθηματικό τρόπο. Τα μοντέλα αυτά εξαρτώνται από έναν αριθμό παραμέτρων εισόδου, οι οποίες επεξεργάζονται από τις φόρμουλες του μοντέλου και μας δίνουν ένα ή περισσότερα αποτελέσματα εξόδου. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούμε κατά την εφαρμογή μιας μεθόδου Monte Carlo.

Κάθε προσομείωση Monte Carlo ξεκινάει με την ανάπτυξη ενός ντετερμινιστικού μοντέλου που να περιγράφει όσο το δυνατόν καλύτερα το πραγματικό σύστημα που θέλουμε να προσομειώσουμε. Στο μοντέλο αυτό, χρησιμοποιούμε κάποιες χαρακτηριστικές τιμές ως τιμές εισόδου. εφαρμόζουμε τις φόρμουλες του μοντέλου και λαμβάνουμε κάποια αποτελέσματα. Το πρώτο αυτό στάδιο ονομάζεται Static Model Generation.

Στη συνέχεια, προσπαθούμε να αναγνωρίσουμε μια στατιστική κατανομή, η οποία να περιγράφει τα δεδομένα που θέλουμε να εισάγουμε στο μοντέλο όσο το δυνατόν καλύτερα, ώστε να τη χρησιμοποιήσουμε ως πηγή για τα δεδομένα εισόδου. Για το στάδιο αυτό, που ονομάζεται Input Distribution Identification, χρησιμοποιούμε τόσο την εμπειρία των ειδικών πάνω στο αντικείμενο που προσομειώνουμε, όσο και ιστορικά δεδομένα, αλλά και συγκεκριμένες μαθηματικές διαδικασίες που μας βοηθάνε να αναγνωρίσουμε εάν μια παράμετρος ακολουθεί μια συγκεκριμένη στατιστική κατανομή ή όχι.

Αφού αναγνωρίσουμε την κατανομή των παραμέτρων εισόδου, παράγουμε ένα σύνολο τυχαίων αριθμών που να προέρχονται από την κατανομή. Η διαδικασία ονομάζεται Random Variable Generation. Οι τυχαίοι αριθμοί που δημιουργήθηκαν, χρησιμοποιούνται στο

μοντέλο, με σκοπό να μας δώσουν ένα σύνολο αποτελεσμάτων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όσες φορές επιθυμούμε, ώστε να έχουμε ένα μεγάλο σύνολο πιθανών αποτελεσμάτων προερχόμενων από το μοντέλο που δημιουργήσαμε.

Το τελικό στάδιο της προσωμείωσης, είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα αποτελέσματα της προσωμείωσης, μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας μεθόδους της στατιστικής. Μπορούμε για παράδειγμα, για κάθε παράμετρο που προσωμειώνουμε, να εξάγουμε συμπεράσματα για την πιθανή μέση τιμή της, τη διακύμανσή της, την πιθανή κατανομή που μπορεί να ακολουθεί, και ακόμη να παράγουμε γραφήματα που να οπτικοποιούν τα αποτελέσματά μας ή να βοηθούν στη διαδικασία λήψης απόφασης όταν υπάρχει απαίτηση.

3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΡΓΩΝ

Κεντρική και πρωτορχικής σημασίας θέση κατέχει σε κάθε πείραμα προσωμείωσης, η παραγωγή των αρχικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στο πείραμα. Στην περίπτωση της διαχείρισης έργων, το βασικό δεδομένο από το οποίο εκκινούν όλες οι δοκιμές προσωμείωσης, είναι τα ίδια τα δίκτυα των έργων (project networks) ή αλλιώς δίκτυα δραστηριοτήτων έργων, οι τοπολογικές δομές δηλαδή που περιλαμβάνουν το σύνολο των δραστηριοτήτων, τη διάρκεια αυτών καθώς και τις σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ τους, με τις οποίες η σχεδιαστική ομάδα του έργου έχει αποφασίσει να εκτελεστεί το έργο.

Μια πολύ γενική κατηγοριοποίηση των project networks που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς, είναι αυτή που τα διακρίνει σε πραγματικά και σε τεχνητά. Τα πραγματικά, όπως είναι προφανές, προέρχονται από αληθινά έργα, τα οποία είτε έχουν ολοκληρωθεί, είτε βρίσκονται στη φάση ολοκλήρωσης. Το πλεονέκτημα των πραγματικών project networks, είναι ότι διαθέτουν πραγματικές τοπολογικές δομές, που αντανακλούν τις πραγματικά απαιτούμενες εργασίες για να ολοκληρωθεί το έργο, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε μελέτη πάνω σε αυτά να είναι ρεαλιστική και να έχει άμεση συνάφεια με τις πραγματικές καταστάσεις. Το μειονέκτημα από την άλλη είναι ότι τα πραγματικά έργα, προέρχονται από συγκεκριμένους κλάδους της βιομηχανίας και είναι λίγα στον αριθμό με αποτέλεσμα οι οποιεσδήποτε δοκιμές ή πειράματα να μην μπορούν να εξάγουν

συμπεράσματα που να έχουν καθολικό χαρακτήρα για όλων των ειδών τα έργα, ανεξαρτήτου μεγέθους ή κλάδου της βιομηχανίας.

Η λύση που βρέθηκε για το παραπάνω εμπόδιο είναι η κατασκευή τεχνητών project networks. Τα τεχνητά δίκτυα, έχουν τα ακριβώς αντίστροφα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τα αληθινά. Με λίγα λόγια, τα τεχνητά δίκτυα, μπορούν να είναι πάρα πολλά στον αριθμό και να προσωμειώνουν κάθε είδους έργα ως προς την τοπολογική δομή τους. Ταυτόχρονα όμως, τα τεχνητά δίκτυα, όσο σύγχρονα ή πολύπλοκα εργαλεία και αν χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή τους, δεν παύουν να είναι ένα τεχνητά κατασκευασμένο προϊόν, που δεν μπορεί να ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε δοκιμή γίνει με αυτά, να πρέπει στη συνέχεια να επαληθευτεί χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας project data από έργα ανάλογα με το ενδιαφέρον και την κατεύθυνση του εκάστοτε ερευνητή.

Η παραγωγή τεχνητών project networks είναι μια διαδικασία που προφανώς δεν μπορεί να γίνει χειρωνακτικά. Για το λόγο αυτό, ιστορικά έχουν δημιουργηθεί πολλά εργαλεία, αποκαλούμενα και project generators, τα οποία είναι σε θέση να παράγουν μεγάλο αριθμό δικτύων, κάτω από λιγότερο ή περισσότερο ελεγχόμενη τοπολογική δομή με βάση κάποια κριτήρια που θα εξετάσουμε αργότερα παρακάτω. Εν συντομία μπορούμε να αναφέρουμε ότι η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας network generator έγινε από τους **Demeulemeester et al. (1993)**. Έκτοτε, δημιουργήθηκαν ο ProGen από τους **Kolisch et al. (1995)**, ο ProGen/Max από τον **Schwingt (1995)**, ο DAGEN από τους **Agrawal et al. (1996)**, ο RiskNet από τον **Tavares (1999)**, ο ProGen/πχ από τους **Drexl et al. (2000)** και ο RanGen από τους **Demeulemeester et al. (2003)**. Η τελευταία, πιο ολοκληρωμένη και πιο διαδεδομένη πλέον προσπάθεια δημιουργίας project generator ανήκει στους **Vanhoucke et al. (2008)**, που εξέλιξαν τον RanGen δημιουργώντας τον RanGen2.

Ο κύριος ρυθμιστικός παράγοντας για τα παραγόμενα δίκτυα από τους network generators είναι η τοπολογική δομή αυτών. Η δομή αυτή, μετά από χρόνια εξελίξεων και βελτιώσεων, έχει οδηγηθεί να χαρακτηρίζεται από μια σειρά δεικτών, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω:

A. Δείκτης “Serial or Paralel” (SP)

Ο πρώτος δείκτης, για τον οποίο ισχύει $SP \in [0,1]$, μετράει πόσο κοντά είναι ένα δίκτυο να είναι σειριακό ή παράλληλο ως προς τη δομή του. Όταν $SP=0$, όλες οι

δραστηριότητες είναι παράλληλες, ενώ όταν $SP=1$, όλες οι δραστηριότητες είναι στη σειρά. Ανάμεσα σε αυτές τις δυο τιμές, μπορούν να παραχθούν δίκτυα κάθε δομής. Επιπρόσθετα, ο δείκτης SP , μπορεί να μας καταδείξει τα παράλληλα επίπεδα του έργου και κατα συνέπεια τη μακρύτερη αλυσίδα δραστηριοτήτων στο έργο (**Vanhoucke, 2009**).

B . Δείκτης “Activity distribution” (AD)

Ο δεύτερος δείκτης, για τον οποίο επίσης ισχύει $AD \in [0,1]$, μετράει την κατανομή των δραστηριοτήτων στα διάφορα επίπεδα του δικτύου. Ως εκ τούτου, λαμβάνει υπόψη του το πλάτος κάθε διαδοχικού επιπέδου. Όταν $AD=0$, όλα τα επίπεδα περιλαμβάνουν τον ίδιο αριθμό δραστηριοτήτων και έτσι οι δραστηριότητες είναι ομοιόμορφα κατανομημένες. Όταν $AD=1$, υπάρχει ένα επίπεδο που έχει τον μέγιστο δυνατό αριθμό δραστηριοτήτων και όλα τα άλλα επίπεδα έχουν μόνο μια δραστηριότητα, οπότε η κατανομή είναι παντελώς ανομοιομορφη (**Vanhoucke, 2009**).

Γ. Δείκτης “Length of arcs” (LA)

Ο τρίτος δείκτης, για τον οποίο επίσης ισχύει $LA \in [0,1]$, μετράει το μήκος των σχέσεων αλληλουχίας (arcs), οριζόμενο ως τη διαφορά ανάμεσα στο επίπεδο που βρίσκεται η δραστηριότητα που ακολουθεί και το επίπεδο που βρίσκεται η δραστηριότητα που προηγείται. Όταν $LA=0$, τότε μια δραστηριότητα έχει σχέσεις αλληλουχίας που εκτείνονται σε πολλά επίπεδα και έτσι μπορεί κατά την εκτέλεση του έργου να μετακινηθεί χρονικά. Το αντίστροφο ισχύει όταν $LA=1$, οπότε η δραστηριότητα δεν έχει κανένα περιθώριο να μετακινηθεί κατά την εκτέλεσή της (**Vanhoucke, 2009**).

Δ . Δείκτης “Topological float” (TF)

Ο τέταρτος και τελευταίος δείκτης, για τον οποίο φυσικά ισχύει $TF \in [0,1]$, μετράει το πόσα επίπεδα μπορεί να μετακινηθεί μια δραστηριότητα χωρίς να παραβιάζεται ο μέγιστος αριθμός επιπέδων που ορίζει ο δείκτης SP . Όταν $TF=0$, τότε το δίκτυο είναι πολύ πυκνά κατασκευασμένο και η δραστηριότητα δεν μπορεί να αλλάξει κανένα επίπεδο. Αντίθετα, όταν $TF=1$, τότε το δίκτυο έχει μια αλυσίδα δραστηριοτήτων χωρίς δυνατότητα topological float, και όλες οι άλλες δραστηριότητες έχουν μέγιστη δυνατότητα να αλλάζουν επίπεδο στα όρια που ορίζει ο SP (**Vanhoucke, 2009**).

Οι τέσσερις παραπάνω δείκτες, υπολογίζονται με συγκεκριμένες φόρμουλες που χρησιμοποιούν τα δεδομένα των δικτύων, όταν αυτά προέρχονται από πραγματικά έργα. Στην περίπτωση όμως των τεχνητών δικτύων η διαδικασία αντιστρέφεται και είναι οι δείκτες αυτοί

που προσδιορίζουν τα δίκτυα. Αυτός ακριβώς είναι και ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα παραγωγής δικτύων RanGen2.

3.4 PROJECT DATA

Στα πλαίσια της εκτεταμένης εργασίας προσωμείωσης που διενήργησε ο M. Vanhoucke με τους συνεργάτες του το 2007, παρήγαγε χρησιμοποιώντας τον network generator RanGen2 μια σειρά από δίκτυα που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες τοπολογικές δομές. Ταυτόχρονα, ο ίδιος, σε συνεργασία με μια ομάδα ερευνητών, αξιολόγησε τα δίκτυα που παρήγαγαν οι πιο διαδεδομένοι network generators της προηγούμενης δεκαετίας σε αντιδιαστολή με τον πρωτοεμφανιζόμενο RanGen2, αποδεικνύοντας την αξιοπιστία των παραγόμενων δικτύων (**Vanhoucke, 2007**). Το αποτέλεσμα της όλης προσπάθειας, πέρα από τα ερευνητικά ερωτήματα των αναλυτών, ήταν η παραγωγή μιας σειράς δικτύων, τα οποία είναι διαθέσιμα στο ερευνητικό κοινό με σκοπό τη χρήση τους για τη διενέργεια προσωμείωσης, πειραμάτων αξιολόγησης αξιοπιστίας, μελέτης νέων προτάσεων στον χώρο του Schedule Risk Analysis και Project Control και άλλα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τα 4 datasets (στοιχεία τεχνητών δικτύων με αυστηρά ελεγχόμενη τοπολογική δομή βάσει των δεικτών που προαναφέρθηκαν) που παρήχθησαν από την παραπάνω διαδικασία, χρησιμοποιώντας τον network generator RanGen2, χωρίς στοιχεία πόρων, και με βάση τα παρακάτω δεδομένα τοπολογικής δομής:

Set 1: Με βάση τον δείκτη SP.

Για την παραγωγή των δικτύων χρησιμοποιήθηκαν τιμές:

$$SP=(0,1)(0,2)(0,3)(0,4)(0,5)(0,6)(0,7)(0,8)(0,9)$$

και AD, LA και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Στο dataset αυτό χρησιμοποιήθηκαν 100 τιμές των τριών δεικτών για κάθε μια τιμή του SP.

Το αποτέλεσμα είναι **900** διαφορετικά δίκτυα με βάση τον δείκτη SP.

Set 2: Με βάση τον δείκτη AD.

Δια τον δείκτη αυτό δημιουργήθηκαν δυο υποδίκτυα με τιμές:

$$\text{Set 2.1 } AD=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,2$$

και LA και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

$$\text{Set 2.2 } AD=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,5$$

και LA και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Στο dataset αυτό χρησιμοποιήθηκαν 100 τιμές των δυο δεικτών για κάθε συνδιασμό των AD και SP. Το αποτέλεσμα είναι **800** διαφορετικά δίκτυα με βάση τον δείκτη AD.

Set 3: Με βάση τον δείκτη LA.

Δια τον δείκτη αυτό δημιουργήθηκαν τρία υποδίκτυα με τιμές:

Set 3.1 LA=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,2

και AD και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Set 3.2 LA=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,5

και AD και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Set 3.3 LA=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,8

και AD και TF τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Στο dataset αυτό χρησιμοποιήθηκαν 100 τιμές των δυο δεικτών για κάθε συνδιασμό των LA και SP. Το αποτέλεσμα είναι **1200** διαφορετικά δίκτυα με βάση τον δείκτη LA.

Set 4: Με βάση τον δείκτη TF.

Δια τον δείκτη αυτό δημιουργήθηκαν τρία υποδίκτυα με τιμές:

Set 4.1 TF=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,2

και AD και LA τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Set 4.2 TF=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,5

και AD και LA τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Set 4.3 TF=(0,2)(0,4)(0,6)(0,8), SP=0,8

και AD και LA τυχαίες τιμές από το σύνολο [0,1]

Στο dataset αυτό χρησιμοποιήθηκαν 100 τιμές των δυο δεικτών για κάθε συνδιασμό των TF και SP. Το αποτέλεσμα είναι **1200** διαφορετικά δίκτυα με βάση τον δείκτη TF.

Βλέπουμε λοιπόν ότι το συγκεκριμένο dataset περιέχει **4100** διαφορετικά δίκτυα, που παρήχθησαν από τον RanGen2 κατω από συγκεκριμένη τοπολογική δομή, έτσι ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποικιλία δικτύων. Να σημειωθεί ότι όλα τα παραπάνω δίκτυα περιέχουν 30 μη ψευδείς δραστηριότητες.

3.5 ΕΡΓΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ PATTERSON

Τα παραπάνω δίκτυα, όπως προαναφέρθηκε, είναι διαθέσιμα προς χρήση από την επιστημονική κοινότητα. Το σκεπτικό γύρω από τη δημιουργία τους είναι να υπάρχει μια βάση τεχνητών έργων, πάνω στην οποία να μπορούν να εκτελούνται έρευνες προσωμιώσεων αλλά και να δοκιμάζονται νέες θεωρίες και προτάσεις από τους ερευνητές.

Προαπαιτούμενο για να συμβούν όλα αυτά είναι τα δίκτυα των έργων να είναι καταγεγραμμένα σε μορφή τέτοια ώστε να μπορεί ο καθένας να τα αναγνώσει, να τα επεξεργαστεί και τελικά να τα χρησιμοποιήσει κατά βούληση και σύμφωνα με τις ερευνητικές του απαιτήσεις. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε τα δίκτυα να καταγραφούν σε μορφή Patterson.

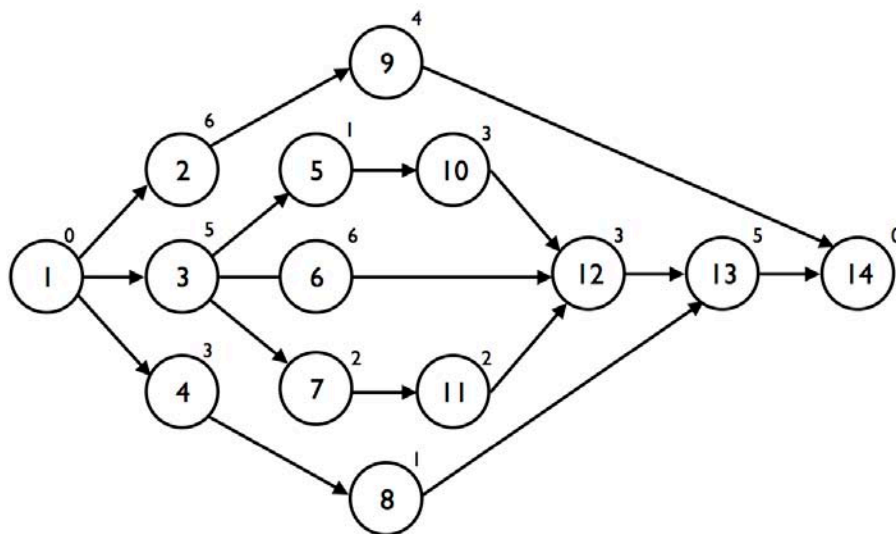
Το φορμά Patterson, είναι ένα απλό αρχείο κειμένου, το οποίο περιέχει όλες τις δραστηριότητες του έργου, τις σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ τους, τις διάρκειες τους καθώς και πληροφορίες για τις απαιτήσεις σε πόρους κάθε δραστηριότητας. Κάθε έργο σε μορφή Patterson έχει την παρακάτω μορφή:

14	4								
10	20	8	10						
0	0	0	0	0	1	2	3	4	
6	7	15	2	6	1	9			
5	1	8	4	8	3	5	6	7	
3	5	8	3	3	1	8			
1	6	15	2	6	1	10			
3	1	13	0	3	1	12			
2	2	16	2	0	1	11			
1	2	9	4	4	1	13			
4	8	12	5	5	1	14			
3	6	17	5	0	1	12			
1	2	10	2	5	1	12			
3	6	5	5	4	1	13			
5	8	10	3	7	1	14			
0	0	0	0	0	0				

Στην πρώτη σειρά αναγράφεται ο αριθμός δραστηριοτήτων του έργου, συμπεριλαμβανομένων των εικονικών δραστηριοτήτων έναρξης και ολοκλήρωσης του έργου. Επίσης αναγράφεται ο αριθμός των διαφορετικών πόρων που απαιτούνται για την εκτέλεση του έργου (στο παράδειγμα 14 δραστηριότητες και 4 διαφορετικοί πόροι). Στην δεύτερη

σειρά αναγράφεται η ποσότητα των (ανανεώσιμων) πόρων που έχουμε στη διάθεσή μας (10, 20, 8 και 10). Στις επόμενες σειρές αναγράφεται σε μια σειρά για κάθε δραστηριότητα, η διάρκεια της δραστηριότητας, οι απαιτήσεις της σε πόρους, ο αριθμός των δραστηριοτήτων που είναι άμεσοι ακόλουθοί της και η ταυτότητα των δραστηριοτήτων αυτών.

