



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Ανάλυση Επικίνδυνων Καταστάσεων σε Βιομηχανικές Διαδικασίες με
βάση τη Δυναμική Συστημάτων και την Οργανωσιακή Θεωρία»

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Π. ΜΠΟΥΚΑΣ

Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων M.Sc.

Χανιά

Μάιος 2018

Copyright © Δημήτριος Π. Μπούκας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για εμπορικό σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, άρθρο 202).

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Θωμάς Κοντογιάννης

Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης

Βασίλειος Μουστάκης

Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης

Νικόλαος Μαρμαράς

Καθηγητής Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Εξεταστική επιτροπή:

Ευάγγελος Γρηγορούδης

Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης

Γεώργιος Σταυρουλάκης

Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης

Δημήτριος Ναθαναήλ

Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου
Πολυτεχνείου

Ιωάννης Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του
Πολυτεχνείου Κρήτης

ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Σκοπός της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός Μοντέλου Εκτίμησης Επικινδυνότητας στηριζόμενο στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα μοντέλο το οποίο αναλύει το εργασιακό σύστημα και τις επιχειρησιακές διαδικασίες ενός τυπικού ορυχείου προκειμένου να προβλέψει και να εξετάσει πιθανά περιστατικά ή ατυχήματα.

Η Δυναμική Συστημάτων αποτελεί μία εξαιρετική μεθοδολογία που εφαρμόζεται στη μοντελοποίηση συστημάτων παραγωγής και παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης σύνθετων συστημάτων. Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1950 από τον καθηγητή Jay W. Forrester (Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης) προκειμένου να βοηθήσει τους διοικούντες να κατανοήσουν καλύτερα τις επιχειρησιακές διαδικασίες.

Η Δυναμική Συστημάτων έχει σκοπό τόσο την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος, όσο και τη διευκόλυνση της λήψης των αποφάσεων, έτσι ώστε να βελτιώνεται η συνολική λειτουργία του. Επίσης, χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση πολύπλοκων επιχειρησιακών διαδικασιών και για τη μελέτη της λειτουργίας τους, όταν αυτές επηρεάζονται από εξωγενείς ή ενδογενείς παράγοντες. Επιπρόσθετα, επιτρέπει προβλέψεις για τη συμπεριφορά των συστημάτων καθώς και εκτιμήσεις για την συνολική εξέλιξη της συμπεριφοράς του συστήματος στο χρόνο.

Κάθε φορά που αλλάζει η δομή ενός συστήματος πρέπει να προβλέπεται η συμπεριφορά του, δηλαδή η κατάστασή του σε συνάρτηση με το χρόνο, καθώς μόνο έτσι μπορεί να αξιολογείται εκ των προτέρων η αποτελεσματικότητα των αποφάσεων, οι οποίες λαμβάνουν χώρα. Όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο να γίνει σε πραγματικά συστήματα, που συνήθως αποτελούνται από ένα αρκετά μεγάλο αριθμό στοιχείων με έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει διότι οι αλληλεξαρτήσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος είναι αρκετά πολύπλοκες, πράγμα που καθιστά δύσκολη, αν όχι αδύνατη, την εκ των προτέρων εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχουν κάποιες αποφάσεις στη συμπεριφορά του.

Στις περιπτώσεις που δε μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά ενός συστήματος θα πρέπει το σύστημα να αφήνεται να λειτουργεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

κάτω από πιθανές εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης των υποθέσεων που γίνονται από τον αναλυτή, παρατηρώντας τη συμπεριφορά του συστήματος και παίρνοντας αποφάσεις που βελτιώνουν τη συμπεριφορά του. Όμως αυτό, δεν είναι εύκολο να γίνει διότι ένας τέτοιος πειραματισμός απαιτεί, αφενός ένα μεγάλο χρονικό διάστημα για να είναι εφικτή και αξιόπιστη η εκτίμηση της συμπεριφοράς του και αφετέρου ένα μεγάλο κόστος.

Επειδή λοιπόν είναι δύσκολος ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα, θα πρέπει να δημιουργηθεί το πρότυπο-μοντέλο του (δηλαδή το ομοίωμά του) και να χρησιμοποιηθεί για πειραματισμούς. Όμως, για να διαμορφωθεί το πρότυπο ενός συστήματος πρέπει να καταγραφούν όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Για να γίνει αυτό απαιτείται μια συστηματική προσέγγιση για την απεικόνιση του συστήματος. Η προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων πραγματοποιείται με το διάγραμμα επιρροής και το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος. Αυτό ακριβώς συντελείται με τη Δυναμική Συστημάτων η οποία βασίζεται στη Θεωρία των μη Γραμμικών Συστημάτων και στους μηχανισμούς των αναδράσεων που αναπτύχθηκαν από τις επιστήμες των Μαθηματικών, της Φυσικής και της Μηχανικής.

Τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων μπορούν να προσφέρουν χρήσιμες προτάσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφαλείας. Κάποιες εγκαταστάσεις ή οργανισμοί χρησιμοποιούν τη Δυναμική Συστημάτων ως βασικό πυλώνα των πολιτικών τους για την πρόληψη των ατυχημάτων. Επίσης, τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων μπορούν να βοηθήσουν στην ενημέρωση των φορέων χάραξης πολιτικής για τον εντοπισμό των μοχλών του συστήματος που μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση των ατυχημάτων.

Κατά τη μελέτη ενός συστήματος εργασίας είναι δυνατόν να καταγραφούν κάποιες συμπεριφορές ατόμων και οργανισμών οι οποίες εμφανίζονται αρκετά συχνά. Αυτές οι τυποποιημένες μορφές ονομάζονται «αρχέτυπα» και αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την περιγραφή της βασικής δομής του συστήματος που μελετάται. Τα αρχέτυπα είναι επίσης χρήσιμα για την απόκτηση ουσιαστικότερης γνώσης, τόσο για τη φύση του προβλήματος όσο και για την κατανόηση των εννοιών και στοιχείων για τη

θεμελίωση του μοντέλου του συστήματος εργασίας. Στην παρούσα διατριβή θα μελετηθούν ορισμένα «κλασικά αρχέτυπα» τα οποία είναι διαδεδομένα σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως και κάποια «αρχέτυπα ασφαλείας» που διαμορφώνουν κοινές οργανωτικές συμπεριφορές που συχνά συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων.

Στην παρούσα διατριβή αναπτύσσεται ένα μοντέλο το οποίο αναλύει το εργασιακό σύστημα και τις επιχειρησιακές διαδικασίες ενός τυπικού ορυχείου προκειμένου να προβλέψει και να εξετάσει πιθανά περιστατικά ή ατυχήματα. Η καινοτομία του νέου μοντέλου έγκειται στον τρόπο με τον οποίο γεφυρώνεται η Οργανωσιακή Θεωρία με τη Δυναμική Συστημάτων, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύγχρονο εργαλείο-μοντέλο πρόβλεψης και ανάλυσης συμβάντων.

Η ανάλυση ατυχημάτων επηρεάζεται από την προσέγγιση ή το μοντέλο ασφαλείας που υιοθετείται από την επιχείρηση. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις στην ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων οι οποίες εξετάζουν τόσο τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των εργαζομένων όσο και τα Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας που καθορίζουν τον τρόπο αντιμετώπισης των κινδύνων. Παραδείγματα αποτελούν η παραδοσιακή θεώρηση της ασφάλειας, η συστημική θεώρηση της ασφάλειας (James Reason, 1988) και η θεωρία συστημική ελέγχου και κυβερνητικής (Nancy Leveson, 2004).

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στην ανάπτυξη πρωτότυπης επιστημονικής γνώσης στο πεδίο της πρόβλεψης πιθανών περιστατικών ή ατυχημάτων σε ένα τυπικό ορυχείο, με βάση τη Δυναμική Θεωρία και τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων της ασφάλειας με ένα σύνολο επιχειρησιακών διαδικασιών (π.χ. παραγωγή, διαχείριση εργατών, διαχείριση εργασιών). Η πιθανότητα να προκύψει κάποιο περιστατικό ή ατύχημα επηρεάζεται τόσο από τη διάθεση των εργαζομένων και των διοικούντων να καταβάλλουν περισσότερη προσπάθεια όσο και από τις νοητικές ικανότητες των εργαζομένων. Συγκεκριμένα, το νέο μοντέλο ενσωματώνει τόσο την οργανωσιακή κουλτούρα της διοίκησης και των εργαζομένων όσο και την ανθρώπινη αξιοπιστία που επηρεάζεται από τις στρατηγικές και πρακτικές των εργαζομένων, τον τρόπο οργάνωσης της εργασίας και το ευρύτερο σύστημα εργασίας.

Το Συνθετικό Μοντέλο, αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα εργασίας. Το υποσύστημα Ασφαλείας (Safety Subsystem), το υποσύστημα Παραγωγής (Production

Subsystem), το υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources Subsystem) και το υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων (Task Backlog & Errors Subsystem). Το Συνθετικό Μοντέλο τροφοδοτείται με δεδομένα εισόδου, υποβάλλεται σε πλήθος δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους και αναλύονται τα δεδομένα που παράγονται ως έξοδοι για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η διαδικασία της ανάλυσης στοχεύει στην κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του εργασιακού συστήματος και στη διευκόλυνση της λήψης των αποφάσεων έτσι, ώστε να βελτιώνεται η συνολική λειτουργία του οργανισμού.

Δομή της Διατριβής

Στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφονται οι προσεγγίσεις για την ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά στο Συνθετικό Μοντέλο της διατριβής. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά σε στοιχεία της οργανωσιακής θεωρίας (οργανωσιακές συμπεριφορές, οργανωσιακά ατυχήματα, κουλτούρα ασφαλείας).

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα με σκοπό την καταγραφή των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τα οφέλη διάφορων μεθοδολογιών. Με τον τρόπο αυτό, εξετάστηκαν τρόποι με τους οποίους η παρούσα εργασία μπορεί να συμβάλλει στη διεύρυνση της υπάρχουσας γνώσης, συμπληρώνοντάς τη με νέες προσεγγίσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο, έρχεται να εξηγήσει τους τρόπους με τους οποίους διαμορφώνονται και απεικονίζονται τα μοντέλα των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων. Επίσης, αναλύονται τα πεδία που αποτελούν το πλαίσιο αναφοράς της παρούσης διατριβής, προκειμένου να αποσαφηνιστούν οι βασικές έννοιες της Δυναμικής Συστημάτων. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτενής αναφορά στην απεικόνιση των συστημάτων εργασίας και στη δημιουργία προτύπων μοντελοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, καταγράφονται διάφορες συμπεριφορές των ατόμων και των οργανισμών που εμφανίζονται αρκετά συχνά με τυποποιημένη μορφή κατά τη μελέτη ενός συστήματος εργασίας. Αυτές οι συμπεριφορές ονομάζονται «αρχέτυπα» και

αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την περιγραφή της βασικής δομής του συστήματος καθώς και διαφορετικοί συνδυασμοί αυτών, βοηθούν στη μελέτη της πολυπλοκότητας. Τα αρχέτυπα, είναι επίσης χρήσιμα για την απόκτηση ουσιαστικής γνώσης για τη φύση του προβλήματος και για την κατανόηση των εννοιών και στοιχείων για τη θεμελίωση του μοντέλου που θα αναπτυχθεί για την εξέταση του συστήματος εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, διαμορφώνονται τρία πρότυπα με σκοπό τη μελέτη της διαχείρισης της ασφάλειας από τους εργαζομένους και τους διοικούντες ώστε να μειωθεί ο δείκτης επικινδυνότητας προσεγγίζοντας τον προκαθορισμένο στόχο. Τα πρότυπα αυτά αποτελούν τη βάση για την κατασκευή του Συνθετικού Μοντέλου της διατριβής.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά το Συνθετικό Μοντέλο της διατριβής το οποίο αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα. Το υποσύστημα Ασφαλείας (Safety Subsystem), το υποσύστημα Παραγωγής (Production Subsystem), το υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources Subsystem) και το υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων (Task Backlog & Errors Subsystem). Το Συνθετικό Μοντέλο εξετάζει πως ένα μοντέλο εργασιακού συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και τη διερεύνηση επικινδύνων περιστατικών καθώς και για την καλύτερη κατανόηση των πολύπλοκων αιτιών τους.

Στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται μία ανάλυση ευαισθησίας όπου πραγματοποιούνται 17 δοκιμές-σενάρια για τη συμπεριφορά του Συνθετικού Μοντέλου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι επιδράσεις διαφορετικών παραμέτρων στην επικινδυνότητα, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης, εξετάζονται οι αλληλεπιδράσεις των τεσσάρων υποσυστημάτων σε διαφορετικές συνθήκες εργασίας.

Στο όγδοο κεφάλαιο, επανεξετάζεται η νέα προσέγγιση και το Συνθετικό Μοντέλο στο πλαίσιο των προηγούμενων ερευνών που έχουν γίνει σε εγκαταστάσεις υψηλού κινδύνου. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις οργανωσιακές συμπεριφορές που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Στο τέλος, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα και χρησιμότητα του Συνθετικού Μοντέλου.

Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση της Διδακτορικής Διατριβής, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Θωμά Κοντογιάννη, για την επιστημονική του καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια του και το ενδιαφέρον που επέδειξε τόσο για τις πειραματικές δοκιμές όσο και για τη συγγραφή της εργασίας. Επίσης, θέλω να του εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την τεράστια υπομονή και αμέριστη κατανόηση του καθώς και για την εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπο μου μέχρι και την περαίωση της διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής για το χρόνο τους, τις συμβουλές τους και την παρουσία τους στην υποστήριξη της διατριβής μου.

Για την ολοκλήρωση της διατριβής, οφείλω πολλά σε ξεχωριστούς φίλους οι οποίοι προσέφεραν ο καθένας από την πλευρά του πολύτιμη ηθική, τεχνική και επιστημονική βοήθεια. Ιδιαίτερω, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Ποθουλάκη για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια Σοφοκλή Αρχοντάκη για την καθοριστική βοήθειά της στο ξεκίνημα της ζωής μου, καθώς ήταν παρών πάντα στις δύσκολες και καθοριστικές στιγμές καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και όχι μόνο.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς χωρίς την στήριξη και την αγάπη τους δε θα μπορούσα να ανταπεξέλθω. Είμαι ευγνώμων στους γονείς μου διότι, αφενός στερήθηκαν δικές τους ανάγκες προκειμένου να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου και αφετέρου στήριξαν ηθικά και πρακτικά τις όποιες επιλογές μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	4
Δομή της Διατριβής	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	16
ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	16
1.1 Εισαγωγή	16
1.2 Ο ρόλος των ανθρώπινων λαθών στα συστήματα παραγωγής	17
1.3 Προσεγγίσεις στην ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων	18
1.3.1 Παραδοσιακή θεώρηση της ασφάλειας	19
1.3.2 Συστημική θεώρηση της ασφάλειας	20
1.3.3 Θεωρία συστημικού ελέγχου και κυβερνητικής	24
1.4 Οργανωσιακή κουλτούρα	28
1.5 Οργανωσιακά ατυχήματα	30
1.6 Χρονικές διαστάσεις της επικινδυνότητας	33
1.7 Συμπεράσματα	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	36
2.1 Εισαγωγή	36
2.2 Εφαρμογές που αφορούν τη διαχείριση κινδύνου	37
2.3 Εφαρμογές που αφορούν την οργάνωση και την επαγγελματική ασφάλεια	43
2.4 Εφαρμογές που αφορούν τον τομέα της υγείας	50
2.5 Εφαρμογές που αφορούν τον τομέα του περιβάλλοντος	54
2.6 Συμπεράσματα	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	61
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	61
3.1 Εισαγωγή	61
3.2 Δυναμική Συστημάτων	62
3.2.1 Ιστορική αναδρομή της Δυναμικής Συστημάτων	68
3.3 Πρότυπα.....	69
3.3.1 Ομαδοποίηση προτύπων.....	69
3.3.2 Διαμόρφωση δυναμικών προτύπων στη Δυναμική Συστημάτων.....	71
3.3.3 Χαρακτηριστικά των προτύπων	72
3.4 Πρότυπα συμπεριφοράς δυναμικών συστημάτων	74
3.5. Απεικόνιση συστημάτων	77
3.5.1 Γενικά	77
3.5.2 Διάγραμμα επιρροής.....	77
3.5.3 Μεταβλητές	81
3.5.4 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων.....	81
3.6 Συμπεράσματα	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	90
ΑΡΧΕΤΥΠΑ ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	90
4.1 Εισαγωγή	90
4.2 Κλασικά Αρχέτυπα	91
4.2.1 «Διάβρωση Στόχων».....	91
4.2.2 «Κλιμάκωση»	94
4.2.3 «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»	96
4.2.4 «Μετατόπιση της Έμφασης»	98
4.2.5 «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»	101

4.2.6 «Τραγωδία των Κοινών Πόρων».....	104
4.3 Αρχέτυπα ασφαλείας	107
4.3.1 Διάβρωση των στόχων Ασφαλείας.....	108
4.3.2 «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας».....	111
4.3.3 «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα εις Βάρος των Αιτιών»	114
4.3.4 «Συστήματα Αναφοράς Περιστατικών».....	118
4.3.5 «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων».....	121
4.3.6 «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων».....	124
4.4 Συμπεράσματα	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	128
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΡΙΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .	128
5.1 Εισαγωγή	128
5.2 Ο ρόλος της δέσμευσης και των προσπαθειών των εργαζομένων στην ασφάλεια	129
5.2.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια».....	130
5.2.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια».....	131
5.3 Ο ρόλος της δέσμευσης των εργαζομένων και των διοικούντων στην ασφάλεια	136
5.3.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια».....	136
5.3.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια».....	138
5.4 Εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια του συστήματος εργασίας.....	143
5.4.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»	143

5.4.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»	145
5.5 Συμπεράσματα	150
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	151
ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	151
6.1 Εισαγωγή	151
6.2 Εποπτικό διάγραμμα επιρροής	152
6.3 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του Συνθετικού Μοντέλου	156
6.3.1 Υποσύστημα ασφαλείας	156
6.3.2 Υποσύστημα παραγωγής	164
6.3.3 Υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού	168
6.3.4 Υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων.....	173
6.4 Συμπεράσματα	182
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	183
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	183
7.1 Εισαγωγή	183
7.2 Σενάρια ελέγχου του Συνθετικού Μοντέλου	184
7.2.1 Σενάριο 1	184
7.2.2 Σενάριο 2	188
7.2.3 Σενάριο 3	192
7.2.4 Σενάριο 4	196
7.2.5 Σενάριο 5	200
7.2.6 Σενάριο 6	204
7.2.7 Σενάριο 7	208
7.2.8 Σενάριο 8	212

7.2.9 Σενάριο 9	216
7.2.10 Σενάριο 10	220
7.2.11 Σενάριο 11	224
7.2.12 Σενάριο 12	228
7.2.13 Σενάριο 13	232
7.2.14 Σενάριο 14	236
7.2.15 Σενάριο 15	240
7.2.16 Σενάριο 16	244
7.2.17 Σενάριο 17	248
7.3 Συμπεράσματα - Σύνοψη της ανάλυσης ευαισθησίας.....	252
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	263
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	263
8.1 Ερευνητικοί σκοποί	263
8.2 Μοντελοποίηση οργανωσιακών συμπεριφορών	265
8.3 Μοντελοποίηση ανθρωπίνων λαθών	266
8.4 Σύνοψη της ανάλυσης ευαισθησίας.....	268
8.5 Επεκτάσεις και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	270
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	272
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	281
Παράρτημα Α: Μεταβλητές Συνθετικού Μοντέλου	281
Παράρτημα Β: Λίστα Πινάκων και Σχημάτων.....	285

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Για πολλά χρόνια, τα ορυχεία αποτελούσαν έναν από τους πιο επικίνδυνους χώρους εργασίας. Σήμερα στον ανεπτυγμένο κόσμο, η κατάσταση έχει αλλάξει. Η ανάπτυξη της επιστήμης της μεταλλευτικής καθώς και η εκβιομηχάνιση της εξόρυξης έφεραν σημαντική βελτίωση στις συνθήκες εργασίας στις υπόγειες αλλά και στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Πολλά μεταλλεία και ορυχεία στον ανεπτυγμένο κόσμο έχουν υψηλό δείκτη ασφαλείας. Ωστόσο, τα υπόγεια ανθρακωρυχεία εξακολουθούν να παραμένουν ιδιαίτερα επικίνδυνα π.χ. λόγω της παρουσίας μεθανίου και συσσώρευσης σκόνης άνθρακα.

Οι αιτίες των ατυχημάτων στα ορυχεία και στα μεταλλεία ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: α) ανθρώπινα λάθη (80%), β) περιβάλλον εργασίας και μέσα παραγωγής (15%), γ) απρόβλεπτα γεγονότα (5%) (Γαλετάκης, 2001). Τα πορίσματα των διερευνήσεων συμφωνούν στο ότι τα ατυχήματα προκαλούνται από ανασφαλείς συνθήκες εργασίας, από επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων, από αστοχίες των συστημάτων ασφαλείας, από αστοχίες τεχνικών συστημάτων και σπανίως από «τυχαία» συμβάντα τα οποία είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν. Επίσης, πολλές καταστροφές έχουν συμβεί επειδή οι οργανισμοί έχουν αγνοήσει τις προειδοποιητικές ενδείξεις από διάφορα περιστατικά ή απέτυχαν να μάθουν από τα διδάγματα του παρελθόντος.

1.2 Ο ρόλος των ανθρώπινων λαθών στα συστήματα παραγωγής

Μετά από πολλά χρόνια βελτιώσεων της ασφάλειας των συστημάτων παραγωγής, διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων δύσκολα επιδέχονταν περαιτέρω μείωση. Από τις αρχές του 21ου αιώνα, φαίνεται ότι μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων οφειλόταν κυρίως σε ανθρώπινα λάθη που λαμβάνουν χώρα τόσο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση διαδικασιών ασφαλείας όσο και στην καθημερινή πραγματοποίηση των εργασιών (Κοντογιάννης 2017,).

Γενικά, είναι δύσκολο να δοθεί ένας αποτελεσματικός ορισμός του «ανθρώπινου λάθους» που να συμπεριλαμβάνει τις διαφορετικές οπτικές γωνίες των εργαζομένων, των διοικήσεων και των ερευνητών. Ένας γενικός ορισμός του ανθρώπινου λάθους θα μπορούσε να είναι «κάθε ενέργεια ενός εργαζομένου, η οποία εκτρέπεται από το κανονιστικό πλαίσιο και οδηγεί σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα». Ο ορισμός όμως αυτός δεν συμπεριλαμβάνει περιπτώσεις όπου μια τέτοια εκτροπή ή απόκλιση καταλήγει σε επιθυμητά αποτελέσματα, καθόσον η αντιμετώπιση πολλών απρόβλεπτων ή ασυνήθιστων καταστάσεων δεν είναι δυνατόν να περιγραφεί πλήρως στα κανονιστικά πλαίσια και τις γραπτές διαδικασίες. Τα ανθρώπινα λάθη αποτελούν μία από τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης των ατυχημάτων με απώλειες όπως θάνατοι, τραυματισμοί και καταστροφές ή φθορές εξοπλισμού. Έχουν επίσης άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα, στην παραγωγή και στην κερδοφορία των επιχειρήσεων.

Η ανάλυση ατυχημάτων αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία διότι απαιτεί τόσο την εξέταση της αξιοπιστίας των παρεχόμενων πληροφοριών όσο και την αξιολόγηση των παραγόντων που συντέλεσαν έμμεσα ή άμεσα στην πρόκλησή τους. Παράγοντες που μπορούν να παρατηρηθούν εύκολα (π.χ. λάθη χειρισμού) υπερτονίζονται, ενώ παράγοντες τεχνικής φύσης (π.χ. συντήρηση, σχεδιασμός πινάκων ελέγχου) ή οργανωτικής φύσης (π.χ. επίβλεψη, επικοινωνίες, εκπαίδευση) παραβλέπονται ή υποεκτιμούνται, επειδή απαιτούν περισσότερο χρόνο ή εξειδικευμένες γνώσεις για τον εντοπισμό τους. Για το λόγο αυτό χρειάζεται μια συστηματική προσέγγιση για τον εντοπισμό των παραγόντων που συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων και επαγγελματικών κινδύνων. Το ζήτημα της ανθρώπινης αξιοπιστίας είναι πολύ

σημαντικό για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων παραγωγής. Ωστόσο, η συστηματική μελέτη του ανθρώπινου λάθους έχει παραμεληθεί στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις για διάφορους λόγους. Σε γενικές γραμμές, έχει αποδειχτεί ότι τα ανθρώπινα λάθη είναι μοιραία όταν οι εργαζόμενοι βρεθούν σε καταστάσεις που αυξάνουν τον φόρτο εργασίας, δυσκολεύουν οι επικοινωνίες και δυσχεραίνουν τη διόρθωση ανεπιτυχών προσπαθειών. Τα ανθρώπινα λάθη έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως δικαιολογία για την κάλυψη των ευθυνών των διοικούντων. Η ουσία όμως είναι ότι τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν ένα λάθος χειρισμού συμπληρώσει το συνδετικό κρίκο σε μια σειρά ανασφαλών εργασιακών συνθηκών, τον έλεγχο των οποίων ασκεί αποκλειστικά η διοίκηση της επιχείρησης.

1.3 Προσεγγίσεις στην ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων

Η ανάλυση των ατυχημάτων εξαρτάται από την προσέγγιση ή το μοντέλο ασφαλείας που υιοθετείται από την επιχείρηση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες προσεγγίσεις στην ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων, οι οποίες εξετάζουν τόσο τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των εργαζομένων, όσο και τα Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας που καθορίζουν και οργανώνουν τον τρόπο αντιμετώπισης των κινδύνων.

- *Παραδοσιακή θεώρηση της ασφάλειας*
- *Συστημική θεώρηση της ασφάλειας*
- *Θεωρία συστημικού ελέγχου και κυβερνητικής*

Το Σύστημα Διαχείρισης Ασφαλείας (ΣΔΑ) είναι ένα σύνθετο σύστημα διοίκησης που έχει στόχο τόσο τον εντοπισμό των καταστάσεων που εγκυμονούν κινδύνους όσο και την ανάπτυξη μέτρων πρόληψης και προστασίας για τη μείωση της επικινδυνότητας, όπως πληροφοριακά συστήματα, οδηγίες και κανόνες ασφαλείας, εκπαίδευση προσωπικού, συστήματα αυτόματου ελέγχου κλπ.

1.3.1 Παραδοσιακή θεώρηση της ασφάλειας

Η πιο συνηθισμένη άποψη που επικρατεί στην ανάλυση ατυχημάτων είναι ότι ένας μικρός αριθμός χειριστών ευθύνεται για την πλειοψηφία των ατυχημάτων, αφού αυτοί θεωρούνται ότι έχουν τον έλεγχο και την επιλογή για το πώς θα εκτελέσουν τις εργασίες τους. Σύμφωνα με την παραδοσιακή θεώρηση, η απροσεξία, η ανευθυνότητα, η αδιαφορία, η έλλειψη γνώσεων και η απουσία κινήτρων αποτελούν τις κύριες αιτίες ανθρωπίνων λαθών. Σύμφωνα με την παραδοσιακή θεώρηση τα ατυχήματα προκαλούνται από το συνδυασμό δυο παραγόντων:

- *Επικίνδυνων συμπεριφορών*
- *Ανασφαλών συνθηκών*

Η Παραδοσιακή θεώρηση έχει εφαρμοστεί με κάποιο βαθμό επιτυχίας κυρίως στον έλεγχο συμβάντων που αφορούν την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων ενώ στον έλεγχο της ασφάλειας των συστημάτων παραγωγής (βιομηχανική ασφάλεια) δεν έχει συναντήσει μεγάλη επιτυχία. Στη δεύτερη περίπτωση, οι καταστάσεις που εγκυμονούν κινδύνους είναι δυσκολότερο να προσδιοριστούν και απαιτούν ειδικές γνώσεις για την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, τις ικανότητες ελέγχου των χειριστών, και το ρόλο των πληροφοριακών συστημάτων στη διαχείριση επικίνδυνων συμβάντων.

1.3.2 Συστημική θεώρηση της ασφάλειας

Η Συστημική θεώρηση της ασφάλειας δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στον ανθρώπινο παράγοντα αλλά λαμβάνει υπόψη και τους τεχνολογικούς και διοικητικούς παράγοντες που συντέλεσαν στο ατύχημα. Θεωρεί ότι η πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα εξαρτάται από το συνδυασμό τριών παραγόντων : (1) τον άνθρωπο, (2) το σύστημα εργασίας, και (3) το τεχνικό σύστημα (Reason, 1987).

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή ενός συστήματος διοίκησης της ασφάλειας, τα βασικά στοιχεία του οποίου είναι κοινά σε πολλές επιχειρήσεις. Στη συνέχεια εξετάζονται τα μέτρα και οι φραγμοί που εφαρμόζει η επιχείρηση για την πρόληψη των κινδύνων και τον έλεγχο αυτών, ώστε να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα. Όταν οι αστοχίες των φραγμών αυτών («λανθάνουσες αστοχίες») συνδυαστούν με κάποια ανθρώπινα λάθη («ενεργές αστοχίες») τότε είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε επικίνδυνα γεγονότα. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει συχνά και οι λανθάνουσες αστοχίες ενυπάρχουν στο σύστημα χωρίς να προκαλούν πάντα κινδύνους. Μερικές φορές όμως, ένας συνδυασμός ενεργών και λανθανουσών αστοχιών είναι αρκετός για να προκαλέσει ένα ατύχημα.

Η διοίκηση της ασφάλειας

Στο πρώτο επίπεδο της ιεραρχίας (πολιτικές διοίκησης) βρίσκεται η διεύθυνση της επιχείρησης η οποία περιλαμβάνει τους σχεδιαστές και τα διευθυντικά στελέχη της επιχείρησης. Εδώ καθορίζονται οι στόχοι της επιχείρησης, οι στρατηγικές που απαιτούνται και η κατανομή των πόρων (π.χ. δαπάνες, εξοπλισμός, εργατικό δυναμικό) ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή και να εξασφαλίζονται υψηλά επίπεδα ασφαλείας. Για παράδειγμα, εάν η επιχείρηση υιοθετήσει μία πολιτική που δίνει αυξημένη προτεραιότητα στην παραγωγή και χαμηλή βαρύτητα στην ασφάλεια, τότε αυξάνεται η πιθανότητα λαθών που θέτουν σε κίνδυνο τον τεχνικό εξοπλισμό αλλά και τους ίδιους τους εργαζόμενους.

Στο *δεύτερο επίπεδο* (επιχειρησιακές διαδικασίες), συμπεριλαμβάνονται όλοι οι αρμόδιοι για την εφαρμογή των στρατηγικών που χαράσσει η διοίκηση στα επιμέρους τμήματα του συστήματος (π.χ. επόπτες, τμηματάρχες, μηχανικοί ασφαλείας). Ακόμη και αν χαραχθούν οι κατάλληλες πολιτικές, αυτές δεν θα είναι αποτελεσματικές εάν δεν έχουν την πλήρη υποστήριξη όλων των στελεχών.

Μεταξύ των εποπτών-τμηματάρχων και των παραγωγικών διεργασιών, υπάρχει ένα *τρίτο επίπεδο* εργασιακών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να δημιουργήσουν προϋποθέσεις για λάθη. Αυτοί οι Εργασιακοί Παράγοντες Επιρροής (ΕΠΕ) λειτουργούν ως φραγμοί στη διάδοση των αστοχιών μέσα στο σύστημα εργασίας. Δυστυχώς, οι παράγοντες αυτοί δεν είναι πάντα καλά σχεδιασμένοι, με αποτέλεσμα η αμυντική τους δράση να είναι μειωμένη ή και απύσχη (π.χ. κακός σχεδιασμός εργασιών, κακή συντήρηση του εξοπλισμού, ανεπαρκής εκπαίδευση). Στα σύγχρονα συστήματα παραγωγής, απαιτούνται επιπλέον νοητικές ικανότητες για την επίλυση προβλημάτων, τη διάγνωση και τη λήψη αποφάσεων σε διάφορες φάσεις της παραγωγής.

Το *τελευταίο επίπεδο*, περιλαμβάνει τις άμυνες του συστήματος έναντι τυχόν κινδύνων τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού (π.χ. αυτοματισμοί ασφαλείας), όσο και εργατικού δυναμικού (π.χ. ατομικά μέσα προστασίας). Προκειμένου να είναι σε θέση οι αποφασίζοντες να ελέγχουν τα σχέδια δράσης θα πρέπει να υπάρχουν κάποιοι βρόχοι ανατροφοδότησης, οι οποίες ουσιαστικά παρέχουν τις πληροφορίες που χρειάζεται η διοίκηση από τα χαμηλά επίπεδα της ιεραρχίας.

Ενεργές και λανθάνουσες αστοχίες

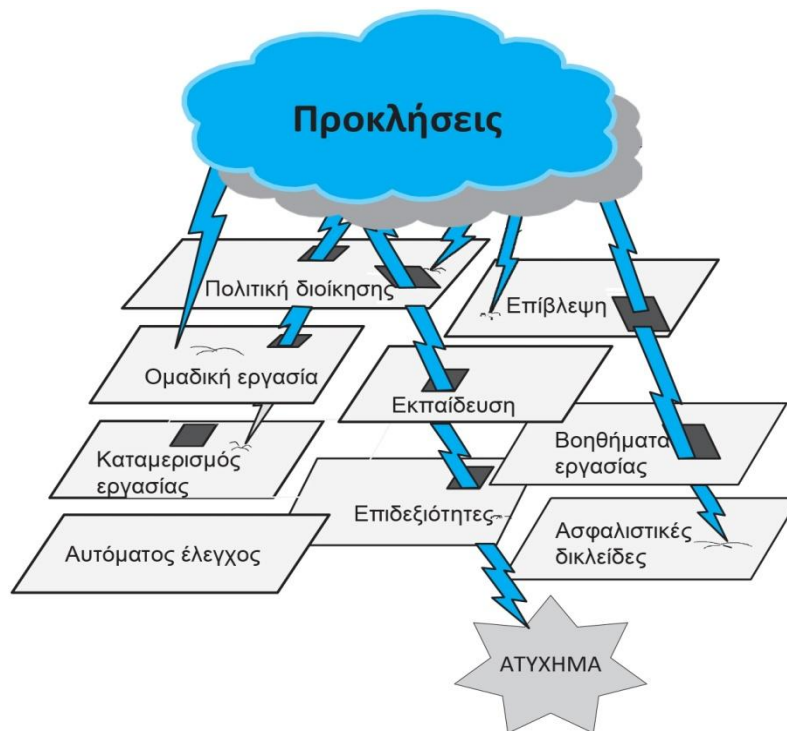
Ο καθηγητής James Reason (1997) έχει διακρίνει δυο κατηγορίες αστοχιών ανάλογα με το επίπεδο ιεραρχίας που συμβαίνουν :

Οι *Ενεργές αστοχίες* (*active failures*), αναφέρονται σε λάθη που έχουν άμεσες αποσταθεροποιητικές επιπτώσεις στο σύστημα εργασίας. Γίνονται από αυτούς που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το σύστημα και σχετίζονται με την εφαρμογή παρακαμπτηρίων λύσεων ή την καταστρατήγηση των ασφαλιστικών δικλείδων.

Οι *Λανθάνουσες αστοχίες (latent failures)*, αναφέρονται σε αποφάσεις της διοίκησης των οποίων οι επιβλαβείς συνέπειες μπορούν να υποβόσκουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Καθίσταται όμως εμφανείς όταν συνδυάζονται με τοπικούς «πυροδοτικούς» παράγοντες ή γεγονότα (δηλαδή ενεργές αστοχίες και βλάβες του εξοπλισμού) και διαπερνούν τις ασφαλιστικές δικλείδες του συστήματος. Οι λανθάνουσες αστοχίες είτε υποβοηθούν την εκδήλωση ενεργών αστοχιών (π.χ. ανθρώπινα λάθη) με τη δημιουργία ανασφαλών συνθηκών, είτε καθιστούν ανενεργές τις ασφαλιστικές δικλείδες, είτε μεγιστοποιούν τις επιβλαβείς επιπτώσεις των αστοχιών. Οι λανθάνουσες αστοχίες αναφέρονται σε λάθη σχεδιασμού του τεχνικού συστήματος και σε ανεπαρκείς διοικητικές διαδικασίες. Συνήθως, διαπράττονται από ανώτερα στελέχη όπως, μελετητές και κατασκευαστές του συστήματος, σχεδιαστές, αποφασίζοντας σε υψηλά ιεραρχικά επίπεδα, επόπτες παραγωγής κ.λπ.

Συναφής με τα παραπάνω είναι η θεωρία των «συστημικών αμυνών ή φραγμών» (*defences-in-depth*), η οποία βλέπει τα οργανωσιακά επίπεδα ως επίπεδα άμυνας που είναι έτοιμα να διατηρήσουν τις λειτουργίες του συστήματος, στην περίπτωση που το προηγούμενο επίπεδο αποτύχει. Η θεωρία των «συστημικών φραγμών» δείχνει ότι είναι πραγματικά δύσκολο να προκύψουν σοβαρά ατυχήματα σε πολύπλοκα τεχνολογικά συστήματα (π.χ. πυρηνικά ή χημικά εργοστάσια και πολιτική αεροπορία) επειδή υπάρχουν πολλαπλοί φραγμοί στους κινδύνους.

Το Σχήμα 1.1 δίνει μία διαγραμματική παρουσίαση της θεωρίας αυτής που αναπτύχθηκε από τον Reason (1997) και αναφέρεται ως το μοντέλο του «Ελβετικού τυριού» (*Swiss Cheese Model*) στην πρόκληση ατυχημάτων. Σε ιδανικές συνθήκες, τα επίπεδα άμυνας είναι συμπαγή, αποτρέποντας κάθε πιθανότητα να διαπεραστούν από κινδύνους που ενδέχεται να οδηγήσουν σε ατύχημα. Ωστόσο στην πραγματικότητα, κάθε επιμέρους επίπεδο άμυνας εμφανίζει αδυναμίες και κενά που θέτουν σε κίνδυνο τον οργανισμό. Παρόλο που οι ρωγμές στα επίπεδα άμυνας φαίνονται να είναι στατικές, στην πραγματικότητα είναι δυναμικές, αλλάζοντας σχήμα, μέγεθος και θέση ανάλογα με τη λειτουργία του συστήματος.



**Σχήμα 1.1: Επικίνδوني συνδυασμοί ρωγμών στα επίπεδα άμυνας του οργανισμού
(Κοντογιάννης, 2017)**

Οι απαραίτητες συνθήκες για να προκληθεί ένα ατύχημα είναι να συμβεί μια παράταξη σε σειρά όλων των κενών των αμυντικών επιπέδων, επιτρέποντας στους κινδύνους να τα διαπεράσουν και να πλήξουν ανθρώπους και εξοπλισμό. Αυτό το «παράθυρο ευκαιρίας» για τους κινδύνους παρουσιάζεται πολύ σπάνια λόγω των πολλαπλών επιπέδων άμυνας και της δυναμικής φύσης των ρωγμών τους. Με βάση το μοντέλο των λανθανουσών αστοχιών ή παθογενειών μπορούν να γίνουν μερικές παρατηρήσεις σχετικά με την πρόκληση ατυχημάτων :

Η πιθανότητα ενός ατυχήματος, είναι συνάρτηση του αριθμού των παθογενειών που ενυπάρχουν στο σύστημα. Όσο περισσότερες είναι αυτές, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα κάποιες να συνδυαστούν με ένα πυροδοτικό γεγονός και να προκύψει μια ακολουθία γεγονότων η οποία θα οδηγήσει σε ατύχημα. Όσο πιο σύνθετο και αδιαφανές είναι ένα σύστημα, τόσο περισσότερες παθογένειες μπορεί να περιλαμβάνει. Σε απλά συστήματα, που έχουν λίγες ασφαλιστικές δικλείδες, ακόμη και λίγες παθογένειες μπορεί να επιτρέψουν να προκληθεί ένα ατύχημα. Όσο υψηλότερα

βρίσκεται ένα άτομο στην ιεραρχική δομή ενός οργανισμού τόσο μεγαλύτερες είναι οι ευκαιρίες να προξενήσει παθογένειες. Τα πυροδοτικά γεγονότα είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθούν, ενώ οι παθογένειες μπορούν να εντοπισθούν και εξαλειφθούν ευκολότερα όταν υπάρχει η απαραίτητη γνώση του πραγματικού συστήματος εργασίας και των συνθηκών λειτουργίας του. Οι προσπάθειες για τον εντοπισμό και την εξάλειψη των παθογενειών ενός υπαρκτού ή υπό σχεδίαση συστήματος είναι πολύ πιο αποτελεσματικές από τις προσπάθειες ελαχιστοποίησης των ενεργών αστοχιών.

1.3.3 Θεωρία συστημικού ελέγχου και κυβερνητικής

Σύμφωνα με τη θεωρία του συστημικού ελέγχου και κυβερνητικής (Leveson 2011, Dekker 2011), τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν το Σύστημα Διαχείρισης Ασφαλείας είτε δεν μπορεί να επιβάλλει κάποιους «περιορισμούς ασφαλείας», είτε δεν μπορεί να ελέγξει αποτελεσματικά διάφορες εξωτερικές διαταραχές της εγκατάστασης, αστοχίες του εξοπλισμού και δυσλειτουργίες στις αλληλεπιδράσεις των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης.

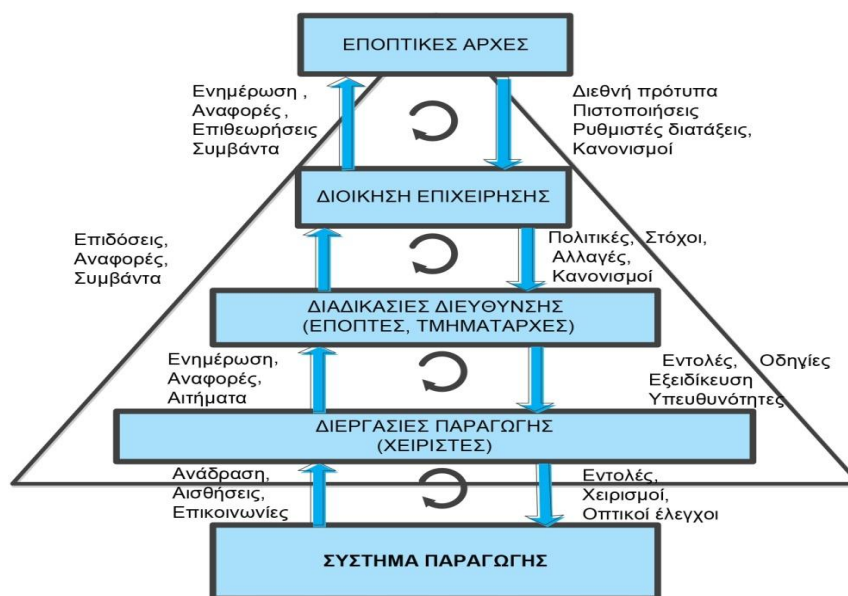
Το πρόβλημα της ασφάλειας ανάγεται σε πρόβλημα ελέγχου του οργανισμού το οποίο μπορεί να γίνει διαχειρίσιμο από μία ιεραρχική δομή ελέγχου που λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικό-τεχνικό σύστημα. Ο στόχος αυτής της δομής ελέγχου είναι ο σχεδιασμός μιας σειράς «περιορισμών ασφαλείας» και η συμμόρφωση των επιχειρησιακών διαδικασιών με αυτούς. Επομένως, οι προτεινόμενες μέθοδοι αποσκοπούν τόσο στον καθορισμό των τεχνικών περιορισμών (π.χ. όρια ανοχής-ασφάλειας των μεταβλητών του συστήματος) όσο και των λειτουργικών περιορισμών (π.χ. περιθώρια ελέγχου και χρονικής δράσης, εύρος καθηκόντων και περιθώρια αυτονομίας) που προδιαγράφουν τα ασφαλή όρια μέσα στα οποία θα κινούνται όλες οι ενέργειες των εργαζομένων.

Ο δεύτερος στόχος αυτής της προσέγγισης αφορά τον έλεγχο για τη συμμόρφωση όλων των ενεργειών με τους περιορισμούς ασφαλείας καθώς και την αναθεώρηση των περιορισμών σύμφωνα με τα στοιχεία που προκύπτουν από τη εκπόνηση των εργασιών. Παράδειγμα συμμόρφωσης σε περιορισμούς ασφαλείας μπορεί να είναι: «ο

χειριστής συμμορφώνεται με τις γραπτές οδηγίες» ή «ο συντηρητής φορά τα προστατευτικά του γάντια». Έτσι, η ανάλυση ατυχημάτων δεν αφορά μόνο τον καθορισμό των αστοχιών και λαθών, αλλά και την ανάλυση του διοικητικού συστήματος και ελέγχου της επιχείρησης.

Μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος συστημικού ελέγχου είναι η STAMP (Systems-Theoretical Accident Model and Processes) η οποία έχει αναπτυχτεί από τη Leveson (2004) και εξετάζει τις διαδικασίες ελέγχου σε όλα τα ιεραρχικά επίπεδα του οργανισμού. Ο κάθε βρόχος ελέγχου περιέχει επιμέρους στόχους, σχέδια δράσης που συμμορφώνονται με τους περιορισμούς ασφαλείας, μηχανισμούς επικοινωνίας και συντονισμού, καθώς και τρόπους ανάδρασης ή ενημέρωσης σχετικά με την πρόοδο των εργασιών. Κάθε ιεραρχικό επίπεδο του οργανισμού έχει το δικό του βρόγχο ελέγχου με διαφορετικούς όμως χρονικούς ορίζοντες. Είναι σημαντικό ότι οι βρόγχοι αυτοί θα πρέπει να συνεργάζονται ώστε να μη εστιάζουν μόνο στους τοπικούς τους στόχους, αλλά και στο συνολικό στόχο της επιχείρησης. Στις καθημερινές εργασίες, οι οργανισμοί έχουν συνήθως τη δυνατότητα να ρυθμίζουν τον κάθε τοπικό βρόγχο ελέγχου, ώστε να πετυχαίνουν την έγκαιρη απόκριση του οργανισμού σε μικρές διακυμάνσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι, η πορεία προς ένα ατύχημα μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά ανεπιτυχών ελέγχων των τμημάτων του οργανισμού σε ασυνήθιστα γεγονότα και καταστάσεις, όπου οι περιορισμοί ασφαλείας είναι ανεπαρκείς, εσφαλμένοι ή παραμένουν ανεφάρμοστοι από τους εργαζόμενους. Η προσέγγιση αυτή δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στις αιτίες που οδήγησαν τους βρόγχους ελέγχου να αποτύχουν να εμποδίσουν ή να διορθώσουν κάποιες ανεπιθύμητες ενέργειες που παραβίασαν τους περιορισμούς ασφαλείας.

Σύμφωνα με το συστημικό έλεγχο, τα τεχνικά συστήματα και οι οργανισμοί θεωρούνται ως συστήματα τοπικών ελέγχων που προσαρμόζουν τη λειτουργία τους στις απαιτήσεις νέων καταστάσεων, ώστε να διατηρείται ασφαλής ο συνολικός οργανισμός. Το σύστημα αποτελείται από πολλούς βρόγχους ελέγχου, τοποθετημένους σε μια ιεραρχική δομή με τέτοιο τρόπο ώστε τα ανώτερα επίπεδα να καθορίζουν τα μέσα και τους πόρους στα κατώτερα επίπεδα (Checkland 1981).



Σχήμα 1.2: Ιεραρχικός έλεγχος σε ένα κοινωνικό-τεχνικό σύστημα (Κοντογιάννης, 2017)

Εκτός από περιορισμούς στη δράση που επιβάλλουν τα ανώτερα επίπεδα, ρυθμίζουν και τη ροή των εντολών και πληροφοριών «εκ των έσω προς τα έξω». Ο βαθμός αυτονομίας που επιτρέπεται στα κατώτερα επίπεδα ελέγχου καθορίζεται από τη φιλοσοφία διοίκησης του οργανισμού (π.χ. συγκεντρωτικές και κατακευκαλισμένες δομές) και από τη φύση της εργασίας. Η συστημική προσέγγιση θεωρεί τους οργανισμούς ως ιεραρχικά δομημένες μονάδες, οι οποίες συντονίζονται μεταξύ τους (οριζόντιος συντονισμός) και ρυθμίζονται από ένα βρόγχο ελέγχου τοποθετημένου στο ανώτερο επίπεδο (κάθετος έλεγχος). Το Σχήμα 1.2 απεικονίζει τον ιεραρχικό έλεγχο σε ένα τεχνικό-κοινωνικό σύστημα Leveson (2004).

Ένα παραπλήσιο ιεραρχικό μοντέλο ελέγχου μπορεί να σχηματισθεί και για επιχειρήσεις σχεδιασμού του τεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων και παροχή υπηρεσιών από άλλες επιχειρήσεις. Επειδή η ασφάλεια αφορά τόσο την παραγωγή όσο και τη χρήση του εξοπλισμού, η μέθοδος STAMP περιγράφει δυο ιεραρχικές δομές ελέγχου που αλληλεπιδρούν για να επιτύχουν τη συνολική ασφάλεια. Για παράδειγμα, μια βιομηχανία παραγωγής εξοπλισμού για ορυχεία, μπορεί να ελέγχει την παραγωγή βιομηχανικού εξοπλισμού

ώστε να διασφαλίσει την «εγγενή ασφάλεια των προϊόντων» (π.χ. ο εξοπλισμός είναι σχεδιασμένος με ασφάλεια για ένα μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας). Από την άλλη πλευρά, ένα ορυχείο πρέπει να διασφαλίζει την ασφαλή χρήση του εξοπλισμού από το εργατικό δυναμικό του ορυχείου. Επειδή η συνολική ασφάλεια περιλαμβάνει τόσο το σχεδιασμό όσο και τη χρήση εξοπλισμού από τους εργαζόμενους, πρέπει να καθοριστούν οι επικοινωνίες μεταξύ των οργανισμών σχεδιασμού και λειτουργίας του εξοπλισμού. Οι κατασκευάστριες εταιρείες του εξοπλισμού πρέπει να ενημερώνουν το ορυχείο για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, τις διαδικασίες χρήσης του (π.χ. γραπτές οδηγίες χρήσης), τις περιόδους επιθεώρησης και τους τύπους συντήρησης αυτών. Από την πλευρά του το ορυχείο, πρέπει να συλλέγει πληροφορίες και να επικοινωνεί με τις κατασκευάστριες εταιρείες, δίνοντας πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του εξοπλισμού, τα συμπτώματα καταπόνησης και τα προβλήματα του, ώστε να βελτιώνονται τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του.

Στο Σχήμα 1.2, γίνεται φανερό ότι τα κατακόρυφα κανάλια επικοινωνίας μεταδίδουν εντολές και οδηγίες προς τα κατώτερα επίπεδα και λαμβάνουν ενημέρωση για την πρόοδο που υλοποιούνται στα κατώτερα επίπεδα. Αυτή η ανάδραση προς τα ανώτερα επίπεδα είναι βασική συνθήκη λειτουργίας των βρόγχων ελέγχου, ώστε να ρυθμίζουν τις οδηγίες και τους στόχους τους. Με άλλα λόγια, τα ανώτερα επίπεδα θέτουν περιορισμούς λειτουργίας με τους οποίους πρέπει να συμμορφώνονται τα κατώτερα επίπεδα. Προβλήματα στον έλεγχο των οργανισμών μπορεί να περιλαμβάνουν: ανταγωνιστικούς στόχους μεταξύ των τμημάτων, κακό συντονισμό των μονάδων, ανεπαρκείς ή εσφαλμένους περιορισμούς από τα ανώτερα επίπεδα.

Οι βρόχοι ελέγχου στα διάφορα επίπεδα του οργανισμού έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την ταχύτητα ελέγχου και τα περιθώρια αυτονομίας. Η ταχύτητα ελέγχου των εποπτικών αρχών είναι πολύ μικρότερη από αυτή των διοικητικών στελεχών, καθώς ένα πρότυπο ασφαλείας των οργανισμών μπορεί να πάρει μερικά χρόνια να αναπτυχθεί, ενώ ένα πρόγραμμα ασφαλείας από τη διοίκηση μπορεί να εγκριθεί σε μερικούς μήνες. Με τη ίδια λογική, οι οδηγίες προς τους επόπτες και τμηματάρχες μπορούν να διακινηθούν σε λίγες μέρες, ενώ οι εντολές των χειριστών προς τις μηχανές είναι της τάξεως των ολίγων λεπτών ή δευτερολέπτων. Αντίστοιχη είναι η καθυστέρηση και η διαστρέβλωση της ενημέρωσης προς τα

ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας. Για παράδειγμα, οι χειριστές συνήθως λαμβάνουν γρήγορη και αξιόπιστη ανάδραση από τις μηχανές, αλλά οι επόπτες δεν είναι βέβαιοι εάν η ενημέρωση από τους χειριστές είναι καθυστερημένη ή διαστρεβλωμένη.

Όσον αφορά το βαθμό αυτονομίας και ευελιξίας που επιτρέπεται στα κατώτερα επίπεδα, αυτός εξαρτάται από το ιεραρχικό επίπεδο και τη φύση των εργασιών που εκπονούνται. Οι εργασίες ρουτίνας εκπονούνται γρηγορότερα με την πιστή συμμόρφωση στις διαδικασίες, ενώ οι άγνωστες εργασίες απαιτούν πρωτοβουλίες, γεγονός που ενθαρρύνει την αυτονομία και την ευελιξία στη λήψη αποφάσεων. Σχετικά με το ρόλο του επιπέδου ιεραρχίας στην ευελιξία, γενικά ισχύει ότι τα ανώτατα επίπεδα δίνουν γενικές κατευθύνσεις και συστάσεις στη διοίκηση, τα μεσαία επίπεδα δίνουν κανονισμούς και γραπτά εγχειρίδια, ενώ τα κατώτερα επίπεδα δίνουν εντολές και χειρίζονται απευθείας το μηχανικό εξοπλισμό.

1.4 Οργανωσιακή κουλτούρα

Οι οργανισμοί αποτελούνται από συστήματα στα οποία αλληλεπιδρούν άνθρωποι που με την εργασία τους, τις πράξεις τους και τις σχέσεις τους δίνουν υπόσταση σε ένα οργανωμένο σύνολο δραστηριοτήτων, ώστε να επιτύχουν συγκεκριμένους κοινούς στόχους. Σκοπός κάθε οργανισμού είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας του. Κάθε οργανισμός έχει ένα πρόγραμμα που απαρτίζεται από ένα σύνολο από ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν με επιτυχία ή αποτυχία. Στο πλαίσιο του οργανισμού περιλαμβάνονται τα παρακάτω στοιχεία:

- 1) Εσωτερικός κανονισμός λειτουργίας του οργανισμού*
- 2) Προγραμματισμός των ενεργειών των εργαζομένων*
- 3) Προσαρμοστικότητα στις αλλαγές που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον*
- 4) Κατανόηση του τρόπου που οι εργαζόμενοι του οργανισμού κινούνται, συμπεριφέρονται και πράττουν.*

Η κατανόηση των συμπεριφορών, των αντιλήψεων και των πράξεων των μελών ενός οργανισμού ή αλλιώς «οργανωσιακή κουλτούρα», τα τελευταία χρόνια, έχει κερδίσει την ευρεία αποδοχή ως ένας τρόπος κατανόησης των εργασιακών συστημάτων. Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία ενός οργανισμού, είναι η οργανωσιακή κουλτούρα να συνδέεται με τις αξίες του οργανισμού, τις προσωπικές πεποιθήσεις και το όραμά του. Ένα θεωρητικό πλαίσιο της οργανωσιακής κουλτούρας μπορεί να προκύψει από τον συνδυασμό της οργανωσιακής συμπεριφοράς, της κοινωνικής ψυχολογίας και της γνωστικής ψυχολογίας.

Ο όρος «Κουλτούρα Ασφάλειας», εμφανίζεται για πρώτη φορά το 1987 στην αναφορά του Nuclear Agency για τη διερεύνηση του ατυχήματος στο Chernobyl το 1986 (International Nuclear Safety Advisory Group – INSAG, 1991). Στην έκθεση του INSAG η έννοια της κουλτούρας ασφάλειας περιγράφεται ως εξής:

«Κουλτούρα Ασφάλειας είναι εκείνο το σύνολο των χαρακτηριστικών και νοοτροπιών που καθορίζει σε άτομα και οργανισμούς, ότι τα θέματα ασφάλειας είναι υπεράνω όλων και ότι η ασφάλεια πρέπει να τυγχάνει της δέουσας προσοχής, η οποία απορρέει από τη σπουδαιότητά της».

Αυτή η έννοια εισήχθη με σκοπό να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο η έλλειψη γνώσης και κατανόησης των κινδύνων τόσο από τους εργαζόμενους όσο και από τον οργανισμό, συνέβαλε στην έκβαση της καταστροφής. Από τότε, έχει εισαχθεί ένας μεγάλος αριθμός ορισμών για την Κουλτούρα Ασφάλειας. Η επιτροπή Υγιεινής και Ασφάλειας του Ηνωμένου Βασιλείου ανέπτυξε έναν κοινά αποδεκτό ορισμό, ο οποίος είναι:

«Η Κουλτούρα Ασφάλειας ενός οργανισμού είναι το προϊόν των ατομικών και ομαδικών αξιών, νοοτροπιών, ικανοτήτων και συμπεριφορών που καθορίζουν την αφοσίωση, το στυλ και την εμπειρία της διοίκησης Υγιεινής και Ασφάλειας ενός οργανισμού» (HSE, 2005). Συνεπώς, ο όρος «Κουλτούρα Ασφάλειας», χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εταιρική ατμόσφαιρα, μέσα στην οποία η ασφάλεια γίνεται αντιληπτή και αποδεκτή ως η κύρια προτεραιότητα ενός οργανισμού. Άρα, η κουλτούρα ασφάλειας αποτελεί ένα υποσύνολο της συνολικής κουλτούρας του οργανισμού.

Εδώ και τρεις δεκαετίες, υπάρχει μια πληθώρα ερευνών και ορισμών όσον αφορά την κουλτούρα ασφαλείας. Ωστόσο, υπάρχουν μερικά κοινά χαρακτηριστικά τα οποία αναγνωρίζονται από τους περισσότερους ορισμούς. Αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά που συνδέονται με την κουλτούρα ασφάλειας, ενσωματώνουν τις έννοιες των πεποιθήσεων, των αξιών και των νοοτροπιών που μοιράζεται μια ομάδα ανθρώπων. Οι Glendon et al. (2006), τονίζουν ότι ένας αριθμός ορισμών για την κουλτούρα ασφαλείας εξαρτάται από τις αντιλήψεις, που μοιράζονται τα άτομα μιας ομάδας μέσα σε έναν οργανισμό ή σε ένα κοινωνικό περιβάλλον. Κατά την άποψή τους, η κουλτούρα ασφαλείας ενός οργανισμού λειτουργεί ως οδηγός για τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφέρονται οι εργαζόμενοι στο χώρο εργασίας.

Επομένως, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η αντίληψη ενός οργανισμού για την κουλτούρα ασφαλείας, καθώς αυτή αποτελεί τον αποφασιστικό παράγοντα της ανθρώπινης απόδοσης και της οργανωσιακής ασφαλείας. Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς, τα άτομα και οι ομάδες δεσμεύονται προσωπικά για την ασφάλεια με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαφυλάξουν, να ενδυναμώσουν και να μεταδώσουν τη σημασία της ασφαλείας, να υιοθετήσουν και να τροποποιήσουν συμπεριφορές (ατομικές και οργανωσιακές) και να λειτουργήσουν με βάση τη λογική «μαθαίνω από τα λάθη μου».

1.5 Οργανωσιακά ατυχήματα

Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στη διερεύνηση ατυχημάτων έδειξαν πως τα αίτια για τα περισσότερα ατυχήματα αναφέρονται στην ελλιπή οργάνωση εργασίας και στην υποβάθμιση της κουλτούρας για την ασφάλεια. Πολλές καταστροφές έχουν συμβεί επειδή οι οργανισμοί έχουν αγνοήσει τις προειδοποιητικές ενδείξεις από διάφορα περιστατικά ή απέτυχαν να μάθουν από τα διδάγματα του παρελθόντος. Ο κίνδυνος είναι εγγενής σε πολλά συστήματα υψηλής τεχνολογίας, αλλά η κοινωνία βλέπει τα οφέλη τους στο να συνεχίσουν να λειτουργούν τα συστήματα αυτά παρά το κόστος των περιστασιακών καταστροφών. Η θεωρία των

«οργανωσιακών ατυχημάτων», βλέπει τα ατυχήματα ως μια αναπόφευκτη κατάσταση που προκαλείται από την πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα των συστημάτων.

Τα οργανωσιακά ατυχήματα, έχουν πολλαπλές αιτίες που αφορούν όλους τους ανθρώπους που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα στις αντίστοιχες θέσεις σε έναν οργανισμό. Ο Reason (1997), περιγράφει τρία στάδια στην μελέτη των οργανωσιακών ατυχημάτων:

- *το στάδιο των οργανωσιακών παραγόντων*
- *το στάδιο των τοπικών παραγόντων στο χώρο εργασίας*
- *και το στάδιο των επικίνδυνων συμπεριφορών*

Οι οργανωσιακοί παράγοντες περιλαμβάνουν τις στρατηγικές αποφάσεις, τη διαχείριση και τον έλεγχο. Οι τοπικοί παράγοντες του χώρου εργασίας, περιλαμβάνουν την ανεπαρκή κατάρτιση, τις κακές επικοινωνίες και τις ανεφάρμοστες διαδικασίες.

Οι άμυνες, τα εμπόδια και οι διασφαλίσεις κατέχουν κεντρική θέση στην προσέγγιση του συστήματος. Στις εγκαταστάσεις υψηλής επικινδυνότητας, υπάρχει ένα μίγμα «σκληρών» και «μαλακών» αμυντικών και προστατευτικών μέτρων ασφαλείας. Τα πρώτα μέτρα ασφαλείας περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά συστήματα ασφαλείας όπως αυτόματους ελέγχους, προειδοποιητικά συστήματα και συστήματα διακοπής λειτουργίας μαζί με διάφορους φυσικούς φραγμούς. Τα δεύτερα μέτρα ασφαλείας, περιλαμβάνουν κανόνες και διαδικασίες για τους εργαζόμενους, εκπαίδευση, εξάσκηση, διοικητικούς ελέγχους και εξειδικευμένα άτομα πρώτης γραμμής. Το αποτέλεσμα αυτών των πολλών επιπέδων άμυνας είναι η έγκαιρη πρόληψη μεμονωμένων αστοχιών, ανθρώπινης ή τεχνικής φύσης. Η λειτουργία τους αφορά την προστασία των πιθανών θυμάτων και τα περιουσιακά τους στοιχεία από τους κατά τύπου κινδύνους.

Σε έναν ιδανικό κόσμο, κάθε επίπεδο άμυνας θα ήταν απροσπέλαστο. Στην πραγματικότητα, οι φραγμοί μοιάζουν περισσότερο με φέτες ελβετικού τυριού με πολλές οπές. Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, οι ενεργές αστοχίες

γίνονται από αυτούς που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το σύστημα και σχετίζονται με την εφαρμογή παρακαμψηρίων λύσεων ή την καταστρατήγηση των ασφαλιστικών δικλίδων. Ενώ οι λανθάνουσες αστοχίες, αναφέρονται σε αποφάσεις της διοίκησης των οποίων οι επιβλαβείς συνέπειες μπορούν να υποβόσκουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε αντίθεση με τις ενεργές αστοχίες, που συνήθως είναι δύσκολο να προβλεφθούν, οι λανθάνουσες αστοχίες μπορούν να εντοπιστούν και να αποκατασταθούν πριν συμβεί ένα ανεπιθύμητο συμβάν.

Για παράδειγμα η διερεύνηση της έκρηξης στο διυλιστήριο της BP από το Συμβούλιο Ασφάλειας των ΗΠΑ (CSB, 2007) ανέφερε ότι η BP είχε ζημιές άνω του 1,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το CSB επεσήμανε την αρνητική επίδραση της πίεσης παραγωγής και της περικοπής των επενδύσεων στη μηχανική ακεραιότητα του εξοπλισμού στη συνολική ασφάλεια του διυλιστηρίου. Οι Hynes και Prasad (1997), ανέλυσαν την έκρηξη του ανθρακωρυχείου Westray στον Καναδά το 1992 και αναγνώρισαν ότι οι πιέσεις της παραγωγής, οι οικονομικοί παράγοντες καθώς και η παραβίαση των κανόνων ασφαλείας, ήταν σημαντικοί παράγοντες αποσταθεροποίησης της ασφαλούς λειτουργίας του ορυχείου. Στην περίπτωση της έκρηξης του ορυχείου Moura στη Queensland στην Αυστραλία, παρόλο που διαπιστώθηκε ότι, το ορυχείο είχε προτεραιότητα την ασφάλεια έναντι της παραγωγής, η ασφάλεια θυσιάστηκε προς όφελος της παραγωγής λίγο πριν το ατύχημα (Hopkins, 1999).

Σύμφωνα με τον Reason (1997), οι οργανισμοί έχουν την τάση να κινούνται σε έναν χώρο που περιορίζεται από τις απαιτήσεις της ασφάλειας και της παραγωγής. Οι οργανώσεις που εστιάζουν αποκλειστικά στην παραγωγή είναι πιο πιθανό να βιώσουν οργανωσιακά ατυχήματα. Ο μεγάλος αριθμός των οργανωσιακών ατυχημάτων που σχετίζονται με τις πιέσεις για παραγωγή φανερώνει ότι, η σχέση μεταξύ παραγωγής και ασφάλειας είναι πολύπλοκη. Προς αυτή την κατεύθυνση τα διαγράμματα επιρροής που χρησιμοποιούνται στη Δυναμική Συστημάτων είναι αρκετά χρήσιμα για τη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ παραγωγής και ασφάλειας.

1.6 Χρονικές διαστάσεις της επικινδυνότητας

Η επικινδυνότητα δεν είναι ένα στατικό μέγεθος αλλά μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εργασιακοί παράγοντες έχουν διαφορετικές χρονικές επιρροές στις ενέργειες των χειριστών και στη λειτουργία του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, ένας διοικητικός παράγοντας (π.χ. διαθέσιμοι πόροι για την ασφάλεια) έχει βραδύτερη επίδραση στην επικινδυνότητα από έναν εργονομικό παράγοντα όπως ο σχεδιασμός πινάκων ελέγχου ή μηχανημάτων. Ως εκ τούτου, η επικινδυνότητα μεταβάλλεται χρονικά επειδή κάποιοι παράγοντες δεν θα έχουν προλάβει να επιφέρουν την τελική τους επίδραση (Κοντογιάννης 2017).

Εάν για παράδειγμα υποθεθεί ότι μια επιχείρηση μειώνει τους διαθέσιμους πόρους για την ασφάλεια (π.χ. μειώνει τον αριθμό εργαζομένων ή τον αριθμό των μέσων εργασίας), τότε η δυσμενής αυτή επίδραση θα απαιτήσει ένα χρονικό διάστημα για να επιφέρει ένα πλήγμα στην ασφάλεια. Επειδή είναι δύσκολο να γίνει ορθή εκτίμηση του ρυθμού αύξησης της επικινδυνότητας, ένα στέλεχος της επιχείρησης μπορεί να μην αντιληφθεί το μέγεθος του κινδύνου (δηλαδή, την αύξηση από 0,01 σε 0,05 γεγονότα ανά έτος) και να προχωρήσει σε περαιτέρω αλλαγές οι οποίες έχουν επίσης δυσμενείς επιδράσεις. Για παράδειγμα, εάν απαιτηθεί μια αύξηση των απαιτήσεων της παραγωγής, η επιπλέον αλλαγή μπορεί να επιδεινώσει δραματικά την επικινδυνότητα. Έτσι μετά από έξι μήνες, η συνδυαστική επίδραση των δύο αλλαγών θα επιφέρει δραματική αύξηση της επικινδυνότητας με μεγάλο κίνδυνο ατυχήματος.

Η προηγούμενη ανάλυση μπορεί να εκτιμήσει το τελικό βαθμό επικινδυνότητας στο τέλος του χρόνου αλλά δεν μπορεί να περιγράψει τη χρονική εξέλιξη της. Είναι λοιπόν απαραίτητα να υπάρχει κατάλληλη προειδοποίηση στα στελέχη των επιχειρήσεων ότι τιμές της επικινδυνότητας που είναι μικρότερες των προβλεπόμενων δεν φανερώνουν αναγκαστικά κάποια λάθη υπολογισμού της επικινδυνότητας. Είναι πιθανόν να υποδηλώνουν ότι το φαινόμενο είναι σε εξέλιξη και οι δυσμενείς επιδράσεις δεν έχουν ακόμη συμβεί. Για τη μελέτη της χρονικής εξέλιξης της επικινδυνότητας έχουν προταθεί νέες τεχνικές που βασίζονται στην θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων η οποία εξετάζει τις αλληλεπιδράσεις των εργασιακών παραγόντων στο χρόνο.

Ενδεικτικές μελέτες εφαρμογής των δυναμικών συστημάτων στην ασφάλεια περιλαμβάνουν: Dulac (2007), Lyneis & Madnick (2009), Minami & Madnick (2010), Kontogiannis (2012).

Η χρονική εξέλιξη της επικινδυνότητας παρουσιάζει επίσης ενδιαφέρον για την εκτίμηση της πιθανότητας ανθρωπίνων λαθών. Με τα στατικά δένδρα γεγονότων, για παράδειγμα, μπορεί εύκολα να εκπονηθεί ένας υπολογισμός της πιθανότητας λάθους εκτίμησης μιας κατάστασης ή σχεδιασμούς μιας δράσης εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Στις πυρηνικές βιομηχανίες, συνηθίζεται να εξετάζεται η πιθανότητα λάθους εντός 20 λεπτών από το επικίνδυνο γεγονός επειδή το διάστημα αυτό ενεργοποιούνται αρκετοί αυτοματισμοί ασφαλείας. Έτσι δίδεται επαρκής χρόνος στους χειριστές να σχεδιάσουν ένα κατάλληλο σχέδιο δράσης για τον έλεγχο της κατάστασης. Όταν όμως, ο διαθέσιμος χρόνος είναι αρκετά μικρός απαιτείται περαιτέρω ανάλυση με τη χρήση δένδρων γεγονότων για τον ακριβή υπολογισμό των λαθών. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές δυναμικών δένδρων γεγονότων (dynamic event tree) που υπολογίζουν την πιθανότητα λάθους σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Gertman et al. 1996, Labeau et al. 2000, Kloos et al. 2006).