Βλέπουμε λοιπόν, ότι με μια απλή ανάγνωση του δικτύου σε μορμά Patterson, μπορούμε να κατασκευάσουμε με ευκολία το AON (Activity-On-the-Node) δίκτυο του έργου, το οποίο στο παράδειγμά μας θα είναι το παρακάτω:



Να σημειωθεί ότι στο Patterson format δεν περιλαμβάνονται πληροφορίες κόστους, τις οποίες θα δούμε παρακάτω πως θα προσθέσουμε στα έργα μας ώστε να είναι εφικτοί οι υπολογισμοί της EVM.

3.6 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΤΟ EXCEL

Τα έργα που παρήχθησαν με τη διαδικασία του προηγούμενου κεφαλαίου, καλύπτουν μια ευρεία γκάμα τοπολογικών δομών, με απότερο σκοπό τα αποτελέσματα των μελετών προσωμείωσης στις οποίες χρησιμοποιούνται να καλύπτουν όσο το δυνατόν πληρέστερα τις περιπτώσεις που μπορεί να εμφανιστούν στην πραγματικότητα. Για να χρησιμοποιηθούν όμως σε ερευνητικά πλαίσια και κατ' επέκταση στην παρούσα εργασία, πρέπει να προηγηθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία, προκειμένου να είναι επεξεργάσιμα.

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας αυτής, περιλαμβάνει την ανάγνωση του αρχείου από το MS Excel. Ανοίγοντας το .rcp αρχείο του έργου όπως αυτό το κατεβάζουμε από το δικτυακό τόπο που είναι αποθηκευμένο, με το πρόγραμμα Excel, μας δίνεται η δυνατότητα να κρατήσουμε προς χρήση τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν (όνομα δραστηριότητας, διάρκεια, εξαρτώμενες εργασίες) και να διαγράψουμε τις πληροφορίες που δεν μας ενδιαφέρουν (πληροφορίες πόρων, καθότι θεωρούμε ότι δεν υπάρχει πρόβλημα στους πόρους). Με αυτόν τον τρόπο, έχουμε ένα αρχείο, έτοιμο να εισαχθεί όπως θα δούμε παρακάτω στο MS Project για περαιτέρω ανάλυση.

3.7 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΙΣΚΟ

Μια από τις θεμελιώδεις παραμέτρους που επηρεάζουν την πορεία ενός έργου είναι η αβεβαιότητα. Η διαχείριση οποιουδήποτε ρίσκου λοιπόν είναι πρωταρχικής σημασίας για την επιτυχή ή μη ολοκλήρωση του έργου αυτού. Η Schedule Risk Analysis (SRA), είναι μια τεχνική η οποία επιτρέπει τη βελτίωση της γνωστής CPM μεθόδου με όρους κρισιμότητας και ρίσκου. Συνδέει πληροφορίες ρίσκου των δραστηριοτήτων με το χρονοπρόγραμμα της CPM και παρέχει δεδομένα ευαισθησίας για τις δραστηριότητες ως ένα μέσο να προβλεφθεί η αβεβαιότητα και η επίδραση που μπορεί αυτή να έχει στην τελική διάρκεια και το κόστος του έργου.

Η προσομείωση Monte Carlo που είδαμε νωρίτερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο Dynamic Project Scheduling (την κατασκευή δηλαδή του χρονοπρογράμματος του έργου κατά τη φάση της σχεδίασης του) για να μετρήσει την ευαισθησία των δραστηριοτήτων του έργου, αλλά και για να αξιολογήσει την ακρίβεια των μεθόδων της EVM. Για να πραγματοποιήσουμε το τελευταίο, πρέπει να προσομειώσουμε την εκτέλεση ενός έργου και στη συνέχεια να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα των προβλέψεων της EVM σε αντιδιαστολή με τα αποτελέσματα της προσομείωσης.

Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στο θεωρητικό κατασκεύασμα του χρονοπρογράμματος ενός έργου και στην πραγματική εκτέλεση αυτού, είναι ο παράγοντας ρίσκου που υπεισέρχεται όταν το έργο εκτελείται στον πραγματικό κόσμο. Τον παράγοντα ακριβώς αυτόν του ρίσκου μπορούμε να εισαγάγουμε στην προσομείωση εκτέλεσης ενός έργου, προσθέτοντας σε κάθε δραστηριότητα μια επιπλέον διάρκεια (είτε καθυστέρηση είτε πρόωρη

εκτέλεση) ώστε να μιμούμαστε τον πραγματικό κόσμο όπου υπάρχουν όλοι οι αστάθμητοι παράγοντες που το το χρονοπρόγραμμα δεν μπορεί να λάβει υπόψη του. Με τον τρόπο αυτό, η φανταστική εκτέλεση του έργου, μιμείται την πραγματικότητα και η τελική έκβαση της εκτέλεσης του έργου μπορεί να αξιολογηθεί και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Η διαδικασία προσομείωσης της εκτέλεσης ενός έργου με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo περιλαμβάνει τα παρακάτω τρία βήματα:

1. Δημιουργία ενός τυχαίου αριθμού από το διάστημα $[0,1[$,
2. Δημιουργία ενός νέου αριθμού με βάση μια συνάρτηση κατανομής,
3. Προσθήκη του νέου αριθμού στο χρονοπρόγραμμα του έργου.

3.7.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΥΧΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ

Η μηχανή παραγωγής τυχαίων αριθμών (random number generator), είναι μια φυσική ή ηλεκτρονική διάταξη σχεδιασμένη να παράγει αριθμούς χωρίς κάποια σύνδεση μεταξύ τους ώστε να μοιάζουν τυχαίοι. Η χρήση υπολογιστικών αλγορίθμων για την παραγωγή μεγάλου πλήθους φαινομενικά τυχαίων αριθμών, ονομάζεται “ψευδοτυχαία” (pseudorandom) παραγωγή αριθμών και αυτό διότι οι παραγόμενοι αριθμοί στην ουσία προέρχονται από μια αρχική τιμή - τροφοδότη και τη χρήση των αλγορίθμων.

Η χρησιμότητα των τυχαίων αριθμών, τόσο στην επιστήμη όσο και στη βιομηχανία, οδήγησε στη δημιουργία μεγάλου αριθμού συσκευών και αλγορίθμων παραγωγής τους. Ένας από τους απλούστερους και πιο διαδεδομένους τρόπους που υπάρχουν και τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, είναι η συνάρτηση RAND του προγράμματος Excel. Η συνάρτηση αυτή, που συντάσσεται “RAND()” σε οποιοδήποτε κελί επιθυμούμε, είναι κατασκευασμένη ώστε να μας δίνει έναν τυχαίο αριθμό στο διάστημα $[0,1[$. Μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για το πρώτο βήμα της δημιουργίας τεχνητής καθυστέρησης ή πρόωρης εκτέλεσης μιας δραστηριότητας σε ένα έργο που θέλουμε να προσομειώσουμε την εκτέλεσή του.

3.7.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Στη θεωρία των πιθανοτήτων και τη στατιστική, η Συνάρτηση Αθροιστικής Κατανομής (Cumulative Distribution Function) ή CDF μιας τυχαίας πραγματικής μεταβλητής X , μετρημένη στο σημείο x , είναι η πιθανότητα το X να πάρει τιμή μικρότερη ή ίση από το x . Στην περίπτωση της συνεχούς κατανομής, μας δίνει την περιοχή κάτω από τη γραφική παράσταση της πιθανότητας κατανομής της μεταβλητής X από το $-\infty$ έως το x .

Στην περίπτωσή της παρούσας εργασίας, που θέλουμε να εισάγουμε την αβεβαιότητα κατά την προσωμείωση εκτέλεσης ενός έργου, οφείλουμε να μιμηθούμε εντός του πειραματικού περιβάλλοντος, τον τρόπο με τον οποίο τα τυχαία και απρόσμενα γεγονότα της πραγματικής ζωής επηρεάζουν την πορεία εκτέλεσης ενός έργου. Ο καλύτερος τρόπος για να το κάνουμε αυτό, είναι να χρησιμοποιήσουμε μια στατιστική κατανομή που να προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα την κατανομή της αβεβαιότητας στα πραγματικά έργα (**Vanhoucke et al., 2016**).

Η επιλογή της κατάλληλης κατανομής για τη μοντελοποίηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων ενός έργου, έχει υπάρξει αντικείμενο διαφωνίας ανάμεσα στους ερευνητές. Από την εποχή της ανάπτυξης της μεθόδου PERT, η βήτα (beta) κατανομή θεωρούνταν να είναι αυτή που αναπαριστά πιο πιστά την αβεβαιότητα της διάρκειας των δραστηριοτήτων ενός έργου. Παρ' όλα αυτά όμως, με την πάροδο των χρόνων, πολλοί συγγραφείς πρότειναν εναλλακτικές που θεωρούσαν ότι αναπαριστούν καλύτερα την πραγματικότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, οι **Kuhl et al. (2007)**, που χρησιμοποίησαν τη γενικευμένη βήτα κατανομή (generalised beta distribution), οι **Mohan et al. (2007)** που πρότειναν την εκθετική κανονική κατανομή (lognormal distribution), ο **Hahn, 2008** που χρησιμοποίησε ένα κράμα βήτα (beta) και ομοιόμορφης (uniform) κατανομής, ακόμη και την κανονική κατανομή (normal distribution) που πρότειναν οι **Kotiah & Wallace, 1973** (**Vanhoucke et al., 2016**).

Στην προσωμείωση που θα εκτελέσουμε παρακάτω, για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών, θα χρησιμοποιήσουμε την ομοιόμορφη κατανομή. Στη θεωρία των πιθανοτήτων, η συνεχής ή ομοιόμορφη ή ορθογώνια κατανομή, είναι μια οικογένεια συμμετρικών κατανομών όπου όλα τα διαστήματα ίσου μήκους, έχουν την ίδια πιθανότητα να συμβούν. Η κατανομή υποστηρίζεται από δυο μεγέθη, a και b που είναι η ελάχιστη και η

μέγιστη τιμή της και συχνά συντομογραφείται $U(a,b)$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function ή αλλιώς PDF) της συνεχούς κατανομής είναι:

$$f(x)=1/(b-a) \text{ για } a \leq x \leq b, \text{ και } f(x)=0 \text{ για } x < a \text{ και } x > b$$

Η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (cumulative distribution function ή αλλιώς CDF) είναι:

$$f(x)=0 \text{ για } x < a, f(x)=(x-a)/(b-a) \text{ για } a \leq x \leq b \text{ και } f(x)=1 \text{ για } x > b$$

Ο τυχαίος αριθμός που παρήχθη στο προηγούμενο βήμα με τον random number generator, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση του $f(x)$ της PDF και της CDF ώστε να βρούμε μια νέα τιμή, η οποία θα πληρεί τα δυο επιθυμητά κριτήρια: θα είναι τυχαία και θα ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή. Στην περίπτωση μας που χρησιμοποιούμε την ομοιόμορφη κατανομή, θέτοντας $a=0$ και $b=1$, τότε δεδομένου ότι το $f(x)$ που θα παράγουμε τυχαία [με τη συνάρτηση $RAND()$] θα ανήκει στο διάστημα $[0,1[$ τότε και το x θα ανήκει στο διάστημα $[a,b]$ και θα δίνεται από τη συνάρτηση $f(x)=(x-a)/(b-a)$, ή αλλιώς $x=a+f(x)(b-a)$.

Ο αριθμός αυτός λοιπόν μπορεί να αντικαταστήσει τη διάρκεια των δραστηριοτήτων ενός χρονοπρογράμματος, προκαλώντας καθυστέρηση ή πρόωρη εκτέλεση τους και κατά συνέπεια και ολόκληρου του χρονοπρογράμματος. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε πλέον εισάγει με τεχνητό τρόπο την αβεβαιότητα στην προσομείωση εκτέλεσης ενός έργου.

3.8 ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ @Risk

Η διαδικασία της προσομείωσης στην παρούσα εργασία, όπως έχει γίνει ήδη κατανοητό, εμπλέκει τα προγράμματα MS Excel και MS Project. Το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να ενοποιηθούν οι δυνατότητες αυτών των δυο, είναι το @Risk της Palisade. Το @Risk, λειτουργώντας ως πρόσθετο του Excel, ανταλλάσει πληροφορίες αβεβαιότητας μεταξύ των δυο προγραμμάτων και καθιστά δυνατή την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αναλυτικότερα, το @Risk, συνδιάζει τα στοιχεία αβεβαιότητας που υπάρχουν στο μοντέλο της προσομείωσής μας, περιλαμβάνοντας όλα όσα είναι γνωστά για την εξεταζόμενη μεταβλητή, στην περίπτωση μας τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Αναλύει κάθε πιθανό σενάριο για τις τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή μας, επικοινωνώντας μεταξύ των δυο προγραμμάτων και εμφανίζει αποτελέσματα για όλα τα πιθανά σενάρια. Στη συνέχεια, το

@Risk έχει τη δυνατότητα εμφάνισης γραφικών παραστάσεων των αποτελεσμάτων με σκοπό την απεικόνιση των κινδύνων και άλλων πληροφοριών.

Με το @Risk, έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε την αβεβαιότητα σε όποιο κελί του Excel επιθυμούμε, σύμφωνα με την κατανομή της επιλογής μας. Στην περίπτωσή μας, εφόσον έχουμε το έργο σε μορφή Excel, μπορούμε να εισάγουμε την αβεβαιότητα στα κελιά της διάρκειας, με τιμές που να προέρχονται από την ομοιόμορφη κατανομή. Στη συνέχεια, το πρόσθετο @Risk, έχει συγκεκριμένη λειτουργία εκτέλεσης της προσομείωσης Monte Carlo, στην οποία μπορούμε εμείς να ορίσουμε τον αριθμό των επαναλήψεων, τον αριθμό των προσομειώσεων και τη δειγματοληψία αυτών. Όλες αυτές τις λειτουργίες θα τις εξετάσουμε στην πράξη, παρακάτω, στη μελέτη περίπτωσης που αναλύεται διεξοδικά.

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το @Risk και στην ουσία πραγματοποιείται η προσομείωση, είναι ο παρακάτω: με τη χρήση του MS Project, ανοίγουμε το αρχείο του έργου που έχουμε δημιουργήσει στο Excel, και ακολουθώντας τον οδηγό εισαγωγής, αντιστοιχίζουμε τις πληροφορίες ονόματος, διάρκειας και εξαρτώμενων εργασιών του έργου, με τα αντίστοιχα πεδία του MS Project. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας και εφόσον ορίσουμε στο MS Project να γίνεται αυτόματος προγραμματισμός του έργου, έχουμε στη διάθεσή μας το έργο, καθώς και το διάγραμμα Gantt αυτού. Το επόμενο βήμα είναι σε κάθε εργασία να προσθέσουμε στοιχεία κόστους, τα οποία στην περίπτωσή μας είναι αυθαίρετα και δεν ανταποκρίνονται σε πραγματικά δεδομένα ούτε ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή.

Επόμενο βήμα είναι, έχοντας ανοιχτό το Excel και το @Risk, να κάνουμε εισαγωγή του .mmp αρχείου που μόλις δημιουργήσαμε, από τη διαδρομή Tools/Project/Import .mmp file στην καρτέλα εργαλείων του @Risk. Με τον τρόπο αυτό ανοίγουμε το αρχείο του έργου μας στο Excel, και αυτόματα και στο MS Project. Από το σημείο αυτό και μετά, μπορούμε να κάνουμε αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα του έργου, τις ημερομηνίες και το κόστος και το @Risk να μεσολαβεί ώστε όλοι οι υπολογισμοί να γίνονται στο MS Project, και τα αποτελέσματα να επιστρέφονται στο Excel. Επιπλέον, εφόσον στο project settings του @Risk επιλεγεί Automatic, το χρονοδιάγραμμα και το διάγραμμα Gantt θα επανυπολογίζονται αυτόματα κάθε φορά που αλλάζει μια τιμή στο Excel.

Με τον παραπάνω τρόπο, τα MS Excel, MS Project και @Risk, λειτουργούν αρμονικά μεταξύ τους, ώστε να μπορεί να εκτελεστεί οποιαδήποτε προσομείωση, με σκοπό την

εκτίμηση ρίσκου (όταν πρόκειται για Schedule Risk Analysis), ή με σκοπό την προσωμείωση εκτέλεσης του έργου για αξιολόγηση οποιονδήποτε δεικτών.

3.9 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα πλαίσια οποιασδήποτε διαδικασίας προσωμείωσης με σκοπό την αξιολόγηση μιας μεθόδου, δεν είναι εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων, χωρίς τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στην παρούσα εργασία, το επιθυμητό παράγωγο της όλης διαδικασίας είναι η πρόβλεψη της διάρκειας ενός έργου με τη μέθοδο της EVM. Η εξαγωγή συμπερασμάτων λοιπόν, μπορεί να γίνει με τη στατιστική ανάλυση του σφάλματος ανάμεσα στην πρόβλεψη της EVM για τη διάρκεια του έργου και τη διάρκεια που το έργο πραγματικά (προσωμειωμένα) έχει. Το απλούστερο εργαλείο για μια τέτοια στατιστική ανάλυση, είναι τα MPE (Mean Percentage Error) και MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Ο τύπος που

μας δίνει το MPE είναι ο $\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{EAC(t) - RD}{RD} 100$, ενώ ο τύπος που μας δίνει το MAPE

είναι ο $\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{|EAC(t) - RD|}{RD} 100$. Στους τύπους αυτούς, το T (Time) είναι η χρονική

στιγμή στην οποία γίνεται η παρατήρηση/πρόβλεψη της διάρκειας του έργου. EAC(t) είναι η πρόβλεψη της διάρκειας του έργου με βάση τις μετρικές της EVM όπως έχουμε δει νωρίτερα, στη χρονική στιγμή t. Τέλος, RD (Real Duration), είναι η πραγματική (προσωμειωμένη) διάρκεια του έργου κατά την ολοκλήρωσή του.