1.7 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός Μοντέλου Εκτίμησης Επικινδυνότητας στηριζόμενο στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων. Η ανάλυση ατυχημάτων εξαρτάται από την προσέγγιση ή το μοντέλο ασφαλείας που υιοθετείται από την επιχείρηση. Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφηκαν διάφορες προσεγγίσεις για την ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων. Μερικές από αυτές χρησιμοποιήθηκαν στο Συνθετικό Μοντέλο της παρούσας εργασίας, όπως η Συστημική Προσέγγιση και η θεωρία Συστημικού Ελέγχου και Κυβερνητικής. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις, εξετάζουν τόσο τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των εργαζομένων όσο και τις διαδικασίες της ασφαλείας που καθορίζουν τον τρόπο αντιμετώπισης των κινδύνων. Η

καινοτομία του νέου μοντέλου έγκειται στον τρόπο με τον οποίο γεφυρώνεται η Οργανωσιακή Θεωρία με τη Δυναμική Συστημάτων ώστε να δημιουργηθεί ένα σύγχρονο εργαλείο-μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων στηριζόμενο σε αρχέτυπα και τεχνικές ανάλυσης ατυχημάτων που προκύπτουν από τις συστημικές προσεγγίσεις που προαναφέρθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό την καταγραφή των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, αφενός για το πως η συγκριτική μελέτη της βιβλιογραφίας δίνει σημαντικά στοιχεία για τα οφέλη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας και αφετέρου για τους τρόπους με τους οποίους η παρούσα διατριβή μπορεί να συμβάλει στην διεύρυνση της υπάρχουσας γνώσης, συμπληρώνοντας την με νέες προσεγγίσεις.

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν τόσο τη διαχείριση κινδύνου όσο και τη διερεύνηση ατυχημάτων και αποτελούν ένα ευρύ πεδίο με εφαρμογή σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις.

Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν τη βιομηχανική και την επαγγελματική ασφάλεια, καθώς τα τελευταία χρόνια οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στη διερεύνηση ατυχημάτων, έδειξαν πως οι αιτίες για τα περισσότερα ατυχήματα αναφέρονται στην ελλιπή οργάνωση και στην υποβάθμιση της κουλτούρας για την ασφάλεια.

Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν στον κρίσιμο τομέα της υγείας, στον οποίο η Δυναμική Συστημάτων έχει παίξει καθοριστικό ρόλο σε διεθνές επίπεδο, καθώς τα μοντέλα της χρησιμοποιούνται για να τονίσουν την προχειρότητα και τα προβλήματα της νομοθεσίας στα θέματα υγείας.

Στην τέταρτη ενότητα παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν το περιβάλλον καθώς τις τελευταίες δεκαετίες η εξάντληση των φυσικών πόρων και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την προστασία του περιβάλλοντος, επέφεραν αλλαγές στις πολιτικές και στον προγραμματισμό των οργανισμών.

2.2 Εφαρμογές που αφορούν τη διαχείριση κινδύνου

Η Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management) είναι ένα εξαιρετικά μεγάλο πεδίο με εφαρμογή σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις. Η μοντελοποίηση με τη μέθοδο της Δυναμικής Συστημάτων χρησιμοποιήθηκε για να υποστηρίξει τη διαδικασία της εκτίμησης επικινδυνότητας με σκοπό την πρόληψη των επικίνδυνων συμβάντων σε ανθρώπους και εξοπλισμό. Σε αντίθεση με πολλές από τις υφιστάμενες μεθοδολογίες οι οποίες είναι θεσμοθετημένες για συγκεκριμένους τομείς (Stamp, Fault Trees κλπ), η Δυναμική Συστημάτων μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε πρόβλημα διαχείρισης κινδύνου. Συγκεκριμένα, ο ερευνητής είναι δυνατόν να αναπτύξει ένα μοντέλο των διαδικασιών ασφάλειας και των εργασιακών παραγόντων, προκειμένου να διερευνήσει τα επίπεδα επικινδυνότητας και τις διακυμάνσεις τους στην πορεία του χρόνου.

Με λίγους μήνες διαφορά, δύο υπεράκτιες εκρήξεις της Oil Well (έκρηξη στην εξέδρα Montara στη θάλασσα του Τιμόρ της Αυστραλίας και έκρηξη στην εξέδρα του Deepwater Horizon στον κόλπο του Μεξικού) οδήγησαν σε μια διεθνή αντιπαράθεση μεγάλης διάρκειας, σχετικά με την ασφάλεια των υπεράκτιων γεωτρήσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό οδήγησε σε επίσημες διερευνήσεις από τις εποπτικές αρχές, οι οποίες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα συστημικά αίτια ήταν αρκετά παρομοιώδη και στις δύο εκρήξεις.

Η εργασία των Hoffman & Wilkinson (2011) εξετάζει ορισμένες από τις αρχές στις οποίες βασίζεται η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου για τη διαχείριση υπεράκτιων κινδύνων, από την οπτική γωνία της Δυναμικής Συστημάτων. Ειδικότερα,

οι συγγραφείς υποθέτουν ότι οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες, επιθυμούν να έχουν μια καλή απόδοση στον τομέα της ασφάλειας. Ωστόσο, ατυχήματα εξακολουθούν να συμβαίνουν, σπάνια αλλά καταστροφικά. Ειδικότερα, διερευνήθηκε η εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης φραγμών (barrier management system) για μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις σύμφωνα με το Συστημικό Μοντέλο (Reason 1997). Στο μοντέλο αυτό, οι «φραγμοί» αποτελούν τις άμυνες και τις διαδικασίες ασφάλειας που χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς για την πρόληψη των ατυχημάτων. Οι φραγμοί τυπικά περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό από «τεχνικά» και «οργανωσιακά» εμπόδια που αναφέρονται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων και διεργασιών.

Η μελέτη αυτή οδήγησε σε συγκεκριμένες προτάσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφαλείας, στις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτά τα περιστατικά δείχνουν ότι, η λεπτομερής προσοχή στο σχεδιασμό και την εφαρμογή των βρόχων ανάδρασης είναι δικαιολογημένη. Ειδικότερα, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για τη διασφάλιση ότι οι μηχανισμοί ελέγχου και ανάδρασης είναι σε θέση να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σε εύθετο χρόνο, έτσι ώστε κάθε λάθος ή απόκλιση από μια επιθυμητή κατάσταση να ανιχνεύεται εγκαίρως. Η συγκεκριμένη μελέτη, αποτελεί μία πολύ χρήσιμη πηγή πληροφοριών για μεγάλες βιομηχανικές μονάδες πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Με αφορμή την προηγούμενη εργασία ο Breannan (2013) ερεύνει σε βάθος τη μεθοδολογία Bow-Tie που χρησιμοποιείται συνήθως στις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ο Breannan (2013), υποστηρίζει ότι η σύνθετη φύση των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφάλειας ευνοεί την επαγγελματική ασφάλεια και όχι τις διαδικασίες ασφάλειας που έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (BAME). Επίσης, εξηγεί αυτό τον ισχυρισμό αναλύοντας τις δύο προηγούμενες εκρήξεις πετρελαίου που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Ο Breannan (2013) προτείνει ένα προληπτικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της ανθρώπινης φύσης, τον εφησυχασμό των οργανισμών και την αλληλεπίδραση των συστημικών παραγόντων. Επιπλέον, προτείνει μία μέθοδο για την αντιμετώπιση των αναποτελεσματικών και άγνωστων φραγμών ασφαλείας. Αυτή η συστηματική προσέγγιση για την πρόληψη των BAME εξετάζει όχι μόνο τις ενεργείες

αστοχίες, αλλά επίσης αναλύει και την επίδραση των οργανωσιακών φαινομένων στον έλεγχο της διαδικασιών της ασφάλειας.

Αν και αυτή η προσέγγιση δεν αντιμετωπίζει τις καταστροφικές επιπτώσεις των σοβαρών ατυχημάτων, παρέχει ένα σύγχρονο πλαίσιο για την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων που ρυθμίζουν κάποιους σημαντικούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators). Το μοντέλο του «Ελβετικού Τυριού» (Reason 1997) παρέχει ένα πλαίσιο για την απεικόνιση των φραγμών τόσο σε ατομικό όσο και σε οργανωσιακό επίπεδο. Εν τούτοις, το μοντέλο αυτό δεν εξετάζει σε βάθος τη δυναμική των επιδράσεων των φραγμών και τη χρονική διακύμανση της επικινδυνότητας ή του ρυθμού των ατυχημάτων. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρόβλημα επειδή οι οργανωσιακοί φραγμοί (π.χ., κίνητρα ασφάλειας, εκπαίδευση του προσωπικού, συμμετοχή των εργαζομένων) έχουν αργούς ρυθμούς επίδρασης στην ασφάλεια πράγμα που επιβραδύνει τη βελτίωση της ασφάλειας με την υλοποίηση κάποιων προγραμμάτων ασφαλείας. Η Δυναμική Συστημάτων επιτρέπει τη μελέτη των καθυστερήσεων που έχουν οι οργανωσιακοί φραγμοί και τον προσδιορισμό της διακύμανσης της επικινδυνότητας έως ότου αυτή ισορροπήσει σε μια σταθερή τιμή μετά από μια χρονική περίοδο.

Πολύ σημαντική είναι επίσης η εργασία του Cooke (2012) η οποία αναλύει τα αίτια που οδήγησαν στην έκρηξη του ορυχείου Westray με τη χρήση της Δυναμικής Συστημάτων. Ο μελετητής πρότεινε ένα μοντέλο ανάλυσης το οποίο έχει σημαντικές δυνατότητες για την πρόληψη των καταστροφών. Το προτεινόμενο μοντέλο της Δυναμικής Συστημάτων παρέχει διαφάνεια στα αίτια που οδήγησαν στην καταστροφή αυτή. Είναι χαρακτηριστικό ότι, η συγκεκριμένη επιχείρηση στο Westray είχε γίνει μάρτυρας αρκετών παραπλήσιων περιστατικών τα οποία όμως δεν επέφεραν σοβαρές επιπτώσεις. Ως εκ τούτου, η μελέτη αυτή αποδίδει ιδιαίτερη έμφαση στο ρόλο της «οργανωσιακής μάθησης» στην πρόληψη των ατυχημάτων. Για τις ανάγκες της μοντελοποίησης, το σύστημα του ορυχείου έχει αποδομηθεί σε τέσσερα υποσυστήματα: την Παραγωγή, το Ανθρώπινο Δυναμικό, τις Διαδικασίες Ασφάλειας και την Δυναμικότητα του ορυχείου.

Ως αποτέλεσμα της μελέτης αυτής προέκυψαν συμπεράσματα τα οποία κάλλιστα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως μαθήματα για το μέλλον. Αρχικά, η «οργανωσιακή

μάθηση» και η «κουλτούρα ασφάλειας» είναι σημαντικοί παράγοντες ελέγχου των διαδικασιών ασφάλειας και χρειάζονται πολλά χρόνια για να αναπτυχθούν και να αποφέρουν αποτελέσματα. Έπειτα, υπάρχει μια λεπτή ισορροπία μεταξύ ασφάλειας και παραγωγής η οποία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από τους οργανισμούς προκειμένου να αποκτηθεί εμπειρία στη διαχείριση της ισορροπίας αυτής.

Συμπερασματικά, η εργασία του Cooke (2002) δείχνει τον τρόπο με τον οποίο η Δυναμική Συστημάτων προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων ασφάλειας όπως αυτό του Westray. Οι οργανισμοί πρέπει να δημιουργούν μοντέλα των δικών τους συστημάτων ασφαλείας με σκοπό τόσο την ανάγνωση της συμπεριφοράς των συστημάτων τους όσο και την πρόβλεψη και αποφυγή των ατυχημάτων.

Σε μια άλλη μελέτη ο Huang (2005) έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη ενός μοντέλου Δυναμικής Συστημάτων το οποίο συσχετίζει την διαχείριση της ασφάλειας με την συμμόρφωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Το μοντέλο αυτό, εφαρμόστηκε σε δύο περιπτώσεις όπου οι εργασιακές διαδικασίες άλλαζαν τυχαία ή με έναν γραμμικό τρόπο. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, η διαχείριση της ασφάλειας δεν ήταν τόσο αποτελεσματική όταν οι εργασιακές διαδικασίες άλλαζαν τυχαία, όσο στην περίπτωση που αυξάνονταν γραμμικά. Ουσιαστικά παρατηρήθηκε ότι, οι εργαζόμενοι συνήθως ακολουθούν τους κανόνες και τις διαδικασίες ασφαλείας, προκειμένου να αποφύγουν την πιθανότητα τραυματισμού μόνο όταν παρατηρήσουν μια αύξηση της επικινδυνότητας και όχι σε κανονικές συνθήκες εργασίας. Ωστόσο, αυτό δεν είναι αρκετό να παραμείνει η επιχείρηση σε υψηλά επίπεδα επαγγελματικής ασφάλειας.

Το Σύστημα Διαχείρισης της Ασφάλειας (ΣΔΑ) μπορεί να μειώσει τον αριθμό των περιστατικών αλλά για την επιτυχή εφαρμογή του προγράμματος ασφαλείας, χρειάζεται να υπάρχει μαζικότητα στην τήρηση των κανονισμών ασφαλείας. Χρησιμοποιώντας τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων είναι δυνατόν να μελετηθούν εμπεριστατωμένα οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλών παραγόντων όπως, της οικονομικής πίεσης, της παραγωγής, της διαχείρισης της ασφάλειας και της συμπεριφοράς των εργαζομένων.

Η υπολογιστική προσομοίωση της Δυναμικής Συστημάτων ενδείκνυται για την έρευνα σε θέματα διαχείρισης της ασφάλειας. Με την αύξηση της συνειδητοποίησης των κινδύνων, οι εργαζόμενοι τηρούν πιστά τους κανόνες και τις διαδικασίες ασφάλειας, προκειμένου να αποφευχθούν οι τραυματισμοί. Όταν οι εργασιακές απαιτήσεις αυξάνονται συστηματικά λόγω των αποφάσεων της διοίκησης, μπορούν να λάβουν χώρα κάποια αντίμετρα για διατηρηθεί ο αριθμός των περιστατικών εντός επιτρεπτού επιπέδου. Συμπεραίνεται ότι οι διοικούντες πρέπει να δίνουν έμφαση στην ασφάλεια σε συνδυασμό με διάφορες άλλες πολιτικές ασφαλείας (π.χ. εκπαίδευση, προγραμματισμός), προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις πολυσύνθετες όψεις των δυναμικών διαδικασιών και των εργασιακών πιέσεων.

Οι Minami, Madnick & Rhodes (2008) παρουσίασαν μία μελέτη η οποία εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η Δυναμική Συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των κινδύνων σε μεγάλα ή σύνθετα έργα. Εξέτασαν το πρόβλημα του κινδύνου από διάφορες οπτικές γωνίες, όπως τον κίνδυνο ανθρώπινων απωλειών καθώς και διάφορους οικονομικούς κινδύνους (π.χ. όταν το έργο ξεπερνά τον προϋπολογισμό ή τον προκαθορισμένο χρόνο παράδοσης). Η εργασία αυτή περιλαμβάνει δύο μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής της Δυναμικής Συστημάτων. Η πρώτη περίπτωση, αφορά τη διαχείριση κινδύνων στις διαδικασίες σχεδιασμού των κατασκευών στο πολεμικό ναυτικό. Με τη μοντελοποίηση των διαδικασιών σχεδιασμού και τη διεξαγωγή πολλαπλών προσομοιώσεων κατέστη δυνατόν να γίνουν συστάσεις προς τους φορείς χάραξης πολιτικής που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου και στην εξοικονόμηση πόρων. Αυτό είναι σημαντικό διότι στα μεγάλα κατασκευαστικά έργα, οι καθυστερήσεις και οι υπερβάσεις κόστους είναι ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Η μελέτη διαπίστωσε ότι με την αύξηση της οικοδομησιμότητας, το ποσοστό της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σχεδιαστών, το γενικό ανάδοχο και τους υπεργολάβους, κατά τη φάση σχεδιασμού του έργου, οδήγησε σε εξοικονόμηση κόστους (περίπου 10M\$ ή 14%), καθώς και σε εξοικονόμηση χρόνου (μεγαλύτερης των 10 εβδομάδων). Επίσης απεδείχθη ότι πρόσκαιρες βελτιώσεις στη φάση του σχεδιασμού, ειδικά σε ότι αφορά την οικοδομησιμότητα και τον επιμερισμό του σχεδιασμού, μπορεί να επιτύχουν εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος.

Στη δεύτερη περίπτωση, εξετάστηκαν οι ενέργειες στις οποίες θα μπορούσε να προβεί ο στρατός προκειμένου να συμβάλλει στην καταπολέμηση των τροχαίων ατυχημάτων. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, καθώς κατά τη διάρκεια του πολέμου στο ΙΡΑΚ από το 2003 έως το 2007, περίπου το 20% των θυμάτων ήταν αποτέλεσμα των τροχαίων ατυχημάτων (πάνω από 600 συνολικά). Αυτοί οι αριθμοί είναι σημαντικοί και αντιπροσωπεύουν μόνο τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων από το Ιράκ και όχι άλλα ατυχήματα εντός του στρατού. Το μοντέλο της Δυναμικής Συστημάτων, που δημιουργήθηκε είχε σκοπό να εξετάσει και να μειώσει το πρόβλημα των τροχαίων ατυχημάτων. Αρχικά, συλλέχθηκε ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων και δημιουργήθηκε ένα λεπτομερές πρότυπο το οποίο χρησιμοποιεί κάποιες εξισώσεις με ενδογενείς μεταβλητές για να δημιουργήσει ένα μαθηματικό πρότυπο το οποίο μπορεί να προσομοιωθεί.

Κατόπιν έγινε βαθμονόμηση του μοντέλου για να εξασφαλιστεί ότι θα μπορούσε να απεικονίζει με ακρίβεια κάποια ιστορικά στοιχεία ατυχημάτων. Μετά την απόδειξη της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας του μοντέλου, δεκάδες προσομοιώσεις διεξήχθησαν για να εξετασθεί πως αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη ενημέρωση και πως οι πολιτικές αποφάσεις θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη διαχείριση των κινδύνων.

Τελικά, η μελέτη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την καταγραφή χρήσιμων προτάσεων για το στρατό. Έδειξε ότι η κατανόηση των καθυστερήσεων στο σύστημα είναι ζωτικής σημασίας στη διαχείριση των κινδύνων ενώ παράλληλα ισορροπεί τον τρόπο που συχνά τα στρατεύματα διεξάγουν τις αποστολές τους. Επίσης έδειξε ότι η διαχείριση της έκθεσης των στρατευμάτων στον εχθρό, ή το πόσο καιρό οι στρατιώτες παραμένουν στη μάχη χωρίς ξεκούραση, καθώς και το πώς ο στρατός διεξάγει τις έρευνες ατυχημάτων, παίζουν βασικό ρόλο στην διαχείριση των κινδύνων.

Η εργασία των Ninami & Madnick (2010) παρουσίασε μια εμπειριστατωμένη μελέτη των τρόπων βελτίωσης της οδικής ασφάλειας. Παρά τις προσπάθειες για την εκπαίδευση των οδηγών και την ευρεία χρήση προγραμμάτων ασφαλείας, χιλιάδες πολίτες σκοτώνονται κάθε χρόνο σε τροχαία ατυχήματα τα οποία θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί. Τα ατυχήματα αυτά, επέφεραν πάνω από ένα εκατομμύριο θανάτους

στις ΗΠΑ τα τελευταία 25 χρόνια και είναι ιδιαίτερα δαπανηρά (π.χ., περίπου 230 δισεκατομμύρια μέχρι το 2003). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα αντίστοιχο πρόβλημα υπάρχει στον αμερικανικό στρατό, όπου αρκετές εκατοντάδες στρατιώτες έχουν σκοτωθεί κατά την τελευταία δεκαετία σε τροχαία ατυχήματα στις επιχειρησιακές αποστολές σε όλο τον κόσμο.

Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες, που έχουν επικεντρωθεί στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας καθώς και στις τεχνολογικές λύσεις, όπως συστήματα προειδοποίησης σύγκρουσης και αποφυγής. Ωστόσο αυτές οι ρυθμίσεις λειτουργούν περισσότερο ως προληπτικά μέτρα στο οδικό περιβάλλον. Στην προηγούμενη μελέτη, καταγράφηκε μια διαφορετική προσέγγιση στην ασφάλεια της κυκλοφορίας η οποία εστιάζει στην ανάπτυξη μιας προσομοίωσης των συστημάτων κίνησης για να καθορίσει ποιες πολιτικές είναι περισσότερο αποτελεσματικές για τον περιορισμό των επιπτώσεων.

Συμπερασματικά, τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων μπορούν να βοηθήσουν στην ενημέρωση των φορέων για τη χάραξη πολιτικής ως προς το ποιος μοχλός του συστήματος ενδέχεται να επιφέρει τη δραστικότερη μείωση των ατυχημάτων ή περιστατικών στο μέλλον. Επιπλέον, τα μοντέλα αυτά έχουν καλή επεξηγηματική ισχύ και μπορούν να βοηθήσουν τους αναλυτές να κατανοήσουν καλύτερα τον έλεγχο των συστημάτων οδικής κυκλοφορίας, τους μηχανισμούς ανατροφοδότησης και τις καθυστερήσεις των επιδράσεων. Η συστηματική ανάλυση των ατυχημάτων μπορεί να βοηθήσει στην παροχή νέων και καινοτόμων ιδεών για την ενίσχυση του πολιτισμού της ασφάλειας και την μετατροπή των δρόμων σε ασφαλείς για όλους τους πολίτες.

2.3 Εφαρμογές που αφορούν την οργάνωση και την επαγγελματική ασφάλεια

Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στη διερεύνηση ατυχημάτων, έδειξαν πως οι αιτίες των περισσότερων ατυχημάτων αφορούν την ελλιπή οργάνωση εργασίας και την υποβάθμιση της κουλτούρας για την ασφάλεια. Παρόλο που, αναπτύχθηκαν εξελιγμένα εργαλεία ανάλυσης για να εξασφαλισθεί ότι οι πληροφορίες

που συλλέχθηκαν είναι πλήρεις και αξιόπιστες, τα εργαλεία αυτά δεν έχουν μεγάλες δυνατότητες προκειμένου να αναλύσουν την πολυπλοκότητα και την δυναμική των σύγχρονων συστημάτων εργασίας.

Ο Sklet (2004) έκανε μια ανασκόπηση κάποιων εργαλείων τα οποία εντοπίζουν τις αιτίες των ατυχημάτων, χωρίς όμως τη δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσης των σύνθετων αλληλεπιδράσεων των εργασιακών παραγόντων. Για το λόγο αυτό, ο Sentz (2006), ανέπτυξε μια νέα μεθοδολογία για την ανάλυση των αιτιωδών βρόχων (causal loop diagrams), που βοηθούν στην περαιτέρω ανάλυση των συστημάτων. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα βοηθούν στην κατανόηση της κυκλικής λειτουργίας των συστημάτων. Με τη μέθοδο αυτή αναλύθηκε μια πυρκαγιά που ξέσπασε στο Belview της Αυστραλίας εξαιτίας κάποιων επικίνδυνων αποβλήτων. Σε γενικές γραμμές, η εμπεριστατωμένη εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου δύναται να βοηθήσει στη δημιουργία ενός σύνθετου μοντέλου για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών συστημάτων ασφαλείας.

Πολλές έρευνες έχουν ασχοληθεί με το θέμα της εργασιακής ασφάλειας αλλά υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες η κάθε μία. Από τη μία πλευρά, η ψυχολογική προσέγγιση για την κουλτούρα ασφάλειας έχει προσφέρει πολλές ενδείξεις για ένα φάσμα οργανωσιακών φαινομένων που επηρεάζουν την ασφάλεια σε όλες τις επιχειρήσεις. Από την άλλη πλευρά, οι οργανωτικές θεωρίες μάθησης παρουσιάζουν την πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί σχετικά με το πως μπορούν να μαθαίνουν από τα λάθη τους. Οι Lyneis & Madnick (2009) συνέθεσαν αυτές τις δύο ερευνητικές προσεγγίσεις ενσωματώνοντας τους οργανωσιακούς παράγοντες σε ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης βοηθά στην κατανόηση της αξιοπιστίας των ατόμων και των διοικούντων. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στις στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι διοικούντες ώστε να ενθαρρύνουν την εκμάθηση και την πρόληψη της υποβάθμισης της προσήλωσης των εργαζομένων στους κανονισμούς ασφαλείας με την πάροδο του χρόνου.

Στη μελέτη αυτή δίνεται μεγάλη έμφαση στην κατανόηση των σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ των οργανωσιακών παραγόντων, αντλώντας πληροφορίες από τις θεωρίες της κουλτούρας ασφαλείας και την οργανωσιακή μάθηση. Συγκεκριμένα, είναι ενδιαφέρον να εξετασθεί κατά πόσο οι πιέσεις της παραγωγής μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην ικανότητα μάθησης των οργανισμών, ανεξάρτητα από τους κανόνες επικοινωνίας που μπορεί να υπάρχουν. Το δυναμικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Lyneis & Madnick (2009) δείχνει ότι η ασφάλεια πρέπει να περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία από την απλή επιβολή των κανόνων. Επίσης τα προγράμματα ασφαλείας χρειάζονται υπομονή προκειμένου να αποφέρουν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η αυτοσυντήρηση και η ατομική δέσμευση των εργαζομένων δε μπορούν από μόνες τους να επιφέρουν μεγάλη μείωση της επικινδυνότητας. Επιπλέον, φάνηκε πως όταν υπάρχει δέσμευση των διοικούντων για την ασφάλεια οι αποδόσεις βελτιώνονται.

Η ιστορία της οργανωσιακής θεωρίας περιλαμβάνει πολλές καινοτομίες που δυστυχώς απέτυχαν να εφαρμοστούν. Το παράδοξο στο παραπάνω γεγονός είναι ότι αυτή η αποτυχία δεν συνδέεται με την έλλειψη αποτελεσματικότητας. Ο Repenning (1999) ανέπτυξε ένα μοντέλο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία μέσω της οποίας ένας οργανισμός μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας καινοτομίες. Η προσομοίωση του μοντέλου έχει προτείνει τρεις καινούργιες καινοτομίες, την αναστροφή, την αναγέννηση και την οριοθέτηση των κινήτρων (π.χ. αν η δέσμευση για την ασφάλεια είναι χαμηλή, τότε μια ενδεχόμενη μικρή αύξηση της πίεσης θα έχει μικρό αντίκτυπο στη δέσμευση λόγω έλλειψης κινήτρων) που φαίνεται να είναι σημαντική επίδραση στις επιδόσεις των οργανισμών. Τα αποτελέσματα του Repenning (1999), έδειξαν πως πρώτα απ' όλα οι διοικούντες πρέπει να εφαρμόζουν τις καινοτομίες μόνο όταν είναι σίγουροι για το αποτέλεσμα και όταν έχουν την υπομονή να περιμένουν μέχρι να φανούν τα πρώτα αποτελέσματα, μια διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει μήνες. Η εφαρμογή των στρατηγικών αυτών είναι αποτελεσματικότερη βραχυπρόθεσμα και όχι μακροπρόθεσμα.

Η επαγγελματική ασφάλεια είναι ένα σύνθετο φαινόμενο. Για να είναι επιτυχής η διαχείριση της, πρέπει να γίνουν κατανοητές οι οργανωσιακές πτυχές του συστήματος ασφάλειας. Οι Moizer & Moffatt (1999) παρουσίασαν μια εναλλακτική προσέγγιση για την επαγγελματική ασφάλεια με έμφαση στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ εργαζομένων και διοικούντων. Το αποτέλεσμα της μελέτης αυτής είναι η δημιουργία ενός σύνθετου μοντέλου Δυναμικής Συστημάτων το οποίο είναι παραμετροποιημένο για κάθε χώρο εργασίας, ώστε να βοηθά, τόσο στη λήψη αποφάσεων όσο και στην οργανωσιακή μάθηση στον τομέα της επαγγελματικής ασφάλειας. Ο σκοπός της μελέτης ήταν η ανάπτυξη ενός Συστήματος Διαχείρισης της Ασφάλειας GOSM (Generic Occupational Safety Model), το οποίο να δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να σχεδιαστούν κάποιες πολιτικές ασφάλειας ώστε να μειωθούν τόσο τα ατυχήματα όσο και το οικονομικό κόστος της διατήρησης ενός Συστήματος Διαχείρισης Ασφαλείας. Επιπλέον, το μοντέλο αυτό μεταφράζεται σαν ένα πραγματικό μοντέλο επαγγελματικής ασφαλείας RWOSM (Real World Occupational Safety Model) και δοκιμάζεται εμπειρικά.

Το μοντέλο κατασκευάστηκε μέσα από σχολαστικές διαδικασίες, όσον αφορά τις λεπτομέρειες και τους κανόνες ασφάλειας και υπεβλήθη σε μια σειρά από δοκιμές και διαρθρωτικές αλλαγές. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής του μοντέλου με πραγματικές εταιρείες, έγινε φανερό η ύπαρξη συνεχούς ροή πληροφοριών, συμβουλών και αναθεωρήσεων από τους ιδιοκτήτες προς τον μελετητή για τις ιδιαιτερότητες της επιχείρησης. Το συγκεκριμένο μοντέλο, φέρεται να αντιπροσωπεύει την δομή εργασιακής ασφάλειας και την πολιτική που είναι επιθυμητή σε πολλές εργοδοτικές οργανώσεις και χαρακτηρίστηκε ως GOSM (generic occupational safety model). Το πραγματικό μοντέλο επαγγελματικής ασφαλείας RWOSM (real world occupational safety model), δοκιμάστηκε μόνο σε μια επιχείρηση, το οποίο σημαίνει ότι δε μπορεί απαραίτητα να εφαρμοστεί και σε άλλες επιχειρήσεις οι οποίες διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, διαφορετική δομή και διαφορετικούς κανόνες λειτουργίας. Ενδεχομένως να μπορούσε να εφαρμοστεί σε άλλες επιχειρήσεις με τις κατάλληλες παραμετροποιήσεις.

Οι ερευνητές Bouloiz, Garbolino, Tkiouat & Guarnieri (2013) ανέπτυξαν ένα μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων για να μελετήσουν τις αλληλεξαρτήσεις και τις συνάφειες ενός συνόλου παραγόντων που επηρεάζουν την ασφάλεια (π.χ. τεχνικών, οργανωτικών και ανθρώπινων) σε μια μονάδα αποθήκευσης για χημικά προϊόντα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μελέτης είναι ότι το μοντέλο της Δυναμικής Συστημάτων λαμβάνει υπόψη τόσο τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του συστήματος όσο και τη συμπεριφορά των στοιχείων του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Το μοντέλο αυτό, αντιπροσωπεύει ένα εργαλείο επικοινωνίας τόσο για τους υπεύθυνους της χάραξης πολιτικής όσο και για τους χειριστές και παρέχει πληροφορίες για την ασφάλεια μέσω της προσομοίωσης συνθηκών εργασίας.

Πολλές καταστροφές έχουν συμβεί επειδή οι οργανισμοί έχουν αγνοήσει τις προειδοποιητικές ενδείξεις από διάφορα περιστατικά ή απέτυχαν να μάθουν από τα διδάγματα του παρελθόντος. Ο κίνδυνος είναι εγγενής σε πολλά συστήματα υψηλής τεχνολογίας, αλλά η κοινωνία βλέπει τα οφέλη τους στο να συνεχίσουν να λειτουργούν τα συστήματα αυτά, παρά το κόστος των ενδεχόμενων περιστασιακών καταστροφών. Η θεωρία των «Οργανωσιακών Ατυχημάτων» (Perrow 1984 & Sagan 1993) βλέπει τα ατυχήματα ως μια αναπόφευκτη κατάσταση που προκαλείται από την πολυπλοκότητα των ίδιων των συστημάτων και από τις σύνθετες οργανωσιακές διαδικασίες. Από την άλλη πλευρά, η θεωρία των «Οργανισμών Υψηλής Αξιοπιστίας» (Consolini 1991, Weick & Sutcliffe 2001, Roberts & Bea 2001) η οποία αποτελεί μια εναλλακτική προσέγγιση πρεσβεύει ότι τα ατυχήματα μπορούν να προληφθούν ή να αποτραπούν από ορισμένες οργανωσιακές διαδικασίες και πολιτικές ασφάλειας του ίδιου του οργανισμού.

Ο David Cooke (2003), προτείνει ένα σύστημα εκμάθησης το οποίο συνδυάζεται με ένα σύστημα αναφορών. Σε αυτό το νέο σύστημα, το οποίο συνδυάζει τις δύο θεωρίες που προαναφέρθηκαν, ένας οργανισμός μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο και να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες. Επίσης με ένα αποτελεσματικό σύστημα αναφορών, ένας οργανισμός μπορεί και συντηρεί μια διαδικασία συνεχούς βελτίωσης των διαδικασιών ασφάλειας που του επιτρέπει να εξελιχθεί σε έναν οργανισμό υψηλής

αξιοπιστίας με την πάροδο του χρόνου. Τα «στοιχεία» που αποτελούν το σύστημα αναφοράς περιστατικών είναι τα εξής:

- *Η αναγνώριση και καταγραφή των περιστατικών*
- *Η υποβολή εκθέσεων αναφοράς*
- *Η διερεύνηση*
- *Ο προσδιορισμός των αιτιών και των παραγόντων που συντέλεσαν στο περιστατικό*
- *Η ανάκληση προηγούμενων περιστατικών*
- *Η εφαρμογή διορθωτικών μέτρων*

Σύμφωνα με τον Cooke (2003), όταν μια οργάνωση εφαρμόζει μεθόδους και διαδικασίες για τη δημιουργία ενός κλίματος ασφαλείας στο χώρο εργασίας, τότε η προτεραιότητα της παραγωγής έναντι της ασφάλειας θα μειωθεί και θα εξασθενήσει σημαντικά το ποσοστό των περιστατικών με το χρόνο. Αυτό όμως, λειτουργεί αντιφατικά διότι τίθεται το ερώτημα: αν υπάρχουν περισσότερα περιστατικά δεν υπάρχει μεγαλύτερη μάθηση; Η απάντηση σε αυτή την αντίφαση είναι να αναγνωρίζεται ότι το κάθε περιστατικό έχει διαφορετική σοβαρότητα ή μέγεθος απώλειας. Έτσι η απώλεια που προκύπτει από τα συμβάντα είναι προϊόν τόσο του αριθμού των συμβάντων όσο και της σοβαρότητας κάθε συμβάντος. Οπότε, κύριο μέλημα της διοίκησης αποτελεί όχι μόνο ο αριθμός των περιστατικών αλλά και η μείωση της σοβαρότητας των επιπτώσεων ενός περιστατικού.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι, όλοι οι οργανισμοί θα έχουν περιστασιακά ή "κανονικά" ατυχήματα, αλλά η ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος οργανωσιακής εκμάθησης θα μετριάσει τον κίνδυνο της καταστροφής. Καμία οργάνωση δεν μπορεί να ισχυριστεί ότι είναι αρκετά αξιόπιστη, εκτός εάν αποδείξει από προηγούμενες εμπειρίες ότι, ένας μεγάλος αριθμός περιστατικών αναφέρονται και αντιμετωπίζονται μέσω της οργάνωσης ενός συστήματος εκμάθησης. Σε έναν οργανισμό με ένα αποτελεσματικό σύστημα εκμάθησης μέσω της αναφοράς περιστατικών, ο αριθμός των περιστατικών που έχουν αναφερθεί μπορεί να αυξηθεί

στην αρχή, αλλά το μέγεθος των επιπτώσεων των περιστατικών θα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

Οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί καλούνται τα τελευταία χρόνια να διαχειριστούν όλο και περισσότερες πληροφορίες χρησιμοποιώντας πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα πληροφόρησης. Η επιτυχής διαχείριση της ασφάλειας των πληροφοριών καθιερώνει αποτελεσματικές διαδικασίες που λαμβάνουν υπόψη πολλές προκλήσεις λόγω της πολυπλοκότητας της συλλογής. Για την ανάπτυξη αυτών των διαδικασιών πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα για την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο οι υπάρχουσες διαδικασίες πληρούν τις προϋποθέσεις για την ασφάλεια των πληροφοριών επιτρέποντας στους οργανισμούς να μάθουν που βρίσκεται το πρόβλημα και εν τέλει να εφαρμόζουν κάποιες διορθωτικές ενέργειες. Σε αυτό το σημείο, έρχεται να δώσει λύση το σύστημα αναφοράς περιστατικών ασφάλειας πληροφοριών (ISRIRS-information security Risk Index reporting system) επιτρέποντας τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων και την οικοδόμηση γνώσεων για την αποφυγή μελλοντικών κινδύνων μέσω των οργανωτικών διαδικασιών και των βελτιωμένων επιχειρηματικών διαδικασιών.