Σύμφωνα λοιπόν με τους παραπάνω τύπους, για κάθε ημέρα εκτέλεσης του έργου, του οποίου την πραγματική (προσωμειωμένη) διάρκεια γνωρίζουμε εξ' αρχής, θα υπολογίσουμε την πρόβλεψη της διάρκειας του έργου με τη βοήθεια των τύπων της EVM. Στη συνέχεια, έχοντας στη διάθεσή μας όλες τις προβλέψεις (T στον αριθμό, όσες και οι ημέρες εκτέλεσης του έργου), μπορούμε να υπολογίσουμε το άθροισμα όλων των σφαλμάτων και με τον τύπο που ειπώσαμε παραπάνω, να υπολογίσουμε το MPE και το MAPE. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το MPE, δύναται να πάρει τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές. Οι θετικές τιμές (εάν δηλαδή $EAC(t) > RD$) θα δηλώνουν ότι η EVM εκτίμησε διάρκεια μεγαλύτερη από την πραγματική, ενώ αρνητικές τιμές (εάν δηλαδή $EAC(t) < RD$), θα δηλώνουν ότι η EVM εκτίμησε διάρκεια

μικρότερη από την πραγματική. Αντίθετα, το MAPE, εξάγει απόλυτο σφάλμα, μιας και δεν παίζει ρόλο το πρόσημο της διαφοράς EAC(t)-RD.

3.10 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ

Έχοντας αναλύσει στα προηγούμενα κεφάλαια όλα τα επιμέρους βήματα και απαραίτητα συστατικά της μεθόδου που θα ακολουθήσουμε στην παρούσα εργασία, κρίνεται απαραίτητο να συνοψίσουμε τη διαδικασία ώστε να γίνει αντιληπτή η αλληλουχία των ενεργειών. Τα βήματα λοιπόν που θα ακολουθήσουμε στην πορεία της έρευνάς μας είναι τα παρακάτω:

α. Επιλογή δικτύων έργων προς προσωμείωση. Μια δεξαμενή 4100 δικτύων έργων θα χρησιμοποιηθεί για την επιλογή των έργων των οποίων η εκτέλεση θα προσωμειωθεί. Τα δίκτυα έχουν δημιουργηθεί με αυστηρά ελεγχόμενο τρόπο ώστε να αντανακλούν μια ευρεία γκάμα τοπολογικών δομών.

β. Μεταφορά των δικτύων στο MS Project και το Excel. Κάθε έργο, προκειμένου να μπορεί να προσωμειωθεί, πρέπει να μεταφερθεί από την αρχική μορφή pattern στην οποία βρίσκεται, αρχικά στο MS Project όπου θα δημιουργηθεί ένα Early Start γράφημα Gantt, και στη συνέχεια, με βάση το γράφημα, να μεταφερθεί στο Excel με τη μορφή πίνακα που θα περιέχει όλα τα προγραμματισμένα στοιχεία διάρκειας και κόστους για όλες τις δραστηριότητες του έργου, δηλαδή όλες τις planned values που θα χραιστούμε στη συνέχεια για των υπολογισμό των μετρικών της EVM.

γ. Προσωμείωση εκτέλεσης των έργων. Με τη μέθοδο Monte Carlo, την ομοιόμορφη κατανομή και το @Risk που περιγράψαμε παραπάνω, θα προσωμειώσουμε την εκτέλεση του έργου, εισάγοντας την αβεβαιότητα τόσο ως προς τη διάρκεια όσο και ως προς το κόστος όλων των δραστηριοτήτων του έργου. Με αυτόν τον τρόπο, θα προκύψουν νέες διάρκειες και κόστη για τις δραστηριότητες, από τα οποία θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε το Actual Cost και την Earned Value των δραστηριοτήτων (στη συνέχεια της εργασίας, όπου αναφερόμαστε σε “πραγματική” διάρκεια θα εννοούμε την προσωμειωμένη που θα προκύψει από αυτή τη διαδικασία).

δ. Παρακολούθηση και αξιολόγηση των έργων. Με βάση τα παραπάνω υπολογισμένα στοιχεία, μπορούμε για όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των έργων, δηλαδή για

κάθε ημέρα, να υπολογίσουμε τον δείκτη SPI(t), και ταυτόχρονα να κάνουμε πρόβλεψη για την τελική διάρκεια του έργου με βάση τη φόρμουλα υπολογισμού του EAC(t) θεωρώντας ως πιο πιθανές τις περιπτώσεις να ισχύει PF=1 και PF=SPI(t).

ε. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Έχοντας κάνει τους υπολογισμούς όλων των προηγούμενων βημάτων, μπορούμε να αναπαραστήσουμε γραφικά το σφάλμα της πρόβλεψης της μεθόδου Earned Schedule, και ταυτόχρονα να υπολογίσουμε για κάθε έργο το μέσο σφάλμα (MPE), και το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAPE) ως προς την πρόβλεψη της τελικής διάρκειας των έργων.

Τα μεγέθη και οι φόρμουλες που θα χρησιμοποιήσουμε συνολικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2):

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 (ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΦΟΡΜΟΥΛΕΣ)

Μέγεθος	Ερμηνεία / Τύπος
PV	Planned Value
EV	Earned Value
AC	Actual Cost
RD	Real Duration
ES	Earned Schedule $ES=t+(EV-PV(t))/(PV(t+1)-PV(t))$
SPI(t)	Schedule Performance Index $SPI(t)=ES/AT$
AT	Actual Time (H ημέρα του υπολογισμού)
$EAC(t)_{ES1}$	Estimated At Completion Με PF=1 $EAC(t)_{ES1}=AD+(PD-ES)$
$EAC(t)_{ES2}$	Estimated At Completion Με PF=SPI(t) $EAC(t)_{ES2}=AD+(PD-ES)/SPI(t)$
MPE	Mean Percentage Error $\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{EAC(t) - RD}{RD} 100$
MAPE	Mean Absolute Percentage Error $\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{ EAC(t) - RD }{RD} 100$
T	Time (H ημέρα υπολογισμού των MPE και MAPE)

3.11 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Σε όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας και με σκοπό τη δυνατότητα εκτέλεσης των υπολογισμών σε ελεγχόμενο περιβάλλον, ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα στις επιθυμητές κατευθύνσεις, αναπόφευκτα γίνονται κάποιες παραδοχές. Παραδοχές που αφορούν τόσο τις συνθήκες εκτέλεσης της προσωμείωσης, όσο και τον θεωρητικό τρόπο με τον οποίο εκτελούνται τα προς μελέτη έργα και οι δραστηριότητές τους.

Αρχικά, ως προς τις δραστηριότητες των έργων, δεν γίνεται πουθενά στην παρούσα εργασία διαχωρισμός των κρίσιμων από τις μή κρίσιμες δραστηριότητες. Είναι φυσικά κατανοητό ότι η διαφοροποίηση στη διάρκεια μιας δραστηριότητας, επηρεάζει διαφορετικά τη διάρκεια του έργου συνολικά, ανάλογα με το αν αυτή είναι κρίσιμη ή όχι. Θεωρούμε όμως ότι όλες οι δραστηριότητες έχουν την ίδια βαρύτητα και δεν τις εξετάζουμε χωριστά.

Όσον αφορά τους πόρους που απαιτούνται για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων, θεωρούμε ότι αυτοί είναι διαθέσιμοι καθ' όλη τη διάρκεια που εκτελείται το έργο και μπορούν να διατίθενται στις ακόλουθες δραστηριότητες χωρίς επιπλέον κόστος. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι δραστηριότητες να μπορούν να ξεκινούν νωρίτερα ή αργότερα από το προγραμματισμένο, ανάλογα με την εξέλιξη των προηγούμενων δραστηριοτήτων, χωρίς να περιορίζονται από τη διαθεσιμότητα των πόρων.

Κατά την προσωμείωση εκτέλεσης των έργων, θεωρούμε ότι οι διαχειριστές των έργων δεν προβαίνουν σε καμία διορθωτική ενέργεια, όταν διαπιστώνουν αποκλίσεις ως προς τη διάρκεια ή το κόστος των δραστηριοτήτων. Το άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι ότι άπαξ και το έργο ξεκινήσει, θα εκτελεστεί σύμφωνα με το προσωμειωμένο σενάριο, χωρίς αυτό να αλλάζει στην πορεία του έργου.

Η τελευταία και πιο σημαντική παραδοχή είναι ότι η Earned Value κάθε δραστηριότητας, αυξάνεται γραμμικά, όσο αυτή εκτελείται. Το κόστος κάθε δραστηριότητας στην παρούσα εργασία, εκφράζεται με τη μορφή των χρηματικών μονάδων (χ.μ.) ανά εργατοημέρα. Το κόστος αυτό, αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την προσωμειωμένη διάρκεια της δραστηριότητας. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβαίνει και στην πραγματικότητα ορισμένες φορές, στην πλειψηφία όμως των περιπτώσεων, το κόστος μιας δραστηριότητας είτε δεν συνδέεται με τη διάρκεια αυτής, είτε συνδέεται με μη γραμμικό τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Θέτοντας σε εφαρμογή όλα τα παραπάνω, σειρά έχει να παρουσιάσουμε τη μελέτη περίπτωσης, την αξιολόγηση δηλαδή της μεθόδου EVM, μέσα από την ανάλυση ενός έργου. Από το σύνολο των έργων σε μορφή Patterson που είναι διαθέσιμα προς ανάλυση, στο παρόν κεφάλαιο, επιλέχθηκε τυχαία ένα έργο, για το οποίο θα παρουσιαστεί στο σύνολό της η διαδικασία της προσωμείωσης και στατιστικής ανάλυσης της ακρίβειας της EVM και με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να εξάγουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα για τη μέθοδο πρόβλεψης EVM.

Το έργο που επιλέχθηκε είναι το EV100, από το SET3.1 των έργων που έχουν παραχθεί με τη διαδικασία που αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το έργο αυτό, αρχικά έχει την παρακάτω μορφή (μορφή Patterson):

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 (ΕΡΓΟ ΣΕ ΜΟΡΦΗ PATTERSON)

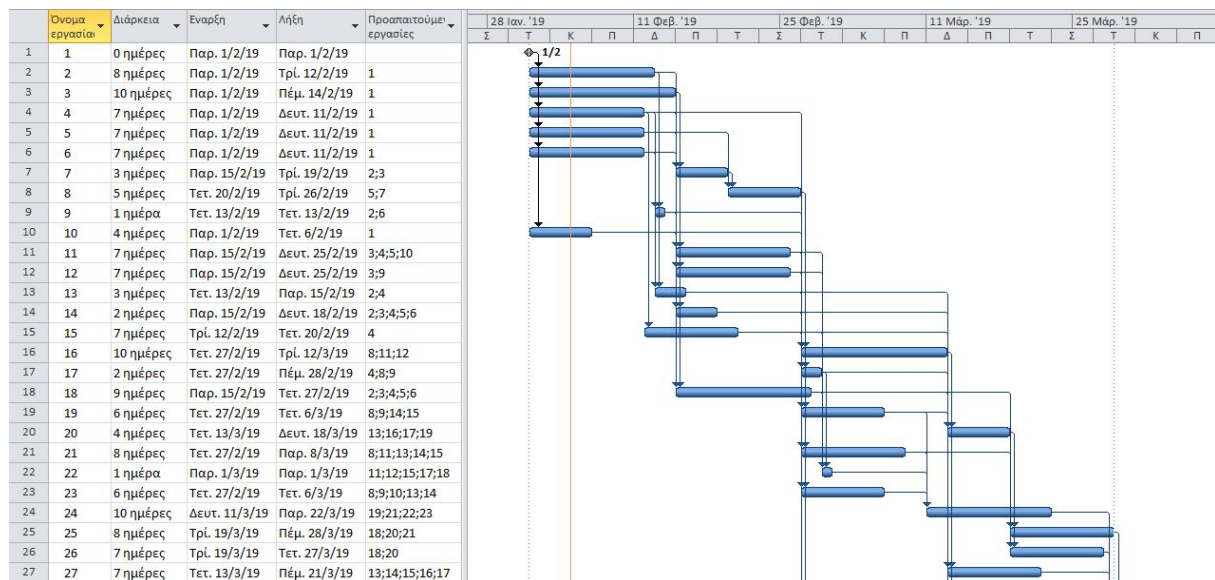
```
32  4
10  10  10  10

  0  0  0  0  0  6  2  3  4  5  6  10
  8  10  10  10  10  5  18  14  13  9  7
10  10  10  10  10  5  18  14  12  11  7
  7  10  10  10  10  6  18  17  15  14  13  11
  7  10  10  10  10  4  18  14  11  8
  7  10  10  10  10  3  18  14  9
  3  10  10  10  10  1  8
  5  10  10  10  10  6  31  23  21  19  17  16
  1  10  10  10  10  4  23  19  17  12
  4  10  10  10  10  2  23  11
  7  10  10  10  10  4  31  22  21  16
  7  10  10  10  10  3  31  22  16
  3  10  10  10  10  6  30  28  27  23  21  20
  2  10  10  10  10  5  28  27  23  21  19
  7  10  10  10  10  5  28  27  22  21  19
10  10  10  10  10  5  30  29  28  27  20
  2  10  10  10  10  4  29  27  22  20
  9  10  10  10  10  4  29  26  25  22
  6  10  10  10  10  2  24  20
  4  10  10  10  10  2  26  25
  8  10  10  10  10  2  25  24
  1  10  10  10  10  1  24
  6  10  10  10  10  1  24
10  10  10  10  10  1  32
  8  10  10  10  10  1  32
  7  10  10  10  10  1  32
  7  10  10  10  10  1  32
10  10  10  10  10  1  32
  3  10  10  10  10  1  32
  3  10  10  10  10  1  32
  6  10  10  10  10  1  32
  0  0  0  0  0  0
```


Στον πίνακα δεξιά δηλαδή, βλέπουμε στην στήλη A το όνομα της δραστηριότητας, στη στήλη B τη διάρκειά της και στην στήλη C τις εργασίες που είναι εξαρτώμενες από αυτήν.

Στο αμέσως επόμενο βήμα, εισάγουμε το έργο στο MS Project, ακολουθώντας και πάλι τον αντίστοιχο οδηγό εισαγωγής έργου από το Excel. Κατά την εισαγωγή, ορίζουμε στο MS Project να γίνεται αυτόματος προγραμματισμός όλων των νέων εργασιών και αντιστοιχίζουμε τις στήλες A,B και C με το “όνομα” των εργασιών, τη “διάρκεια” αυτών και τις “εξαρτώμενες εργασίες” στον οδηγό εισαγωγής. Μετά την εισαγωγή του έργου και τον υπολογισμό των εργασιών, έχουμε το έργο στην παρακάτω μορφή:

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ MS PROJECT)



Βλέπουμε ότι το πρόγραμμα έχει ορίσει αυθαίρετα μια ημερομηνία έναρξης του έργου, έχει προσθέσει ημερομηνίες έναρξης και λήξης για κάθε δραστηριότητα και έχει δημιουργήσει και το διάγραμμα Gantt του έργου (στην παραπάνω εικόνα δεν φαίνονται όλες οι δραστηριότητες).

Μέχρι στιγμής δεν έχει γίνει καμία αναφορά στο κόστος των δραστηριοτήτων και στο σύνολο του έργου. Επόμενο βήμα λοιπόν είναι να προσθέσουμε στοιχεία κόστους. Αυτό το πραγματοποιούμε παράγοντας μια απλή γεννήτρια τυχαίων αριθμών στο Excel. Ορίζουμε αυθαίρετα ως κατανομή του κόστους κάθε εργατοημέρας την ομοιόμορφη κατανομή με ελάχιστο 5 και μέγιστο 100. Με την εντολή RAND() του Excel παράγουμε σειρά τυχαίων αριθμών στο διάστημα [0,1], τους οποίους ορίζουμε ως $f(x)$ και βρίσκουμε τελικά το x , το οποίο για ευκολία υπολογισμών το στρογγυλοποιούμε στην πλησιέστερη δεκάδα. Με τον

τρόπο αυτό, παράγουμε 30 τιμές κόστους ανά εργατοημέρα, τις οποίες αν πολλαπλασιάσουμε με τη διάρκεια κάθε εργασίας έχουμε τα κόστη των δραστηριοτήτων, τα οποία εισάγουμε στο MS Project και έχουμε τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7):

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 (ΚΟΣΤΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ)

	Όνομα εργασία	Διάρκεια	Εναρξη	Λήξη	Προσ απαιτούμε εργασίες	Κόστος
1	1	0 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Παρ. 1/2/19		0,00 €
2	2	8 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Τρί. 12/2/19	1	40,00 €
3	3	10 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Πέμ. 14/2/19	1	100,00 €
4	4	7 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Δευτ. 11/2/19	1	210,00 €
5	5	7 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Δευτ. 11/2/19	1	210,00 €
6	6	7 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Δευτ. 11/2/19	1	70,00 €
7	7	3 ημέρες	Παρ. 15/2/19	Τρί. 19/2/19	2;3	300,00 €
8	8	5 ημέρες	Τετ. 20/2/19	Τρί. 26/2/19	5;7	25,00 €
9	9	1 ημέρα	Τετ. 13/2/19	Τετ. 13/2/19	2;6	50,00 €
10	10	4 ημέρες	Παρ. 1/2/19	Τετ. 6/2/19	1	40,00 €
11	11	7 ημέρες	Παρ. 15/2/19	Δευτ. 25/2/19	3;4;5;10	280,00 €
12	12	7 ημέρες	Παρ. 15/2/19	Δευτ. 25/2/19	3;9	70,00 €
13	13	3 ημέρες	Τετ. 13/2/19	Παρ. 15/2/19	2;4	120,00 €
14	14	2 ημέρες	Παρ. 15/2/19	Δευτ. 18/2/19	2;3;4;5;6	100,00 €
15	15	7 ημέρες	Τρί. 12/2/19	Τετ. 20/2/19	4	210,00 €
16	16	10 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Τρί. 12/3/19	8;11;12	200,00 €
17	17	2 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Πέμ. 28/2/19	4;8;9	100,00 €
18	18	9 ημέρες	Παρ. 15/2/19	Τετ. 27/2/19	2;3;4;5;6	270,00 €
19	19	6 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Τετ. 6/3/19	8;9;14;15	360,00 €
20	20	4 ημέρες	Τετ. 13/3/19	Δευτ. 18/3/19	13;16;17;19	200,00 €
21	21	8 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Παρ. 8/3/19	8;11;13;14;15	240,00 €
22	22	1 ημέρα	Παρ. 1/3/19	Παρ. 1/3/19	11;12;15;17;18	80,00 €
23	23	6 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Τετ. 6/3/19	8;9;10;13;14	240,00 €
24	24	10 ημέρες	Δευτ. 11/3/19	Παρ. 22/3/19	19;21;22;23	100,00 €
25	25	8 ημέρες	Τρί. 19/3/19	Πέμ. 28/3/19	18;20;21	160,00 €
26	26	7 ημέρες	Τρί. 19/3/19	Τετ. 27/3/19	18;20	210,00 €
27	27	7 ημέρες	Τετ. 13/3/19	Πέμ. 21/3/19	13;14;15;16;17	70,00 €
28	28	10 ημέρες	Τετ. 13/3/19	Τρί. 26/3/19	13;14;15;16	100,00 €
29	29	3 ημέρες	Τετ. 13/3/19	Παρ. 15/3/19	16;17;18	30,00 €
30	30	3 ημέρες	Τετ. 13/3/19	Παρ. 15/3/19	13;16	60,00 €
31	31	6 ημέρες	Τετ. 27/2/19	Τετ. 6/3/19	8;11;12	60,00 €
32	32	0 ημέρες	Πέμ. 28/3/19	Πέμ. 28/3/19	24;25;26;27;28;2	0,00 €

Το έργο μας πλέον έχει εισαχθεί στο MS Project και διαθέτει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτέλεσή του, στην περίπτωση μας την προσωμείωση εκτέλεσής του, που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια.

4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ

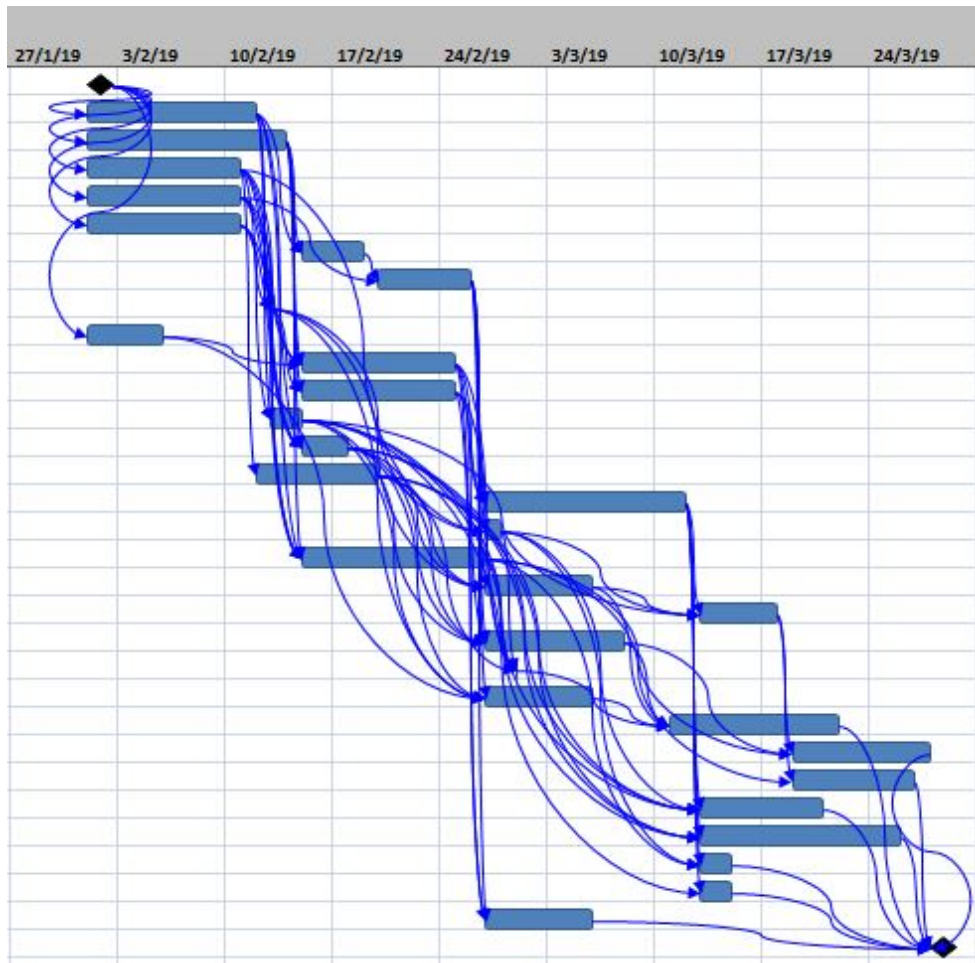
Επόμενο βήμα στη διαδικασία υπολογισμού των μετρικών της EVM είναι η προσωμείωση εκτέλεσης του έργου. Για το λόγο αυτό επιστρατεύουμε το πρόσθετο του Excel, @Risk.

Με το Excel ανοιχτό, εκτελούμε το πρόσθετο @Risk, το οποίο εκτελείται στο παρασκήνιο και εμφανίζεται στο ribbon του Excel με όλες τις εντολές του. Από την επιλογή “Import .mpp file” εισάγουμε το αρχείο που έχουμε δημιουργήσει στα προηγούμενα βήματα. Το @Risk, ανοίγει το έργο μας τόσο στο Excel, όσο και στο MS Project. Από το σημείο αυτό, οποιαδήποτε αλλαγή κάνουμε στο έργο μας στο Excel, αντανakλάται αυτόματα και στο MS Project και με τη μεσολάβηση του @Risk εκτελούνται αυτόματα όλοι οι υπολογισμοί και στα δυο προγράμματα. Το έργο μας, μετά την εισαγωγή και εκτέλεσή του από το @Risk, έχει την παρακάτω μορφή, τόσο ως πίνακας, όσο και ως γράφημα Gantt που δημιουργεί το @Risk εντός του Excel.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ @RISK)

ID	Όνομα εργασίας	Διάρκεια	Έναρξη	Λήξη	Προσ απαιτούμενες εργασίες	Κόστος
0	EV100 v4	40 ημέρες	Παρ 1/2/19	Πεμ 28/3/19		4305 €
1	1	0 ημέρες	Παρ 1/2/19	Παρ 1/2/19		0 €
2	2	8 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 12/2/19	1	40 €
3	3	10 ημέρες	Παρ 1/2/19	Πεμ 14/2/19	1	100 €
4	4	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	210 €
5	5	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	210 €
6	6	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	70 €
7	7	3 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τρι 19/2/19	2,3	300 €
8	8	5 ημέρες	Τετ 20/2/19	Τρι 26/2/19	5,7	25 €
9	9	1 ημέρα	Τετ 13/2/19	Τετ 13/2/19	2,6	50 €
10	10	4 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τετ 6/2/19	1	40 €
11	11	7 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 25/2/19	3,4,5,10	280 €
12	12	7 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 25/2/19	3,9	70 €
13	13	3 ημέρες	Τετ 13/2/19	Παρ 15/2/19	2,4	120 €
14	14	2 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 18/2/19	2,3,4,5,6	100 €
15	15	7 ημέρες	Τρι 12/2/19	Τετ 20/2/19	4	210 €
16	16	10 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τρι 12/3/19	8,11,12	200 €
17	17	2 ημέρες	Τετ 27/2/19	Πεμ 28/2/19	4,8,9	100 €
18	18	9 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τετ 27/2/19	2,3,4,5,6	270 €
19	19	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8,9,14,15	360 €
20	20	4 ημέρες	Τετ 13/3/19	Δευ 18/3/19	13,16,17,19	200 €
21	21	8 ημέρες	Τετ 27/2/19	Παρ 8/3/19	8,11,13,14,15	240 €
22	22	1 ημέρα	Παρ 1/3/19	Παρ 1/3/19	11,12,15,17,18	80 €
23	23	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8,9,10,13,14	240 €
24	24	10 ημέρες	Δευ 11/3/19	Παρ 22/3/19	19,21,22,23	100 €
25	25	8 ημέρες	Τρι 19/3/19	Πεμ 28/3/19	18,20,21	160 €
26	26	7 ημέρες	Τρι 19/3/19	Τετ 27/3/19	18,20	210 €
27	27	7 ημέρες	Τετ 13/3/19	Πεμ 21/3/19	13,14,15,16,17	70 €
28	28	10 ημέρες	Τετ 13/3/19	Τρι 26/3/19	13,14,15,16	100 €
29	29	3 ημέρες	Τετ 13/3/19	Παρ 15/3/19	16,17,18	30 €
30	30	3 ημέρες	Τετ 13/3/19	Παρ 15/3/19	13,16	60 €
31	31	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8,11,12	60 €
32	32	0 ημέρες	Πεμ 28/3/19	Πεμ 28/3/19	24,25,26,27,28,29,30,31	0 €

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GANTT ΣΤΟ @RISK)



Μετά την επιτυχή εισαγωγή του έργου, παραμετροποιούμε το @Risk και ορίζουμε ποιά είναι τα επιθυμητά εξαγόμενα. Αρχικά ορίζουμε ένα output στη συνολική διάρκεια του έργου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 (OUTPUT ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ)

ID	Όνομα εργασίας	Διάρκεια	Έναρξη	Τέλος	Αριθμός	Κόστος
0	EV100 v4	40 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 11/3/19		
1		0 ημέρες	Παρ 1/2/19	Παρ 1/2/19		
2		8 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 8/2/19		
3		10 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 11/2/19		
4		7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 8/2/19		
5		7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	210 €
6		7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	70 €
7		3 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τρι 19/2/19	2;3	300 €
8		5 ημέρες	Τετ 20/2/19	Τρι 26/2/19	5;7	25 €

Στη συνέχεια, εισάγουμε άλλο ένα output, στις διάρκειες των δραστηριοτήτων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, καθότι αυτές είναι που θέλουμε να προσωμειώσουμε και να τροποποιήσουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 11 (OUTPUT ΣΤΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ)

ID	Όνομα εργασίας	Διάρκεια	Έναρξη	Λήξη	Προαπαιτούμενες εργασίες	Κόστος	27/1/19	3/2/19
0	EV100 v4	40 ημέρες	Παρ 1/2/19	Πεμ 28/3/19		4305 €		
1	1	0 ημέρες	Παρ 1/					
2	2	8 ημέρες	Παρ 1/					
3	3	10 ημέρες	Παρ 1/					
4	4	7 ημέρες	Παρ 1/					
5	5	7 ημέρες	Παρ 1/					
6	6	7 ημέρες	Παρ 1/					
7	7	3 ημέρες	Παρ 1/					
8	8	5 ημέρες	Τετ 20,					
9	9	1 ημέρα	Τετ 13,					
10	10	4 ημέρες	Παρ 1/					
11	11	7 ημέρες	Παρ 1/					
12	12	7 ημέρες	Παρ 1/					
13	13	3 ημέρες	Τετ 13,					
14	14	2 ημέρες	Παρ 1/					
15	15	7 ημέρες	Τρι 12,					
16	16	10 ημέρες	Τετ 27,					
17	17	2 ημέρες	Τετ 27,					
18	18	9 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τετ 27/2/19	2;3;4;5;6	270 €		
19	19	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8;9;14;15	360 €		
20	20	4 ημέρες	Τετ 13/3/19	Δευ 18/3/19	13;16;17;19	200 €		
21	21	8 ημέρες	Τετ 27/2/19	Παρ 8/3/19	8;11;13;14;15	240 €		
22	22	1 ημέρα	Παρ 1/3/19	Παρ 1/3/19	11;12;15;17;18	80 €		
23	23	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8;9;10;13;14	240 €		
24	24	10 ημέρες	Δευ 11/3/19	Παρ 22/3/19	19;21;22;23	100 €		
25	25	8 ημέρες	Τρι 19/3/19	Πεμ 28/3/19	18;20;21	160 €		

Τώρα που ορίσαμε στο @Risk ποια είναι τα επιθυμητά output, πρέπει να παραμετροποιήσουμε το πρόγραμμα. Τα δυο απαραίτητα βήματα είναι η κατανομή που ακολουθούν τα προσωμειωμένα μεγέθη και οι ρυθμίσεις της προσωμείωσης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η κατανομή που θα ορίσουμε για τις διάρκειες των δραστηριοτήτων, είναι η ομοιόμορφη κατανομή. Εισάγουμε λοιπόν όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα την κατανομή στο @Risk, ορίζοντας τα επιθυμητά επίπεδα των προσωμειωμένων μεγεθών. Να σημειωθεί ότι επιλέγουμε η κατανομή να εφαρμοστεί σε όλες τις δραστηριότητες και ότι επιθυμούμε τα στοιχεία της κατανομής να περαστούν και στο MS Project.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ)

Parameter Entry Table

Assign Uncertainty To

Field: Διάρκεια

Using Distribution

Type: Uniform(Min;Max)

Min: 20% Max: 20%

Build Entry Table For

All Tasks Selected Tasks

Add... Delete Add Marked...

Also Add Entry Table to .MPP in Microsoft Project

Starting Text Field for Table: Κείμενο1

OK Cancel

Η τελευταία ρύθμιση που απαιτείται, είναι αυτή των στοιχείων της προσωμείωσης. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, θα ορίσουμε όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, το πρόγραμμα να «τρέξει» (εκτελέσει/προσωμείωσε) το έργο 1000 φορές σε μια μόνο προσωμείωση (1 simulation, 1000 iterations).

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ)

@RISK - Simulation Settings

General | View | Sampling | Macros | Convergence

Simulation Runtime

Number of Iterations: 1000

Number of Simulations: 1

Multiple CPU Support: Disabled

When a Simulation is Not Running, Distributions Return

Random Values (Monte Carlo)

Static Values

Where RiskStatic Is Not Defined, Use: Expected Values

OK Cancel

Να σημειωθεί ότι στο παραπάνω πλαίσιο διαλόγου, στην καρτέλα “sampling”, ορίζουμε ως μέθοδο δειγματοληψίας της προσωμείωσης, τη μέθοδο Monte Carlo.

Σε αυτό το σημείο, οι ρυθμίσεις των προγραμμάτων έχουν ολοκληρωθεί και η εικόνα του έργου (αφού έχουν εισαχθεί από το @Risk οι αναμενόμενες ελάχιστες και μέγιστες διάρκειες των δραστηριοτήτων) είναι η παρακάτω (με την ομοιόμορφη κατανομή να έχει οριστεί στο -20%, +20%) (Πίνακας 14):

ΠΙΝΑΚΑΣ 14 (ΕΡΓΟ ΣΤΟ @RISK)

ID	Όνομα εργασίας	Διάρκεια	Έναρξη	Λήξη	Προαπαιτούμενες εργασίες	Κόστος	Διάρκεια Min	Διάρκεια Max
0	EV100 v4	40 ημέρες	Παρ 1/2/19	Πεμ 28/3/19		4305 €		
1	1	0 ημέρες	Παρ 1/2/19	Παρ 1/2/19		0 €	0	0
2	2	8 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τρι 12/2/19	1	40 €	6,4	9,6
3	3	10 ημέρες	Παρ 1/2/19	Πεμ 14/2/19	1	100 €	8	12
4	4	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	210 €	5,6	8,4
5	5	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	210 €	5,6	8,4
6	6	7 ημέρες	Παρ 1/2/19	Δευ 11/2/19	1	70 €	5,6	8,4
7	7	3 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τρι 19/2/19	2;3	300 €	2,4	3,6
8	8	5 ημέρες	Τετ 20/2/19	Τρι 26/2/19	5;7	25 €	4	6
9	9	1 ημέρα	Τετ 13/2/19	Τετ 13/2/19	2;6	50 €	0,8	1,2
10	10	4 ημέρες	Παρ 1/2/19	Τετ 6/2/19	1	40 €	3,2	4,8
11	11	7 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 25/2/19	3;4;5;10	280 €	5,6	8,4
12	12	7 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 25/2/19	3;9	70 €	5,6	8,4
13	13	3 ημέρες	Τετ 13/2/19	Παρ 15/2/19	2;4	120 €	2,4	3,6
14	14	2 ημέρες	Παρ 15/2/19	Δευ 18/2/19	2;3;4;5;6	100 €	1,6	2,4
15	15	7 ημέρες	Τρι 12/2/19	Τετ 20/2/19	4	210 €	5,6	8,4
16	16	10 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τρι 12/3/19	8;11;12	200 €	8	12
17	17	2 ημέρες	Τετ 27/2/19	Πεμ 28/2/19	4;8;9	100 €	1,6	2,4
18	18	9 ημέρες	Παρ 15/2/19	Τετ 27/2/19	2;3;4;5;6	270 €	7,2	10,8
19	19	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8;9;14;15	360 €	4,8	7,2
20	20	4 ημέρες	Τετ 13/3/19	Δευ 18/3/19	13;16;17;19	200 €	3,2	4,8
21	21	8 ημέρες	Τετ 27/2/19	Παρ 8/3/19	8;11;13;14;15	240 €	6,4	9,6
22	22	1 ημέρα	Παρ 1/3/19	Παρ 1/3/19	11;12;15;17;18	80 €	0,8	1,2
23	23	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8;9;10;13;14	240 €	4,8	7,2
24	24	10 ημέρες	Δευ 11/3/19	Παρ 22/3/19	19;21;22;23	100 €	8	12
25	25	8 ημέρες	Τρι 19/3/19	Πεμ 28/3/19	18;20;21	160 €	6,4	9,6
26	26	7 ημέρες	Τρι 19/3/19	Τετ 27/3/19	18;20	210 €	5,6	8,4
27	27	7 ημέρες	Τετ 13/3/19	Πεμ 21/3/19	13;14;15;16;17	70 €	5,6	8,4
28	28	10 ημέρες	Τετ 13/3/19	Τρι 26/3/19	13;14;15;16	100 €	8	12
29	29	3 ημέρες	Τετ 13/3/19	Παρ 15/3/19	16;17;18	30 €	2,4	3,6
30	30	3 ημέρες	Τετ 13/3/19	Παρ 15/3/19	13;16	60 €	2,4	3,6
31	31	6 ημέρες	Τετ 27/2/19	Τετ 6/3/19	8;11;12	60 €	4,8	7,2
32	32	0 ημέρες	Πεμ 28/3/19	Πεμ 28/3/19	24;25;26;27;28;29;30;31	0 €	0	0

4.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΗΣ

Το τελευταίο βήμα, δεν είναι άλλο από την εκτέλεση της προσωμείωσης. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, τα όρια της ομοιόμορφης κατανομής ορίστηκαν για λόγους ρεαλιστικότητας στο -30% και +50%, ενώ οι νέες διάρκειες των δραστηριοτήτων για λόγους

ευκολίας υπολογισμών στρογγυλοποιήθηκαν στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο αριθμό εργατοημερών. Το αποτέλεσμα της προσωμείωσης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 15 (ΠΑΛΙΕΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ)

ΔΡΑΣΤ/ΤΗΤΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΝΕΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
1	0	0
2	8	10
3	10	13
4	7	8
5	7	6
6	7	5
7	3	4
8	5	8
9	1	2
10	4	3
11	7	5
12	7	9
13	3	4
14	2	3
15	7	7
16	10	11
17	2	3
18	9	7
19	6	9
20	4	6
21	8	8
22	1	1
23	6	7
24	10	8
25	8	8
26	7	7
27	7	6
28	10	11
29	3	3
30	3	5
31	6	9
32	0	0

Στο σημείο αυτό, έχουμε πλέον στη διάθεσή μας όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να υπολογίσουμε όλες τις μετρικές της μεθόδου EVM, και να προβούμε σε προβλέψεις διάρκειας και αξιολόγηση αυτών. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 16) παρουσιάζονται συνολικά τα στοιχεία αυτά, ενώ έχουν ήδη υπολογιστεί και συμπεριληφθεί το κόστος κάθε εργασίας ανά ημέρα, το συνολικό κόστος αυτής, το κόστος με βάση τη νέα διάρκεια και τέλος η κερδισμένη αξία ανά ημέρα εκτέλεσης για κάθε δραστηριότητα. Η κερδισμένη αξία ανά

ημέρα, προκύπτει αν για κάθε δραστηριότητα διαιρέσουμε το αρχικά προϋπολογισμένο κόστος της δραστηριότητας (Budgeted Cost of Work Scheduled) με την πραγματική διάρκεια της δραστηριότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 16 (ΚΕΡΔΙΣΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ)

ΔΡΑΣΤ/ΤΗΤΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ	ΝΕΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΝΕΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΚΕΡΔΙΣΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ
1	0	2;3;4;5;6;10	0		0		
2	8	18;14;13;9;7	40	5	10	50	4,00
3	10	18;14;12;11;7	100	10	13	130	7,69
4	7	18;17;15;14;13;11	210	30	8	240	26,25
5	7	18;14;11;8	210	30	6	180	35,00
6	7	18;14;9	70	10	5	50	14,00
7	3	8	300	100	4	400	75,00
8	5	31;23;21;19;17;16	25	5	8	40	3,13
9	1	23;19;17;12	50	50	2	100	25,00
10	4	23;11	40	10	3	30	13,33
11	7	31;22;21;16	280	40	5	200	56,00
12	7	31;22;16	70	10	9	90	7,78
13	3	30;28;27;23;21;20	120	40	4	160	30,00
14	2	28;27;23;21;19	100	50	3	150	33,33
15	7	28;27;22;21;19	210	30	7	210	30,00
16	10	30;29;28;27;20	200	20	11	220	18,18
17	2	29;27;22;20	100	50	3	150	33,33
18	9	29;26;25;22	270	30	7	210	38,57
19	6	24;20	360	60	9	540	40,00
20	4	26;25	200	50	6	300	33,33
21	8	25;24	240	30	8	240	30,00
22	1	24	80	80	1	80	80,00
23	6	24	240	40	7	280	34,29
24	10	32	100	10	8	80	12,50
25	8	32	160	20	8	160	20,00
26	7	32	210	30	7	210	30,00
27	7	32	70	10	6	60	11,67
28	10	32	100	10	11	110	9,09
29	3	32	30	10	3	30	10,00
30	3	32	60	20	5	100	12,00
31	6	32	60	10	9	90	6,67
32	0		0		0	0	
ΣΥΝΟΛΟ			4305			4890	

Στο κάτω μέρος του πίνακα, βλέπουμε το συνολικό κόστος του έργου, τόσο σαν προϋπολογισμό (4305 χρ. μον.) όσο και ως πραγματικό κόστος (4890 χρ. μον.).