Η βιβλιογραφία σχετικά με τα συστήματα αναφοράς περιστατικών για την ασφάλεια των πληροφοριών, εξακολουθεί να είναι περιορισμένη διότι στο παρελθόν ελάχιστοι οργανισμοί ασχολήθηκαν με αυτό το πρόβλημα. Όποιες απειλές υπήρχαν ήταν σε κάποιο βαθμό ελεγχόμενες, αφού οι αλλαγές στα πρωτότυπα ήταν πολύ δύσκολο να γίνουν και η κλοπή ενός εγγράφου έπρεπε να γίνει με φυσικό τρόπο το οποίο σημαίνει πως έπρεπε να απομακρυνθεί από εκεί που βρισκόταν, κάτι το οποίο συνήθως γινόταν αντιληπτό. Επίσης μπορούσε να φωτογραφηθεί ή να φωτοτυπηθεί, αλλά και πάλι αυτοί οι μέθοδοι απαιτούσαν κάποια φυσική διαδικασία.

Σήμερα όμως, κάθε οργανισμός πρέπει να ασχοληθεί σε κάποιο βαθμό με την ασφάλεια των πληροφοριών διότι η ροή των πληροφοριών έχει αυξηθεί εκθετικά και οι προκλήσεις για την ασφάλεια των πληροφοριών έχουν πολλαπλασιαστεί. Έτσι, αρκετοί συγγραφείς έχουν προτείνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα συστήματα αναφοράς περιστατικών για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την επικινδυνότητα των εγκαταστάσεων. Ο Anders Reed-Mohn (2007), διερευνά ένα μοντέλο Δυναμικής

Συστημάτων που σε συνδυασμό με ένα σύστημα αναφοράς περιστατικών ασφάλειας πληροφοριών (ISRIRS-information security Risk Index reporting system), θα μπορεί να φανεί χρήσιμο στην ασφάλεια των συστημάτων. Ο σκοπός του αναπτυσσόμενου μοντέλου, είναι να βοηθήσει ένα ίδρυμα ιατρικής περίθαλψης στην ανάπτυξη και τη βελτίωση των συστημάτων που αφορούν την ασφάλεια των πληροφοριών τους.

Το μοντέλο RIRS, βασίζεται στη Δυναμική Συστημάτων και παρόλο που δεν υπάρχει μοντελοποίηση σε αυτή την εργασία η κατανόηση της μεθόδου της Δυναμικής Συστημάτων είναι απαραίτητη για την ανάλυση του μοντέλου. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα επιρροής για να περιγραφούν οι δεσμοί μεταξύ κάποιων συστημικών παραγόντων. Αυτά τα διαγράμματα, προκύπτουν από προγενέστερα μοντέλα κάποιων μελετητών χρησιμοποιώντας το λογισμικό Vensim.

Ο ερευνητής καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το RIRS είναι πολύ χρήσιμο για την υποβολή εκθέσεων για την ασφάλεια των πληροφοριών. Το μοντέλο της Δυναμικής Συστημάτων με την ονομασία RIRS (Risk Index Reporting System) βασίστηκε σε περιπτώσεις κάποιων βιομηχανιών. Σχεδιάστηκε για να προσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο πολλοί από τους συστημικούς παράγοντες επηρεάζουν ο ένας τον άλλον, κατά τη διαδικασία επίλυσης των προβλημάτων. Αποτελεσματικό και λειτουργικό θεωρείται ένα σύστημα αναφοράς όταν οι οργανισμοί θεωρούν ότι αξίζει την επένδυση. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιβεβαιώσουν τις υποθέσεις του ερευνητή ο οποίος πιστεύει ότι κάποιες μελλοντικές εργασίες πάνω στο μοντέλο θα προσομοιώνουν περισσότερους όρους οι οποίοι θα είναι κατάλληλοι με σκοπό την υποβολή εκθέσεων της ασφάλειας των πληροφοριών.

2.4 Εφαρμογές που αφορούν τον τομέα της υγείας

Στον κρίσιμο τομέα της υγείας, η Δυναμική Συστημάτων έχει παίξει καθοριστικό ρόλο σε διεθνές επίπεδο καθόσον τα μοντέλα της χρησιμοποιούνται για να τονίσουν την προχειρότητα και τα προβλήματα της νομοθεσίας στα θέματα υγείας. Σε τοπικό επίπεδο, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται αφενός, για να βοηθήσουν τα τοπικά

συστήματα υγείας ώστε να γίνουν περισσότερο προσιτά στο κοινό και αφετέρου, για να δεχθούν τις απαραίτητες αλλαγές για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των ασθενών.

Ο Cooke (2007) παρουσίασε ένα μοντέλο που εφαρμόστηκε στον Καναδά και ειδικότερα στην πολιτεία της Alberta η οποία διανύει μια περίοδο ζήτησης άνευ προηγουμένου για τις υπηρεσίες υγείας, λόγω της αύξησης του πληθυσμού. Η υγειονομική περίθαλψη στην Αλμπέρτα διοικείται από ξεχωριστές περιφερειακές μονάδες υγείας. Συγκεκριμένα, η περιφέρεια υγείας του Calgary είναι μία από τις μεγαλύτερες, πλήρως ολοκληρωμένη και με δημόσια χρηματοδότηση. Εξυπηρετεί πάνω από 1,2 εκατομμύρια ανθρώπους ενώ περισσότεροι από 23.000 εργαζόμενοι και 2.200 γιατροί παρέχουν υπηρεσίες στους πολίτες. Στο πλαίσιο αυτό, ο Οργανισμός Υγείας αποφάσισε να χρηματοδοτήσει μια έρευνα τόσο για τα επείγοντα περιστατικά όσο και για την πρόληψη του καρκίνου του παχέος εντέρου. Η ομάδα εργασίας ανέπτυξε ένα μοντέλο το οποίο εφαρμόστηκε στους χώρους αναμονής των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης σε τρία μεγάλα νοσοκομεία. Οι ερευνητές δημιούργησαν ένα πρότυπο σύστημα με μεταβλητές οι οποίες αναπαριστούν τη ροή των ασθενών και ένα σύνολο παραγόντων που αναπαριστούν τις επιδράσεις του υπερπληθυσμού στα τμήματα επειγόντων περιστατικών των νοσοκομείων. Τέλος, δημιουργήθηκε μια έκθεση η οποία περιγράφει το μοντέλο δίνοντας έμφαση στις επιπτώσεις της δομής του συστήματος στις ροές των ασθενών. Η επιτυχία της μελέτης αυτής θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο κατά πόσο η προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων θα συμβάλλει στη συνεργασία μεταξύ των ασθενών, των γιατρών και του συστήματος υγείας τα επόμενα χρόνια.

Τα τελευταία χρόνια, οι μελετητές χρησιμοποιούν τη Δυναμική Συστημάτων, για να βελτιώσουν την παροχή υπηρεσιών και τις επιλογές των ασθενών σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών υγείας και κοινωνικής φροντίδας.

Οι Wolstenholme, Monk, McKelvie & Smith (2006) περιγράφουν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η υγειονομική και κοινωνική φροντίδα στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις κινήσεις που έχουν γίνει τόσο εναντίον της καθυστέρησης της χρηματοδότησης των

δημόσιων νοσοκομείων όσο στα ζητήματα παροχής υπηρεσιών στις κοινότητες υγείας. Η υγειονομική και κοινωνική φροντίδα το 2006 στην Αγγλία, βρισκόταν στο επίκεντρο μιας ατζέντας εκσυγχρονισμού όπου η κυβέρνηση θέτει ένα πρόγραμμα αλλαγών στο οποίο οι Βρετανοί πολίτες μπορούν να διακρίνουν βελτιωμένες υπηρεσίες. Η κυβέρνηση κατέστησε τη μεταρρύθμιση των δημόσιων υπηρεσιών βασικό στοιχείο στο νομοθετικό της πρόγραμμα με αποτέλεσμα η πίεση για την επίτευξη των στόχων να είναι τεράστια και καθοριστική τόσο για τους πολίτες, όσο και για τους υπεύθυνους της εφαρμογής των αλλαγών.

Για την υλοποίηση των προαναφερθέντων, αναπτύχθηκε το NHS Plan (εθνικό σχέδιο υγειονομικής και κοινωνικής φροντίδας) και σχεδιάστηκε για να εφαρμοστεί κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα χρόνων. Ο πρώτος τομέας του NHS Plan ονομάστηκε «Delayed hospital discharge model» και ο δεύτερος «Patient pathway model».

Το «Delayed hospital discharge model», είναι ένα μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων το οποίο βοήθησε στην αποφυγή των καθυστερούμενων εκροών από το νοσοκομείο. Η παραμονή στο νοσοκομείο πέραν του αναγκαίου χρόνου συμβάλλει αφενός στη μείωση της ποιότητας της φροντίδας και εκθέτει τους υπάρχοντες ασθενείς σε κινδύνους (π.χ. νοσοκομειακές μολύνσεις) και αφετέρου στην αύξηση της αναμονής άλλων ασθενών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να τρέξει το μοντέλο ήταν οι δυνατότητες κάθε παροχής, ο μέσος χρόνος διαμονής σε ένα νοσοκομείο και ο μέσος χρόνος κάθε είδους παραμονής. Τα ευρήματα που προέκυψαν από το μοντέλο Δυναμικής «Delayed hospital discharge model» είναι τα εξής: Η προφανής λύση της αύξησης της χωρητικότητας μπορεί να λύσει τα προβλήματα βραχυπρόθεσμα, αλλά θα επιδεινώσει την κατάσταση μακροπρόθεσμα γιατί θα χρειάζονται επιπλέον μέτρα για να λύσουν τις ακόμη μεγαλύτερες καθυστερήσεις στις εκροές που θα δημιουργηθούν αν μεγαλώσει η χωρητικότητα. Επίσης, στη μελέτη αναφέρονται πλήθος παρεμβάσεων που θα καλυτερέψουν την κατάσταση και θα αποφορτίσουν τις μονάδες υγείας όπως π.χ. μείωση του χρόνου αξιολόγησης της κατάστασης ενός ασθενούς και του χρόνου διαμονής σε όλους τους τομείς υγείας

Το δεύτερο μοντέλο «Patient pathway model» είναι παραπλήσιο αλλά εφαρμόζεται κυρίως σε τοπικά θέματα και συστήματα. Οι διαφορές των δύο μοντέλων αφορούν την εστίαση σε διαφορετικές ηλικίες, το φάσμα νοσοκομειακών κλινών, το είδος νοσηλείας

και το είδος των ασθενών. Τα ευρήματα που προέκυψαν από το δεύτερο μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων αφορούν σημαντικές προτάσεις αναδιάρθρωσης των διαδικασιών για την ορθότερη λειτουργία και βελτίωση του συστήματος υγείας, όπως αλλαγές στο κωδικοποιημένο σύστημα εισαγωγής και εξαγωγής ασθενών, δοκιμές μείωσης κόστους της ιατρικής φροντίδας, κατανομή των ασθενών με βάση την ηλικία ή με βάση το «βαθμό εξάρτησης» κλπ.

Ακόμη μία σημαντική μελέτη που αφορά τον κρίσιμο τομέα της υγείας πραγματοποιήθηκε από τους Rohleder, Bischak & Baskin (2006) για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των ασθενών καθώς και για τη μείωση του χρόνου αναμονής. Η πρώτη δοκιμαστική λειτουργία του μοντέλου ήταν θετική και στέφθηκε με επιτυχία. Δυστυχώς όμως, η δυναμική ανατροφοδότησης κατέληξε σε απρόβλεπτα προβλήματα επιδόσεων. Στην μελέτη αυτή, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο ένα μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων θα μπορούσε να βοηθήσει στην πρόβλεψη των προβλημάτων εκτέλεσης και λειτουργίας στην ανατροφοδότηση και θα πρότεινε τρόπους ώστε να βελτιωθούν τα αποτελέσματα. Οι μελετητές στηρίχθηκαν στη μοντελοποίηση ενός συστήματος που αφορούσε εξωτερικά ιατρεία φλεβοτομίας και κέντρα συλλογής δειγμάτων. Αρχικά, η έρευνα επικεντρώθηκε στη χρήση προσομοίωσης διακριτών στοιχείων για να βοηθήσει την διαδικασία ανάπτυξης ενός πρότυπου σχεδίου για νέες εγκαταστάσεις.

Όπως τα περισσότερα κέντρα υγείας, έτσι και το CLS (Calgary Laboratory Services), ήρθε αντιμέτωπο με αυξημένες απαιτήσεις αλλά είχε περιορισμένες οικονομικές δυνατότητες για να τα καταφέρει να έχει μια εύρυθμη λειτουργία. Οι παλαιότεροι ερευνητές έχουν βρει ότι η προσομοίωση διακριτών συμβάντων είναι χρήσιμη για τη διευκόλυνση κάποιων αποφάσεων τόσο για το σχεδιασμό ενός συνόλου κτιριακών εγκαταστάσεων ενός διαγνωστικού κέντρου όσο και για διαδικασίες στην υγειονομική περίθαλψη. Ο Ashton (2005) χρησιμοποίησε προσομοίωση για να βοηθήσει μια κλινική να εντοπίσει προβλήματα και να εξετάσει εναλλακτικές λύσεις για το χώρο αναμονής και τις διαδικασίες ταξινόμησης. Ο Stahl (2004) χρησιμοποίησε προσομοίωση για την ανάλυση εναλλακτικών αναισθησιολόγων για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χειρουργικής επέμβασης. Οι Stafford & Aggarwal (1979)

διερεύνησαν τις επιδράσεις διαφορετικών επίπεδων στελέχωσης και τη συγκέντρωση δύο ή περισσότερων μονάδων εξυπηρέτησης εντός μιας κλινικής. Έτσι, δημιούργησαν ένα μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων με σκοπό τον επανασχεδιασμό του κέντρου εξυπηρέτησης των ασθενών. Τελικώς, η έρευνα απέδειξε ότι, η CLS πρέπει να μεταφερθεί σε μεγαλύτερες και λιγότερες κτιριακές εγκαταστάσεις για να εκμεταλλευτεί την ομαδοποίηση με σκοπό τη μείωση της ποικιλίας των ζητήσεων, τη μείωση της αναμονής των ασθενών και την αύξηση της αξιοποίησης των πόρων.

Η Δυναμική Συστημάτων, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο σύστημα της Υγείας και στην λειτουργικότητα των μονάδων των νοσοκομείων καθώς μπορούν να οργανωθούν, να μελετηθούν και να μοντελοποιηθούν με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας και κατ' επέκταση της εξυπηρέτησης των ασθενών.

2.5 Εφαρμογές που αφορούν τον τομέα του περιβάλλοντος

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εξάντληση των φυσικών πόρων και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την προστασία του περιβάλλοντος επέφεραν αλλαγές στις δραστηριότητες των παραγωγικών συστημάτων. Ενώ στις δεκαετίες 1960 και 1970, οι διοικήσεις των παραγωγικών συστημάτων αρνούσαν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της λειτουργίας τους (Hart, 1997), σήμερα η προστασία του περιβάλλοντος θεωρείται στρατηγικής σημασίας εφόσον δεν έρχεται σε αντίθεση με την κερδοφορία τους. Εξαιτίας των οικολογικών προβλημάτων που εκδηλώθηκαν, ολοένα και περισσότεροι επιστήμονες ασχολήθηκαν με τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στον περιβαλλοντικό, κοινωνικό, οικονομικό και τεχνολογικό τομέα. Έτσι οι έρευνες για το περιβάλλον, ειδικά με την προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων, αυξάνονται διαρκώς. Έτσι προδίδει περισσότερη ώθηση για την καλύτερη κατανόηση των πολύπλοκων αιτιών και των σύνθετων τρόπων αντιμετώπισης των οικολογικών προβλημάτων. Η έξαρση των περιβαλλοντικών ερευνών οφείλεται κυρίως στο οικονομικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν εξαιτίας της περιβαλλοντικής νομοθεσίας και της αυξημένης περιβαλλοντικής συνείδησης του καταναλωτικού κοινού. Αρκετές

έρευνες έχουν μελετήσει τις περιβαλλοντικές πρακτικές που αναπτύσσουν οι εταιρείες, με έμφαση στα κίνητρα των εταιρειών για ενασχόληση με περιβαλλοντικές πρακτικές και στο ρόλο της διοίκησης των εταιρειών στην προώθηση και προσηλωσή τους σε στρατηγικές που είναι φιλικές προς το περιβάλλον ώστε να φέρουν περισσότερα οφέλη, πέρα από τη μειωμένη χρήση ενέργειας. Ωστόσο, οι οργανώσεις και οι διοικήσεις των παραγωγικών συστημάτων συχνά αποτυγχάνουν να τις εφαρμόσουν. Μια εφαρμογή θα είναι πιθανότερο να αποτύχει όταν οι πρακτικές είναι δύσκολο να αναγνωριστούν, όταν απαιτούν πολύπλοκες γνώσεις, ή όταν ο οργανισμός αντιμετωπίζει πιέσεις που τον αναγκάζουν να εγκαταλείψει την εφαρμογή σε πρώιμο στάδιο. Εδώ ακριβώς η Δυναμική Συστημάτων έρχεται να δώσει οργανωσιακές λύσεις με βέλτιστες πρακτικές, αφενός για την προστασία του περιβάλλοντος και αφετέρου, για την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων για αυτούς που τις εφαρμόζουν ή που τις «αποδέχονται».

Οι Lyneis & Sterman (2008) παρουσιάζουν μια οργάνωση που αποτυγχάνει να υιοθετήσει ένα σημαντικό μοντέλο βέλτιστων πρακτικών, παρά το γεγονός ότι τα οφέλη και τα βήματα είναι κατανοητά και οι εξωτερικές πιέσεις είναι ελάχιστες. Κατά την άποψή τους οι βραχυπρόθεσμες πιέσεις δημιουργούνται εξ ολοκλήρου από τη δομή των σχέσεων σε όλη την οργάνωση. Αυτό κάνει τα άτομα να αντιλαμβάνονται τις βέλτιστες πρακτικές ως ένα κόστος το οποίο μπορεί να αναβληθεί και όχι ως μια επένδυση με θετικές μελλοντικές αποδόσεις. Έτσι, ακόμη και η απλούστερη καινοτομία μπορεί να εμποδίζεται από την εσωτερική δυναμική ενός οργανισμού.

Η οργανωσιακή θεωρία προσφέρει δύο βασικές εξηγήσεις για την αποτυχία των οργανισμών να υιοθετήσουν και να εφαρμόσουν τις βέλτιστες πρακτικές άλλων οργανισμών. Πρώτον, η αποτυχημένη υιοθέτηση συχνά αποδίδεται στη δυσκολία των οργανώσεων να μπορούν να αναγνωρίζουν ή να ερμηνεύουν τα πεπραγμένα. Δεύτερον, η εφαρμογή μπορεί να καθυστερεί εάν υπάρχει βραχυπρόθεσμη πίεση και τα οφέλη της νέας πρακτικής καθυστερούν. Συγκεκριμένα, οι οργανισμοί μπορούν να προσπαθούν έτσι ώστε να μαθαίνουν να αναπτύσσουν αυτές τις δυνατότητες, αλλά εάν υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις μεταξύ της επένδυσης και της απόδοσης. Έτσι, ακόμη και όταν μια πρακτική είναι κατανοητή από τεχνικής άποψης, η εφαρμογή της μπορεί να τερματιστεί. Στην εργασία αυτή, έχει δοκιμαστεί να επεκταθούν οι υφιστάμενες

θεωρίες μέσα από μια μελέτη αποτυχημένης υιοθέτησης ενός σημαντικού πράσινου μοντέλου πρακτικών σε ένα μεγάλο ιδιωτικό ερευνητικό πανεπιστήμιο. Η πρακτική που έχει επιλεγεί είναι η προληπτική συντήρηση του κτιρίου. Για να επιλυθεί αυτό το φαινομενικά παράδοξο πρόβλημα, έχει αναπτυχθεί ένα εκτεταμένο μοντέλο συστήματος συντήρησης. Η μελέτη αυτή παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την οργανωσιακή θεωρία και για τους λόγους για τους οποίους είναι δύσκολη η υιοθέτηση ενός πρακτικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται πολλές παγίδες που μπορεί να προκύψουν ανά πάσα στιγμή παρόλο που το νοητικό μοντέλο μπορεί να βρίσκει καλή θεωρητική εφαρμογή.

Προτείνονται λοιπόν, δύο οργανωσιακές λύσεις για την υπέρβαση αυτών των προκλήσεων. Κατ' αρχάς, τα νοητικά μοντέλα πρέπει να είναι αρκετά πλούσια έτσι ώστε να γίνονται κατανοητά τόσο τα μακροπρόθεσμα οφέλη από μια νέα πρακτική, όσο και οι καθυστερήσεις που παρατηρούνται πριν αποφέρουν κάποια κέρδη. Δεύτερον, τα μοντέλα αυτά πρέπει να ενισχυθούν με αποτελεσματικούς κανόνες επικοινωνίας τόσο στο εσωτερικό των λειτουργικών ομάδων όσο και εκτός των ορίων. Διότι χωρίς κοινή κατανόηση, ενδέχεται να προκύψουν βραχυπρόθεσμες πιέσεις μεταξύ ατόμων ή ομάδων με αποτέλεσμα να αποφευχθούν συγκεκριμένες ενέργειες προς βελτίωση.

Οι δραστηριότητες ανακύκλωσης έχουν επιδείξει αξιοσημείωτη αύξηση κατά την τελευταία δεκαετία, λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών διαστάσεων της αειφορίας. Συγκεκριμένα, ο προγραμματισμός της χωρητικότητας των εγκαταστάσεων παραγωγής έχει γίνει ένα στρατηγικό ζήτημα καίριας σημασίας που επηρεάζει την κερδοφορία του κλάδου της ανακύκλωσης. Με τη χρήση της θεωρίας ελέγχου ανάδρασης, σε μια δυναμική θεώρηση των δικτύων ανακύκλωσης, η εργασία του Γεωργιάδη (2008) προτείνει ένα μοντέλο για τον στρατηγικό σχεδιασμό της παραγωγικής ικανότητας στον τομέα της ανακύκλωσης. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων βασίζεται σε μια ισορροπημένη αντίστροφη σχέση μεταξύ κέρδους και παραγωγικής ικανότητας σε δραστηριότητες ανακύκλωσης. Το μοντέλο αποτελείται από φυσικά αποθέματα και ροές οι οποίες είναι εμφανείς στα δίκτυα ανακύκλωσης του πραγματικού κόσμου. Όταν το μοντέλο χρησιμοποιείται ως «πειραματικό εργαλείο»,

εξετάζει τις αντοχές των πολιτικών σχεδιασμών των εναλλακτικών ικανοτήτων οι οποίες με τη βέλτιστη χρήση τους προκαλούν μεγιστοποίηση της κερδοφορίας.

Συνοπτικά, περιγράφεται ένα μοντέλο Δυναμικής Συστημάτων το οποίο ενσωματώνει την ικανότητα στρατηγικού σχεδιασμού και τις δοκιμές αποτελεσματικότητας της πολιτικής που χαραχτηκε από τη διοίκηση. Συγκεκριμένα, το μοντέλο εφαρμόστηκε για την περίπτωση της παραγωγής χαρτιού με δραστηριότητες ανακύκλωσης με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την κερδοφορία που θα προέκυπτε.

2.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιήθηκε μία εκτενής βιβλιογραφική έρευνα με σκοπό την καταγραφή των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη χρησιμότητα και τις δυνατότητές της. Τα συμπεράσματα αυτά θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στη διαμόρφωση του Συνθετικού Μοντέλου της παρούσας διατριβής.

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάστηκαν μερικές εφαρμογές που αφορούν τη Διαχείριση Κινδύνου, όπου τονίστηκε η χρησιμότητα της Δυναμικής Συστημάτων τόσο για την εκτίμηση επικινδυνότητας όσο και για τη δυνατότητα που έχει σχεδόν σε κάθε πρόβλημα διαχείρισης κινδύνου. Αρχικά, διερευνήθηκε η εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης φραγμών για μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και προέκυψαν προτάσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφαλείας στις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ακολούθως, δόθηκε έμφαση στη δυνατότητα της Δυναμικής Συστημάτων να μελετά τις καθυστερήσεις που παρουσιάζουν οι οργανωσιακοί φραγμοί και στη δυνατότητα να προσδιορίζει τη διακύμανση της επικινδυνότητας στο χρόνο.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μελέτες που καταγράφηκαν αφορούν τις δυνατότητες των μοντέλων της Δυναμικής Συστημάτων στην ενημέρωση των φορέων

για τη χάραξη πολιτικής ως προς το ποιος μοχλός του συστήματος ενδέχεται να επιφέρει τη μεγαλύτερη μείωση των περιστατικών. Επίσης, η Δυναμική Συστημάτων προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων ασφάλειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διοικούντες πρέπει να δίνουν έμφαση στην ασφάλεια σε συνδυασμό με διάφορες άλλες πολιτικές ασφαλείας προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις πολυσύνθετες όψεις των δυναμικών διαδικασιών και των εργασιακών πιέσεων. Επιπλέον, η «οργανωσιακή μάθηση» και η «κουλτούρα ασφάλειας» αποτελούν σημαντικούς παράγοντες ελέγχου των διαδικασιών ασφάλειας και χρειάζονται πολλά χρόνια για να αναπτυχθούν και να αποφέρουν αποτελέσματα. Τέλος τονίστηκε ότι, οι οργανισμοί πρέπει να δημιουργούν μοντέλα των δικών τους συστημάτων ασφαλείας με σκοπό τόσο την ανάγνωση της συμπεριφοράς των συστημάτων τους όσο και την πρόβλεψη και αποφυγή των ατυχημάτων.

Στη δεύτερη ενότητα καταγράφηκαν κάποιες εφαρμογές της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν τη βιομηχανική και την επαγγελματική ασφάλεια. Οι έρευνες έδειξαν πως οι αιτίες των περισσότερων ατυχημάτων αναφέρονται στην ελλιπή οργάνωση και στην υποβάθμιση της κουλτούρας για την ασφάλεια. Αρχικά παρουσιάστηκαν διάφορες προσεγγίσεις για την επαγγελματική ασφάλεια με σκοπό την ανάπτυξη Συστημάτων Διαχείρισης της Ασφάλειας ώστε με την πάροδο του χρόνου να μειώνονται τα ατυχήματα. Στη συνέχεια δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι διοικούντες με σκοπό να ενθαρρύνουν την εκμάθηση και την προσήλωση των εργαζομένων στους κανονισμούς ασφαλείας. Επιπρόσθετα δόθηκε ιδιαίτερη σημασία τόσο στην ανάγκη της δέσμευσης των διοικούντων και των εργαζομένων για την ασφάλεια όσο και στη συστηματική ανάλυση των ατυχημάτων η οποία μπορεί να βοηθήσει στην παροχή νέων και καινοτόμων ιδεών για την ενίσχυση του πολιτισμού της ασφάλειας σε όλες τις εγκαταστάσεις.

Ακόμη ένα χρήσιμο συμπέρασμα που προέκυψε από το κεφάλαιο αυτό είναι ότι όλοι οι οργανισμοί ενδέχεται να αντιμετωπίσουν κάποια ατυχήματα, αλλά η παρουσία ενός συστήματος οργανωσιακής εκμάθησης σε συνδυασμό με ένα αποτελεσματικό σύστημα αναφορών θα μετριάσει την επικινδυνότητα. Επίσης, κάποιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν τη Δυναμική Συστημάτων ως βασικό πυλώνα των πολιτικών τους για

την πρόληψη των ατυχημάτων προκειμένου να βελτιώνουν συνεχώς την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Για ακόμη μία φορά τονίστηκε ότι η προτεραιότητα στην ασφάλεια έναντι της παραγωγής είναι μακράν η καλύτερη πολιτική για έναν οργανισμό. Τέλος, τονίστηκε η αναγκαιότητα της ενασχόλησης κάθε οργανισμού σε με την ασφάλεια των πληροφοριών διότι η ροή των πληροφοριών έχει αυξηθεί εκθετικά και οι προκλήσεις για την ασφάλεια τους έχουν πολλαπλασιαστεί.

Στην τρίτη ενότητα παρουσιάστηκε μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν τον τομέα της υγείας, στον οποίο η Δυναμική Συστημάτων έχει παίξει καθοριστικό ρόλο καθώς τα μοντέλα της χρησιμοποιούνται τόσο για να τονίσουν τα προβλήματα της νομοθεσίας όσο και στο να βοηθήσουν στη βελτίωση της εξυπηρέτησης των ασθενών. Η Δυναμική Συστημάτων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο σύστημα της Υγείας και στην λειτουργικότητα των μονάδων των νοσοκομείων, καθώς μπορούν να οργανωθούν, να μελετηθούν και να μοντελοποιηθούν με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας και κατ' επέκταση της εξυπηρέτησης των ασθενών. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάστηκαν κάποιες μελέτες στις οποίες χρησιμοποιείται η Δυναμική Συστημάτων με σκοπό τη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών υγείας και κοινωνικής φροντίδας. Η αξιοπιστία και η λειτουργικότητα των μοντέλων θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο κατά πόσο η συγκεκριμένη προσέγγιση θα συμβάλλει στη συνεργασία μεταξύ των ασθενών, των γιατρών και του συστήματος υγείας τα επόμενα χρόνια.

Στην τέταρτη ενότητα παρουσιάστηκε μια ανασκόπηση των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων που αφορούν το περιβάλλον καθώς τις τελευταίες δεκαετίες η εξάντληση των φυσικών πόρων και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την προστασία του περιβάλλοντος, επέφεραν αλλαγές στις δραστηριότητες των παραγωγικών συστημάτων. Επίσης, ολοένα και περισσότεροι επιστήμονες ασχολήθηκαν με τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στον περιβαλλοντικό, κοινωνικό, οικονομικό και τεχνολογικό τομέα με αποτέλεσμα οι έρευνες για το περιβάλλον, ειδικά με την προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων, να αυξάνονται διαρκώς. Στην ενότητα αυτή καταγράφηκαν έρευνες οι οποίες μελέτησαν τα κίνητρα

των εταιρειών για ενασχόληση με περιβαλλοντικές πρακτικές και το ρόλο της διοίκησης των εταιρειών στην προσήλωσή τους σε στρατηγικές που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Ωστόσο, τονίστηκε η συχνή αποτυχία των διοικήσεων των παραγωγικών συστημάτων να τις εφαρμόσουν. Σε αυτό το σημείο αναγνωρίστηκε ότι η Δυναμική Συστημάτων έρχεται να δώσει οργανωσιακές λύσεις με βέλτιστες πρακτικές για την προστασία του περιβάλλοντος και για την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων για αυτούς που τις εφαρμόζουν. Τέλος, ένα συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η διαδικασία λήψης αποφάσεων βασίζεται σε μια ισορροπημένη αντίστροφη σχέση μεταξύ κέρδους και παραγωγικής ικανότητας σε δραστηριότητες ανακύκλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο έρχεται να εξηγήσει τους τρόπους με τους οποίους διαμορφώνονται και απεικονίζονται τα μοντέλα των εφαρμογών της Δυναμικής Συστημάτων. Αφού περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζονται τα διαγράμματα επιρροής και τα διαγράμματα ροών και καταστάσεων γίνεται μια παρουσίαση της μαθηματικής μοντελοποίησης. Η επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου γίνεται εύκολα και γρήγορα με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού και τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι σε μορφή γραφημάτων πράγμα που αυξάνει την ευχρηστία τους.

Ακολούθως, αναλύονται εκτενώς τα πεδία που αποτελούν το πλαίσιο αναφοράς για την παρούσα διατριβή προκειμένου να αποσαφηνιστούν οι βασικές έννοιες της Δυναμικής Συστημάτων. Γίνεται επίσης εκτενής αναφορά στα συστήματα, στην απεικόνιση των συστημάτων και στη δημιουργία προτύπων τα οποία αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις του πραγματικού συστήματος.

3.2 Δυναμική Συστημάτων

Ως σύστημα, ορίζεται ένα σύνολο αλληλένδετων στοιχείων το οποίο έχει συγκεκριμένο σκοπό ύπαρξης. Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος, αποτελούν τα στοιχεία του, οι σχέσεις ανάμεσα τους, οι πόροι του, οι διαδικασίες ελέγχου και οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του. Στοιχεία του συστήματος είναι εκείνες οι οντότητες οι οποίες αναγνωρίζονται ανεξάρτητα και η συλλογική τους λειτουργία καθορίζει το αποτέλεσμα του συστήματος. Οι ιδιότητες των στοιχείων εκφράζονται με μεταβλητές οι τιμές των οποίων σε συνάρτηση με το χρόνο, περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο επιλέγονται τα στοιχεία και οι ιδιότητες των στοιχείων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη του συστήματος επειδή επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη συμπεριφορά του. Τα διάφορα στοιχεία τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού περιβάλλοντος του συστήματος συνδέονται μεταξύ τους με ορισμένες σχέσεις και αλληλοεπηρεάζονται. Ένα σύστημα αναφέρεται ως «πολύπλοκο» όταν η συμπεριφορά του δεν εξαρτάται από τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά των στοιχείων του, αλλά οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις τους πράγμα που καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του.

Κάθε σύστημα χαρακτηρίζεται από διάφορες εισόδους που εισάγονται σε αυτό από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι εισοδοί μετασχηματίζονται από το σύστημα και εξέρχονται ως έξοδοι. Αυτός ο μετασχηματισμός εξαρτάται από τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος. Κάθε φορά που αλλάζει η δομή ενός συστήματος πρέπει να προβλέπεται η συμπεριφορά του, δηλαδή η κατάστασή του σε συνάρτηση με τον χρόνο καθώς μόνο έτσι μπορεί να αξιολογείται εκ των προτέρων η αποτελεσματικότητα των αποφάσεων οι οποίες λαμβάνουν χώρα. Όμως κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο να γίνει σε πραγματικά συστήματα, που συνήθως αποτελούνται από αρκετά μεγάλο αριθμό στοιχείων με έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος είναι αρκετά πολύπλοκες πράγμα που καθιστά αρκετά δύσκολη την εκ των προτέρων εκτίμηση των επιδράσεων που τελικά θα έχουν κάποιες συγκεκριμένες αποφάσεις στη συνολική του συμπεριφορά. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, επειδή κατά τη λειτουργία των πραγματικών συστημάτων το ενδιαφέρον εστιάζει στη βελτίωση της

συνολικής συμπεριφοράς και όχι κάποιων μεμονωμένων τμημάτων του συστήματος (Γεωργιάδης, 2006).

Στις περιπτώσεις που δε δύναται να προβλεφθεί η συμπεριφορά του συστήματος θα πρέπει το σύστημα να αφήνεται να λειτουργεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κάτω από πιθανές εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των υποθέσεων που λαμβάνουν χώρα, παρατηρώντας τη συμπεριφορά του συστήματος και στη συνέχεια παίρνοντας αποφάσεις που βελτιώνουν τη συμπεριφορά του. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εύκολο να γίνει επειδή ένας τέτοιος πειραματισμός στηρίζεται στις παρακάτω προϋποθέσεις:

- 1) Την ύπαρξη του συστήματος, γεγονός που σημαίνει ότι στις περιπτώσεις όπου το σύστημα που πρέπει να μελετηθεί δεν είναι υπαρκτό, δεν υπάρχει η δυνατότητα πειραματισμού.
- 2) Πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα πειραματισμού με εναλλακτικές υποθέσεις, έτσι ώστε να είναι εφικτή μια αξιόπιστη εκτίμηση της συμπεριφοράς του.
- 3) Τεράστιο ή ακόμη και απαγορευτικό κόστος πειραματισμού.

Αφού λοιπόν είναι δύσκολος ο πειραματισμός με το ίδιο το σύστημα, θα πρέπει να δημιουργηθεί το πρότυπό του (δηλαδή το ομοίωμά του) και να γίνει πειραματισμός με αυτό. Αυτό ακριβώς συντελείται με τη Δυναμική Συστημάτων η οποία περιγράφεται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες και της οποίας το θεωρητικό υπόβαθρο βασίζεται στη Θεωρία των μη Γραμμικών Συστημάτων και στους μηχανισμούς των αναδράσεων που αναπτύχθηκαν από τις επιστήμες των Μαθηματικών, της Φυσικής και της Μηχανικής.

Μοντέλο, ονομάζεται η απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος σε κάποια χρονική στιγμή. Το μοντέλο αποτελεί μια αφηρημένη έννοια, διότι επιχειρεί να αποτυπώσει το ρεαλισμό του συστήματος. Μοντέλο μπορεί να είναι μια μαθηματική

περιγραφή που ενσωματώνει δεδομένα και υποθέσεις για να περιγράψει τη λογική συμπεριφορά ενός συστήματος ή μια διαδικασίας. Αυτό το είδος του μοντέλου είναι συνήθως δυναμικό, έχει μια συνιστώσα του χρόνου και δείχνει πώς το σύστημα εξελίσσεται με το χρόνο, αποτυπώνοντας τα αίτια, τα αποτελέσματα καθώς και τη ροή των οντοτήτων του.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του μοντέλου είναι ότι μπορεί να ξεκινήσει ως μια απλή προσέγγιση της διαδικασίας και σταδιακά να τελειοποιηθεί, καθώς αυξάνεται η κατανόηση της διαδικασίας. Αυτή η "σταδιακή βελτίωση" δίνει τη δυνατότητα μιας καλής και γρήγορης προσέγγισης των εξαιρετικά σύνθετων προβλημάτων.

Ως προσομοίωση, ορίζεται η αναπαράσταση της λειτουργίας ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας με τη λειτουργία του πραγματικού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι για να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα λειτουργεί, κατασκευάζεται ένα μοντέλο του συστήματος και παρατηρείται πώς λειτουργεί αυτό. Καθώς διατρέχει ο χρόνος προσομοίωσης, το μοντέλο προσδιορίζει εάν έχουν επέλθει μεταβολές, υπολογίζει εκ νέου τις τιμές του και παράγει αποτελέσματα. Εάν είναι έγκυρο, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος. Εκτός από το σχεδιασμό ενός μοντέλου του συστήματος η προσομοίωση περιλαμβάνει και τη διεξαγωγή πειραμάτων κατά την εξέλιξή του στο χρόνο. Η μοντελοποίηση καθιστά δυνατό να παρατηρήσει κανείς, πώς μια δραστηριότητα του πραγματικού κόσμου εκτελείται υπό διαφορετικές συνθήκες, δοκιμάζοντας διαφορετικές υποθέσεις και ελαχιστοποιώντας το κόστος από την εκτέλεση της πραγματικής δραστηριότητας. Έτσι μειώνεται ο κίνδυνος από την αλληλεπίδραση με το μοντέλο και όχι το πραγματικό σύστημα, ώστε να μπορούν να ληφθούν οι βέλτιστες αποφάσεις.

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της μοντελοποίησης είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άτομα που δεν διαθέτουν εμπειρία στο συγκεκριμένο τομέα. Όλα τα πακέτα λογισμικού προσομοίωσης περιλαμβάνουν κάποια γραφική διεπιφάνεια και επιτρέπουν την αναπαράσταση των διαδικασιών και τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Επίσης συχνά συνδέονται με εργαλεία δημιουργίας διαγραμμάτων ροής και άλλα εργαλεία Τεχνολογίας Λογισμικού, πράγμα που οδηγεί

σε ταχύτερη εκτέλεση της προσομοίωσης και μεγαλύτερη ακρίβεια στις μεταβλητές του συστήματος. Υπάρχουν δύο βασικά είδη προσομοίωσης: η συνεχής (continuous) και η διακριτή (discrete event) προσομοίωση. Η συνεχής προσομοίωση προϋποθέτει ότι υπάρχει συνεχόμενη ροή χρόνου και προχωράει με χρονικά βήματα. Αντίθετα, η διακριτή είναι μια τεχνική όπου η προσομοίωση προχωράει από γεγονός σε γεγονός και όχι με την συνεχή πάροδο του χρόνου.

Ο όρος «πολιτική ελέγχου», περιγράφει ένα μελετημένο σχέδιο δράσης με στόχο να καθοδηγεί αποφάσεις και να πετυχαίνει ορθολογικά αποτελέσματα. Μια πολιτική ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί σε κυβερνητικές παρεμβάσεις, σε οργανισμούς του ιδιωτικού τομέα, σε ομάδες, καθώς και σε ατομικές πρωτοβουλίες. Η πολιτική ελέγχου διαφέρει από τους νόμους οι οποίοι επιβάλλουν ή απαγορεύουν κάποιες συμπεριφορές. Η πολιτική ελέγχου καθοδηγεί δράσεις προς κάποιες επιθυμητές συμπεριφορές που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες για την επίτευξη του σκοπού του συστήματος. Η πολιτική ελέγχου μπορεί επίσης να αναφέρεται στη διαδικασία λήψης σημαντικών αποφάσεων και να συμπεριλαμβάνει την αναγνώριση διαφόρων εναλλακτικών λύσεων, καθώς και την επιλογή μεταξύ. Οι πολιτικές ελέγχου μπορεί να βοηθούν ως οι πολιτικοί, διαχειριστικοί, οικονομικοί, και διοικητικοί μηχανισμοί που σχεδιάζονται για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων (Γεωργιάδης, 2006).

Η Δυναμική Συστημάτων είναι μία εξαιρετική μεθοδολογία που εφαρμόζεται στη μοντελοποίηση συστημάτων παραγωγής και παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης σύνθετων συστημάτων. Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1950 από τον καθηγητή Jay W. Forrester (Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης) προκειμένου να βοηθήσει τους διοικούντες να κατανοήσουν καλύτερα τις επιχειρησιακές διαδικασίες. Σήμερα, είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται παγκοσμίως τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο τομέα. Η διαδικασία της ανάλυσης έχει σκοπό αφενός την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος - το οποίο μελετάται κάτω από εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του - και αφετέρου τη διευκόλυνση της λήψης των αποφάσεων έτσι ώστε να βελτιώνεται η συνολική λειτουργία του. Επίσης, χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση πολύπλοκων

διαδικασιών και για τη μελέτη της λειτουργίας τους όταν αυτές επηρεάζονται από εξωγενείς ή ενδογενείς παράγοντες. Η Δυναμική Συστημάτων επιτρέπει προβλέψεις για τη συμπεριφορά των συστημάτων, αποσαφηνίσεις των συσχετίσεων μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών καθώς και εκτιμήσεις για την συνολική εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο.

Τέλος, η Δυναμική Συστημάτων ασχολείται με τη δημιουργία προτύπων τα οποία περιγράφουν με ικανοποιητική προσέγγιση την λειτουργία των πραγματικών συστημάτων παρέχοντας τη δυνατότητα ανάλυσης της δυναμικής συμπεριφοράς τους. Με βάση αυτές τις δυνατότητες γίνεται αντιληπτό ότι η Δυναμική Συστημάτων αποτελεί μία ενδιαφέρουσα τεχνική για την ανάλυση επικινδυνότητας και τη διερεύνηση ατυχημάτων.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η Δυναμική Συστημάτων διαφέρει από άλλες προσεγγίσεις πολύπλοκων συστημάτων γιατί μελετά τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος, λαμβάνει υπόψη τις χρονικές καθυστερήσεις και αναλύει τους βρόχους ανατροφοδότησης που ελέγχουν τη λειτουργία του συστήματος. Τα στοιχεία σε ένα σύστημα αλληλεπιδρούν μέσω των βρόχων ανατροφοδότησης, καθώς κάποιες αλλαγές σε μια μεταβλητή επηρεάζουν με την πάροδο του χρόνου άλλες μεταβλητές, οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζουν πάλι την αρχική μεταβλητή και ούτω καθεξής. Τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων, «χτίζονται» γύρω από ένα συγκεκριμένο πρόβλημα το οποίο καθορίζει τους παράγοντες που θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο. Στηρίζονται σε τρεις πηγές πληροφοριών: αριθμητικά δεδομένα, βάσεις δεδομένων (π.χ. αναφορές και εγχειρίδια) και εξειδικευμένες γνώσεις των εμπλεκομένων στο σύστημα. Μέσα από τη χρήση των διαθέσιμων δεδομένων και των λεκτικών περιγραφών που παρέχονται από τους εμπειρογνώμονες, η διαδικασία μοντελοποίησης εκθέτει νέες ιδέες και σημαντικές μεταβλητές (Γεωργιάδης, 2006).

Η Δυναμική Συστημάτων αποτελεί μέρος του συστημικού τρόπου σκέψης (systems thinking) και δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη συμπεριφορά που εμφανίζει ένα σύστημα όταν οι συνθήκες μεταβάλλονται. Επειδή είναι μια νέα επιστημονική περιοχή δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός της από την επιστημονική κοινότητα. Γι' αυτό παρατίθενται παρακάτω κάποιοι ορισμοί οι οποίοι θεωρούνται περισσότερο αποδεκτοί:

Κατά τον R. G. Coyle, η Δυναμική Συστημάτων αποτελεί μία μεθοδολογία με την οποία μπορούν να αναλυθούν προβλήματα όπου ο χρόνος είναι ένας σημαντικός παράγοντας και να διερευνηθεί η απόκριση ενός συστήματος στις μεταβολές του περιβάλλοντός του.

Κατά τον E. B. Roberts, η Δυναμική Συστημάτων είναι η εφαρμογή των κανόνων και των τεχνικών της Θεωρίας των Συστημάτων σε διοικητικά και οργανωσιακά προβλήματα.

Κατά τον P. M. Senge, η Δυναμική Συστημάτων είναι ένα εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση και τη δημιουργία γνώσης με σκοπό την τεκμηρίωση της συμπεριφοράς των πολύπλοκων συστημάτων.

Κατά τον E. F. Wolstenholme, η Δυναμική Συστημάτων είναι μια αυστηρή μέθοδος για την περιγραφή, την ανάλυση και τη διερεύνηση των λειτουργιών, της ροής των πληροφοριών και των στρατηγικών σύνθετων συστημάτων. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει επίσης τη σχεδίαση και τον έλεγχο αποτελεσματικότητας της δομής των σύνθετων συστημάτων.

Οι παραπάνω ορισμοί παρόλο που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, συγκλίνουν στο ότι η Δυναμική Συστημάτων ασχολείται με τη δημιουργία προτύπων, τα οποία περιγράφουν με ικανοποιητική προσέγγιση τη λειτουργία πραγματικών συστημάτων παρέχοντας τη δυνατότητα μελέτης της δυναμικής τους συμπεριφοράς.

Η Δυναμική Συστημάτων έχει θεμελιωθεί στη Θεωρία της Συστημικής Προσέγγισης που αναπτύχθηκε στα μέσα του 20ου αιώνα. Υποστηρίζει ότι τη λειτουργία ενός συστήματος στον πραγματικό κόσμο πρέπει να θεωρείται με έναν «ολιστικό τρόπο» καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης μόνο ενός στοιχείου του χωρίς να επηρεαστούν τα υπόλοιπα επειδή το σύνολο των στοιχείων είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα τους (Γεωργιάδης, 2006).

3.2.1 Ιστορική αναδρομή της Δυναμικής Συστημάτων

Από τις αρχές του 1960 ο J.W. Forester, καθηγητής στο πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης των Η.Π.Α., εισήγαγε για πρώτη φορά τη μεθοδολογική προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων με το σύγγραμμα του «Industrial Dynamics». Στη δεκαετία που ακολούθησε, η ερευνητική ομάδα του J.W. Forester με συστηματικό τρόπο άρχισε να θεμελιώνει το θεωρητικό υπόβαθρο της Δυναμικής Συστημάτων.

Παράλληλα, αρκετοί επιστήμονες τόσο στις Η.Π.Α. όσο και στην Ευρώπη, αρχίζουν να δημοσιεύουν με αυξανόμενο ρυθμό επιστημονικές εργασίες οι οποίες εφαρμόζουν τη Δυναμική Συστημάτων για την αντιμετώπιση προβλημάτων της διοικητικής πρακτικής.

Ο Richard Bennet (1958) δημιούργησε την πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει τη Δυναμική Συστημάτων με την ονομασία SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with lots of Equations). Αργότερα οι Phyllis Fox & Alexander Pugh (1959) έγραψαν την πρώτη έκδοση της DYNAMO (Dynamic Models), μια βελτιωμένη έκδοση της SIMPLE. Το 1961 ο J.W. Forester, δημοσίευσε το πρώτο βιβλίο με τίτλο «Industrial Dynamics» που ουσιαστικά αποτέλεσε τον πρώτο οδηγό για τη μεθοδολογία της Δυναμικής Συστημάτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας άρχισαν να ευαισθητοποιούν και τη διεθνή επιστημονική κοινότητα στις αρχές του 1970 στο αντικείμενο της διοίκησης επιχειρήσεων. Ο R.G. Coyle (1977) καθηγητής στο πανεπιστήμιο Bradford της Αγγλίας, δημοσιεύει το δεύτερο κλασικό σύγγραμμα στο γνωστικό αντικείμενο της Δυναμικής Συστημάτων, συμβάλλοντας ως πρωτεργάτης στη διάχυση των αρχών και της μεθοδολογικής προσέγγισης της Δυναμικής Συστημάτων στην Ευρώπη. Τα επόμενα τριάντα χρόνια, η Δυναμική Συστημάτων αποτέλεσε το βασικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για πολλές αμερικάνικες επιχειρήσεις.

Η ποικιλία των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται διευρύνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να δίνονται λύσεις σε περιβαλλοντικά θέματα, σε θέματα διαχείρισης εθνικών πόρων, σε θέματα διαχείρισης ενέργειας και σε θέματα διοίκησης ανθρώπινου δυναμικού. Παράλληλα διερευνώνται, κάτω από εναλλακτικές στρατηγικές και πολιτικές, οι συμπεριφορές πολλών κοινωνικό οικονομικών συστημάτων, συστημάτων

εθνικής άμυνας, συστημάτων μεταφορών, παραγωγικών συστημάτων και πληροφοριακών συστημάτων. Επιλέον, σχεδιάζονται και αξιοποιούνται στρατηγικές και πολιτικές στους τομείς της οικονομικής, βιομηχανικής και περιφερειακής ανάπτυξης, όπως επίσης και στους τομείς του μάρκετινγκ, των πωλήσεων, της έρευνας και ανάπτυξης, τόσο για δημόσιους όσο και για ιδιωτικούς οργανισμούς.

3.3 Πρότυπα

Ως πρότυπα ορίζονται απλοποιημένες αναπαραστάσεις του πραγματικού συστήματος τα οποία επιχειρούν να αποτυπώσουν το ρεαλισμό των συστημάτων.

3.3.1 Ομαδοποίηση προτύπων

Τα πρότυπα ομαδοποιούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα φυσικά πρότυπα, τα αναλογικά πρότυπα και τα μαθηματικά πρότυπα.

- Τα φυσικά πρότυπα αναπαρίστανται με οπτικό τρόπο και με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των συστημάτων. Παραδείγματα φυσικών προτύπων αποτελούν τα ομοιώματα αεροσκαφών που κατασκευάζονται υπό κλίμακα με σκοπό τη δοκιμή τους σε αεροσήραγγες, τα ομοιώματα εργαλειομηχανών, επίπλων και εργαζομένων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων χωροταξικής διάταξης των μέσων παραγωγής, κ.α.
- Αναλογικά ονομάζονται τα πρότυπα με τα οποία αναπαρίστανται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των συστημάτων χωρίς όμως να τα αναπαρίστανται οπτικά π.χ. το οργανόγραμμα μιας επιχείρησης αποτελεί ένα παράδειγμα αναλογικών προτύπων.
- Συχνά, επειδή τα φυσικά πρότυπα έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και τα αναλογικά δεν αναπαριστούν ικανοποιητικά το σύστημα, επιλέγονται ως πιο κατάλληλα τα μαθηματικά πρότυπα. Στα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούνται μαθηματικά σύμβολα και εξισώσεις για την αναπαράσταση των σχέσεων που

υπάρχουν μεταξύ στοιχείων του συστήματος. Κατά τη χρήση των μαθηματικών προτύπων διενεργούνται επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί στις διάφορες εξισώσεις με ένα προκαθορισμένο χρονικό βήμα. Η ολοκλήρωση των υπολογισμών αυτών είναι ανέφικτη χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ειδικές προσομοιωτικές γλώσσες προγραμματισμού που διευκολύνουν τη σχετική διαδικασία. (Γεωργιάδης, 2006).

Στη Δυναμική Συστημάτων χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό τα μαθηματικά πρότυπα τα οποία αποτελούν ομοιώματα του πραγματικού συστήματος με τη βοήθεια των οποίων μπορεί κάποιος να πειραματισθεί με τη δομή και με τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος. Για τη διαμόρφωση όμως του προτύπου ενός συστήματος, πρέπει να καταγραφούν όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος.

Τα μαθηματικά πρότυπα, είναι δυναμικά, στοχαστικά ή καθοριστικά, συνεχή, προσομοιωτικά και γραμμικά ή μη γραμμικά.

α) Δυναμικά ή στατικά μαθηματικά πρότυπα, ανάλογα με το εάν μεταβάλλονται ή όχι τα χαρακτηριστικά του προτύπου συναρτήσει του χρόνου

β) Στοχαστικά ή καθοριστικά, ανάλογα με το εάν περιγράφονται χαρακτηριστικά του προτύπου με συναρτήσεις κατανομών ή όχι.

γ) Συνεχή ή ασυνεχή, ανάλογα με τον τρόπο μεταβολής της μεταβλητής που περιγράφει το χρόνο.

δ) Αναλυτικά ή προσομοιωτικά, ανάλογα με τον τρόπο επίλυσης του προτύπου.

ε) Γραμμικά ή μη γραμμικά, ανάλογα με τη μορφή των μαθηματικών σχέσεων που περιλαμβάνουν.

Μια διαφορετική ομαδοποίηση προτύπων είναι αυτή όπου τα πρότυπα ομαδοποιούνται ανάλογα με το είδος της επιστήμης στην οποία αναφέρονται. Έτσι, υπάρχουν πρότυπα που αναφέρονται σε φυσικές επιστήμες, σε επιστήμες μηχανικού, σε διοικητικές επιστήμες και σε κοινωνικό-οικονομικές επιστήμες.

3.3.2 Διαμόρφωση δυναμικών προτύπων στη Δυναμική Συστημάτων

Η μεθοδολογία διαμόρφωσης δυναμικών προτύπων με χρήση της Δυναμικής Συστημάτων ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

Αναγνώριση του προβλήματος. Σε αυτό το στάδιο, αρχικά αναγνωρίζεται το πρόβλημα που πρέπει να μελετηθεί. Στη συνέχεια, οριοθετείται το σύστημα αναγνωρίζοντας τα στοιχεία που συνθέτουν το εσωτερικό του περιβάλλον και επιλέγοντας για κάθε ένα στοιχείο ξεχωριστά τις κρίσιμες ιδιότητες του. Η οριοθέτηση αυτή θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα τα στοιχεία και οι ιδιότητες που σχετίζονται με το σκοπό του εξεταζόμενου προβλήματος. Στη συνέχεια, προκαθορίζεται ο χρονικός ορίζοντας επίλυσης του προτύπου. Σημαντική προϋπόθεση κατά την οριοθέτηση του συστήματος είναι να λαμβάνονται υπόψη τα ποσοτικά στοιχεία που μεταβάλλονται με το χρόνο, οι δυνάμεις που δημιουργούν μεταβολές στις ιδιότητες των στοιχείων και οι σημαντικές αναδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των στοιχείων.

Αποτύπωση της λειτουργίας του συστήματος. Σε αυτό το στάδιο, αρχικά αναζητούνται τα αίτια που εξηγούν την προβληματική συμπεριφορά του συστήματος. Στη συνέχεια, διαμορφώνεται η υπόθεση που εξηγεί την υφιστάμενη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος ως ενδογενή συνέπεια των αναδράσεων που υπάρχουν σε αυτό. Τέλος, αποτυπώνεται η λειτουργία του συστήματος με βάση τις κρίσιμες μεταβλητές, τις αρχικές συνθήκες, την κατάσταση αναφοράς και τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία με τη χρήση συγκεκριμένων εργαλείων όπως τα διαγράμματα επιρροής και τα διαγράμματα ροής.

Δημιουργία κώδικα προτύπου. Σε αυτό το στάδιο δημιουργείται ο κώδικας του προτύπου χρησιμοποιώντας ειδικές προσομοιωτικές γλώσσες προγραμματισμού. Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει τις μαθηματικές σχέσεις που προσδιορίζουν τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος, τις εκτιμήσεις των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, τις αρχικές συνθήκες των μεταβλητών του συστήματος και τους μηχανισμούς ανάδρασης.

Έλεγχος του προτύπου. Στο στάδιο ελέγχεται η αξιοπιστία του προτύπου. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχεται αν το πρότυπο αναπαριστά σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος και επίσης ελέγχεται αν το πρότυπο δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα ακόμη και σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Επίσης, διερευνάται η ευαισθησία της συμπεριφοράς του προτύπου σε αλλαγές των τιμών των παραμέτρων του.

Σχεδίαση εναλλακτικών πολιτικών και αξιολόγηση αποτελεσματικότητας. Στο τελικό αυτό στάδιο, το πρότυπο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας εναλλακτικών στρατηγικών για την αντιμετώπιση του εξεταζόμενου προβλήματος. Ειδικότερα, σχεδιάζονται εναλλακτικές λύσεις με τις οποίες αναμένεται να αντιμετωπισθεί η προβληματική υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος. Οι εναλλακτικές αυτές συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο και για κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά, προβλέπονται η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος σε ένα προκαθορισμένο μελλοντικό χρονικό ορίζοντα. Η κάθε μία περίπτωση αξιολογείται ξεχωριστά ως προς την αποτελεσματικότητα της εφαρμοσμένης στρατηγικής, με σκοπό την επιλογή της στρατηγικής εκείνης που βελτιώνει περισσότερο τη συνολική συμπεριφορά του συστήματος.

3.3.3 Χαρακτηριστικά των προτύπων

Όπως αναφέρθηκε, η διαμόρφωση δυναμικών προτύπων εξαρτάται άμεσα από το σκοπό για τον οποίο αναπτύσσονται. Ανάλογα με το σκοπό, κατά τη διαμόρφωση των δυναμικών προτύπων δίνεται έμφαση κάθε φορά σε διαφορετικά χαρακτηριστικά. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που συχνά είναι επιθυμητό να έχουν τα δυναμικά πρότυπα είναι τα εξής:

Διορατική ικανότητα αναπαραγωγής συμπεριφοράς. Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στο κατά πόσο το πρότυπο έχει την ικανότητα να προσομοιώνει την

πραγματική λειτουργία του συστήματος, προβλέποντας μελλοντικές συμπεριφοράς που δεν είναι εμφανείς προς το παρόν.

Περιγραφικός ρεαλισμός. Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στο κατά πόσο οι μεταβλητές του προτύπου περιγράφουν με πιστότητα τόσο τις ιδιότητες των στοιχείων του πραγματικού συστήματος όσο και τις σχέσεις που παρατηρούνται μεταξύ τους.

Ικανότητα αναπαραγωγής υφιστάμενης συμπεριφοράς. Η ικανότητα αυτή αναφέρεται στο εάν, κάτω από ίδιες συνθήκες με αυτές που επικρατούν στο πραγματικό σύστημα, η δυναμική συμπεριφορά των μεταβλητών του προτύπου είναι η ίδια με τη δυναμική συμπεριφορά των αντίστοιχων στοιχείων του συστήματος.

Απλότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο κατά πόσο το πρότυπο είναι εύκολα κατανοητό ακόμη και από μη ειδικούς και επιπλέον εάν αποτυπώνει τη βασική δομή του πραγματικού συστήματος με απλό τρόπο.

Συνάφεια. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στην ικανότητα του προτύπου να περιγράφει με πληρότητα τα προβλήματα που παρατηρούνται κατά τη λειτουργία του πραγματικού συστήματος.

Ευκολία διεύρυνσης. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο βαθμό ευκολίας με τον οποίο ένα υφιστάμενο πρότυπο μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ενσωματώνει νέα πορίσματα και να ελέγχει την αποτελεσματικότητα νέων πολιτικών. Επίσης, αναφέρεται στο βαθμό ευελιξίας του προτύπου ώστε με κατάλληλες τροποποιήσεις να μπορεί να αναπαριστά συστήματα παρόμοια με το εξεταζόμενο.

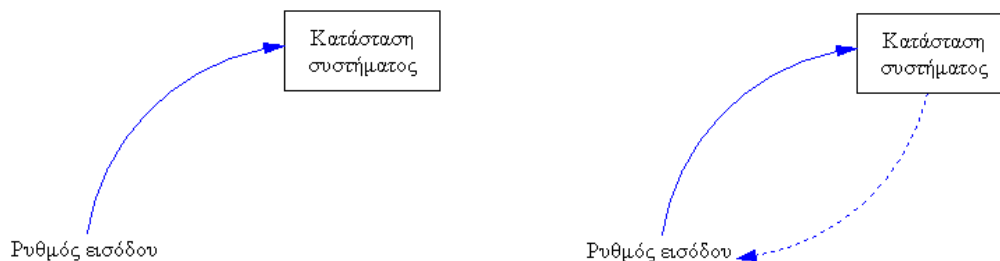
Γονιμότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στην καταλληλότητα του προτύπου να χρησιμοποιείται ως εργαλείο ελέγχου της αποτελεσματικότητας νέων πολιτικών και νέων τρόπων αντιμετώπισης των προβλημάτων του πραγματικού συστήματος.

Προσαρμογή σε ιστορικά στοιχεία. Η ικανότητα αυτή αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο το πρότυπο μπορεί με δεδομένες συνθήκες λειτουργίας να αναπαράγει με αποδεκτή πιστότητα τη συμπεριφορά του συστήματος στο παρελθόν χρησιμοποιώντας ιστορικά στοιχεία.

Ικανότητα πρόβλεψης. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο το πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο πρόβλεψης των τιμών κρίσιμων μεταβλητών του συστήματος στο μέλλον.

3.4 Πρότυπα συμπεριφοράς δυναμικών συστημάτων

Τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως ανοικτά ή κλειστά. Στα ανοικτά συστήματα η έξοδος επηρεάζεται από την είσοδο χωρίς να την επηρεάζει. Αντίθετα, στα κλειστά συστήματα η είσοδος επηρεάζεται από την έξοδο και έτσι υπάρχει ανάδραση.



Σχήμα 3.1 Ανοικτό & κλειστό σύστημα

Η συμπεριφορά ενός δυναμικού συστήματος είναι το αποτέλεσμα της δομής του. Η δομή του συστήματος αποτελείται από τις αναδράσεις του, από τις καταστάσεις του, από τις ροές (εισροές και εκροές) που μεταβάλλουν τις καταστάσεις του και τη διαδικασία λήψης απόφασης που διαμορφώνει τις ροές του συστήματος. Ο μηχανισμός ανάδρασης, δηλαδή η άντληση πληροφοριών σε ότι αφορά την κατάσταση σε κάθε χρονική στιγμή t , η αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών προς την κατεύθυνση της λήψης απόφασης σε ότι αφορά τον ορισμό του ρυθμού εισόδου της κατάστασης του συστήματος (δηλαδή η αύξηση ή μείωση της κατάστασης του συστήματος στη διάρκεια του χρονικού διαστήματος $[t, t+1]$) και οι τιμές του ρυθμού εισόδου συναρτήσει του χρόνου t , διαμορφώνουν τις τιμές της κατάστασης του συστήματος συναρτήσει του χρόνου t . Οι τιμές της κατάστασης του συστήματος συναρτήσει του χρόνου t , όπως έχει ήδη αναφερθεί, εκφράζουν τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος (Γεωργιάδης, 2006).

Τα πρότυπα συμπεριφοράς που συνήθως συναντώνται κατά τη διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς των συστημάτων είναι τα εξής (Sterman 1984):

Εκθετική μεταβολή χωρίς άνω ή κάτω όριο (Exponential Growth). Η εκθετική μεταβολή της κατάστασης του συστήματος χωρίς άνω ή κάτω όριο προκύπτει όταν η ανάδραση με την οποία ορίζεται η μεταβολή της κατάστασης είναι θετική. Συγκεκριμένα, στη θετική ανάδραση, η τιμή της μεταβλητής η οποία εκφράζει την κατάσταση του συστήματος αυξάνεται ή ελαττώνεται συνεχώς σε σχέση με το χρόνο τείνοντας στο άπειρο.

Εκθετική μεταβολή που τείνει σε όριο (Goal Seeking). Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτή η εκθετική μεταβολή της κατάστασης του συστήματος δεν τείνει στο άπειρο, αλλά σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο, στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί.

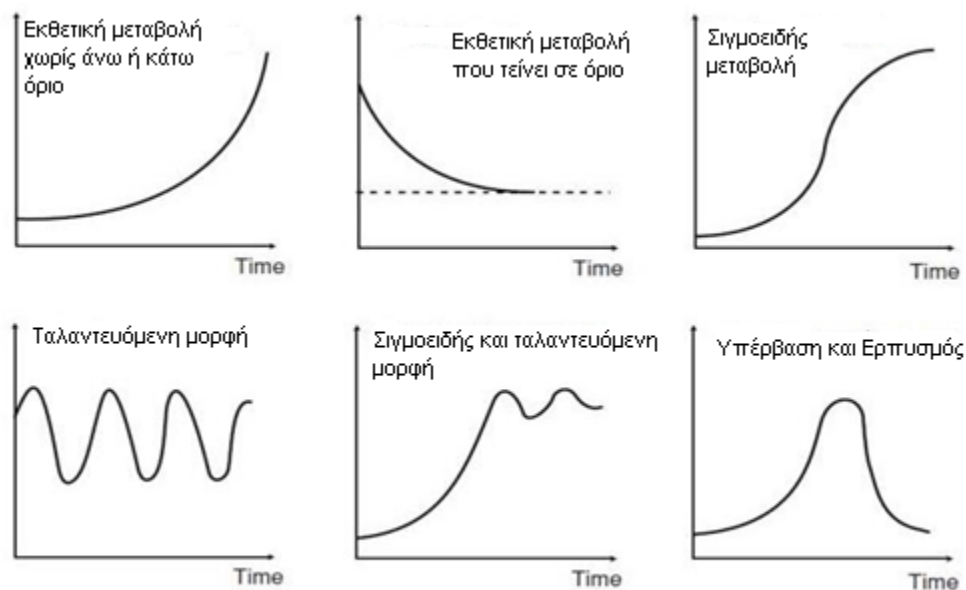
Σιγμοειδής μεταβολή (S-shaped Growth). Η σιγμοειδής μεταβολή είναι μία μεταβολή με την οποία περιγράφεται η συμπεριφορά της κατάστασης πολλών συστημάτων. Στις περιπτώσεις αυτές η κατάσταση του συστήματος πρώτα παρουσιάζει μια εκθετική αύξηση χωρίς άνω όριο που οφείλεται στην επίδραση μιας θετικής ανάδρασης. Στη συνέχεια η κατάσταση του συστήματος παρουσιάζει και πάλι μια εκθετική αύξηση που τείνει όμως σε ένα όριο το οποίο οφείλεται στην επίδραση μιας αρνητικής ανάδρασης. Αποτέλεσμα της αρνητικής ανάδρασης είναι η εξισορρόπηση του συστήματος στην επιθυμητή κατάσταση.

Ταλαντευόμενη μορφή (Oscillation). Στην περίπτωση αυτή οι τιμές της μεταβλητής ταλαντεύονται γύρω από μία κεντρική τιμή, μεταξύ ενός άνω και κάτω ορίου, με σταθερό εύρος. Η ταλαντευόμενη μορφή ως μορφή δυναμικής συμπεριφοράς της κατάστασης ενός συστήματος προκύπτει όταν η δομή του συστήματος διέπεται από μία αρνητική ανάδραση με ταυτόχρονη ύπαρξη του στοιχείου των σημαντικών χρονικών καθυστερήσεων στον τομέα λήψης αποφάσεων.

Σιγμοειδής και ταλαντευόμενη μορφή (Growth with overshoot). Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται μια σιγμοειδής μεταβολή με τη διαφορά όμως ότι σε αυτή την ειδική

περίπτωση της σιγμοειδούς και ταλαντευόμενης μορφής υπάρχουν σημαντικές χρονικές καθυστερήσεις.

Υπέρβαση και ερπυσμός (Overshoot and collapse). Για να είναι η δυναμική συμπεριφορά ενός συστήματος σιγμοειδούς μορφής, μία από τις τρεις αναγκαίες συνθήκες που θα πρέπει να ισχύουν είναι η επιθυμητή κατάσταση του συστήματος να είναι σταθερή συναρτήσει του χρόνου και να μην επηρεάζεται από την τιμή της πραγματικής κατάστασης του συστήματος. Στην περίπτωση όμως όπου η κατάσταση κορεσμού μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου και η μεταβολή αυτή γίνεται επειδή η πραγματική κατάσταση του συστήματος επηρεάζει, και κατά κανόνα μειώνει την κατάσταση κορεσμού, η δομή του συστήματος διαφοροποιείται και η πραγματική κατάσταση του συστήματος που προκύπτει είναι η μορφή της υπέρβασης και ερπυσμού. (Γεωργιάδης, 2006).



Σχήμα 3.2 Βασικά πρότυπα συμπεριφοράς (Γαρουφάς, 2010)

3.5. Απεικόνιση συστημάτων

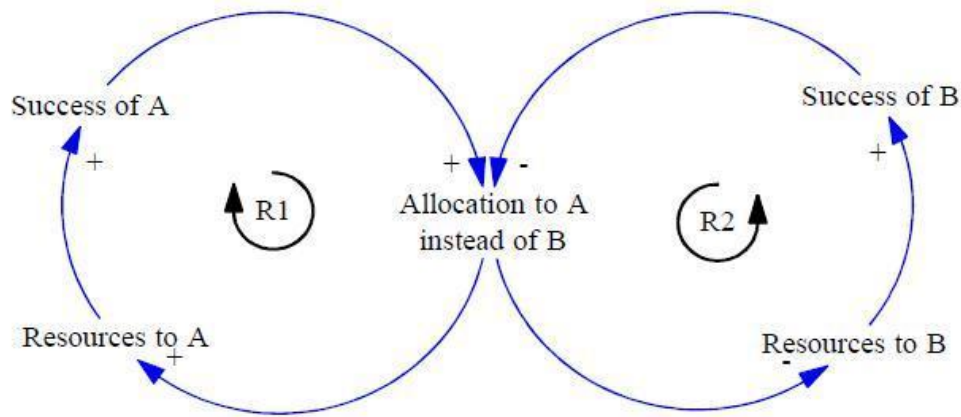
3.5.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μαθηματικό πρότυπο είναι ένα ομοίωμα του συστήματος με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να πειραματισθούμε σε ό, τι αφορά στη δομή και στους κανόνες λειτουργίας του συστήματος. Για να διαμορφωθεί όμως το πρότυπο ενός συστήματος, πρέπει να καταγραφούν όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Για να γίνει αυτό απαιτείται μια συστηματική προσέγγιση για την απεικόνιση των συστημάτων. Η προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα επιρροής του συστήματος. Στο δεύτερο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος.