Με τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε να ξεκινήσουμε τον υπολογισμό των μετρικών της EVM.

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΗΣ EARNED VALUE

Στους πίνακες που παρατίθενται στο Παράρτημα, μπορούμε να δούμε στον κάθετο άξονα τις δραστηριότητες, στον οριζόντιο άξονα τις ημέρες εκτέλεσης του έργου, και εντός των πινάκων, έχουμε την προγραμματισμένη, πραγματική και κερδισμένη αξία για κάθε εργατοημέρα. Η εκτέλεση των δραστηριοτήτων και η σειρά αυτών τοποθετήθηκε με βάση τις σχέσεις αλληλουχίας και εξάρτησης μεταξύ τους, καθώς και τον χρονοπρογραμματισμό του έργου όπως αυτός προκύπτει στο MS Project, τόσο με τις αρχικές διάρκειες, όσο και με τις πραγματικές.

Στο κάτω μέρος κάθε πίνακα φαίνονται οι προσθετικές τιμές (cumulative values) για τα αντίστοιχα κόστη, έχουμε δηλαδή το PVcum, ACcum και EVcum. Οι τιμές αυτές, φαίνονται συγκεντρωτικά παρακάτω (Πίνακας 17):

ΠΙΝΑΚΑΣ 17 (PV, AC, EV)

AD	PV	AC	EV
1	95	95	100,27
2	190	190	200,54
3	285	285	300,82
4	380	370	387,76
5	465	455	474,7
6	550	530	547,64
7	635	575	585,58
8	680	620	623,52
9	810	665	665,21
10	890	710	706,9
11	1190	840	799,59
12	1450	970	892,28
13	1660	1050	960
14	1775	1350	1230,68
15	1860	1610	1471,36
16	1945	1840	1682,05
17	2030	2020	1859,4
18	2065	2105	1964,88
19	2305	2150	2014,36
20	2515	2195	2063,85
21	2755	2210	2074,76
22	2915	2225	2085,65
23	3075	2230	2088,78
24	3235	2235	2091,91
25	3285	2240	2095
26	3335	2450	2257,47
27	3365	2660	2419,94
28	3395	2870	2582,42
29	3505	3110	2791,56
30	3615	3270	2920,7
31	3725	3430	3049,84
32	3805	3590	3178,95
33	3885	3710	3273,8
34	3965	3800	3338,62
35	4045	3830	3369,3
36	4115	3860	3400
37	4175	3970	3488,59
38	4235	4080	3577,24
39	4285	4190	3665,89
40	4305	4290	3744,54
41	4305	4390	3823,19
42	4305	4470	3889,54
43	4305	4530	3948,63
44	4305	4590	4007,72
45	4305	4650	4066,81
46	4305	4710	4125,9
47	4305	4770	4185
48	4305	4820	4235
49	4305	4870	4285
50	4305	4890	4305

Βλέπουμε, όπως είναι αναμενόμενο, ότι το PVcum είναι ίσο με το EVcum, με τη διαφορά ότι το PVcum σχεδιάστηκε να επιτευχθεί σε 40 ημέρες ενώ τελικά επιτεύχθηκε σε 50 ημέρες και ταυτόχρονα αντί το έργο να κοστίσει 4350 χρ. μον., κόστισε 4890 χρ. μον..

4.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CV, CP και SPI

Ξεκινώντας τους υπολογισμούς, υπολογίζουμε τις πρώτες μετρικές, που είναι το Cost Variance, το Schedule Variance, το Cost Performance index και το Schedule Performance Index. Οι τιμές που προκύπτουν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18):

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 (CV, SV, CPI, SPI)

AD	PV	AC	EV	CV (EV-AC)	SV (EV-PV)	CPI (EV/AC)	SPI (EV/PV)
1	95	95	100,27	5,27	5,27	1,06	1,06
2	190	190	200,54	10,54	10,54	1,06	1,06
3	285	285	300,82	15,82	15,82	1,06	1,06
4	380	370	387,76	17,76	7,76	1,05	1,02
5	465	455	474,7	19,7	9,7	1,04	1,02
6	550	530	547,64	17,64	-2,36	1,03	1,00
7	635	575	585,58	10,58	-49,42	1,02	0,92
8	680	620	623,52	3,52	-56,48	1,01	0,92
9	810	665	665,21	0,21	-144,79	1,00	0,82
10	890	710	706,9	-3,1	-183,1	1,00	0,79
11	1190	840	799,59	-40,41	-390,41	0,95	0,67
12	1450	970	892,28	-77,72	-557,72	0,92	0,62
13	1660	1050	960	-90	-700	0,91	0,58
14	1775	1350	1230,68	-119,32	-544,32	0,91	0,69
15	1860	1610	1471,36	-138,64	-388,64	0,91	0,79
16	1945	1840	1682,05	-157,95	-262,95	0,91	0,86
17	2030	2020	1859,4	-160,6	-170,6	0,92	0,92
18	2065	2105	1964,88	-140,12	-100,12	0,93	0,95
19	2305	2150	2014,36	-135,64	-290,64	0,94	0,87
20	2515	2195	2063,85	-131,15	-451,15	0,94	0,82
21	2755	2210	2074,76	-135,24	-680,24	0,94	0,75
22	2915	2225	2085,65	-139,35	-829,35	0,94	0,72
23	3075	2230	2088,78	-141,22	-986,22	0,94	0,68
24	3235	2235	2091,91	-143,09	-1143,09	0,94	0,65
25	3285	2240	2095	-145	-1190	0,94	0,64
26	3335	2450	2257,47	-192,53	-1077,53	0,92	0,68
27	3365	2660	2419,94	-240,06	-945,06	0,91	0,72
28	3395	2870	2582,42	-287,58	-812,58	0,90	0,76
29	3505	3110	2791,56	-318,44	-713,44	0,90	0,80
30	3615	3270	2920,7	-349,3	-694,3	0,89	0,81
31	3725	3430	3049,84	-380,16	-675,16	0,89	0,82
32	3805	3590	3178,95	-411,05	-626,05	0,89	0,84
33	3885	3710	3273,8	-436,2	-611,2	0,88	0,84
34	3965	3800	3338,62	-461,38	-626,38	0,88	0,84
35	4045	3830	3369,3	-460,7	-675,7	0,88	0,83
36	4115	3860	3400	-460	-715	0,88	0,83
37	4175	3970	3488,59	-481,41	-686,41	0,88	0,84
38	4235	4080	3577,24	-502,76	-657,76	0,88	0,84
39	4285	4190	3665,89	-524,11	-619,11	0,87	0,86
40	4305	4290	3744,54	-545,46	-560,46	0,87	0,87
41	4305	4390	3823,19	-566,81	-481,81	0,87	0,89
42	4305	4470	3889,54	-580,46	-415,46	0,87	0,90
43	4305	4530	3948,63	-581,37	-356,37	0,87	0,92
44	4305	4590	4007,72	-582,28	-297,28	0,87	0,93
45	4305	4650	4066,81	-583,19	-238,19	0,87	0,94
46	4305	4710	4125,9	-584,1	-179,1	0,88	0,96
47	4305	4770	4185	-585	-120	0,88	0,97
48	4305	4820	4235	-585	-70	0,88	0,98
49	4305	4870	4285	-585	-20	0,88	1,00
50	4305	4890	4305	-585	0	0,88	1,00

4.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την Earned Schedule. Για να το κάνουμε αυτό, χρησιμοποιούμε το λογιστικό φύλλο (Excel) που δημιούργησε για τον σκοπό αυτό ο Walt Lipke, και είναι διαθέσιμο για χρήση από το κοινό στην ιστοσελίδα <http://www.earnedschedule.com/Calculator.shtml>. Στο συγκεκριμένο φύλλο, έχει δημιουργηθεί ένας πίνακας στον οποίο εισάγοντας τις τιμές των EVcum και PVcum, παίρνουμε αυτόματα τις τιμές της ES αλλά και τις τιμές των SPI(t) και SV(t) ανά ημέρα εκτέλεσης του έργου και προσθετικά. Οι τιμές που προκύπτουν για το δικό μας έργο είναι αυτές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 19):

ΠΙΝΑΚΑΣ 19 (ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ EARNED SCHEDULE)

EVcum	PVcum	#Pc=>Sc	Numerator	Denominator	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
0	0									0		
100,27	95	1	5	95	0,0555	1,0555	1,0555	1,0555	1,0555	1	0,0555	0,0555
200,54	190	2	11	95	0,1109	2,1109	1,0555	1,0555	1,0555	2	0,0555	0,1109
300,82	285	3	16	95	0,1665	3,1665	1,0555	1,0555	1,0555	3	0,0555	0,1665
387,76	380	4	8	85	0,0913	4,0913	0,9248	0,9248	1,0228	4	-0,0752	0,0913
474,7	465	5	10	85	0,1141	5,1141	1,0228	1,0228	1,0228	5	0,0228	0,1141
547,64	550	5	83	85	0,9722	5,9722	0,8581	0,8581	0,9954	6	-0,1419	-0,0278
585,58	635	6	36	85	0,4188	6,4188	0,4464	0,4464	0,9169	7	-0,5536	-0,5814
623,52	680	6	74	85	0,8649	6,8649	0,4464	0,4464	0,8581	8	-0,5536	-1,1351
665,21	810	7	30	45	0,6713	7,6713	0,8064	0,8064	0,8524	9	-0,1938	-1,3287
706,9	890	8	27	130	0,2069	8,2069	0,5356	0,5356	0,8207	10	-0,4644	-1,7931
799,59	1190	8	120	130	0,9199	8,9199	0,7130	0,7130	0,8109	11	-0,2870	-2,0801
892,28	1450	10	2	300	0,0076	10,0076	1,0877	1,0877	0,8340	12	0,0877	-1,9924
980	1680	10	70	300	0,2333	10,2333	0,2257	0,2257	0,7872	13	-0,7743	-2,7667
1230,68	1775	11	41	260	0,1565	11,1565	0,9231	0,9231	0,7969	14	-0,0769	-2,8435
1471,38	1860	12	21	210	0,1017	12,1017	0,9453	0,9453	0,8068	15	-0,0547	-2,8983
1682,05	1945	13	22	115	0,1917	13,1917	1,0900	1,0900	0,8245	16	0,0900	-2,8083
1859,4	2030	14	84	85	0,9929	14,9929	1,8012	1,8012	0,8819	17	0,8012	-2,0071
1964,88	2085	16	20	85	0,2339	16,2339	1,2409	1,2409	0,9019	18	0,2409	-1,7661
2014,38	2305	16	69	85	0,8160	16,8160	0,5821	0,5821	0,8851	19	-0,4179	-2,1840
2083,85	2515	17	34	35	0,9671	17,9671	1,1511	1,1511	0,8984	20	0,1511	-2,0329
2074,76	2755	18	10	240	0,0407	18,0407	0,0735	0,0735	0,8591	21	-0,9265	-2,9593
2085,65	2915	18	21	240	0,0860	18,0860	0,0454	0,0454	0,8221	22	-0,9546	-3,9140
2088,78	3075	18	24	240	0,0991	18,0991	0,0130	0,0130	0,7889	23	-0,9870	-4,9009
2091,91	3235	18	27	240	0,1121	18,1121	0,0130	0,0130	0,7547	24	-0,9870	-5,8879
2095	3285	18	30	240	0,1250	18,1250	0,0129	0,0129	0,7250	25	-0,9871	-6,8750
2257,47	3335	18	192	240	0,8020	18,8020	0,6770	0,6770	0,7232	26	-0,3230	-7,1980
2419,94	3365	19	115	210	0,5473	19,5473	0,7454	0,7454	0,7240	27	-0,2546	-7,4527
2582,42	3395	20	67	240	0,2809	20,2809	0,7336	0,7336	0,7243	28	-0,2664	-7,7191
2791,56	3505	21	37	160	0,2285	21,2285	0,9476	0,9476	0,7320	29	-0,0524	-7,7715
2920,7	3615	22	6	160	0,0368	22,0368	0,8071	0,8071	0,7345	30	-0,1929	-7,9644
3049,84	3725	22	135	160	0,8427	22,8428	0,8071	0,8071	0,7369	31	-0,1929	-8,1573
3178,95	3805	23	104	160	0,6497	23,6497	0,8069	0,8069	0,7391	32	-0,1931	-8,3503
3273,8	3885	24	39	50	0,7760	24,7760	1,1263	1,1263	0,7508	33	0,1263	-8,2240
3338,62	3965	26	4	30	0,1207	26,1207	1,3447	1,3447	0,7683	34	0,3447	-7,8793
3369,3	4045	27	4	30	0,1433	27,1433	1,0227	1,0227	0,7755	35	0,0227	-7,8567
3400	4115	28	5	110	0,0455	28,0455	0,9021	0,9021	0,7790	36	-0,0979	-7,9545
3488,59	4175	28	94	110	0,8508	28,8508	0,8054	0,8054	0,7798	37	-0,1946	-8,1492
3577,24	4235	29	72	110	0,6567	29,6567	0,8059	0,8059	0,7804	38	-0,1941	-8,3433
3665,89	4285	30	51	110	0,4626	30,4626	0,8059	0,8059	0,7811	39	-0,1941	-8,5374
3744,54	4305	31	20	80	0,2443	31,2443	0,7816	0,7816	0,7811	40	-0,2184	-8,7558
3823,19		32	18	80	0,2274	32,2274	0,9831	0,9831	0,7860	41	-0,0169	-8,7726
3889,54		33	5	80	0,0567	33,0568	0,8294	0,8294	0,7871	42	-0,1708	-8,9433
3948,63		33	64	80	0,7954	33,7954	0,7386	0,7386	0,7859	43	-0,2614	-9,2048
4007,72		34	43	80	0,5340	34,5340	0,7386	0,7386	0,7849	44	-0,2614	-9,4680
4066,81		35	22	70	0,3116	35,3116	0,7776	0,7776	0,7847	45	-0,2224	-9,6884
4125,9		36	11	60	0,1817	36,1817	0,8701	0,8701	0,7866	46	-0,1299	-9,8183
4185		37	10	60	0,1667	37,1667	0,9850	0,9850	0,7908	47	-0,0150	-9,8333
4235		38	0	50	0,0000	38,0000	0,8333	0,8333	0,7917	48	-0,1667	-10,0000
4285		39	0	20	0,0000	39,0000	1,0000	1,0000	0,7959	49	0,0000	-10,0000
4305		40	0	-4305	0,0000	40,0000	1,0000	1,0000	0,8000	50	0,0000	-10,0000
BAC Count		1										

Για να είναι πιο σαφή τα αποτελέσματα, παραθέτουμε τα στοιχεία της Earned Schedule στον παρακάτω πίνακα (με ακρίβεια δυο δεκαδικών ψηφίων) (Πίνακας 20):

ΠΙΝΑΚΑΣ 20 (SPI(T), SV(T))

AD	PD	ES	SPI(t) (ES/AT)	SV(t) (ES-AD)
1	40	1,06	1,06	0,06
2	40	2,11	1,06	0,11
3	40	3,17	1,06	0,17
4	40	4,09	1,02	0,09
5	40	5,11	1,02	0,11
6	40	5,97	1,00	-0,03
7	40	6,42	0,92	-0,58
8	40	6,86	0,86	-1,14
9	40	7,67	0,85	-1,33
10	40	8,21	0,82	-1,79
11	40	8,92	0,81	-2,08
12	40	10,01	0,83	-1,99
13	40	10,23	0,79	-2,77
14	40	11,16	0,80	-2,84
15	40	12,10	0,81	-2,90
16	40	13,19	0,82	-2,81
17	40	14,99	0,88	-2,01
18	40	16,23	0,90	-1,77
19	40	16,82	0,89	-2,18
20	40	17,97	0,90	-2,03
21	40	18,04	0,86	-2,96
22	40	18,09	0,82	-3,91
23	40	18,10	0,79	-4,90
24	40	18,11	0,75	-5,89
25	40	18,13	0,73	-6,88
26	40	18,80	0,72	-7,20
27	40	19,55	0,72	-7,45
28	40	20,28	0,72	-7,72
29	40	21,23	0,73	-7,77
30	40	22,04	0,73	-7,96
31	40	22,84	0,74	-8,16
32	40	23,65	0,74	-8,35
33	40	24,78	0,75	-8,22
34	40	26,12	0,77	-7,88
35	40	27,14	0,78	-7,86
36	40	28,05	0,78	-7,95
37	40	28,85	0,78	-8,15
38	40	29,66	0,78	-8,34
39	40	30,46	0,78	-8,54
40	40	31,24	0,78	-8,76
41	40	32,23	0,79	-8,77
42	40	33,06	0,79	-8,94
43	40	33,80	0,79	-9,20
44	40	34,53	0,78	-9,47
45	40	35,31	0,78	-9,69
46	40	36,18	0,79	-9,82
47	40	37,17	0,79	-9,83
48	40	38,00	0,79	-10,00
49	40	39,00	0,80	-10,00
50	40	40,00	0,80	-10,00