3.5.2 Διάγραμμα επιρροής

Η δομή ενός συστήματος στη Δυναμική Συστημάτων απεικονίζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων επιρροής τα οποία περιέχουν όλες τις μεταβλητές με τις οποίες περιγράφουμε το σύστημα, δηλαδή είναι το διάγραμμα που απεικονίζει τη δομή του συστήματος. Οι μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές επιρροής. Κάθε γραμμή επιρροής συνδέει μόνο δύο μεταβλητές και το βέλος που έχει στην κορυφή της δείχνει τη φορά της επιρροής. Το πρόσημο στην κορυφή της γραμμής επιρροής δηλώνει την κατεύθυνση της μεταβολής της μεταβλητής της κορυφής σε σχέση με την αντίστοιχη της αρχής. Όταν το πρόσημο αυτό είναι θετικό τότε η μεταβολή της μεταβλητής της κορυφής είναι προς την ίδια κατεύθυνση με τη μεταβολή της μεταβλητής της αρχής, δηλαδή όταν αυξάνεται η τιμή της μεταβλητής της αρχής τότε αυξάνεται και η τιμή της μεταβλητής της κορυφής και αντιστρόφως. Όταν το πρόσημο είναι αρνητικό, τότε οι μεταβολές των μεταβλητών αρχής και κορυφής είναι προς αντίθετες κατευθύνσεις.

Οι γραμμές επιρροής σχεδιάζονται με συνεχείς γραμμές όταν εκφράζουν φυσική ροή και με διακεκομμένες όταν εκφράζουν ροή πληροφοριών (Γεωργιάδης, 2006).



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα διαγράμματος επιρροής (Kim, 1992)

3.5.2.1 Μεθοδολογία διαμόρφωσης διαγραμμάτων επιρροής

Αναγνώριση αναδράσεων

Με τα διαγράμματα επιρροής, εκτός του ότι απεικονίζεται η δομή ενός συστήματος, υπάρχει η δυνατότητα να αναζητούνται και να αναγνωρίζονται και οι αναδράσεις που υπάρχουν σε αυτό. Ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του διαγράμματος επιρροής σύμφωνα με τη φορά επιρροής τους εφόσον είναι δυνατόν να επιστρέψουμε στο ίδιο σημείο, τότε υπάρχει ανάδραση και το κύκλωμα ονομάζεται βρόχος.

Υπάρχουν δύο είδη αναδράσεων, η θετική και η αρνητική. Η θετική ανάδραση συμβολίζεται στο διάγραμμα επιρροής με το θετικό πρόσημο (+), ενώ η αρνητική με το αρνητικό πρόσημο (-). Ο συνηθέστερος τρόπος με τον οποίο μπορεί να υπολογιστεί το είδος της ανάδρασης είναι με την καταμέτρηση του αριθμού των αρνητικών πρόσημων που περιέχονται στην ανάδραση λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πρόσημα των γραμμών

επιρροής που συμμετέχουν στην ανάδραση. Αν ο αριθμός είναι περιττός τότε η ανάδραση είναι αρνητική ενώ αν είναι άρτιος τότε είναι θετική.

Πλήθος μεταβλητών

Το πλήθος των μεταβλητών το οποίο θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σε ένα διάγραμμα επιρροής δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων. Το πλήθος αυτό θα πρέπει να προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη το σκοπό για τον οποίο διαμορφώνεται το διάγραμμα επιρροής. Τα διαγράμματα επιρροής αποτελούν τη διαγραμματική παρουσίαση της δομής των συστημάτων. Επομένως θα πρέπει να περιέχουν όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα να υπάρχουν για να περιγράφεται με ικανοποιητική προσέγγιση η δομή ενός συστήματος. Επιπλέον τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να υπαγορεύονται από τον σκοπό για οποίο διαμορφώνεται το σύστημα. Θα πρέπει επομένως να αποφεύγεται η διαμόρφωση απλοποιημένων διαγραμμάτων επιρροής τα οποία θα περιγράφουν με μεγάλη αφαίρεση τα συστήματα στα οποία αναφέρονται, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να θεωρούνται ως πιστά τους πρότυπα.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα παραπάνω, ένας χρήσιμος οδηγός κατά τη σχεδίαση ενός διαγράμματος επιρροής είναι ο εξής:

- *Διατύπωση με σαφήνεια το σκοπό του συστήματος.*
- *Διατύπωση των στοιχείων τα οποία πρέπει να περιλαμβάνονται στη δομή του*
- *Διατύπωση των ιδιοτήτων (ποσοτικών και ποιοτικών) οι οποίες είναι απαραίτητες ώστε να μπορεί περιγραφεί το κάθε στοιχείο.*
- *Ορισμός των μεταβλητών με τις οποίες περιγράφονται οι παραπάνω ιδιότητες.*
- *Διαμόρφωση του διαγράμματος επιρροής σχεδιάζοντας την πρώτη ανάδραση.*
- *Έλεγχος κατά πόσο το διάγραμμα επιρροής περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που έχουν ήδη καθορισθεί*

Εντοπισμός σημαντικών χρονικών καθυστερήσεων

Στο διάγραμμα επιρροής θα πρέπει να σημειώνονται όλες οι χρονικές καθυστερήσεις που έχουν σημαντικό μέγεθος. Όταν αναφέρεται η έννοια σημαντικό μέγεθος εννοείται η τιμή της χρονικής καθυστέρησης σε σχέση με την τιμή του χρονικού διαστήματος Δt που θα χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό των καταστατικών εξισώσεων.

Συμβολισμός μεταβλητών

Η ανάγνωση ενός διαγράμματος επιρροής επιβάλλει τη γρήγορη και εκτενή αντίληψη της δομής του συστήματος. Για το λόγο αυτό, ο συμβολισμός των μεταβλητών που συμπεριλαμβάνονται στις γραμμές επιρροής δεν ενδείκνυται να είναι σύμβολα όπως x , y , z , αλλά να είναι ουσιαστικά ή φράσεις που να διαμορφώνουν λογικές προτάσεις στον αναγνώστη του διαγράμματος επιρροής. Περαιτέρω οδηγίες περιλαμβάνουν τα εξής:

- Τα στοιχεία του διαγράμματος επιρροής θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μεταβλητές που οι τιμές είτε αυξάνονται είτε μειώνονται.
- Υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συνέπειες και αυτό θα πρέπει να αποτυπώνεται ευδιάκριτα στο διάγραμμα επιρροής (για παράδειγμα θα πρέπει να ανήκουν σε διαφορετικά κυκλώματα).
- Το διάγραμμα θα πρέπει να είναι όσο πιο απλό γίνεται και θα πρέπει να θεωρείται ως δεδομένο ότι ο στόχος ενός διαγράμματος επιρροής δεν είναι να περιγράψει όλες τις λεπτομέρειες μιας διοικητικής διαδικασίας αλλά να παρουσιάσει τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται μία διαδικασία έτσι ώστε να εντοπίζεται που υπάρχει το οποιοδήποτε πρόβλημα (Γεωργιάδης, 2006).

3.5.3 Μεταβλητές

Κατά τη διαμόρφωση των μαθηματικών προτύπων οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες:

α) Επίπεδα ή καταστατικές μεταβλητές (levels) είναι οι μεταβλητές του προτύπου που περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος κάθε χρονική στιγμή t .

β) Ρυθμοί ή ροές (flows) είναι οι μεταβλητές που περιγράφουν τη μεταβολή της κατάστασης του συστήματος σε κάθε χρονικό διάστημα Δt .

γ) Βοηθητικές (auxiliaries) είναι οι μεταβλητές του προτύπου που αποσκοπούν στην απλούστερη και ευκολότερη διαμόρφωση των μαθηματικών σχέσεων του. Οι βοηθητικές μεταβλητές είναι πάντα σε συνάρτηση των επιπέδων, των ρυθμών και των σταθερών.

δ) Σταθερές (constants) είναι οι μεταβλητές του προτύπου που σε κάθε χρονική στιγμή έχουν σταθερή τιμή.

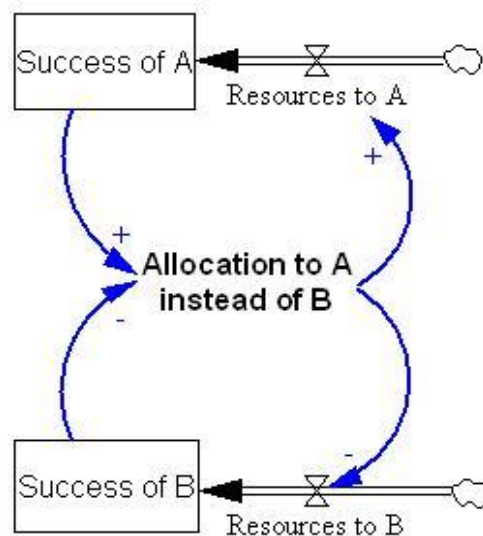
Επομένως, οι μεταβλητές του συστήματος μπορεί να έχουν φυσική σημασία (π.χ. αποθέματα μιας ύλης και χρηματικά αποθέματα) ή να παρέχουν πληροφορίες (π.χ. μέσος ρυθμός πωλήσεων). Στη Δυναμική Συστημάτων, οι γραμμές επιρροής που χρησιμοποιούνται ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Γραμμές πληροφοριών: οι οποίες δίνουν πληροφορίες στη μεταβλητή της κορυφής σχετικά με τη μεταβλητή της αρχής.
- Γραμμές επιρροής με καθυστέρηση: οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο όταν η μεταβλητή της αρχής της γραμμής επιρροής περιέχει χρονική καθυστέρηση.

3.5.4 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων

Μέχρι στιγμής αναφέρθηκε ότι το διάγραμμα επιρροής απεικονίζει τη δομή και τη λειτουργία ενός συστήματος και ότι αποτελεί το πρώτο στάδιο της απεικόνισης ενός συστήματος. Επιπλέον, αναφέρθηκε ότι η δυναμική συμπεριφορά ενός συστήματος

περιγράφεται ως το αποτέλεσμα των τιμών των καταστατικών μεταβλητών συναρτήσει του χρόνου t . Οι τιμές αυτές είναι το αποτέλεσμα των τιμών του ρυθμού μεταβολής της κατάστασης του συστήματος στο χρονικό διάστημα Δt . Τέλος, ο ρυθμός μεταβολής είναι το αποτέλεσμα των ροών (διαφορά εισροής και εκροής) που παρατηρούνται για κάθε καταστατική μεταβλητή ξεχωριστά.



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα διαγράμματος ροών και καταστάσεων (Kim, 1992)

Το διάγραμμα επιρροής παρόλο που είναι ένα χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης των επιρροών που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών του προτύπου και της αναγνώρισης των αναδράσεων, εν τούτοις παρουσιάζει ορισμένους σχεδιαστικούς περιορισμούς. Ο σημαντικότερος περιορισμός είναι ότι στο διάγραμμα επιρροής δεν αναγνωρίζονται οι καταστατικές μεταβλητές και οι ροές του συστήματος. Όμως στη Δυναμική Συστημάτων η αναγνώριση των μεταβλητών με τις οποίες περιγράφονται οι καταστάσεις και οι ροές του συστήματος αποτελεί μια κεντρική ενέργεια.

Συμβολισμός καταστάσεων και ροών

Οι καταστατικές μεταβλητές, συμβολίζονται με ορθογώνιο. Οι μεταβλητές αυτές σε κάθε χρονική στιγμή t εκφράζουν το αθροιστικό αποτέλεσμα των εισροών και των εκροών μέχρι τη χρονική στιγμή t . Οι ροές, συμβολίζονται με βέλος. Όταν το βέλος εισέρχεται στην κατάσταση, τότε συμβολίζει εισροή και όταν εξέρχεται από την κατάσταση, τότε συμβολίζει εκροή. Η βαλβίδα, συμβολίζει ότι απαιτείται ρύθμιση της ροής

Το νέφος, συμβολίζει τα όρια του συστήματος. Εκφράζει δηλαδή καταστάσεις που βρίσκονται εκτός των ορίων του συστήματος και αποτελούν τις εξωτερικές μεταβλητές. Οι μεταβλητές αυτές αποκαλούνται πηγή ή καταβόθρα. Αποκαλούνται ως πηγή, αν από αυτήν αρχίζει μια ροή και αποκαλούνται ως καταβόθρα αν σ' αυτήν καταλήγει μια ροή. Οι πηγές και οι καταβόθρες είναι εξορισμού καταστατικές μεταβλητές με τιμή ίση με ∞ και επομένως δεν επηρεάζονται από τη λειτουργία του συστήματος αλλά ούτε και εισάγουν περιορισμούς σε ότι αφορά τη λειτουργία του συστήματος. Η δομή ενός συστήματος περιγράφεται πλήρως με την απεικόνιση των καταστάσεων και των ροών του.

Μαθηματική διατύπωση των καταστάσεων και των ροών

Οι μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες ορίζονται οι καταστατικές μεταβλητές ονομάζονται καταστατικές εξισώσεις, ενώ οι εξισώσεις με τις οποίες ορίζεται ο ρυθμός μεταβολής της κατάστασης ονομάζονται εξισώσεις ροών.

Καταστατικές εξισώσεις

Με τις εξισώσεις αυτές περιγράφεται η κατάσταση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή και με αυτές προσδιορίζεται το αποτέλεσμα ενός συγκεκριμένου αιτίου. Μια καταστατική εξίσωση για να είναι σωστή θα πρέπει η γενική της μορφή να είναι η εξής:

$$X(t) = X(t-1) + [\Sigma R1(t-1, t) - \Sigma R2(t-1, t)] * \Delta t$$

Όπου,

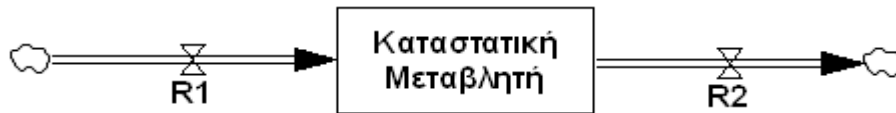
$X(t)$ = Η κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t

$X(t-1)$ = Η κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή $t-1$

$SR1(t-1,t)$ ο ρυθμός αύξησης της κατάστασης στο χρονικό διάστημα $[t-1,t]$ από τους ρυθμούς $R1i$, $i=1, 2, \dots, I$

$Sr2(t-1,t)$ ο ρυθμός μείωσης της κατάστασης στο χρονικό διάστημα $[t-1,t]$ από τους ρυθμούς $R2j$, $j=1, 2, \dots, J$

Δt = το χρονικό διάστημα $[t-1,t]$



Σχήμα 3.5: Επιδράσεις δύο ροών σε μια καταστατική μεταβλητή

Οι καταστατικές εξισώσεις εκφράζονται με ολοκληρώματα τα οποία δείχνουν τη μεταβολή μεταξύ μιας αρχικής και τελικής κατάστασης του συστήματος. Σε ένα σύστημα μιας εισροής $R1(t)$ και μιας εκροής $R2(t)$, για ένα μικρό χρονικό διάστημα $\Delta t \rightarrow 0$, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ότι:

$$X(t) - X(t - 1) = dX(t)$$

$$dX(t) = (R1(t) - R2(t))dt$$

$$\int_0^t dX(t) = \int_0^t (R1(t) - R2(t))dt$$

Άρα, η κατάσταση του συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$X(t) = \text{Integral}(x(0), (R1 - R2))$$

$$X(t) = X(0) + \int_0^t (R1(t) - R2(t))dt$$

Όπου,

$X(0)$ = η αρχική συνθήκη της κατάστασης του συστήματος

και $R1(t) - R2(t)$ = Μεταβολή κατάστασης του συστήματος

Εξισώσεις ροών

Για να προκύψουν αποτελέσματα από τις καταστατικές εξισώσεις θα πρέπει οι ρυθμοί αύξησης και μείωσης της κατάστασης του συστήματος να έχουν συγκεκριμένες τιμές. Αυτός ο ορισμός της μεταβολής της κατάστασης του συστήματος γίνεται με τις εξισώσεις ροών. Οι εξισώσεις των ροών εκφράζουν ουσιαστικά τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε η κατάσταση του συστήματος να μεταβληθεί όχι φυσικά με τυχαίο τρόπο αλλά με τρόπο που να τείνει στην επιθυμητή τιμή. Οι εξισώσεις ροών ενεργοποιούνται κυρίως όταν διαπιστώνεται μια διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής κατάστασης του συστήματος και ενεργοποιούνται ακριβώς για να εκφράσουν τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να μηδενισθεί η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής κατάστασης του συστήματος.

Βασικές αρχές διαμόρφωσης καταστατικών εξισώσεων και εξισώσεων ροών

Οι βασικές αρχές που δεν πρέπει να παραβιάζονται κατά τη δημιουργία των μαθηματικών σχέσεων του προτύπου είναι οι εξής:

Αρχή 1: Οι καταστατικές εξισώσεις είναι ολοκληρωτικές σχέσεις.

Αρχή 2: Οι εξισώσεις ροών εξαρτώνται μόνο από τις καταστατικές μεταβλητές και τις παραμέτρους που περιλαμβάνονται στο πρότυπο.

Αρχή 3: Οι καταστατικές εξισώσεις περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος.

Αρχή 4: Οι μονάδες μέτρησης των ρυθμών θα πρέπει να είναι πάντα εκφρασμένες ανά μονάδα χρόνου. (Γεωργιάδης, 2006).

Αναγνώριση καταστατικών μεταβλητών και ρυθμών σε ένα διάγραμμα επιρροής

Έχει ήδη αναφερθεί ότι, παρόλο που το διάγραμμα επιρροής είναι ένα χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης των επιρροών που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών, εν τούτοις παρουσιάζει τον περιορισμό ότι σε αυτό δεν αναγνωρίζονται οι καταστατικές μεταβλητές και οι ροές του συστήματος. Παρόλα αυτά τονίζεται ότι το διάγραμμα επιρροής αποτελεί το πρώτο στάδιο που πρέπει να γίνεται για να αναγνωρισθούν οι καταστατικές μεταβλητές και οι ρυθμοί του προτύπου. Η αναγνώριση των καταστατικών μεταβλητών και των ρυθμών σε ένα διάγραμμα επιρροής γίνεται σύμφωνα με τον εξής κανόνα:

«Έστω ότι παγώνει ο χρόνος, δηλαδή διακόπτεται η λειτουργία του συστήματος. Σε αυτό το στατικό πλέον περιβάλλον αναζητούνται εκείνες οι μεταβλητές οι οποίες απεικονίζονται στο διάγραμμα επιρροής και οι οποίες είναι μετρήσιμες. Οι μεταβλητές αυτές είναι και οι καταστατικές μεταβλητές».

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι, για να μπορεί μια μεταβλητή να χαρακτηριστεί ως ρυθμός, θα πρέπει οι μονάδες μέτρησής της να είναι οπωσδήποτε εκφρασμένες ανά μονάδα χρόνου. Όμως το αντίστροφο δεν ισχύει. Δηλαδή μια μεταβλητή που μετράται ανά μονάδα χρόνου απαραίτητα δεν είναι ρυθμός, μπορεί να είναι και καταστατική μεταβλητή.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι μεταβλητές ενός προτύπου δε διαχωρίζονται σε καταστατικές μεταβλητές και σε ρυθμούς ανάλογα με τις μονάδες μέτρησής τους αλλά ο διαχωρισμός τους πρέπει να γίνεται από το κατά πόσο αυτές προκύπτουν από το αθροιστικό αποτέλεσμα των ενεργειών του παρελθόντος, οπότε είναι καταστατικές μεταβλητές, ή προσδιορίζουν ενέργειες που πρέπει να γίνουν στο μέλλον για να μεταβληθούν καταστατικές μεταβλητές, οπότε είναι ρυθμοί.

Σκοπός και κανόνες διαμόρφωσης διαγραμμάτων ροής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα διαγράμματα ροής προκύπτουν από τα διαγράμματα επιρροής. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν το δεύτερο και τελικό στάδιο πριν τη διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων του προτύπου. Υπάρχουν όμως και ορισμένοι επιπρόσθετοι λόγοι για τους οποίους επιβάλλεται να διαμορφώνονται τα διαγράμματα ροής και να μην είναι αρκετά τα διαγράμματα επιρροής.

Οι λόγοι αυτοί είναι οι εξής:

- Απεικονίζουν τις καταστατικές μεταβλητές και ρυθμούς του προτύπου.
- Οριοθετούν το σύστημα που θα μελετηθεί (διαμόρφωση εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος)
- Βοηθούν στην κατανόηση του εσωτερικού περιβάλλοντος επειδή περιγράφουν με αρκετή λεπτομέρεια (με τη χρήση και των βοηθητικών μεταβλητών) τη δομή του (περιγραφή καταστατικών μεταβλητών και αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ τους) και το μηχανισμό ορισμού των ρυθμών μεταβολής (αύξηση, μείωση) των καταστατικών μεταβλητών.
- Οριστικοποιούν τις αναδράσεις που υπάρχουν.
- Βοηθούν στη αποκάλυψη των παραμέτρων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία ορισμού των ρυθμών αφού αυτές απεικονίζονται ως σταθερές.

Εργαλεία ανάπτυξης

Η μοντελοποίηση που πραγματοποιείται με τη βοήθεια των λογισμικών προγραμμάτων, προτρέπει τους χειριστές να εξωτερικεύσουν τα νοητικά τους μοντέλα και να τους δώσουν την υπόσταση γραφικών μοντέλων. Η χρήση του λογισμικού απαιτεί γνώσεις, δεξιότητες και εμπειρίες, οι οποίες μπορούν να αποκτηθούν μέσω της επιμόρφωσης.

Επίσης, το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δυναμική προσομοίωση του συστήματος που μοντελοποιεί την εξέλιξη του προβλήματος στο χρόνο. Αυτή η προσομοίωση επιτρέπει τη δοκιμή πολλών εναλλακτικών σεναρίων για την

παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο το σύστημα ανταποκρίνεται σε αυτά. Έτσι, οι μελετητές μπορούν να πειραματιστούν με την επιβολή διαφορετικών συνθηκών και δράσεων σε ένα πρόβλημα και να παρατηρούν κατά πόσο βελτιώνεται ή αντίθετα επιβαρύνεται, ώστε να βοηθηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την πρόταση της καταλληλότερης λύσης για την αντιμετώπισή του.

Υπάρχουν πολυάριθμα πακέτα λογισμικού προσομοίωσης, για υλοποίηση μοντέλων Δυναμικής Συστημάτων, με διαφορετικές δυνατότητες το καθένα. Τα πιο δημοφιλή από αυτά, αναφέρονται παρακάτω.

- *iThink*
- *STELLA*
- *AnyLogic*
- *Vensim*
- *MapSys*
- *myStrategy*
- *Consideo Modeler TRUE*

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα λογισμικού που υλοποιεί τις αρχές της Δυναμικής Συστημάτων αποτελεί το πρόγραμμα Vensim PLE (Personal Learning Edition) το οποίο επιλέχθηκε για την υλοποίηση των μοντέλων της παρούσας διατριβής. Το συγκεκριμένο εργαλείο, χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις φάσεις της ανάπτυξης του Συνθετικού Μοντέλου. Αφού στην αρχή σχεδιαστεί το διάγραμμα ροών και καταστάσεων και εισαχθούν οι αρχικές τιμές και εξισώσεις για όλες τις μεταβλητές του μοντέλου, αμέσως μετά επιλύονται οι εξισώσεις με τη βοήθεια του λογισμικού και τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε μορφή γραφημάτων, είναι έτοιμα προς αξιοποίηση. Σε αυτά τα γραφήματα αποτυπώνονται οι πληροφορίες που ενδιαφέρουν το χρήστη.

3.6 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάστηκαν οι τρόποι με τους οποίους διαμορφώνονται και απεικονίζονται τα μοντέλα της Δυναμικής Συστημάτων. Επίσης, έγινε προσπάθεια να αποσαφηνιστούν οι βασικές έννοιες της Δυναμικής Συστημάτων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στα συστήματα, στην απεικόνιση των συστημάτων και στη δημιουργία προτύπων, καθώς η συγκεκριμένη προσέγγιση ασχολείται με τη δημιουργία προτύπων τα οποία περιγράφουν με προσέγγιση την λειτουργία των πραγματικών συστημάτων παρέχοντας τη δυνατότητα ανάλυσης της δυναμικής συμπεριφοράς τους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πρότυπο είναι ένα ομοίωμα του συστήματος το οποίο, για να διαμορφωθεί, απαιτείται η προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων για την απεικόνιση των συστημάτων και πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, διαμορφώνεται το διάγραμμα επιρροής του συστήματος ενώ στο δεύτερο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος. Αμέσως μετά, εισάγονται οι αρχικές τιμές και εξισώσεις για όλες τις μεταβλητές του μοντέλου και επιλύονται οι εξισώσεις. Η επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου γίνεται εύκολα και γρήγορα με τη βοήθεια κάποιου λογισμικού και τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι σε μορφή γραφημάτων, πράγμα που αυξάνει την ευχρηστία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΡΧΕΤΥΠΑ ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται πολλές συμπεριφορές των ατόμων και των οργανισμών οι οποίες εμφανίζονται αρκετά συχνά με τυποποιημένη μορφή κατά τη μελέτη ενός συστήματος εργασίας. Αυτές οι συμπεριφορές ονομάζονται «αρχέτυπα» και αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την περιγραφή της βασικής δομής του συστήματος που μελετάται. Τα αρχέτυπα είναι επίσης χρήσιμα για την απόκτηση ουσιαστικότερης γνώσης για τη φύση του προβλήματος και για την κατανόηση των εννοιών και στοιχείων για τη θεμελίωση του μοντέλου που μπορεί να αναπτυχθεί για ένα πολύπλοκο σύστημα εργασίας. Τα αρχέτυπα μπορούν να έχουν είτε διαγνωστικό είτε προοπτικό σκοπό ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή τους.

Στην πρώτη περίπτωση τα αρχέτυπα βοηθούν τους μελετητές να αναγνωρίσουν τα πρότυπα συμπεριφοράς που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένα προβλήματα στους οργανισμούς. Είναι το μέσο, ώστε να αποκτήσουν διορατικότητα στα βασικά δομικά συστήματα από όπου αναδύεται η αρχέτυπη συμπεριφορά.

Στη δεύτερη περίπτωση τα αρχέτυπα είναι χρήσιμα στο σχεδιασμό των εργασιακών συστημάτων και βοηθούν στην πρόβλεψη των συμπεριφορών των ατόμων και των οργανισμών. Η χρήση αυτή αναφέρεται στην ικανότητα τους να προσομοιώνουν την πραγματική λειτουργία του συστήματος και να προβλέπουν μελλοντικές συμπεριφορές που δεν είναι εμφανείς στην αρχή της μοντελοποίησης.

Στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά θα μελετηθούν ορισμένα κλασικά αρχέτυπα που είναι διαδεδομένα σε ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων. Κατόπιν, παρουσιάζονται ορισμένα

αρχέτυπα ασφαλείας τα οποία αποτελούν ειδικές περιπτώσεις των κλασικών αρχέτυπων και είναι δυνατόν να διαμορφώσουν κοινές οργανωτικές συμπεριφορές που συχνά συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων.

4.2 Κλασικά Αρχέτυπα

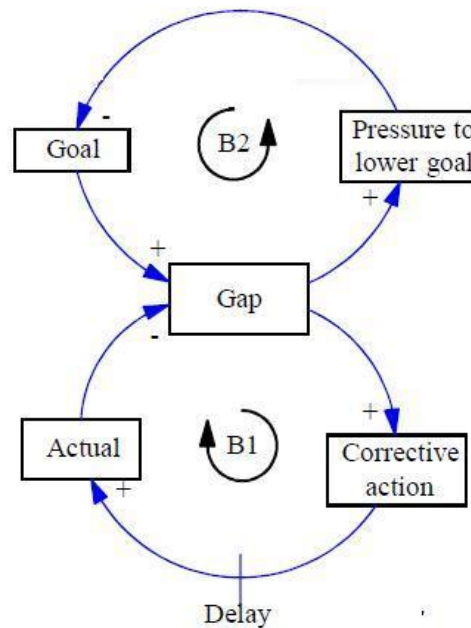
Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα κλασικά αρχέτυπα τα οποία είναι τα περισσότερο διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται ευρέως.

- *Διάβρωση Στόχων (Eroding Goals-Drifting Goals)*
- *Κλιμάκωση (Escalation)*
- *Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν (Fixes that Fail)*
- *Μετατόπιση της Έμφασης (Shifting the Burden)*
- *Επιτυχία στον Επιτυχημένο (Success to the Successful)*
- *Τραγωδία των Κοινών Πόρων (Tragedy of the commons)*

4.2.1 «Διάβρωση Στόχων»

Στην περίπτωση του αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων» (Eroding Goal), δύο βρόχοι αρνητικής ανάδρασης προσπαθούν να καλύψουν το κενό μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής κατάστασης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα επιρροής (Σχήμα 4.1). Το κενό (GAP) μεταξύ του στόχου (Goal) και της τωρινής πραγματικότητας (Current Reality) μπορεί να καλυφθεί είτε λαμβάνοντας κάποιες διορθωτικές ενέργειες

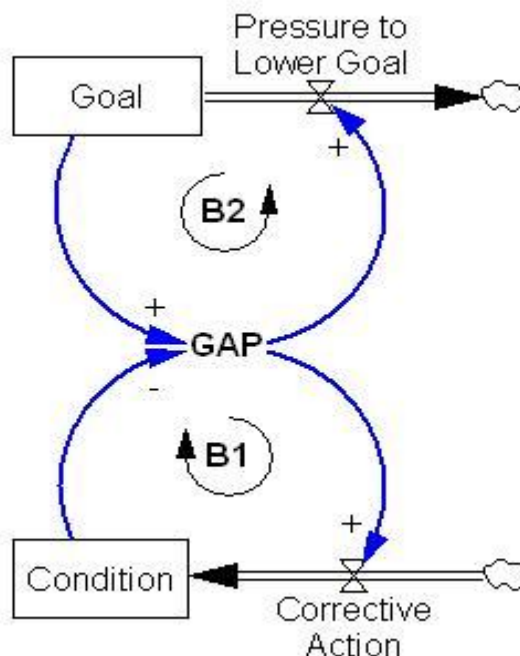
(όπως φαίνεται στο βρόχο B1) είτε χαμηλώνοντας το στόχο (όπως φαίνεται στο βρόχο B2). Επίσης, παρατηρείται ότι, η κρίσιμη διαφορά μεταξύ των δύο εναλλακτικών δράσεων είναι ότι χαμηλώνοντας το στόχο το κενό κλείνει αμέσως ενώ απεναντίας παίρνοντας διορθωτικές ενέργειες το κενό κλείνει με σημαντική καθυστέρηση.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων»

Σε αυτό το αρχέτυπο, οι διαχειριστές του συστήματος αποφεύγουν την ανάληψη δράσης για την πραγματική βελτίωση των συνθηκών ώστε να φτάσουν στην επίτευξη του στόχου. Πράγματι, η επίτευξη ενός στόχου είναι πάντα δύσκολη διότι απαιτεί πειθαρχημένη σκέψη και δράση. Στις οργανωσιακές διαδικασίες ένα πολύ συνηθισμένο δίλημμα είναι η επιλογή μεταξύ «λύσεων διαφυγής» και «συστημικών λύσεων». Η λύση διαφυγής ασχολείται με το πρόβλημα γρήγορα και προσωρινά, ενώ η συστημική λύση είναι περισσότερο μόνιμη αλλά πιο δύσκολη και επιβαρυνόμενη με κάποια χρονική υστέρηση. Όσο πιο συχνά επιλέγονται οι λύσεις διαφυγής, τόσο πιο δύσκολη γίνεται η ανάπτυξη των συστημικών λύσεων πράγμα που οδηγεί σε σταδιακή απώλεια της

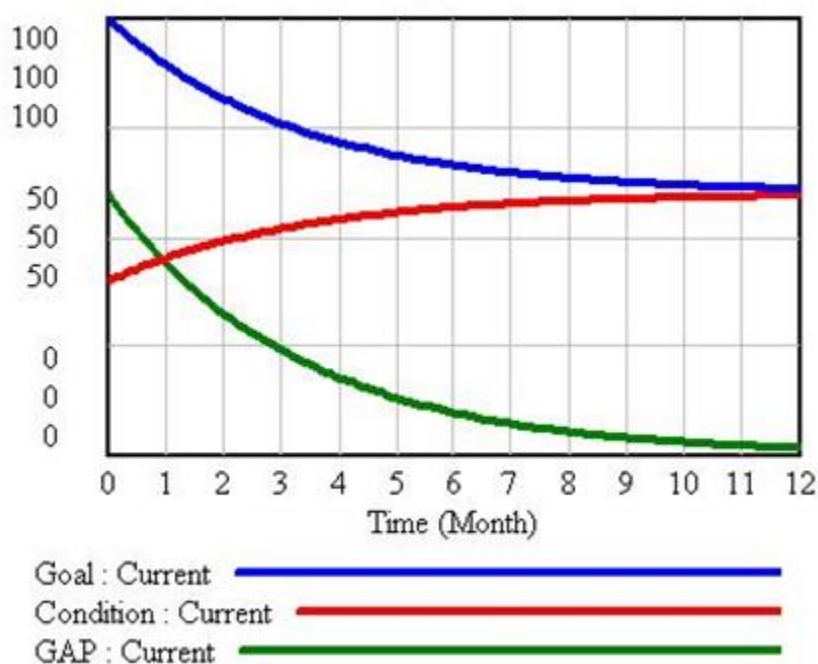
ικανότητάς των διαχειριστών να αναζητούν συστημικές λύσεις. Στο Σχήμα 4.2, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων»

Η μετατροπή των συστημικών λύσεων σε λύσεις διαφυγής υπό την πίεση των αποτελεσμάτων, αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες παθογένειες στη λήψη αποφάσεων πράγμα που έχει κάνει πολύ δημοφιλή την έκφραση μεταξύ των συστημικών αναλυτών ότι, «το σύστημα πνίγεται σε μια πλημμύρα λύσεων διαφυγής» (Ασημακόπουλος, Θεοχαρόπουλος, Δημητρίου).

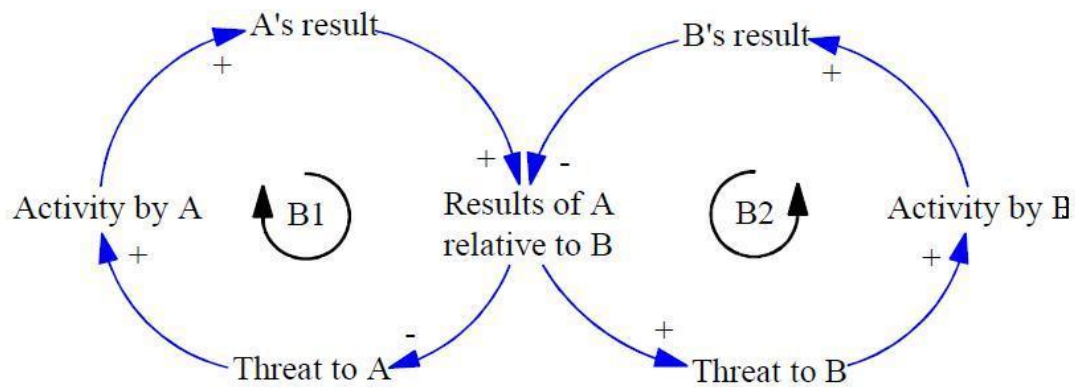
Στο Σχήμα 4.3, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του αρχέτυπου αυτού όπου παρατηρείται συνεχής ελάττωση του στόχου και αύξηση των επιδόσεων της πραγματικής κατάστασης. Μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος παρατηρείται μία τάση προς σύγκλιση αυτών των μεταβλητών. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αρχέτυπου είναι ότι με την πάροδο του χρόνου η συνεχιζόμενη μείωση του στόχου οδηγεί σε σταδιακή επιβράδυνση των επιδόσεων.



Σχήμα 4.3: Γράφημα αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων»

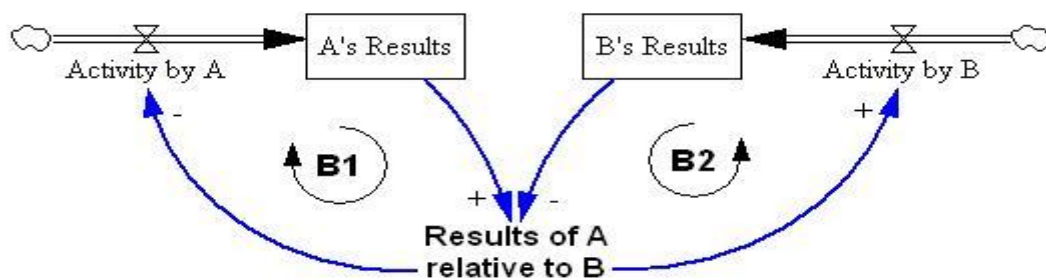
4.2.2 «Κλιμάκωση»

Στην περίπτωση του αρχέτυπου «Κλιμάκωση» (Escalation), δύο άτομα ή δύο οργανώσεις ευημερούν εναλλάξ έναντι του άλλου. Κάθε φορά που ένα άτομο ενισχύεται, το έτερον άτομο αισθάνεται απειλή, με αποτέλεσμα να ενεργεί πιο επιθετικά με σκοπό να αξιοποιήσει κάποιο συγκριτικό πλεονέκτημα. Αυτό δημιουργεί μια απειλή στο πρώτο άτομο, πράγμα που αυξάνει την επιθετικότητά του και ούτω καθεξής. Το συγκεκριμένο αρχέτυπο αποτελείται από δύο αρνητικούς βρόχους ανάδρασης B1 και B2 τους οποίους διαχειρίζονται δύο ή περισσότερα άτομα διαχειριστές ως απάντηση στις απειλητικές ενέργειες των άλλων (Σχήμα 4.4).

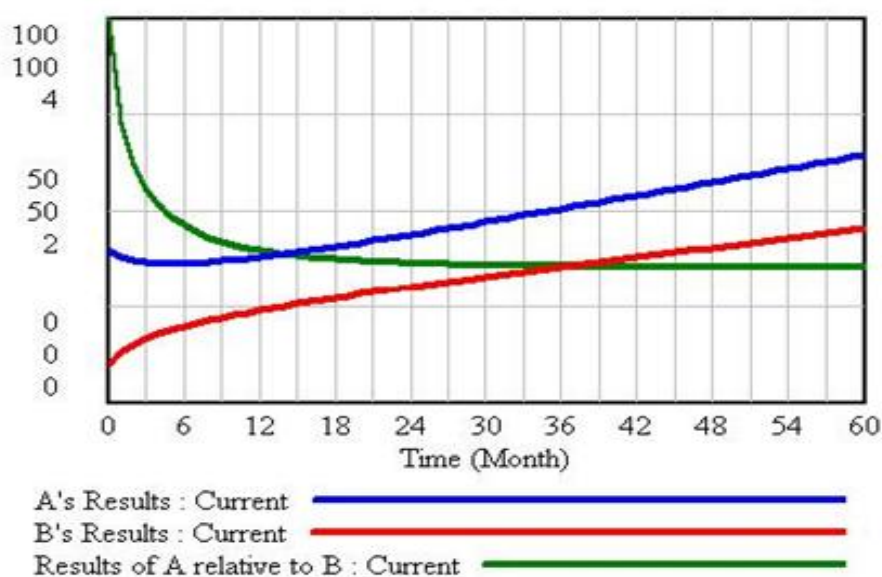


Σχήμα 4.4: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Κλιμάκωση»

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, όταν το πρώτο άτομο (A) πραγματοποιεί μια ενέργεια, προκύπτει μια μεταβολή των αποτελεσμάτων του πρώτου βρόχου, σε σχέση με τα αποτελέσματα του δεύτερου (B). Αμέσως μετά το δεύτερο άτομο (B) προβαίνει σε ενέργειες ώστε να εξισώσει την κατάσταση, έχοντας ως συνέπεια μια νέα μεταβολή των αποτελεσμάτων πράγμα που ενεργοποιεί επιπλέον ενέργειες από το πρώτο άτομο (A). Καθώς αυτό επαναλαμβάνεται συχνά, παρατηρείται μια συνεχής αύξηση των προσπαθειών των δύο ανταγωνιστών. Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Κλιμάκωση»

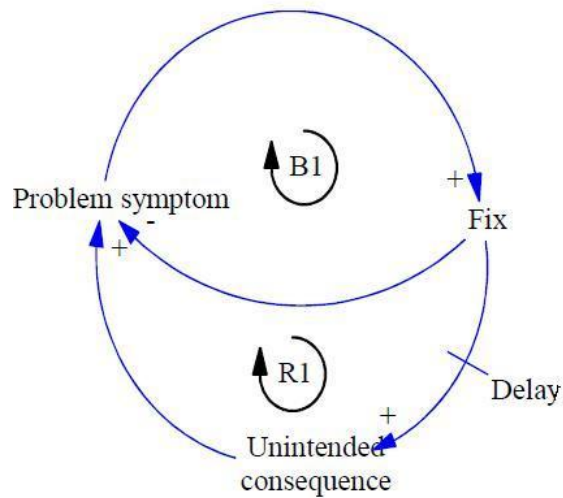


Σχήμα 4.6: Γράφημα αρχέτυπου «Κλιμάκωση»

Συμπερασματικά, η κάθε πλευρά βλέπει συχνά τη δική της επιθετική συμπεριφορά ως αμυντική αντίδραση στις ενέργειες της άλλης πλευράς. Όπως γίνεται κατανοητό από το γράφημα του Σχήματος 4.6, κυριαρχεί έντονα το στοιχείο του ανταγωνισμού μεταξύ των δύο ατόμων. Αυτό μακροπρόθεσμα δεν εξυπηρετεί καμία πλευρά. Επίσης, δεν προσφέρει τίποτα θετικό στην παρούσα κατάσταση αλλά, πολλές φορές αποβαίνει αυτοκαταστροφικό, όπως φαίνεται και από την καθοδική πορεία που ακολουθούν τα αποτελέσματα (Results of A relative to B).

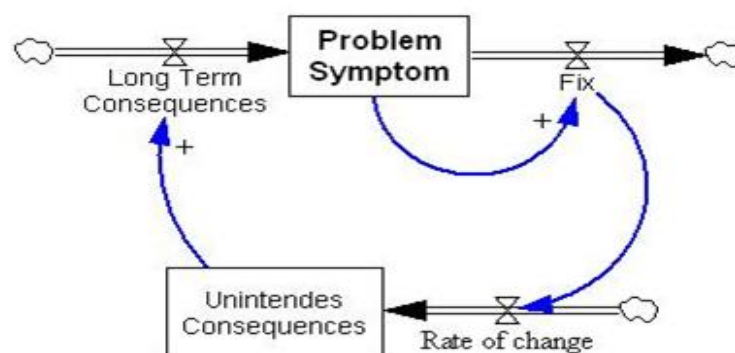
4.2.3 «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»

Το αρχέτυπο «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν» (Fixes that Fail), χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια κατάσταση όπου μια λύση με θετικά αποτελέσματα σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα δημιουργεί παρενέργειες στη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος πράγμα που μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη για ακόμη περισσότερες διορθώσεις. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.7, η δομή του αρχέτυπου αυτού αποτελείται από ένα βρόχο αρνητικής ανάδρασης B1 των διορθωτικών ενεργειών και από ένα βρόχο θετικής ανάδρασης B2 των παρενεργειών.



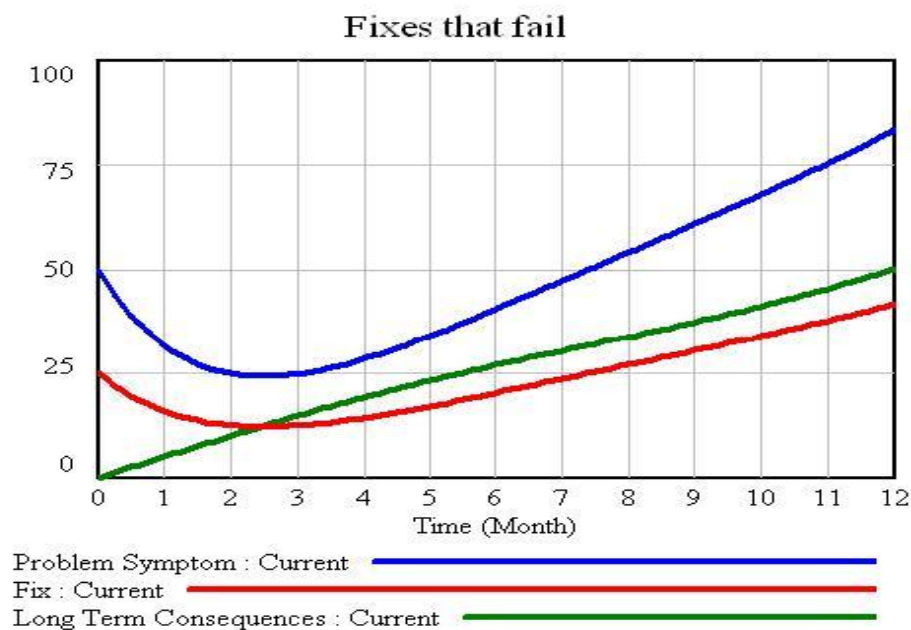
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»

Οι δύο αυτοί βρόχοι ελέγχου, ύστερα από μία χρονική καθυστέρηση, επηρεάζουν το πρόβλημα και ως εκ τούτου καθιστούν δύσκολη την αναγνώριση της αιτίας της εκ νέου επιδείνωσης του προβλήματος. Στο συγκεκριμένο αρχέτυπο, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διορθωτικές ενέργειες ή με κάποια άμεση λύση η οποία μπορεί να διορθώσει το πρόβλημα. Ωστόσο, οι ενέργειες αυτές ενδέχεται να οδηγήσουν σε ορισμένες απρόβλεπτες παρενέργειες.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»

Είναι πολύ σημαντικό να αναγνωριστεί ότι μια προσωρινή λύση ενδεχομένως να επιδεινώνει τη συνολική κατάσταση και να μην επιφέρει ουσιαστική λύση στο πρόβλημα. Αμέσως μετά στο Σχήμα 4.9, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του αρχέτυπου αυτού. Παρατηρείται ότι, παρόλο που τα συμπτώματα του προβλήματος (Problem Symptom) μειώνονται πρόσκαιρα κατά το διάστημα όπου εφαρμόζονται οι διορθώσεις, το συνολικό όριο κρίσης και οι μακροπρόθεσμες παρενέργειες αυξάνονται.

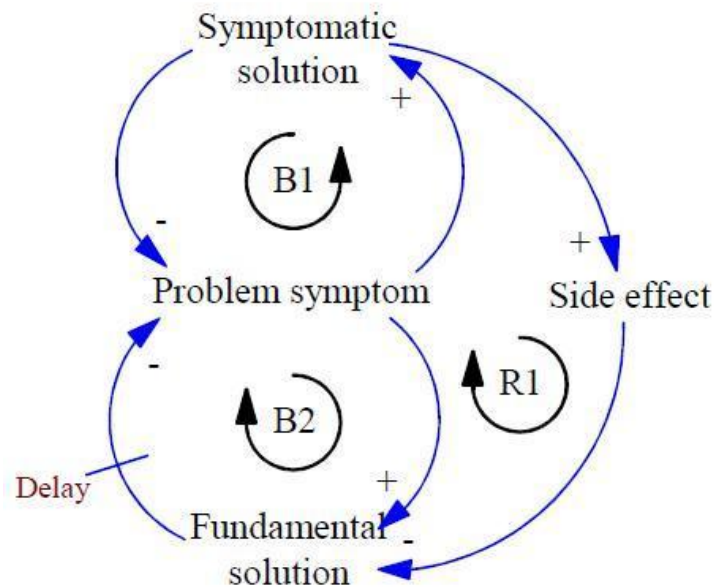


Σχήμα 4.9: Γράφημα αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»

4.2.4 «Μετατόπιση της Έμφασης»

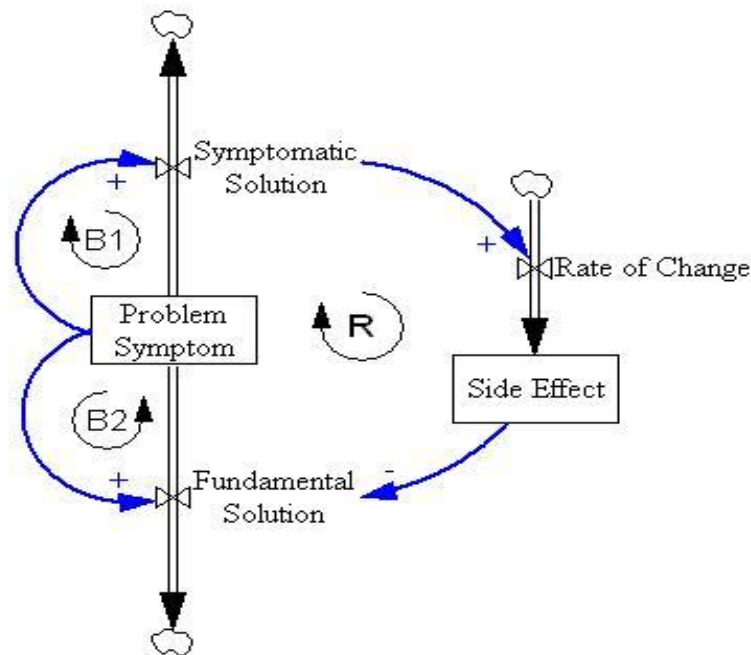
Στην περίπτωση του κλασικού αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης» (Shifting the Burden), δύο αρνητικοί βρόχοι ανάδρασης ανταγωνίζονται για τον έλεγχο της επίλυσης των συμπτωμάτων ενός προβλήματος ενώ ένας θετικός βρόχος προκαλεί παρενέργειες και επιδεινώνει το πρόβλημα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.10, ο αρνητικός βρόχος B1 αποτελεί την συμπτωματική (ή προσωρινή) λύση ενώ ο

αρνητικός βρόχος B2 αποτελεί τη θεμελιώδη λύση. Αν και υπάρχει μια καθυστέρηση ενσωματωμένη στο βρόχο της θεμελιώδους λύσεως (B2), οι δύο βρόχοι ουσιαστικά λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο, μειώνοντας το μέγεθος του προβλήματος.



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης»

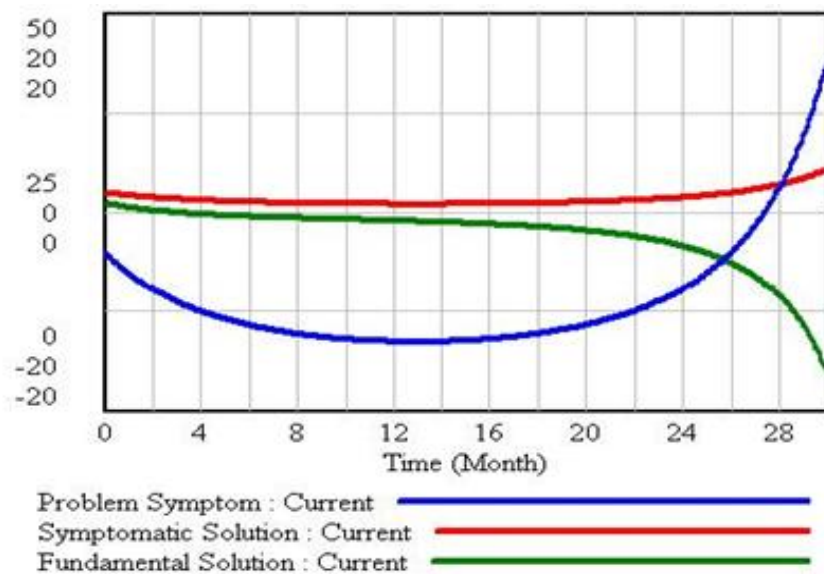
Αυτό είναι ένα κλασικό αρχέτυπο της Δυναμικής Συστημάτων το οποίο εμφανίζεται σε πολλές κοινωνικές καταστάσεις. Για παράδειγμα, εμφανίζεται κάθε φορά που υπάρχει μια "συμπτωματική" λύση σε ένα πρόβλημα η οποία φαίνεται να το επιλύει. Ωστόσο, η λύση αυτή έχει το μειονέκτημα ότι προκαλεί παρενέργειες που εμποδίζουν την ικανότητα του συστήματος να θέτει σε προτεραιότητα τη θεμελιώδη λύση η οποία θα έλυνε το πρόβλημα με καθοριστικό τρόπο. Αυτό το αρχέτυπο ονομάζεται «Shifting the Burden» διότι το βάρος για την επίλυση του προβλήματος μετατοπίζεται μακριά από τη θεμελιώδη λύση εξαιτίας της «συμπτωματικής» λύσης. Στο Σχήμα 4.11, φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου.



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης»

Με την πάροδο του χρόνου ο εργαζόμενος συνεχίζει να εφαρμόζει τη συμπτωματική λύση με αποτέλεσμα την πρόκληση ανεπιθύμητων παρενεργειών οι οποίες επηρεάζουν και εξασθενούν τη θεμελιώδη λύση. Όπως φαίνεται και στη μεσαία καμπύλη, το σύμπτωμα του προβλήματος φαίνεται να εξασθενεί λόγω της εφαρμογής της προσωρινής λύσης. Όμως μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, το πρόβλημα επιδεινώνεται λόγω της μείωσης της θεμελιώδους λύσεως αφού όσο περισσότερο συνεχίζεται αυτή η κατάσταση, τόσο λιγότερο ικανό θα είναι το σύστημα για την οριστική επίλυση του προβλήματος.

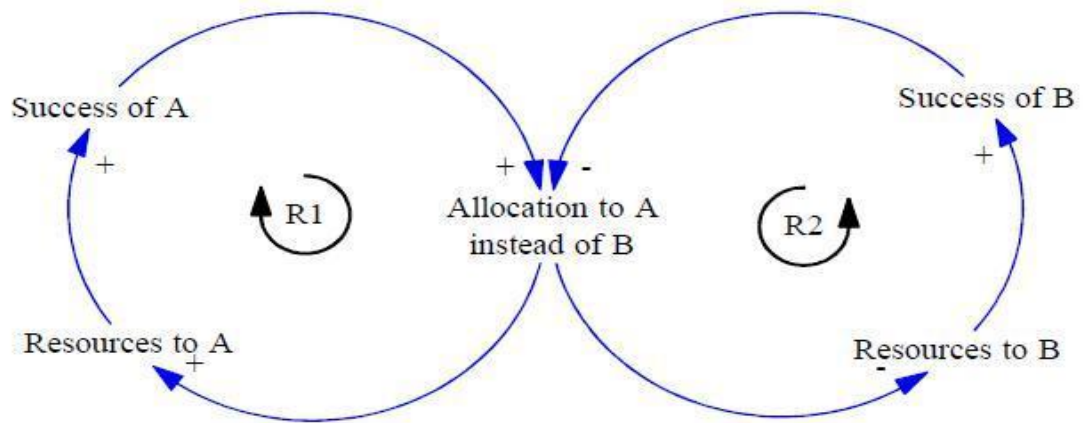
Η θεμελιώδης λύση δεν είναι ποτέ τόσο ελκυστική όσο η συμπτωματική λύση η οποία επιφέρει πιο γρήγορα μια βελτίωση του προβλήματος. Ακόμη και όταν η θεμελιώδης λύση έχει ήδη ξεκινήσει να εστιάζει στις αιτίες του προβλήματος, τα συμπτώματα χρειάζονται χρόνο για να αποσαφηνιστούν. Αυτό συμβαίνει, διότι η θεμελιώδης λύση δεν αντιμετωπίζει μόνο τα συμπτώματα αλλά και τις συστημικές λύσεις για το πρόβλημα.



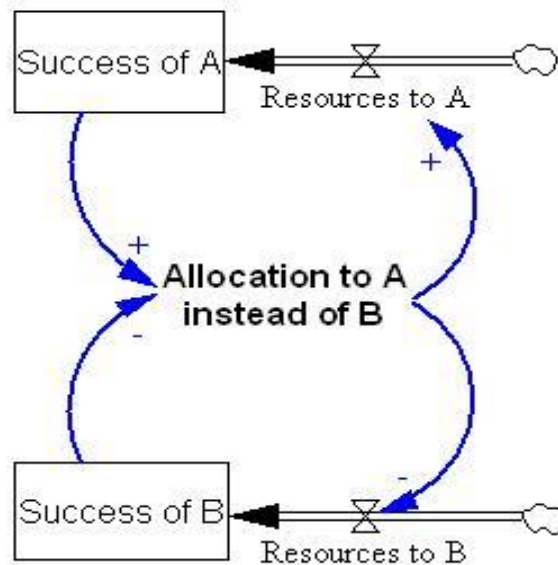
Σχήμα 4.12: Γράφημα αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης»

4.2.5 «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»

Στην περίπτωση του κλασικού αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο» (Success to the Successful), δύο άτομα ή οργανώσεις ανταγωνίζονται μεταξύ τους για έναν κοινό πόρο. Λόγω της ασύμμετρης ανακατανομής από τη διοίκηση, καθώς αυξάνεται η επιτυχία του ενός ατόμου μειώνεται η επιτυχία του άλλου. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.13, το συγκεκριμένο αρχέτυπο αποτελείται από δύο θετικούς βρόχους ανάδρασης R1 και R2. Παρατηρείται ότι, όταν αυξάνονται οι πόροι του πρώτου ατόμου (Resources to A) μεγαλώνει η επιτυχία του (Success of A). Απεναντίας, μειώνονται οι πόροι του δεύτερου ατόμου (Resources to B), με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιτυχία του δεύτερου ατόμου (Success of B).



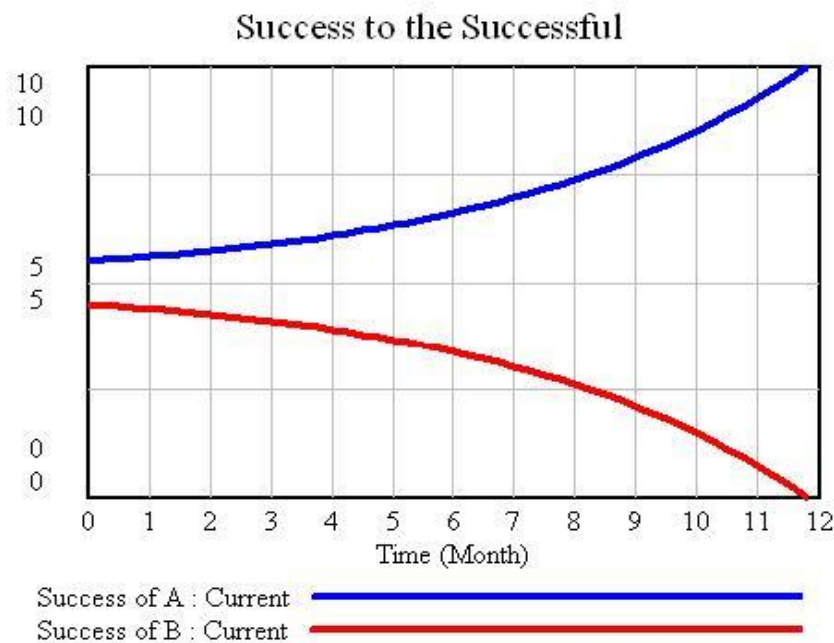
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»



Σχήμα 4.14: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»

Το συγκεκριμένο αρχέτυπο, εξηγεί πως η διοίκηση των οργανισμών, πολλές φορές χωρίς να το συνειδητοποιεί, ανακατανέμει ασύμμετρα τους πόρους ανάμεσα σε άτομα με παρόμοιες ικανότητες, δημιουργώντας με πλασματικό τρόπο «επιτυχημένα» και «αποτυχημένα» στελέχη. Η συστημική αυτή συμπεριφορά, όταν δεν κρύβει σκοπιμότητες, προέρχεται από μια ελλιπή κατανόηση των οργανωσιακών συμπεριφορών του συστήματος. Στο Σχήμα 4.14 φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού.

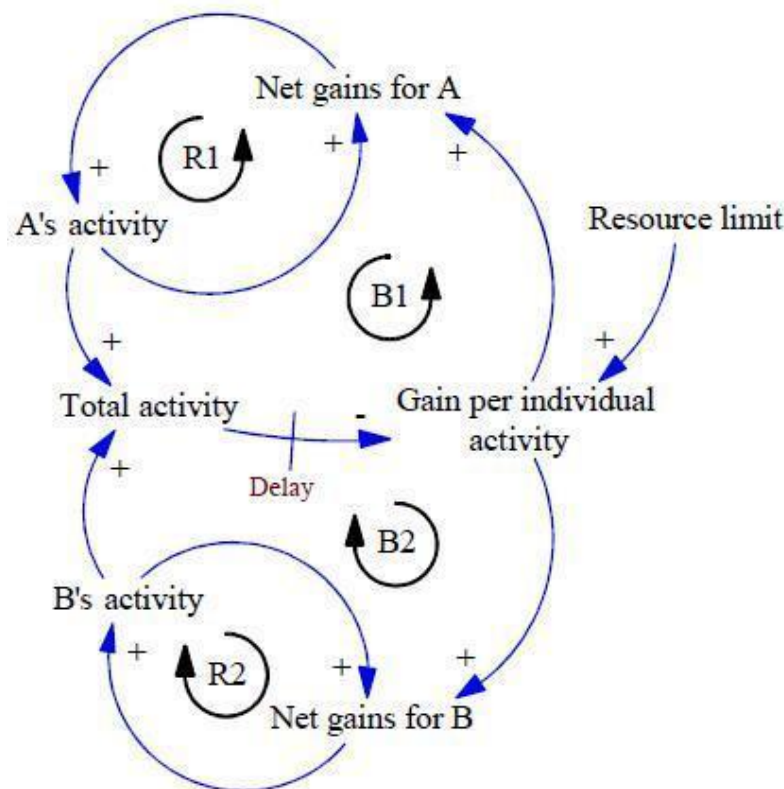
Η μεταφορά της επιτυχίας στους επιτυχημένους είναι πολύ διαδεδομένη και αναγνωρίσιμη τόσο σε επιχειρηματικούς οργανισμούς όσο και σε άλλα συστήματα, όπως οι οικογένειες και οι τάξεις όταν κάποιος αποφασίζει να μοιράσει τους πόρους ανάλογα με τα αποτελέσματα. Αμέσως μετά, παρουσιάζεται η γραφική επίλυση του αρχέτυπου (Σχήμα 4.15), όπου παρατηρείται μία αύξηση της επιτυχίας της δραστηριότητας του πρώτου ατόμου έναντι της δραστηριότητας του δεύτερου ατόμου που μειώνει την επιτυχία του.



Σχήμα 4.15: Γράφημα αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»

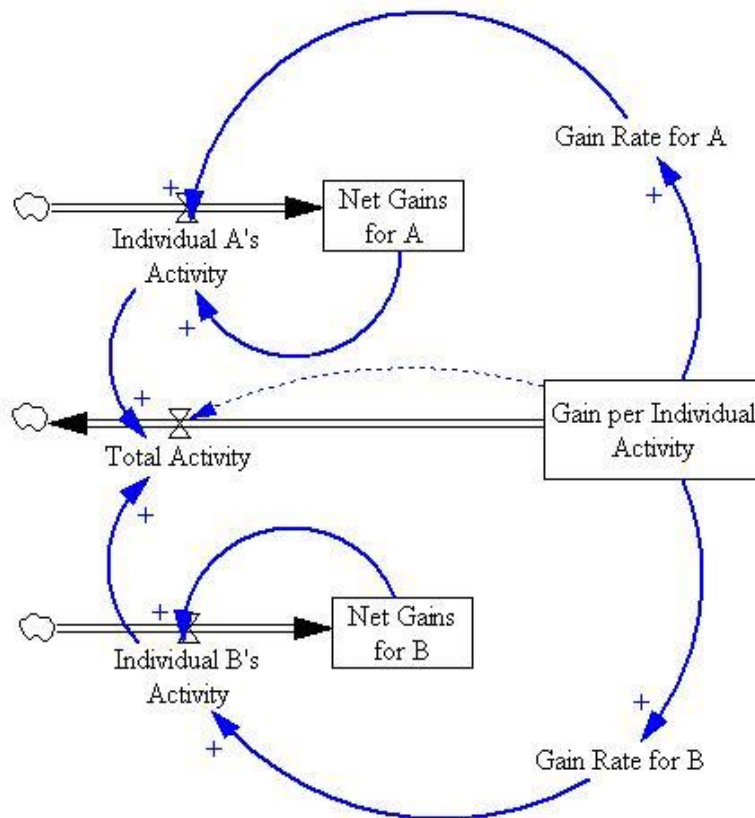
4.2.6 «Τραγωδία των Κοινών Πόρων»

Στο κλασικό αρχέτυπο «Τραγωδία των Κοινών Πόρων» (Tragedy of the Common), τα άτομα ή οι οργανώσεις χρησιμοποιούν ευρέως διαθέσιμους αλλά ταυτόχρονα περιορισμένους πόρους όσον αφορά τις ατομικές τους ανάγκες. Αρχικά οι πρωταγωνιστές ανταμείβονται για τη χρήση τους αλλά τελικά τα διαθέσιμα των πόρων φθίνουν γεγονός που τους αναγκάζει να εντείνουν τις προσπάθειές τους. Τελικά, οι κοινοί πόροι μπορεί να μειωθούν σημαντικά, να διαβρωθούν ή να εξαντληθούν. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.16, το αρχέτυπο αυτό απεικονίζεται με τέσσερις βρόχους ανάδρασης. Δύο θετικούς και δύο αρνητικούς. Οι ενισχυτικές δραστηριότητες των δύο θετικών βρόχων ανάδρασης R1 και R2, καταπονούν και πιέζουν τους ήδη περιορισμένους πόρους με αποτέλεσμα να δημιουργούν αρνητικές συνέπειες για όλους.



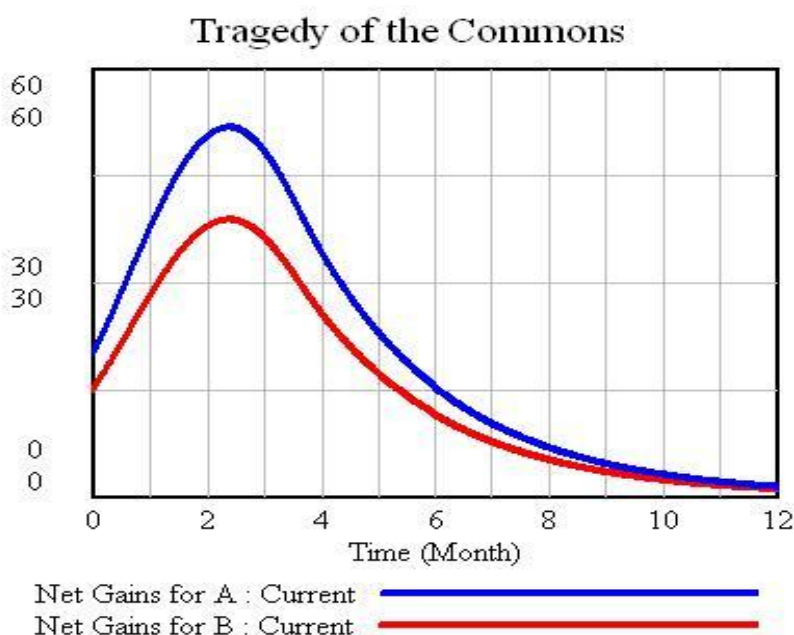
Σχήμα 4.16: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων»

Η τραγωδία των κοινών πόρων, είναι μια θεωρία για την σύγκρουση των ατομικών συμφερόντων και του κοινού καλού στην προσπάθεια διεκδίκηση των κοινών πόρων. Ο όρος εφευρέθηκε και διαδόθηκε από τον Garrett Hardin ο οποίος ήθελε να αναδείξει το πρόβλημα της ατομικής συμπεριφοράς απέναντι στα συλλογικά αγαθά. Όταν κάποια αγαθά δεν ανήκουν σε συγκεκριμένα άτομα αλλά σε όλους τότε η επιπλέον ατομική εκμετάλλευσή τους αποφέρει ατομικά πλεονεκτήματα αλλά συλλογικά μειονεκτήματα. Επειδή τα μειονεκτήματα είναι κοινά, το μεμονωμένο άτομο δεν τα λαμβάνει σοβαρά υπ' όψιν του. Απεναντίας, επικεντρώνεται μόνο στα πλεονεκτήματα που αντλεί ως άτομο από την εκμετάλλευση του κοινού αγαθού. Στο Σχήμα 4.17, φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού.



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων»

Αμέσως μετά παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του αρχέτυπου αυτού (Σχήμα 4.18), όπου στην αρχή παρατηρούνται τα πλεονεκτήματα και των δύο πλευρών καθώς η ζήτηση και η χρήση των πόρων αυξάνεται. Όμως, με την πάροδο του χρόνου και με την αυξανόμενη εκμετάλλευση των ήδη περιορισμένων πόρων, οι συνολικοί πόροι μειώνονται και εν τέλει εξαντλούνται και προκαλούνται προβλήματα για όλους.



Σχήμα 4.18: Γράφημα αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων»

Στη συνέχεια καταγράφονται δύο κλασσικές λύσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως από τους διοικούντες σε τέτοιες περιπτώσεις. Μία λύση αφορά τη θέσπιση κανονισμών εκ μέρους ενός εποπτικού φορέα προκειμένου να ορίσει το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος της κατανάλωσης ενός κοινωνικού αγαθού από ένα άτομο ή μια οργάνωση. Η δεύτερη λύση αφορά την ιδιωτικοποίηση του κοινωνικού αγαθού έτσι ώστε ο ιδιοκτήτης να αντιμετωπίζει τόσο τα οφέλη όσο και το κόστος σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Έτσι, θα έχει κάθε λόγο να αποφύγει την υπερεκμετάλλευση. Όμως, η ιδιωτικοποίηση δεν είναι πάντα ενδεδειγμένη λύση διότι δεν είναι δυνατόν να ιδιωτικοποιηθούν όλα τα ζητήματα (πχ το στρώμα του όζοντος στην ατμόσφαιρα).

4.3 Αρχέτυπα ασφαλείας

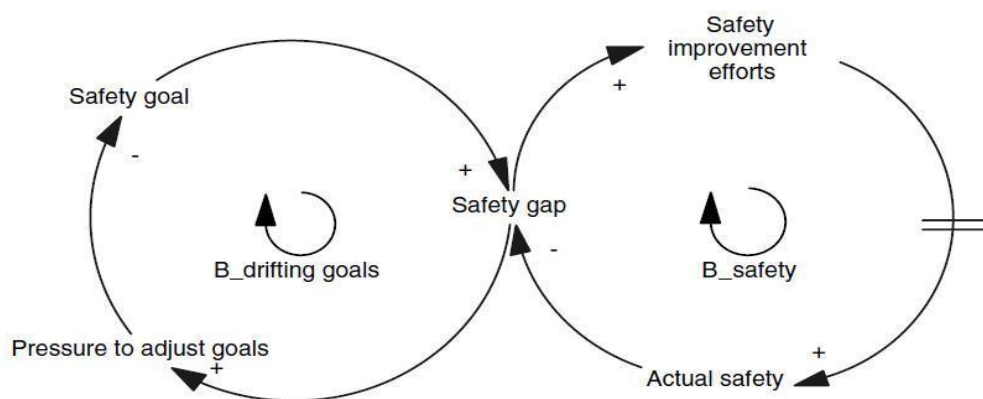
Αμέσως μετά παρουσιάζονται τα αρχέτυπα ασφαλείας τα οποία απεικονίζουν κάποιες τυπικές οργανωσιακές συμπεριφορές οι οποίες συχνά συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων. Τα συγκεκριμένα αρχέτυπα ασφαλείας βοηθούν ώστε να διευκρινιστούν οι λόγοι για τους οποίους οι αποφάσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια δεν έχουν πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς και να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι ανεξάρτητες αποφάσεις διαφορετικών τμημάτων μπορούν να συνδυαστούν ώστε να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ασφάλεια. Επίσης, εξηγούν πως είναι δυνατόν να προκύψουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα από φαινομενικά καλές αποφάσεις όταν οι οργανώσεις εφησυχάζονται ή όταν είναι δύσκολο για τους οργανισμούς να εφαρμόσουν με επιτυχία τα προγράμματα βελτίωσης της ασφάλειας. Η έγκαιρη συνειδητοποίηση αυτών των «παγίδων», βοηθούν τις οργανώσεις να τις αποφύγουν ή τουλάχιστον να μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις τους. Στην ανάλυση επικινδυνότητας, τα αρχέτυπα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς των κινδύνων με την πάροδο του χρόνου. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη δυναμικών μοντέλων τα οποία περιγράφουν τους συστημικούς και οργανωτικούς παράγοντες που είναι δυνατόν να προκαλέσουν ατυχήματα. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένα αρχέτυπα ασφαλείας τα οποία έχουν συζητηθεί στη βιβλιογραφία (Marais, Saleh & Leveson 2005, Kontogiannis 2012).