4.4.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Έχοντας στη διάθεσή μας την προγραμματισμένη διάρκεια του έργου και τις τιμές των ES και SPI(t) για κάθε ημέρα εκτέλεσης του έργου, μπορούμε να προβούμε στην πρόβλεψη της συνολικής διάρκειας αυτού. Για λόγους αξιολόγησης, θα υπολογίσουμε την πρόβλεψη της διάρκειας, για κάθε ημέρα εκτέλεσης του έργου. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, θα

προβλέψουμε τη συνολική διάρκεια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Earned Schedule, θεωρώντας δυο πιθανές περιπτώσεις: αυτή το έργο να συνεχιστεί με performance factor PF=1, και αυτή να συνεχιστεί με βάση τον τρέχων δείκτη απόδοσης του χρονοπρογράμματος, δηλαδή PF=SPI(t). Οι τιμές της πρόβλεψης που προκύπτουν είναι οι παρακάτω (Πίνακας 21):

ΠΙΝΑΚΑΣ 21 (ESTIMATE AT COMPLETION)

AD	PD	RD	EAC (ES1)	EAC (ES2)
1	40	50	39,94	37,90
2	40	50	39,89	37,90
3	40	50	39,83	37,90
4	40	50	39,91	39,11
5	40	50	39,89	39,11
6	40	50	40,03	40,19
7	40	50	40,58	43,62
8	40	50	41,14	46,61
9	40	50	41,33	46,93
10	40	50	41,79	48,74
11	40	50	42,08	49,33
12	40	50	41,99	47,96
13	40	50	42,77	50,81
14	40	50	42,84	50,20
15	40	50	42,90	49,58
16	40	50	42,81	48,52
17	40	50	42,01	45,35
18	40	50	41,77	44,35
19	40	50	42,18	45,20
20	40	50	42,03	44,53
21	40	50	42,96	46,56
22	40	50	43,91	48,66
23	40	50	44,90	50,83
24	40	50	45,89	53,00
25	40	50	46,88	55,17
26	40	50	47,20	55,31
27	40	50	47,45	55,25
28	40	50	47,72	55,22
29	40	50	47,77	54,64
30	40	50	47,96	54,46
31	40	50	48,16	54,28
32	40	50	48,35	54,12
33	40	50	48,22	53,28
34	40	50	47,88	52,07
35	40	50	47,86	51,58
36	40	50	47,95	51,35
37	40	50	48,15	51,30
38	40	50	48,34	51,25
39	40	50	48,54	51,21
40	40	50	48,76	51,21
41	40	50	48,77	50,89
42	40	50	48,94	50,82
43	40	50	49,20	50,89
44	40	50	49,47	50,96
45	40	50	49,69	50,97
46	40	50	49,82	50,85
47	40	50	49,83	50,58
48	40	50	50,00	50,53
49	40	50	50,00	50,26
50	40	50	50,00	50,00

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε την τρέχουσα ημέρα AD (την ημέρα που υπολογίζεται η πρόβλεψη), την προγραμματισμένη διάρκεια του έργου PD, την πραγματική

διάρκεια του έργου RD, την πρόβλεψη της διάρκειας με $PF=1$ (EAC_{ES1}) και την πρόβλεψη της διάρκειας με $PF=SPI(t)$ (EAC_{ES2}).

Τέλος, μπορούμε να υπολογίσουμε μια ακόμη μετρική της Earned Schedule, τον δείκτη $TCSPI(t)$, που εισαγάγει για πρώτη φορά ο **Jacob (2003)**. Ο δείκτης “To Complete Schedule Performance Index”, ή “ $SPI(t)$ To Go” όπως αναφέρεται αλλού (**Vanhoucke, 2009**), δηλώνει την επιπλέον προσπάθεια που απαιτείται για να ολοκληρωθεί το έργο στην προγραμματισμένη ημερομηνία ολοκλήρωσής του (πόσο θα πρέπει να είναι δηλαδή ο $SPI(t)$ στο εξής για να μην έχει το έργο καθυστέρηση). Ο δείκτης αυτός, για την Earned Schedule που μελετάμε υπολογίζεται με βάση τον τύπο $TCSPI(t)=(PD-ES)/(PD-AD)$. Ο $TCSPI(t)$ για το υπο μελέτη έργο, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 22).

ΠΙΝΑΚΑΣ 22 ($TCSPI(T)$)

AD	PD	ES	$SPI(t)$ (ES/AT)	$TCSPI(t)$ [($PD-ES$)/($PD-AD$)]
1	40	1,06	1,06	1,00
2	40	2,11	1,06	1,00
3	40	3,17	1,06	1,00
4	40	4,09	1,02	1,00
5	40	5,11	1,02	1,00
6	40	5,97	1,00	1,00
7	40	6,42	0,92	1,02
8	40	6,86	0,86	1,04
9	40	7,67	0,85	1,04
10	40	8,21	0,82	1,06
11	40	8,92	0,81	1,07
12	40	10,01	0,83	1,07
13	40	10,23	0,79	1,10
14	40	11,16	0,80	1,11
15	40	12,10	0,81	1,12
16	40	13,19	0,82	1,12
17	40	14,99	0,88	1,09
18	40	16,23	0,90	1,08
19	40	16,82	0,89	1,10
20	40	17,97	0,90	1,10
21	40	18,04	0,86	1,16
22	40	18,09	0,82	1,22
23	40	18,10	0,79	1,29
24	40	18,11	0,75	1,37
25	40	18,13	0,73	1,46
26	40	18,80	0,72	1,51
27	40	19,55	0,72	1,57
28	40	20,28	0,72	1,64
29	40	21,23	0,73	1,71
30	40	22,04	0,73	1,80
31	40	22,84	0,74	1,91
32	40	23,65	0,74	2,04
33	40	24,78	0,75	2,17
34	40	26,12	0,77	2,31
35	40	27,14	0,78	2,57
36	40	28,05	0,78	2,99
37	40	28,85	0,78	3,72
38	40	29,66	0,78	5,17
39	40	30,46	0,78	9,54
40	40	31,24	0,78	-
41	40	32,23	0,79	-
42	40	33,06	0,79	-
43	40	33,80	0,79	-
44	40	34,53	0,78	-
45	40	35,31	0,78	-
46	40	36,18	0,79	-
47	40	37,17	0,79	-
48	40	38,00	0,79	-
49	40	39,00	0,80	-
50	40	40,00	0,80	-

Να σημειωθεί ότι ο TCSPI(t) δεν υφίσταται μετά την προγραμματισμένη ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου, μιας και η διάρκεια του έργου έχει ήδη ξεπεράσει την αρχικά προγραμματισμένη, οπότε κανένας SPI(t) δεν είναι ικανός να επαναφέρει το έργο στον αρχικό προγραμματισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

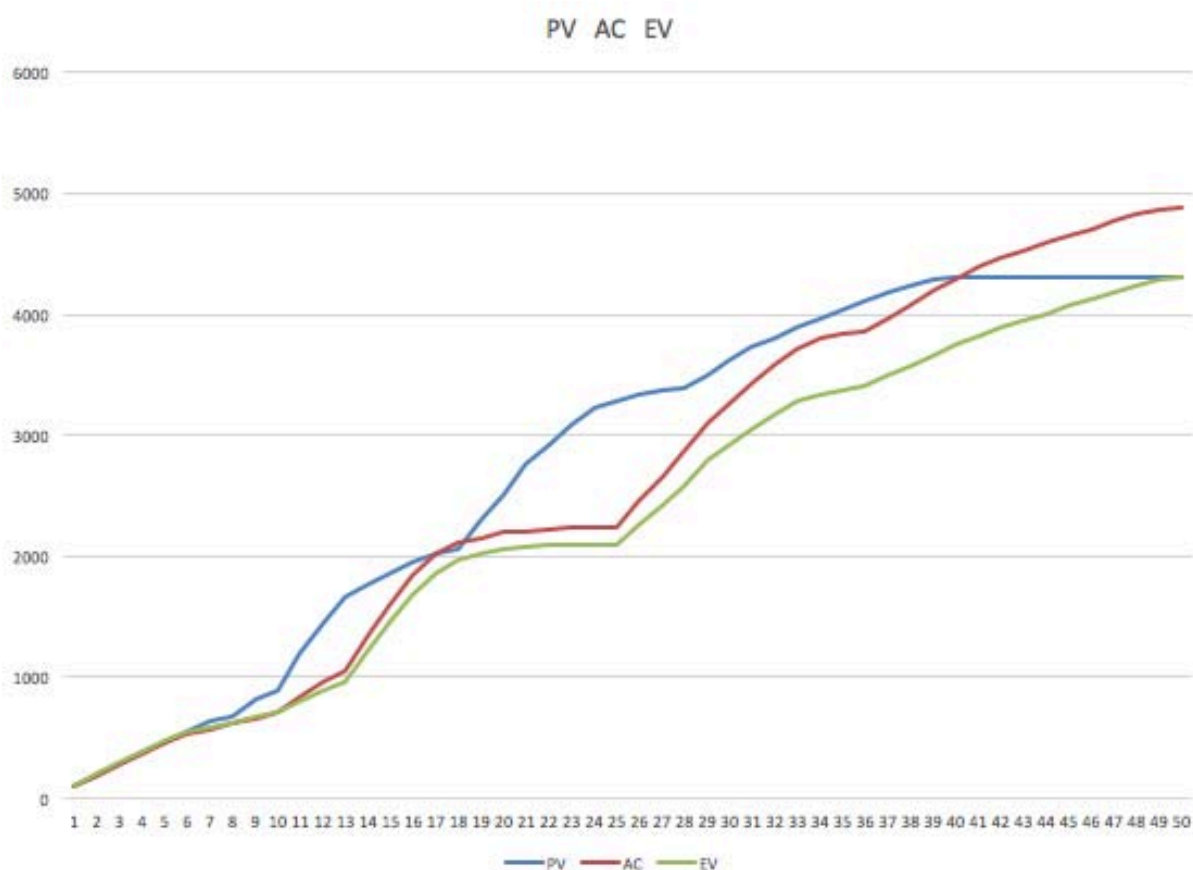
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, είναι πολύ σημαντικό να τα αναπαραστήσουμε γραφικά, καθότι με αυτόν τον τρόπο γίνονται άμεσα αντιληπτά τα σημεία στα οποία πρέπει να κατευθύνουμε την ανάλυσή μας, ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, αλλά και να γίνει σαφής η κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να κινηθεί η μελλοντική έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

Αρχικά, έχει αξία να δούμε γραφικά τις τρεις βασικές μετρικές Planned Value, Actual Cost και Earned Value (Γράφημα 1)

ΓΡΑΦΗΜΑ 1 (PV, AC, EV)

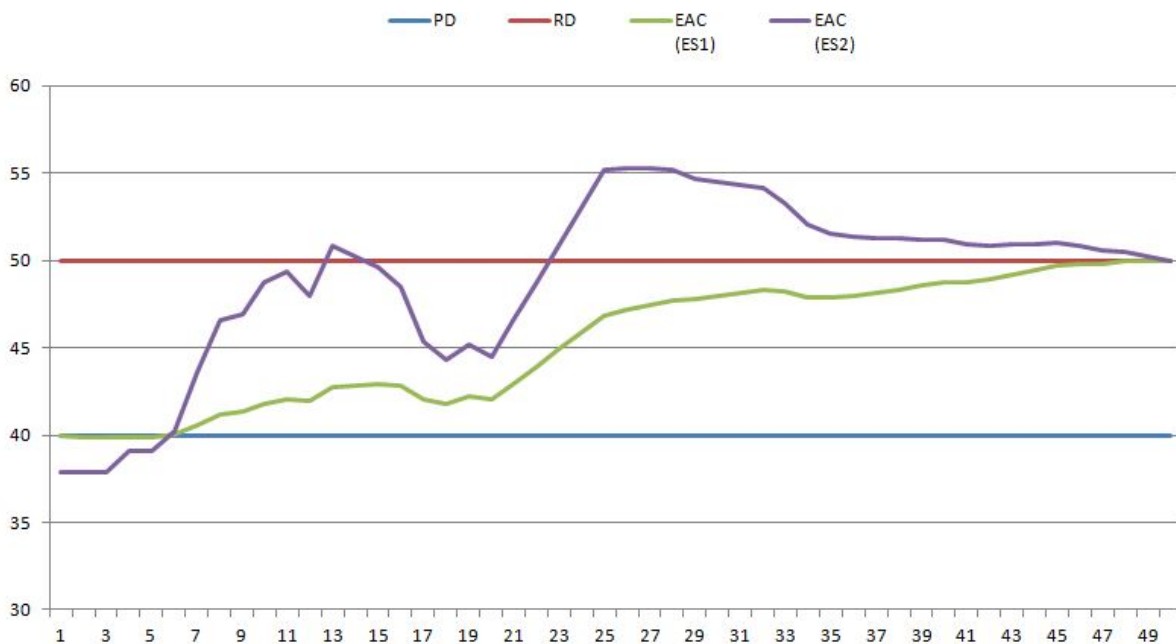


Στο Γράφημα 1, βλέπουμε τις τρεις μετρικές, στην πορεία του έργου. Είναι προφανές ότι η εκτέλεση του έργου (AC και EV) δεν συμβαδίζει με τη σχεδίασή του. Παρόλα αυτά

όμως, εξετάζοντας το έργο σε τυχαίες ημέρες και χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τη μετέπειτα πορεία του, δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλές συμπέρασμα για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, η κατάσταση του έργου κατά την 30ή ημέρα, όπου βλέπουμε ότι από άποψη κόστους το έργο πλησιάζει σιγά σιγά το σχεδιασθέν, από άποψη φυσικού έργου όμως φαίνεται να υπάρχει καθυστέρηση, οπότε δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα για το αν θα ολοκληρωθεί το έργο εντός της σχεδιασθείσας διάρκειας ή όχι.

Έχοντας υπολογίσει στο προηγούμενο κεφάλαιο και τις υπόλοιπες μετρικές της Earned Schedule, το επόμενο βήμα είναι να παραστήσουμε γραφικά την πρόβλεψη που κάνει η μέθοδος, τόσο με $PF=1$ όσο και με $PF=SPI(t)$ (Γράφημα 2).

ΓΡΑΦΗΜΑ 2 (PD, RD, EAC(ES1), EAC(ES2))



Στο παραπάνω γράφημα, βλέπουμε την προγραμματισμένη και την πραγματική διάρκεια του έργου (40 και 50 ημέρες αντίστοιχα), καθώς και την πρόβλεψη της διάρκειας που κάνει η Earned Schedule, με $PF=1$ (EAC_{ES1}) και με $PF=PI(t)$ (EAC_{ES2}).

Για να αποκτήσουμε πιο σαφή εικόνα για την απόδοση της Earned Schedule, όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3, Παράγραφο “3.9 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων”, θα αναπαραστήσουμε γραφικά το σφάλμα ανάμεσα στην πρόβλεψη της EVM για τη διάρκεια του έργου και τη διάρκεια που το έργο πραγματικά (προσωμειωμένα) έχει. Τα εργαλεία που θα χρησιμοποιήσουμε όπως είδαμε, είναι τα MPE (Mean Percentage Error) και MAPE (Mean

Absolute Percentage Error). Ο τύπος που μας δίνει το MPE, όπως έχουμε ήδη δει στο Κεφάλαιο 3, είναι ο $\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{EAC(t) - RD}{RD} 100$, ενώ ο τύπος που μας δίνει το MAPE είναι ο

$$\frac{1}{T} \sum_{time=1}^T \frac{|EAC(t) - RD|}{RD} 100. \text{ Στους τύπους αυτούς, το } T \text{ (Time) είναι η χρονική στιγμή}$$

στην οποία γίνεται η παρατήρηση/πρόβλεψη της διάρκειας του έργου. EAC(t) είναι η πρόβλεψη της διάρκειας του έργου που έχουμε ήδη υπολογίσει, στη χρονική στιγμή t. Τέλος, RD (Real Duration), είναι η πραγματική (προσωμειωμένη) διάρκεια του έργου κατά την ολοκλήρωσή του. Με βάση τα παραπάνω, το αποτέλεσμα των υπολογισμών για τα σφάλματα των προβέσεων φαίνεται στον Πίνακα 24 για την περίπτωση που έχουμε PF=1, και τον Πίνακα 25 για την περίπτωση που έχουμε PF=SPI(t). Αμέσως μετά τους πίνακες φαίνονται στο Γράφημα 3 τα σφάλματα των προβλέσεων, ενώ στο Γράφημα 4 φαίνεται το MPE για PF=1 (ES1) και PF=SPI(t) (ES2) και στο Γράφημα 5 φαίνεται το MAPE για PF=1 (ES1) και PF=SPI(t) (ES2).

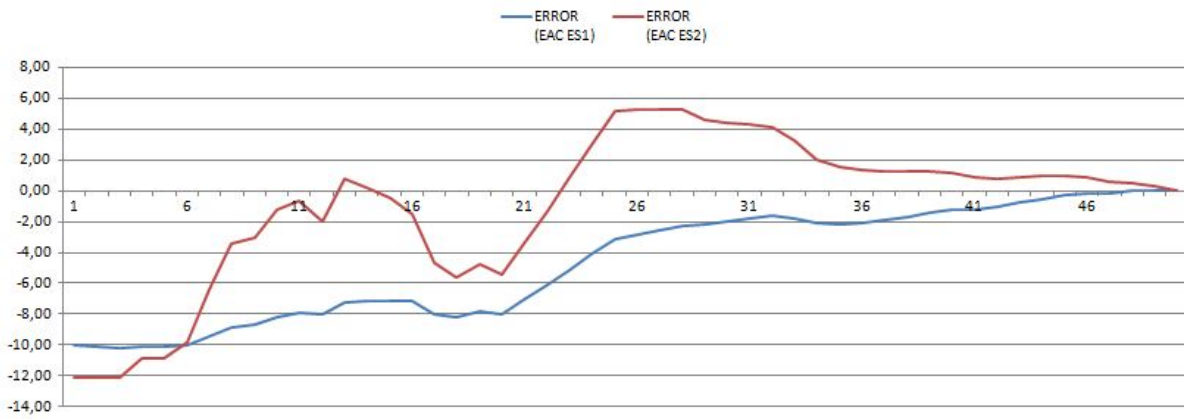
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 (ΣΦΑΛΜΑ ES1)

AD	ERROR % (ES1)	MPE (ES1)	ABS ERROR % (ES1)	MAPE (ES1)
1	-20,11	-20,11	20,11	20,11
2	-20,22	-20,17	20,22	20,17
3	-20,33	-20,22	20,33	20,22
4	-20,18	-20,21	20,18	20,21
5	-20,23	-20,22	20,23	20,22
6	-19,94	-20,17	19,94	20,17
7	-18,84	-19,98	18,84	19,98
8	-17,73	-19,70	17,73	19,70
9	-17,34	-19,44	17,34	19,44
10	-16,41	-19,13	16,41	19,13
11	-15,84	-18,83	15,84	18,83
12	-16,02	-18,60	16,02	18,60
13	-14,47	-18,28	14,47	18,28
14	-14,31	-18,00	14,31	18,00
15	-14,20	-17,75	14,20	17,75
16	-14,38	-17,54	14,38	17,54
17	-15,99	-17,44	15,99	17,44
18	-16,47	-17,39	16,47	17,39
19	-15,63	-17,30	15,63	17,30
20	-15,93	-17,23	15,93	17,23
21	-14,08	-17,08	14,08	17,08
22	-12,17	-16,86	12,17	16,86
23	-10,20	-16,57	10,20	16,57
24	-8,22	-16,22	8,22	16,22
25	-6,25	-15,82	6,25	15,82
26	-5,60	-15,43	5,60	15,43
27	-5,09	-15,04	5,09	15,04
28	-4,56	-14,67	4,56	14,67
29	-4,46	-14,32	4,46	14,32
30	-4,07	-13,98	4,07	13,98
31	-3,69	-13,64	3,69	13,64
32	-3,30	-13,32	3,30	13,32
33	-3,55	-13,03	3,55	13,03
34	-4,24	-12,77	4,24	12,77
35	-4,29	-12,52	4,29	12,52
36	-4,09	-12,29	4,09	12,29
37	-3,70	-12,06	3,70	12,06
38	-3,31	-11,83	3,31	11,83
39	-2,93	-11,60	2,93	11,60
40	-2,49	-11,37	2,49	11,37
41	-2,45	-11,15	2,45	11,15
42	-2,11	-10,94	2,11	10,94
43	-1,59	-10,72	1,59	10,72
44	-1,07	-10,50	1,07	10,50
45	-0,62	-10,28	0,62	10,28
46	-0,36	-10,07	0,36	10,07
47	-0,33	-9,86	0,33	9,86
48	0,00	-9,65	0,00	9,65
49	0,00	-9,46	0,00	9,46
50	0,00	-9,27	0,00	9,27

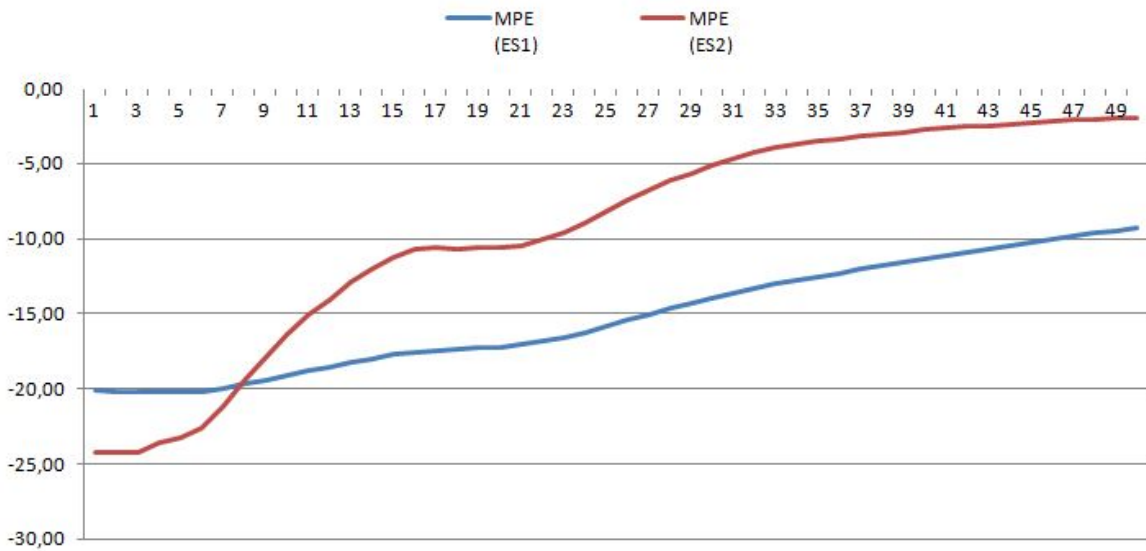
ΠΙΝΑΚΑΣ 24 (ΣΦΑΛΜΑ ES2)

AD	ERROR % (ES2)	MPE (ES2)	ABS ERROR % (ES2)	MAPE (ES2)
1	-24,20	-24,20	24,20	24,20
2	-24,20	-24,20	24,20	24,20
3	-24,21	-24,21	24,21	24,21
4	-21,79	-23,60	21,79	23,60
5	-21,79	-23,24	21,79	23,24
6	-19,63	-22,64	19,63	22,64
7	-12,75	-21,22	12,75	21,22
8	-6,77	-19,42	6,77	19,42
9	-6,14	-17,94	6,14	17,94
10	-2,52	-16,40	2,52	16,40
11	-1,34	-15,03	1,34	15,03
12	-4,07	-14,12	4,07	14,12
13	1,63	-12,91	1,63	13,16
14	0,39	-11,96	0,39	12,25
15	-0,84	-11,22	0,84	11,49
16	-2,97	-10,70	2,97	10,95
17	-9,29	-10,62	9,29	10,86
18	-11,30	-10,66	11,30	10,88
19	-9,61	-10,60	9,61	10,81
20	-10,95	-10,62	10,95	10,82
21	-6,88	-10,44	6,88	10,63
22	-2,69	-10,09	2,69	10,27
23	1,66	-9,58	1,66	9,90
24	6,01	-8,93	6,01	9,73
25	10,34	-8,16	10,34	9,76
26	10,63	-7,43	10,63	9,79
27	10,50	-6,77	10,50	9,82
28	10,45	-6,15	10,45	9,84
29	9,29	-5,62	9,29	9,82
30	8,91	-5,14	8,91	9,79
31	8,57	-4,70	8,57	9,75
32	8,25	-4,29	8,25	9,71
33	6,55	-3,96	6,55	9,61
34	4,13	-3,72	4,13	9,45
35	3,16	-3,53	3,16	9,27
36	2,69	-3,36	2,69	9,09
37	2,60	-3,19	2,60	8,91
38	2,51	-3,04	2,51	8,74
39	2,42	-2,90	2,42	8,58
40	2,42	-2,77	2,42	8,43
41	1,78	-2,66	1,78	8,26
42	1,64	-2,56	1,64	8,11
43	1,79	-2,46	1,79	7,96
44	1,93	-2,36	1,93	7,82
45	1,95	-2,26	1,95	7,69
46	1,71	-2,17	1,71	7,56
47	1,17	-2,10	1,17	7,43
48	1,05	-2,04	1,05	7,29
49	0,51	-1,99	0,51	7,15
50	0,00	-1,95	0,00	7,01

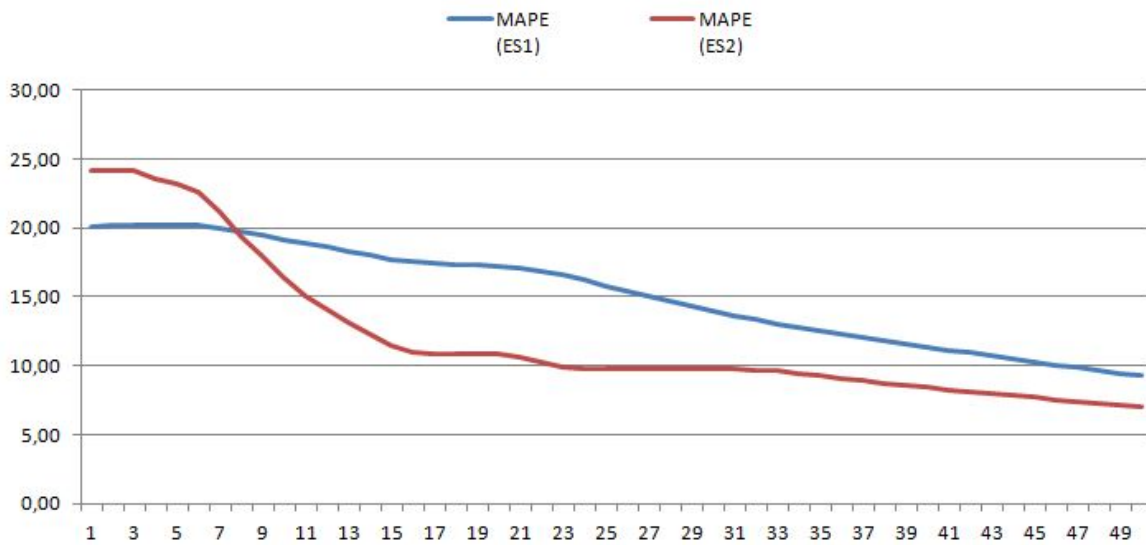
ΓΡΑΦΗΜΑ 3 (ERROR ES1, ERROR ES2)



ΓΡΑΦΗΜΑ 4 (MPE(ES1), PME(ES2))

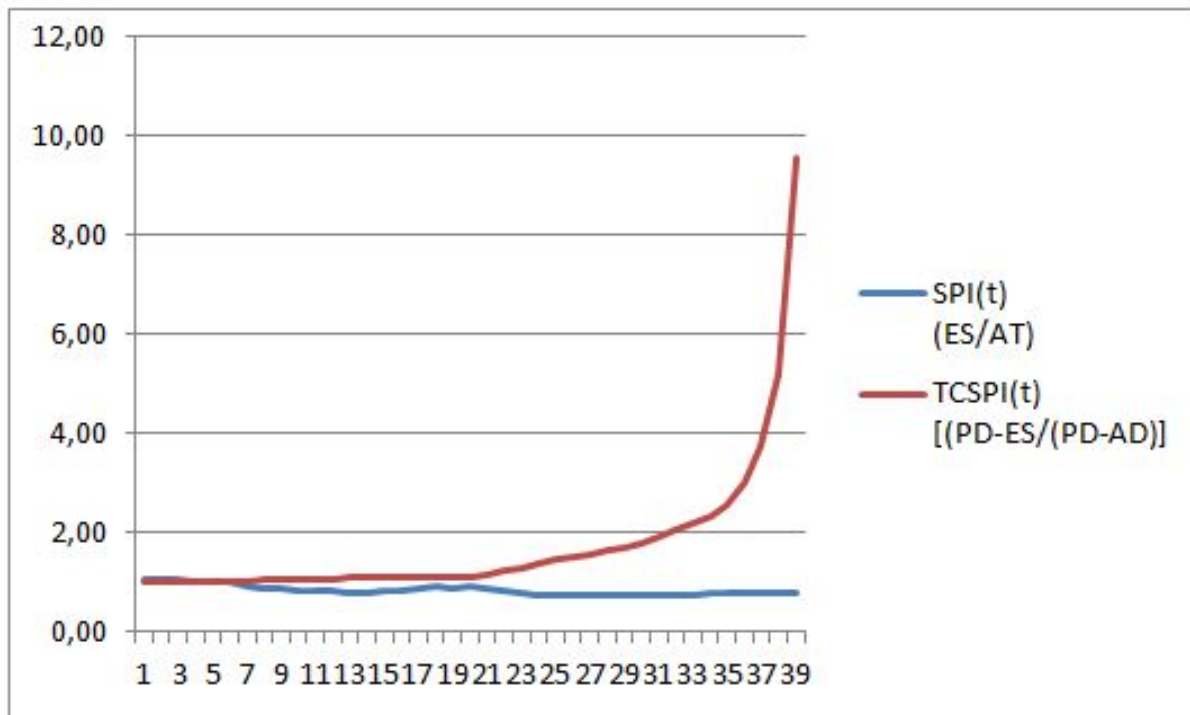


ΓΡΑΦΗΜΑ 5 (MAPE (ES1), MAPE(ES2))



Η τελευταία μετρική που υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ο δείκτης της προσπάθειας που απαιτείται ανα ημέρα για να ολοκληρωθεί το έργο εντός της προγραμματισμένης διάρκειας. Με βάση λοιπόν τον Πίνακα 12 του προηγούμενου κεφαλαίου, έχουμε το παρακάτω γράφημα:

ΓΡΑΦΗΜΑ 6 (SPI(T), TCSPI(T))



Στο Γράφημα 6, φαίνονται τόσο ο SPI(t), όσο και ο TCSPI(t). Ο δεύτερος, αρχίζει να αυξάνεται όταν μειώνεται ο πρώτος και ο εκτροχιασμός του έργου είναι χαρακτηριστικός μετά την 30η ημέρα του έργου, όπου πλέον, για να ολοκληρωθεί το έργο εντός προθεσμίας, η απόδοση που απαιτείται είναι διπλάσια της προγραμματισμένης, ενώ από το σημείο αυτό και μετά και μέχρι την 40η ημέρα, η δείκτης αυξάνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε η προσωμείωση εκτέλεσης του έργου που επιλέχθηκε και με βάση τα αρχικά σχεδιασθέντα στοιχεία κόστους και διάρκειας και τα τελικά-προσωμειωμένα, υπολογίσθηκαν όλες οι μετρικές της EVM, ενώ υπολογίσθηκε και η

πρόβλεψη της μεθόδου για την τελική διάρκεια του έργου. Συγκρίνοντας την πραγματική διάρκεια του έργου με αυτή της πρόβλεψης της EVM, τόσο με $PF=1$ όσο και με $PF=SPI(t)$, είδαμε γραφικά το σφάλμα της μεθόδου σαν απόλυτο νούμερο (σε ημέρες), αλλά και ποσοστιαία με τον υπολογισμό του MPE και MAPE.

Η εικόνα του Γραφήματος 1 με τις τρεις μετρικές, δεν επαρκεί για να γίνει κατανοητό εάν το έργο θα ολοκληρωθεί όπως σχεδιάστηκε. Είναι προφανές βέβαια από το διάγραμμα ότι υπάρχει απόκλιση του έργου από τη σχεδιάσή του, αλλά όχι και το πώς η απόκλιση αυτή θα επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα. Η εικόνα του Γραφήματος 2 που περιέχει την πρόβλεψη της EVM, συμπληρώνει την εικόνα σχετικά με την πορεία του έργου. Εξετάζοντας κάθε ημέρα παρατήρησης ξεχωριστά και θεωρώντας ότι δεν γνωρίζουμε τι θα συμβεί τις επόμενες ημέρες, βλέπουμε ότι τις πρώτες ημέρες και οι δυο προβλέψεις (ES1 και ES2) είναι αισιόδοξες ως προς την πρόβλεψή τους. Στη συνέχεια όμως, που το έργο αρχίζει να καθυστερεί ως προς το φυσικό έργο, οι προβλέψεις αρχίζουν να αυξάνονται και να πλησιάζουν την πραγματική διάρκεια.

Είναι προφανές και χαρακτηριστικό της μεθόδου ταυτόχρονα, ότι η πρόβλεψη με $PF=1$ έχει μια σχετικά σταθερή και συνεχώς βελτιούμενη απόδοση ως προς την πρόβλεψη που κάνει, ενώ με $PF=SPI(t)$, η πρόβλεψη είναι αρκετά ασταθής και ευαίσθητη στην πρόσκαιρη/προσωρινή απόδοση του έργου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι προβλέψεις που κάνει η μέθοδος από την 20ή μέχρι την 25η ημέρα, οι οποίες είναι αρκετά απαισιόδοξες ως προς την πραγματικότητα και συνεχώς επιδεινούμενες. Αντιπαραβάλλοντας το Γράφημα 2 με το Γράφημα 1, παρατηρούμε ότι το χρονικό διάστημα των ημερών 20 έως 25, η απόδοση του έργου μειώνεται και η Earned Value αποκλίνει σημαντικά από την Planned Value, οπότε αντίστοιχα μειώνεται και ο $SPI(t)$ ο οποίος αν ανατρέξουμε στον Πίνακα 12, από 0,9 την 20ή ημέρα, καταλήγει στο 0,73 την 25η και αυτό έχει ως τελικό αποτέλεσμα την αστάθεια της πρόβλεψης με $PF=SPI(t)$.

Αντίστοιχη είναι και η εικόνα που μας δίνει το Γράφημα 3, στο οποίο φαίνεται το σφάλμα της κάθε μεθόδου. Χαρακτηριστικό στο γράφημα αυτό είναι ότι το σφάλμα της ES1 είναι σταθερά στην αρνητική πλευρά του γραφήματος, υπολογίζει δηλαδή διαρκώς διάρκεια μικρότερη από την πραγματική, είναι δηλαδή συνεχώς πιο αισιόδοξο από την πραγματικότητα. Το σφάλμα της ES2 αντίθετα, ξεκινάει αισιόδοξα, όταν όμως το έργο αρχίζει να παρεκκλίνει σημαντικά, φτάνει (σαν πρόβλεψη διάρκειας) τις 50 ημέρες και στη

συνέχεια τις ξεπερνάει. Από την 23η ημέρα και μετά, η πρόβλεψη είναι συνεχώς στην απαισιόδοξη πλευρά του γραφήματος, προβλέπει δηλαδή διάρκεια μεγαλύτερη από αυτή που τελικά έχει πραγματικά το έργο.

Το κοινό χαρακτηριστικό που έχουν και οι δυο μέθοδοι και φαίνεται στο Γράφημα 3, είναι ότι μετά τις πρώτες αυξομειώσεις, προσεγγίζουν συνεχώς την πραγματική διάρκεια του έργου, οι προβλέψεις δηλαδή προσεγγίζουν συνεχώς τις 50 ημέρες. Ένας βασικός λόγος που συμβαίνει φυσικά αυτό είναι ότι το φυσικό έργο όσο περνάει ο χρόνος μειώνεται, και έτσι, είναι μικρότερα τα περιθώρια του σφάλματος που μπορούν να έχουν και οι δύο μέθοδοι.

Εκ πρώτης όψεως λοιπόν, φαίνονται να είναι αισιόδοξες οι προβλέψεις με $PF=1$, και απαισιόδοξες οι προβλέψεις με $PF=SPI(t)$. Αναλύοντας στατιστικά τις προβλέψεις της EVM, υπολογίσαμε το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα και το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα των προβλέψεων. Το αποτέλεσμα φαίνεται στα Γραφήματα 4 και 5. Αυτό που αξίζει να διευκρινιστεί, είναι ότι για κάθε ημέρα παρατήρησης, το MPE και MAPE, είναι τα μέσα σφάλματα όλων των ημερών που έχουν προηγηθεί, και όχι μόνο της ημέρας παρατήρησης. Τα γραφήματα λοιπόν, μας δίνουν μια εικόνα της αξιοπιστίας των προβλέψεων σε διάφορα στάδια ολοκλήρωσης του έργου.

Συγκεκριμένα, παίρνοντας στοιχεία από τους Πίνακες 13 και 14 και παρατηρώντας τα γραφήματα, βλέπουμε ότι ποσοστιαία, το σφάλμα των προβλέψεων ανά ημέρα ολοκλήρωσης του έργου συνεχώς μειώνεται, δηλαδή οι προβλέψεις βελτιώνονται. Εντούτις, είναι προφανές ότι η πρόβλεψη με $PF=SPI(t)$, υπερέρχει καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου από αυτή με $PF=1$. Την ημέρα ολοκλήρωσης του έργου, το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα για όλη τη διάρκεια εκτέλεσής του, με $PF=1$ είναι 9,27%, ενώ με $PF=SPI(t)$ είναι 7,01%. Το αποτέλεσμα αυτό συνάδει με τα αποτελέσματα άλλων αντίστοιχων αξιολογήσεων (**Lipke, 2008; Vanhoucke, 2006; Vanhoucke, 2017 κ.α.**), και επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η πρόβλεψη της διάρκειας ενός έργου με βάση τον δείκτη $SPI(t)$, υπερτερεί όλων των άλλων μεθόδων.

Τέλος, στο Γράφημα 6, βλέπουμε ότι ο δείκτης $TCSPI(t)$, είναι ένας δείκτης ο οποίος μπορεί να φανεί χρήσιμος στον εκάστοτε Project Manager, εφόσον όμως επιστρατευθεί από τα πρώτα στάδια εκτέλεσης του έργου, όταν ακόμα υπάρχει η δυνατότητα για διορθωτικές ενέργειες και ο απαιτούμενος $SPI(t)$ δεν φτάνει σε ανέφικτα επίπεδα, όπως βλέπουμε να γίνεται μετά την 26η ημέρα που ο απαιτούμενος δείκτης απόδοσης είναι ήδη 1,51, δηλαδή είναι ήδη πάνω από 50% μεγαλύτερος από τον σχεδιασθέν δείκτη απόδοσης.

Σε μια προσπάθεια λοιπόν συνολικής επισκόπησης των μετρικών της EVM, και συγκεκριμένα της μεθόδου πρόβλεψης της Earned Schedule, μπορούμε να ακολουθήσουμε το παρακάτω σκεπτικό:

Ο διαχειριστής ενός έργου, επιθυμεί να κάνει πρόβλεψη ως προς το κόστος και τη διάρκεια του έργου, με σκοπό να προβεί στις απαραίτητες διορθωτικές κινήσεις. Κατά τη στιγμή της παρατήρησης του Manager, εφόσον διαπιστωθεί ότι υπάρχει υστέρηση είτε σε φυσικό έργο είτε σε κόστος που θα έπρεπε να έχει δαπανηθεί, υπάρχουν τρεις περιπτώσεις: το έργο να συνεχίσει να ολοκληρώνεται με τον υπάρχων ρυθμό, το έργο να επιταχυνθεί και τέλος το έργο να συνεχίσει με ρυθμό χειρότερο από τον τρέχοντα ρυθμό. Σε κάθε περίπτωση, είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν πιο ακριβής πρόβλεψη της τελικής διάρκειας και του τελικού κόστους του έργου, ώστε ο Manager, να μπορέσει να πάρει σωστές αποφάσεις. Τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας, είναι η δουλειά που θα έπρεπε να έχει γίνει μέχρι στιγμής (PV), η δουλειά που πραγματικά έχει γίνει (EV) και η διάρκεια που έχουμε σχεδιάσει για το έργο (PD).

Με τη χρήση της EVM, αξιολογούμε αρχικά την παρούσα κατάσταση του έργου, υπολογίζοντας τις πρώτες μετρικές (CV, SV, CPI, SPI). Για τις μετρικές αυτές, δεν τίθεται θέμα ακρίβειας ή αξιοπιστίας, καθότι προκύπτουν από πρωτογενή δεδομένα του έργου. Δυστυχώς όμως, όπως είδαμε, έχουν εγγενείς ατέλειες, που τις καθιστούν ανίκανες να βοηθήσουν τον Manager στην πορεία του έργου. Στη συνέχεια, ο Manager έχει στη διάθεσή του την Earned Schedule. Με τον υπολογισμό των μετρικών της ES (ES, CPI(t), SPI(t)), έχουμε στη διάθεσή μας μια εικόνα της παρούσας κατάστασης ολοκλήρωσης του έργου, εκφρασμένη σε χρόνο (και όχι σε χρήματα όπως πριν). Από το σημείο αυτό, έχουμε δύο περιπτώσεις: το έργο να συνεχίσει την πορεία του με τον ρυθμό με τον οποίο έχει σχεδιασθεί (PF=1) και το έργο να συνεχίσει την πορεία του με τον ρυθμό που μας δείχνει ο SPI(t) (τον δείκτη δηλαδή που μας δείχνει πόσο αποδοτική είναι μέχρι στιγμής η πορεία του έργου). Για κάθε μια από αυτές, η Earned Schedule, κάνει ξεχωριστά πρόβλεψη για την τελική διάρκεια του έργου. Εξετάζοντας τις δυο αυτές περιπτώσεις στην παρούσα εργασία, διαπιστώσαμε ότι η πρόβλεψη με βάση τον SPI(t), υπερέχει σε κάθε στάδιο ολοκλήρωσης του έργου και μπορεί να δώσει στον διαχειριστή του έργου μια πιο αξιόπιστη πρόβλεψη, ώστε να αποφασίσει για τις διορθωτικές ενέργειες που θα κάνει, εφόσον αυτές απαιτούνται, λαμβάνοντας όμως πάντα υπόψη, την ευαισθησία του SPI(t) στην τρέχουσα απόδοση του έργου, και την αντίστοιχη

ευαισθησία την πρόβλεψη, έναντι της σταθερότητας της πρόβλεψης που μας δίνει το $PF=1$. Σε κάθε περίπτωση, ο διαχειρηστής του έργου είναι αυτός που θα αποφασίσει τελικά, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα και θα επιλέξει έναν από τους δύο τρόπους πρόβλεψης της τελικής διάρκειας του έργου.

5.3 ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η έρευνα που λαμβάνει χώρα αυτή τη στιγμή πάνω στο αντικείμενο της EVM, είναι ευρεία και εκτεταμένη. Στα πλαίσια του ερευνητικού αντικειμένου της παρούσας εργασίας, διακρίνονται μερικές οδοί προς τις οποίες μπορεί να κατευθυνθεί η μελλοντική έρευνα.

Πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει, σε ολόκληρη την προσωμείωση, η καμπύλη κατανομής που θα χρησιμοποιηθεί από τον ερευνητή για να προσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίον είναι πιθανό να συμβούν τα γεγονότα κατά την εκτέλεση του έργου (για παράδειγμα με ποιο τρόπο μπορεί να κατανεμηθεί το κόστος). Άρα ο μελλοντικός ερευνητής, μπορεί να χρησιμοποιήσει πολύπλοκες κατανομές, εξετάζοντας κατα πόσο αυτές ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα ή όχι.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα έργων, προκατασκευασμένα με τεχνητό τρόπο. Το επόμενο βήμα για τον μελλοντικό ερευνητή, είναι να χρησιμοποιήσει δεδομένα από πραγματικά έργα, που έχουν ολοκληρωθεί. Με τον τρόπο αυτό, θα απαλειφθεί ο παράγοντας πιθανότητα από την αξιολόγηση της EVM και τα συμπεράσματα θα είναι ακόμη πιο αξιόπιστα.

Εξίσου μεγάλης σημασίας είναι, στην περίπτωση μελλοντικής εργασίας, ο διαχωρισμός των κρίσιμων από τις μη κρίσιμες δραστηριότητες κατά την εκτέλεση του έργου. Με διαφορετικό τρόπο επηρεάζουν την πορεία του έργου οι πρώτες και διαφορετικοί οι δεύτερες.

Τέλος, εφόσον κάποιος επιθυμεί, μπορεί να λάβει υπόψη του τον παράγοντα των διαθέσιμων πόρων και τη μη γραμμική εκτέλεση των δραστηριοτήτων, ώστε η προσωμείωση εκτέλεσης των έργων να είναι ακόμη πιο ρεαλιστική και τα αποτελέσματα της έρευνας να προσεγγίζουν ακόμη περισσότερο την πραγματικότητα.

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία, αναλύσαμε σε βάθος τη δημιουργία, το ιστορικό, τις προεκτάσεις και τις εξελίξεις της Earned Value Management. Παρουσιάσαμε τις μετρικές της μεθόδου και τους επιμέρους τρόπους με τους οποίους η EVM επιχειρεί να προβλέψει την τελική διάρκεια και το κόστος ενός έργου, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αυτού. Είδαμε ποιές είναι οι αδυναμίες της, αλλά και ποιές είναι οι τρέχουσες εξελίξεις πάνω στο αντικείμενο.

Στη συνέχεια, παρουσιάσαμε τη μεθοδολογία της έρευνας που επρόκειτο να ακολουθήσουμε. Συγκεκριμένα, αναλύσαμε τη μέθοδο προσωμείωσης Monte Carlo, τον τρόπο παραγωγής εικονικών δικτύων, τα έργα σε μορφή Pattersen και τον τρόπο μεταφοράς τους στο Excel. Είδαμε τον τρόπο εισαγωγής της αβεβαιότητας στη μελέτη του έργου μας, ώστε να είναι εφικτή η προσωμείωση, τα προγράμματα που θα χρησιμοποιούσαμε για την προσωμείωση, καθώς και κάτω από ποιές παραδοχές αυτή θα λάβει χώρα.

Στη φάση της μελέτης περίπτωσης, αναλύσαμε ένα τυχαίο έργο, είδαμε τον χρονοπρογραμματισμό του, προσωμείωσαμε την εκτέλεσή του και τελικά υπολογίσαμε όλες τις μετρικές της EVM, καθώς και τις προβλέψεις της μεθόδου για την τελική διάρκεια του έργου με βάσει τους δείκτες απόδοσης που διαθέτουμε.

Τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης, αναλύθηκαν στατιστικά, αναπαραστήθηκαν γραφικά και εξάγαμε συμπεράσματα σχετικά με τις μετρικές της EVM, την αξιοπιστία των προβλέψεων της μεθόδου, τις δυνατότητες χρησιμοποίησής της, αλλά και τα προβλήματα που αυτή παρουσιάζει ή αλλιώς τα σκοτεινά σημεία που θα πρέπει να έχει κατα νού ο εκάστοτε διαχειριστής ενός έργου κατά τη σχεδίαση και την εκτέλεση αυτού.

Τέλος, είδαμε τις κατευθύνσεις προς τις οποίες μπορεί να κινηθεί η μελλοντική έρευνα πάνω στο αντικείμενο, ώστε να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο η γνώση μας πάνω στην EVM, αλλά και να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο η ίδια η μέθοδος και να εξακολουθήσει να αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των Project Managers.

Εξάλλου, η ίδια η ιστορία της EVM καθώς και η έρευνα που διεξάγεται αυτή τη στιγμή πάνω στο αντικείμενο, αποδεικνύουν ότι είναι μια μέθοδος που εξελίσσεται διαρκώς τα τελευταία 30 χρόνια χωρίς να δείχνει σημάδια ότι έχει εξαντλήσει τα περιθώρια βελτίωσής της, ούτε ότι υπάρχει στον ορίζοντα κάποια άλλη μέθοδος που θα είναι τόσο ικανή στο να προβλέπει την τελική διάρκεια και το κόστος ενός έργου όσο η EVM.

Τουλάχιστον μέχρι να εμφανιστεί...

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A.f.P.M. (2013). *Earned Value Management Handbook*: Association for Project Management.
- Acebes, F., Pajares, J., Galan, J. M., & Lopez-Paredes, A. (2012). Beyond Earned value Management: A graphical framework for integrated cost, schedule and risk monitoring. *Procedia-Social and behavioral sciences*, 74(74), 181-189.
- Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galan, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*(12), 1-13.
- Aliverdi, R., Naeni, L. M., & Salehipour, A. (2013). Monitoring project duration and cost in a construction project by applying statistical control charts. *International Journal of Project Management*, 31(31), 411-423.
- Alvarado, C., Silverman, R., & Wilson, D. (2004). Assessing the performance of construction projects: Implementing earned value management. *Journal of facilities management*, 3(1), 92-105.
- Anbari, F. (2003). Earned Value Project Management method and extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12.
- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2014). Construction and evaluation framework for a real-life project database. *International Journal of Project Management*, 33(33), 697-710.
- Caron, F., Ruggeri, F., & Merli, A. (2012). A bayesian approach to improve estimate at completion in earned value management. *Project Management Journal*, 44(1), 3-16.
- Chang, C.-J., & Yu, S.-W. (2018). Three-variance approach for updating earned value management. *Journal of Construction Engineering and Management*(144), 1-10.
- Chen, H. L., Chen, W. T., & Lin, Y. L. (2016). Earned value project management: improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, 34(34), 22-29.
- Chen, S., & Zhang, X. (2012). *An analytic review of earned value management studies in the construction industries*. Paper presented at the Construction Research Congress.
- Christensen, D., Antolini, R., & McKinney, J. (1995). A review of estimate at completion research. *Journal of cost analysis and Management*, Spring(Spring), 41-62.

- Christensen, D., & Heise, S. R. (1993). Cost Performance Index Stability. *National Contract Management Journal*, 25(25), 7-15.
- Christensen, D., & Payne, K. (1992). CPI Stability - Fact or Fiction? *Journal of Parametrics*, 10(10), 27-40.
- Christensen, D., & Templin, C. (2002). EAC Evaluation methods: Do they still work? *Acquisition review quarterly*, 9(9), 105-116.
- Cioffi, D. (2005). A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve. *International Journal of Project Management*, 23(23), 215-222.
- Cioffi, D. (2006). Designing project management: A scientific notation and an improved formalism for earned value calculations. *International Journal of Project Management*, 24(24), 136-144.
- Demeulemeester, E., Vanhoucke, M., & Herroelen, W. (2003). RanGen: A random network generator for activity-on-the-node networks. *Journal of scheduling*, 6(6), 17-38.
- Dodson, M., Defavari, G., & Carvalho, V. d. (2015). Quality: the third element of earned value management. *Procedia-Computer Science*, 64(64), 932-939.
- Elshaer, R. (2013). Impact of sensitivity information in the prediction of project's duration using earned schedule method. *International Journal of Project Management*, 31(31), 579-588.
- Fleming, Q., & Koppelman, J. (2000). *Earned Value Project Management* (2nd ed.): Project Management Institute.
- Henderson, K. Earned Schedule: A breakthrough extension to earned value theory? A retrospective analysis of real project data. *Earned schedule retrospective*(13), 1-16.
- Henderson, K. Further developments in earned schedule. 1-8.
- Henderson, K. (2007). *Earned Schedule: A breakthrough extension to earned value management*. Paper presented at the PMI Asia Pacific Global Congress, Hong Kong.
- Henderson, K., & Zwikael, O. (2009). Does project performance stability exist? ...a re-examination of CPI and evaluation of SPI(t) stability. *xPI Stability Paper*, 1-16.
- INSTITUTE), P. P. M. (2013). *Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*: PMI, Inc.
- Jacob, D. (2003). Forecasting project schedule completion with earned value metrics. *The measurable News*, 2003(1), 7-9.

- Jacob, D., & Kane, M. (2004). Forecasting schedule completion using earned value metrics? Revisited. *The measurable News*, 2004(1), 11-17.
- Kim, B.-C., & Kim, H.-J. (2014). Sensitivity of Earned Value Schedule Forecasting to S-curve patterns. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1-10.
- Kolisch, R., Sprecher, A., & Drexl, A. (1995). Characterization and generation of a general class of resource-constrained project scheduling problems. *Management Science*, 41(10), 1693-1703.
- Kuhl, M., & Graciano, M. P. (2014). *Project planning and predictive earned value analysis via simulation*. Paper presented at the 2014 Winter Simulation Conference.
- Lipke, W. (2003). Schedule Is Different. *The measurable News*, Summer 2003(Summer 2003), 31-34.
- Lipke, W. (2008). Project duration forecasting: Comparing Earned Value Management methods to earned schedule. *The journal of defence software engineering*, December 2008(December 2008).
- Lipke, W. (2008). Schedule Adherence... a usefull measure for project management.
- Lipke, W. (2009). Project duration forecasting... A comparison of Earned Value Management methods to Earned Schedule. *The measurable News*, Vol. 2(Vol.2), 24-31.
- Lipke, W. (2009). Project Duration Forecasting... a comparison of Earned Value Management methods to Earned Schedule.
- Lipke, W. (2010). Applying statistical methods to EVM reserve planning and forecasting. *The measurable News*, 3(3), 17-24.
- Lipke, W. (2011). Further study of the normality of CPI and SPI(t). *PM World Today*, 13(10), 1-13.
- Lipke, W. (2011). Schedule performance analysis from EVM measures. *PM World Today*, 13(1), 1-15.
- Lipke, W. (2011). Earned Schedule Application to small projects. *PM World Today*, 13(4), 1-12.
- Lipke, W. (2013). Is something missing from project management? *CrossTalk*(July/August), 16-20.
- Lipke, W. (2014). Examining project duration forecasting reliability. *PM World Journal*, 3(3), 1-10.

- Lipke, W. (2014). Testing Earned schedule forecasting reliability. *PM World Journal*, 3(7), 1-8.
- Lipke, W. (2015). Testing earned schedule forecasting reliability. *CrossTalk*, July/August 2015(July/August 2015), 32-36.
- Lipke, W. (2017). Forecasting Schedule Variance using earned schedule. *PM World Journal*, 6(2), 1-9.
- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(27), 400-407.
- Naeni, L. M., & Salehipour, A. (2011). Evaluating fuzzy earned value indices and estimates by applying alpha cuts. *Expert systems with applications*, 38(38), 8193-8198.
- Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2010). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 1-9.
- Narbaev, T., & Marco, A. D. (2013). An Earned schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal of Project Management*, 1-12.
- Pajares, J., & Lopez-Paredes, A. (2010). An extension of the EVM analysis for project monitoring: the Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(29), 615-621.
- Quinn, D. (2006). Tying project measures to performance incentives. *The measurable News*, Winter 2006(Winter 2006).
- Raychaudhuri, R. (2008). *Introduction to Monte Carlo simulation*. Paper presented at the 2008 Winter simulation conference.
- Rujirayanyong, T. (2009). A comparison of three completion date predicting methods for construction projects. *Journal of Environmental Engineering*, 6(4), 304-318.
- Seymour, T., & Hussein, S. (2014). The History of project management. *International Journal of Management & Information Systems*, 18(4), 233-240.
- Tseng, C.-C. (2011). Statistical analysis for comparison of overall performance of projects using Weibull analysis on earned value metrics. *Journal of the Chinese Institute of industrial engineers*, 28(3), 165-178.

- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24(24), 289-302.
- Vanhoucke, M. (2009). *Measuring Time* (Vol. 136): Springer.
- Vanhoucke, M. (2010). Using activity sensitivity and network topology information to monitor project time performance. *Omega*, 38(38), 359-370.
- Vanhoucke, M. (2012). Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data. *International Journal of Project Management*, 30(30), 252-263.
- Vanhoucke, M., Coelho, J., & Batselier, J. (2016). An overview of project data for integrated project management and control. *The journal of modern project management*, Jan-April 2016(Jan-April 2016), 6-21.
- Vanhoucke, M., Coelho, J., Debels, D., Maenhout, B., & Tavares, L. (2008). An evaluation of the adequacy of project network generators with systematically sampled networks. *European Journal of Operational Research*, 187(187), 511-524.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2006). A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the project duration. *Journal of the Operational Research Society*, 58(58), 1361-1374.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2007). Measuring the accuracy of earned value/earned schedule forecasting predictors. *The measurable News*, Winter 2007-2008(Winter 2007-2008), 26-30.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2008). Earned Value Forecast Accuracy and activity criticality. *The measurable News*, Summer 2008(3), 13-16.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2009). Forecasting a project's duration under various topological structures. *The measurable News*, Spring 2009(1), 26-30.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2017). A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the project duration. *Journal of the Operational Research Society*, 58(10), 1361-1374.
- Verzuh, E. (2005). *The Fast Forward MBA* (2nd ed.): John Wiley & Sons, Inc.
- Webb, A. (2003). *Using Earned Value*: Gower Publishing Limited.

Zarei-Kesheh, M., & Vanhoucke, M. (2010). *Project Controls for Every Body*. Paper presented at the EVA Europe second annual earned value analysis conference for continental Europe.

Zwikael, O., Globerson, S., & Raz, T. (2000). Evaluation of models for forecasting the final cost of a project. *Project Management Journal*, 31(1), 53-57.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A-1

PLANNED VALUE

ACTUAL COST

EARNED VALUE

It's not the garden that matters, it's the gardening...