- *Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας (Eroding Safety Goal)*
- *Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας (Disappointing safety programs)*
- *Διορθώνοντας τα Συμπτώματα εις βάρος των αιτιών (Fixing symptoms rather than root causes)*
- *Συστήματα Αναφοράς Περιστατικών (Reporting Schemes)*
- *Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων (Unintended side-effects of safety fixes)*
- *Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων (Unsuccessful problem resolution)*

4.3.1 Διάβρωση των στόχων Ασφαλείας

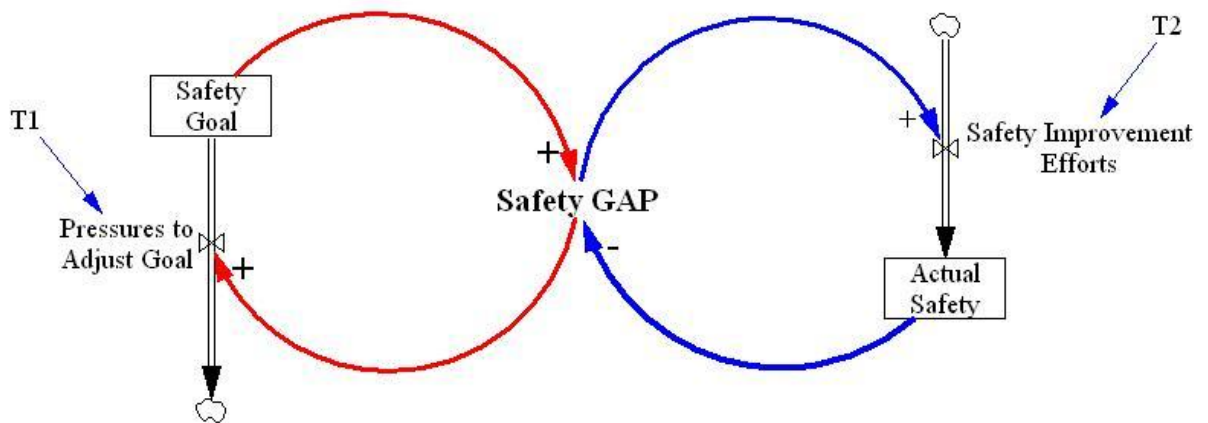
Στην περίπτωση της «Διάβρωσης Στόχων Ασφαλείας», δύο βρόχοι αρνητικής ανάδρασης προσπαθούν να καλύψουν το κενό ασφαλείας (Safety GAP) μεταξύ του στόχου ασφαλείας και της τωρινής κατάστασης. Το κενό μεταξύ του στόχου (Safety Goal) και της τωρινής κατάστασης (Actual Safety) μπορεί να καλυφθεί είτε παίρνοντας διορθωτικές ενέργειες (όπως φαίνεται στο βρόχο B_safety) είτε χαμηλώνοντας το στόχο (όπως φαίνεται στο βρόχο B_drifting goals). Από το Σχήμα 4.19 φαίνεται ότι το κενό ασφαλείας μεταξύ του στόχου και της πραγματικής ασφάλειας εμπνέει νέες προσπάθειες βελτίωσης της ασφάλειας (safety improvement efforts), οι οποίες βελτιώνουν την πραγματική ασφάλεια (actual safety) με κάποια χρονική καθυστέρηση. Επίσης, το κενό ασφαλείας μπορεί να μειωθεί με ρύθμιση του στόχου ασφαλείας προς τα κάτω. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση που ασκείται για τη ρύθμιση του στόχου (B_drifting_goals).

Σε αυτό το αρχέτυπο, οι διαχειριστές του συστήματος αποφεύγουν την ανάληψη διορθωτικών ενεργειών και δεν επιμένουν στην διατήρηση υψηλών στόχων. Η επίτευξη ενός στόχου είναι πάντα δύσκολη διότι απαιτεί πειθαρχημένη σκέψη και δράση.

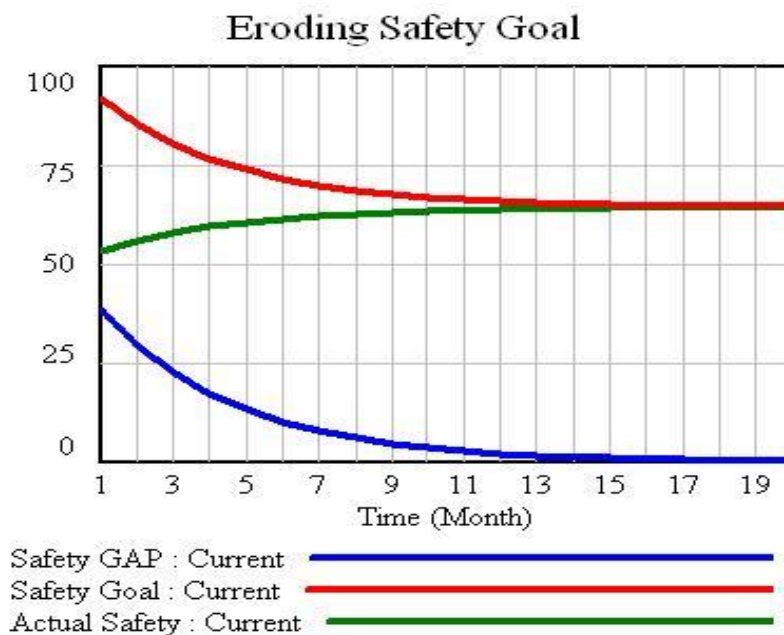


Σχήμα 4.19: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας»

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε πολλές οργανωσιακές διαδικασίες ένα συνηθισμένο δίλημμα αποτελεί η επιλογή μεταξύ λύσεων διαφυγής και συστημικών λύσεων. Η λύση διαφυγής λύνει το πρόβλημα γρήγορα και προσωρινά ενώ η συστημική λύση είναι μόνιμη αλλά πιο δύσκολη και επιβαρημένη με χρονική υστέρηση. Συνήθως, επιλέγονται οι λύσεις διαφυγής εις βάρος των συστημικών λύσεων. Η μετατροπή των συστημικών λύσεων σε λύσεις διαφυγής, υπό την πίεση της αποτελεσματικότητας, είναι ίσως από τις μεγαλύτερες παθογένειες στη λήψη αποφάσεων.



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας»



Σχήμα 4.21: Γράφημα αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας»

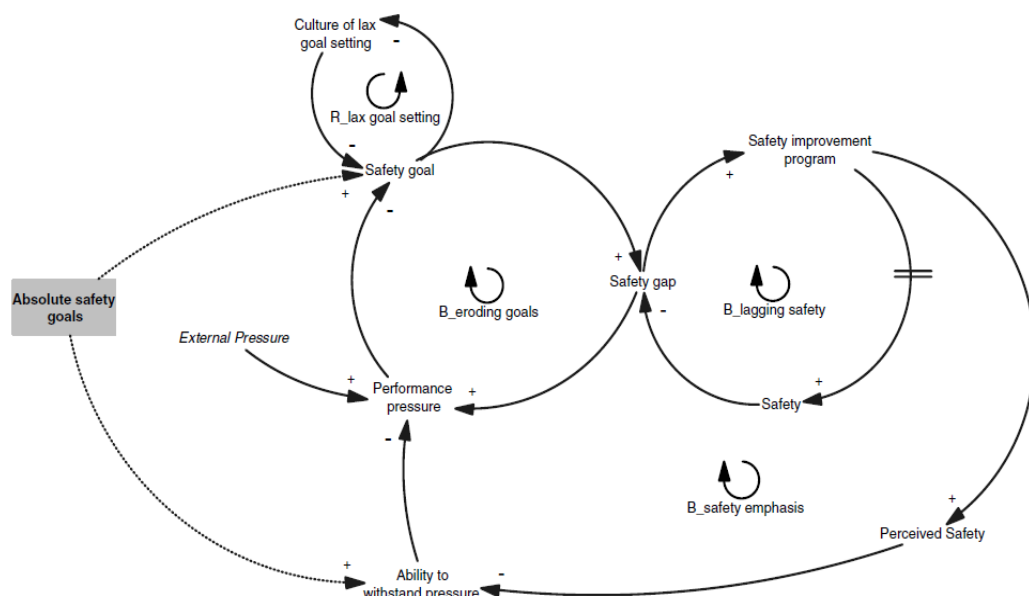
Στο Σχήμα 4.21, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς του αρχέτυπου ασφαλείας όπου παρατηρείται συνεχής ελάττωση του στόχου ασφάλειας (safety goal) και αύξηση της τωρινής κατάσταση ασφάλειας (actual safety). Μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος παρατηρείται τάση προς σύγκλιση. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αρχέτυπου είναι ότι με την πάροδο του χρόνου η συνεχιζόμενη μείωση του στόχου ασφαλείας οδηγεί σε σταδιακή μείωση των επιδόσεων.

Επειδή ο βρόχος Bdrifting goals καθιστά το κενό ασφαλείας μικρότερο, ο βρόχος Bsafety γίνεται λιγότερο αποτελεσματικός στη διατήρηση της ασφάλειας στο απαιτούμενο επίπεδο. Αυτό το αρχέτυπο μπορεί να είναι χρήσιμο ως εργαλείο για τους διαχειριστές προκειμένου να συνεχιστεί η εφαρμογή των προγραμμάτων ασφαλείας παρά την αρχική έλλειψη αποτελεσμάτων που παρουσιάζουν.

4.3.2 «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»

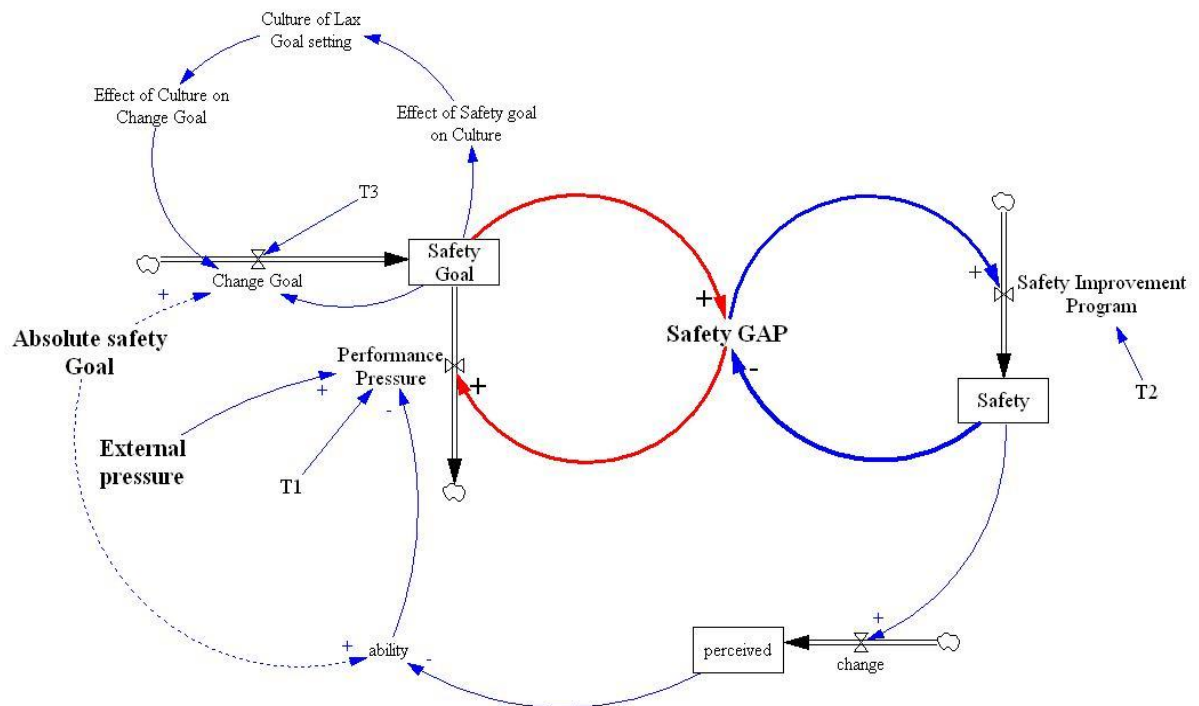
Το παρακάτω αρχέτυπο απεικονίζει μια συνηθισμένη παραλλαγή του αρχέτυπου της «Διάβρωσης των Στόχων Ασφαλείας» το οποίο εξηγεί γιατί πολλά προγράμματα ασφαλείας δεν ανταποκρίνονται πάντα στις προσδοκίες της διοίκησης. Τα προγράμματα βελτίωσης της ασφάλειας μπορεί να είναι ακριβά και συνήθως δεν επιφέρουν άμεσα αποτελέσματα όπως φαίνεται στο στον αρνητικό βρόχο ανάδρασης Blagingsafety στο Σχήμα 4.22.

Παρόλο που το ενδεχόμενο κόστος της αποτυχίας βελτίωσης της ασφάλειας μπορεί να είναι υψηλό, το άμεσο κόστος του προγράμματος ασφαλείας που ενδιαφέρει τη διοίκηση υπόκειται σε εξωτερικές πιέσεις (π.χ. προϋπολογισμός και πίεση επιδόσεων). Ο συνδυασμός της καθυστέρησης του προγράμματος ασφαλείας και των εξωτερικών πιέσεων καθιστούν δελεαστική την άποψη να δοθεί μικρότερη έμφαση στην ασφάλεια και περισσότερη στην προσαρμογή των στόχων προς τα κάτω (βλπ Bsafety emphasis και Beroding goals στο διάγραμμα επιρροής, Σχήμα 4.22). Αυτή η προσαρμογή δεν θεωρείται απαραίτητα ως αποτυχία αλλά χαρακτηρίζεται ως λύση διαφυγής, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ακόμη και ως βελτίωση.



Σχήμα 4.22: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»

Οι βρόχοι αρνητικής ανάδρασης αλληλεπιδρούν επανειλημμένα με την προσαρμογή του στόχου της ασφάλειας. Η επαναλαμβανόμενη μείωση των στόχων ασφάλειας οδηγεί σε ένα θετικό βρόχο (Relaxgoal), ο οποίος ενθαρρύνει μια χαλαρή ρύθμιση των στόχων της ασφάλειας στο μέλλον. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη θέσπιση μιας απόλυτης τιμής του στόχου της ασφάλειας, ίσως με βάση κάποιου εξωτερικού προτύπου. Αυτή η εξωτερική τιμή του στόχου της ασφαλείας θα είναι αποτελεσματική μόνο εάν οι οργανώσεις συμμορφώνονται με αυτές τις προδιαγραφές, είτε με δική τους πρωτοβουλία είτε λόγω τακτικών επιθεωρήσεων και ελέγχων. Στο Σχήμα 4.23 φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού.

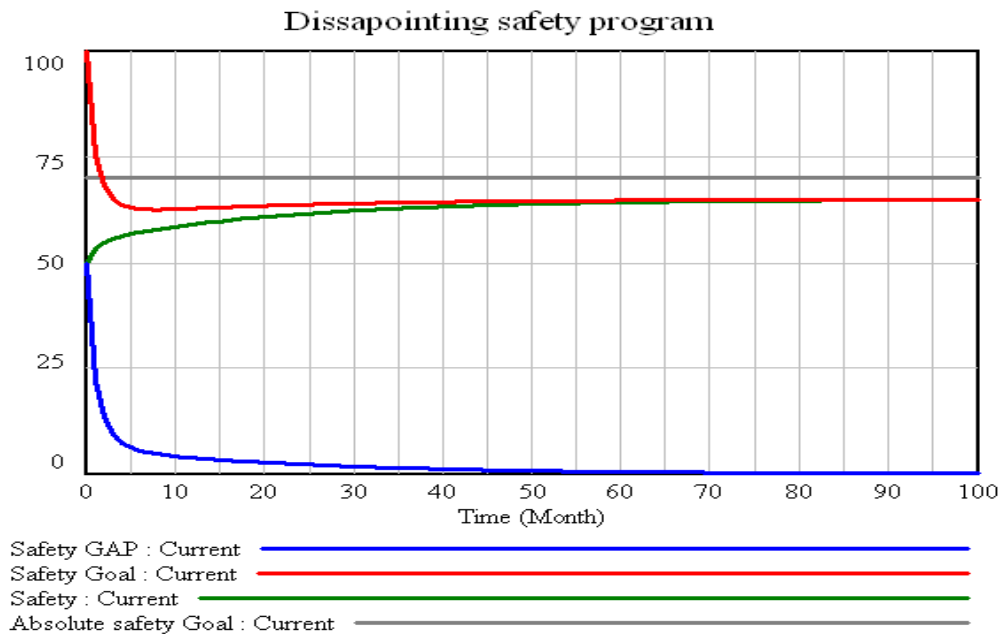


Σχήμα 4.23: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»

Για παράδειγμα, μια κοινότυπη απάντηση στις αποτυχίες προγραμμάτων ασφαλείας είναι η αναδιάρθρωση μέρους ή του συνόλου του οργανισμού. Αυτό το είδος της αντίδρασης έχει συμβεί τουλάχιστον δύο φορές στη NASA «Challenger accident NASA, 1988», πράγμα που συνέβαλλε στην πρόκληση ατυχημάτων στα διαστημόπλοια Challenger και το Columbia (Marais, Saleh, Leveson, 2005). Ενώ η αναδιάρθρωση και αναδιοργάνωση μερικές φορές είναι απαραίτητη, δεν εξετάζει πάντα το βασικό πρόβλημα.

Μια πιο ήπια μορφή προσαρμογής του στόχου προς τα κάτω είναι η συνεχής αναβολή των προθεσμιών. Στην περίπτωση αυτή, οι στόχοι παραμένουν οι ίδιοι αλλά η προθεσμία για την επίτευξη αυτών συνεχώς αναβάλλεται με αποτέλεσμα τη μείωση των στόχων ασφαλείας. Για να είναι επιτυχημένο ένα πρόγραμμα ασφάλειας πρέπει να παρέχει ένα σαφές σχέδιο και ένα ρεαλιστικό χρονικό πλαίσιο για τη βελτίωση της ασφάλειας. Θα πρέπει να παρέχει συγκεκριμένα βήματα προς την επίτευξη του στόχου της ασφάλειας καθώς και τη λήψη προσωρινών μέτρων προόδου. Εάν ένα πρόγραμμα ασφαλείας λειτουργεί με βάση τις επιδόσεις θα υπάρξει μια αμοιβαία τάση να εργάζονται κατά του προγράμματος, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητά του. Μόνο όταν υπάρχει μέγιστη απόδοση σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης μπορεί να πετύχει ένα πρόγραμμα ασφαλείας.

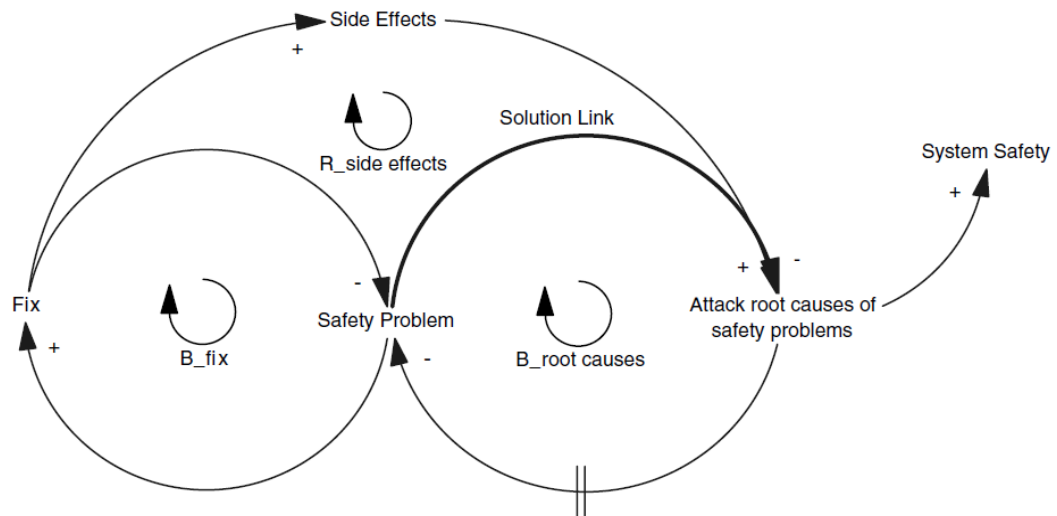
Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του παραπάνω αρχέτυπου (Σχήμα 4.24,) όπου παρατηρείται μια συνεχής ελάττωση του στόχου και μια αύξηση της πραγματικής κατάστασης. Όμως μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος παρατηρείται μια τάση προς σύγκλιση. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αρχέτυπου είναι ότι με την πάροδο του χρόνου η συνεχιζόμενη μείωση του στόχου οδηγεί σε σταδιακή μείωση των επιδόσεων. Επίσης παρατηρείται η σταθερή τιμή του απόλυτου εξωτερικού στόχου της ασφάλειας (absolute safety goal) η οποία βρίσκεται κοντά στον “εσωτερικό” στόχο ασφαλείας (safety goal).



Σχήμα 4.24: Γράφημα του αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»

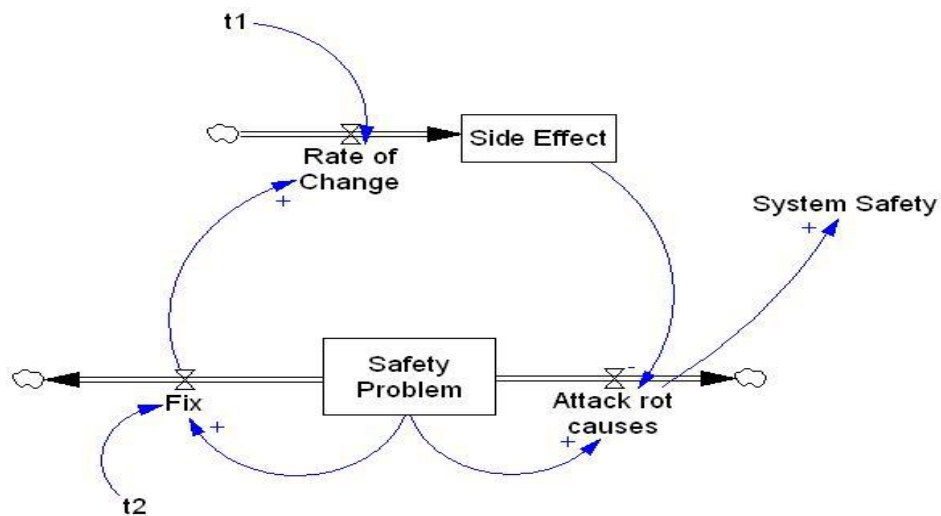
4.3.3 «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα εις Βάρος των Αιτιών»

Το συγκεκριμένο αρχέτυπο ασφαλείας, είναι μια ειδική περίπτωση του κλασικού αρχέτυπου «Μετατόπισης της Έμφασης» και δείχνει πως οι συμπτωματικές λύσεις ή επιδιορθώσεις, μπορούν να υπονομεύσουν την αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτιών των ατυχημάτων. Στην περίπτωση αυτού του αρχέτυπου, δύο αρνητικοί βρόχοι ανάδρασης ανταγωνίζονται για τον έλεγχο της επίλυσης των προβλημάτων ασφαλείας ενώ ένας θετικός βρόχος παρενεργειών επιδεινώνει το πρόβλημα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.25, ο αρνητικός βρόχος ανάδρασης B_fix αποτελεί την συμπτωματική (ή προσωρινή) λύση ενώ ο αρνητικός βρόχος ανάδρασης B_root causes αποτελεί τη θεμελιώδη λύση. Αν και υπάρχει μια ενσωματωμένη καθυστέρηση στο βρόχο της θεμελιώδους λύσεως, και οι δύο βρόχοι ουσιαστικά λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο μειώνοντας το μέγεθος του προβλήματος ασφαλείας.



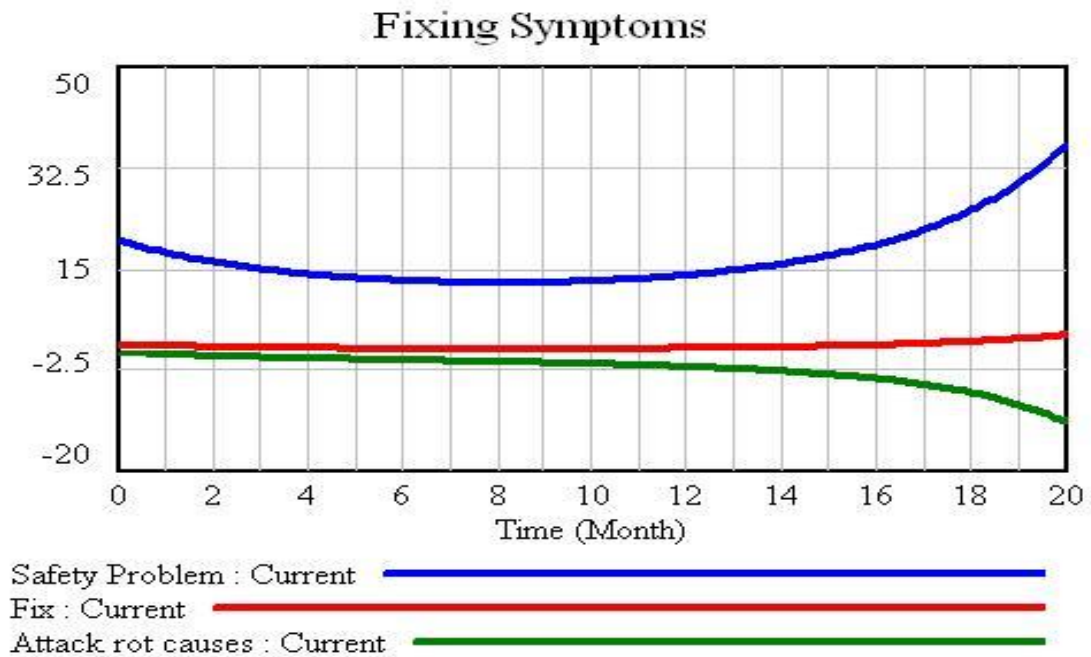
Σχήμα 4.25: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα»

Η επιδιόρθωση (fix) εφαρμόζεται ως απάντηση σε ένα πρόβλημα ασφαλείας (safety problem) όπως φαίνεται στον βρόχο ανάδρασης Bfix, μειώνοντας προσωρινά τα συμπτώματα του προβλήματος. Αν η θεμελιώδης λύση (Attack root causes) είναι γνωστή, οι παρενέργειες (side effects) της συμπτωματικής λύσης (fix) μπορούν είτε να μειώσουν την επιθυμία να εφαρμοστεί η θεμελιώδης λύση ή να μειώσουν την αποτελεσματικότητα της θεμελιώδους λύσης, όπως φαίνεται στο θετικό βρόχο ανάδρασης Rside effects. Αν η θεμελιώδης λύση δεν είναι γνωστή, η συμπτωματική λύση μπορεί να μειώσει την ικανότητα ευρέσεως τη θεμελιώδους λύσης συγκαλύπτοντας τα συμπτώματα του προβλήματος. Εμφανίζεται κάθε φορά που υπάρχει μια "συμπτωματική" λύση σε ένα πρόβλημα η οποία φαίνεται να το επιλύει. Ωστόσο, η λύση αυτή έχει το μειονέκτημα ότι προκαλεί παρενέργειες που εμποδίζουν την ικανότητα του συστήματος να θέτει σε προτεραιότητα τη θεμελιώδη λύση. Στο Σχήμα 4.26 φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου.



Σχήμα 4.26: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα»

Στο Σχήμα 4.27, παρουσιάζεται η γραφική επίλυση του παραπάνω αρχέτυπου όπου παρατηρείται ότι, με την πάροδο του χρόνου συνεχίζεται η εφαρμογή της συμπτωματικής λύσης με αποτέλεσμα την πρόκληση ανεπιθύμητων ενεργειών οι οποίες επηρεάζουν και εξασθενούν τη θεμελιώδη λύση. Το πρόβλημα ασφαλείας φαίνεται να εξασθενεί λόγω της εφαρμογής της προσωρινής λύσης. Όμως μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, το πρόβλημα επιδεινώνεται λόγω της μείωσης της θεμελιώδους λύσεως αφού όσο περισσότερο συνεχίζεται αυτή η κατάσταση τόσο λιγότερο ικανό καθίσταται το σύστημα για την οριστική επίλυση του προβλήματος.



Σχήμα 4.27: Γράφημα αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα»

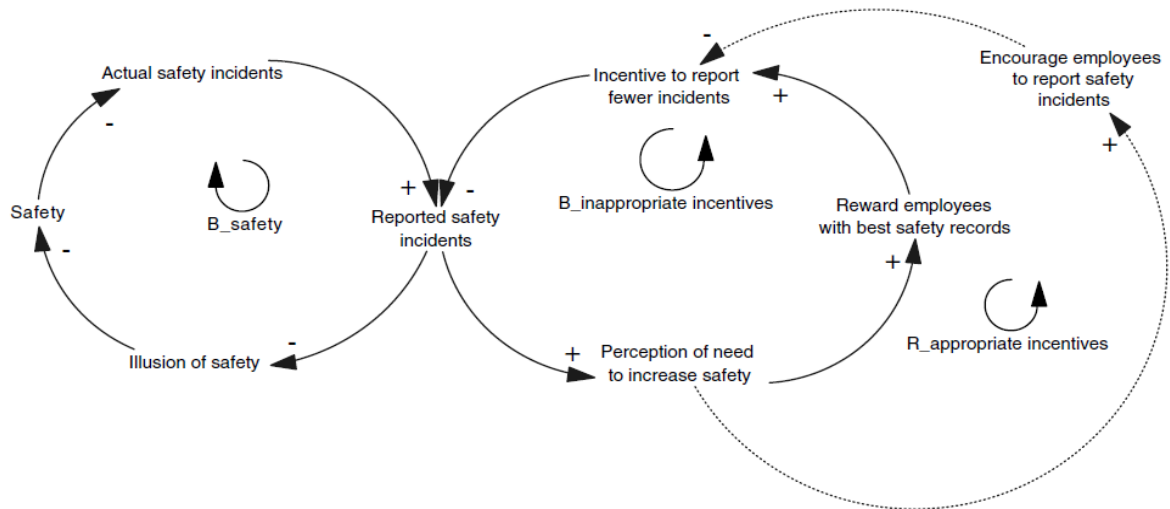
Όταν προκύπτουν προβλήματα ασφάλειας, αντί της εφαρμογής κάποιων επιδιορθώσεων οι οργανισμοί θα έπρεπε να προβαίνουν στην ανάλυση των συστημικών αιτιών και να χρησιμοποιούν τα προκύπτοντα στοιχεία για να διατυπώσουν κάποιες θεμελιώδεις λύσεις ώστε να εξαλείψουν τις αιτίες αυτές (όπως φαίνεται από το βρόχο αρνητικής ανάδρασης B root causes). Πολλά προγράμματα ασφαλείας εστιάζουν στη διερεύνηση προηγούμενων συμβάντων, σε μια προσπάθεια για την πρόληψη μελλοντικών ατυχημάτων. Οι προσπάθειες αυτές δεν είναι πάντα εποικοδομητικές. Συνήθως δίνεται υπερβολική έμφαση στην πρόληψη της υποτροπής του ίδιου ατυχήματος, χωρίς να λαμβάνει επαρκώς υπόψη τους παράγοντες που επέτρεψαν τη μείωση της ασφάλειας. Οι προσπάθειες για τον εντοπισμό των βαθύτερων παραγόντων ή συνθηκών που επέτρεψαν το ατύχημα να συμβεί είναι συχνά ανεπαρκείς. Η εξάλειψη των συστημικών αιτιών μπορεί να είναι πολύ πιο δύσκολη, χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία από την εφαρμογή κάποιων συμπτωματικών λύσεων. Είναι λοιπόν απαραίτητη η συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων στην υλοποίηση της προτεινόμενης λύσης αλλιώς είναι απίθανο να εφαρμοστεί με επιτυχία. Επίσης οι παρενέργειες που προκαλούνται από τη λύση του προβλήματος ασφαλείας

πρέπει να προσδιορίζονται κατά το μέγιστο, αν και είναι δύσκολο να προβλεφθούν όλες οι ανεπιθύμητες ενέργειες.

4.3.4 «Συστήματα Αναφοράς Περιστατικών»

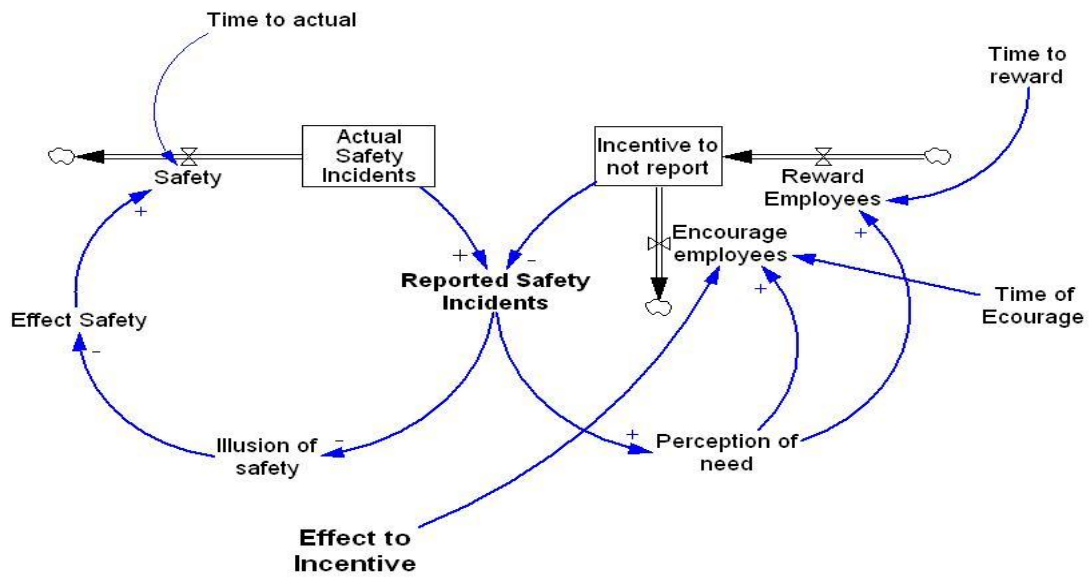
Το αρχέτυπο ασφαλείας «Συστήματα Αναφορών» (Reporting Schemes), απεικονίζει μια συνηθισμένη παραλλαγή του παραπάνω αρχέτυπου και παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο μειώνεται η ασφάλεια με την ενθάρρυνση των εργαζομένων να αποκρύψουν τυχόν περιστατικά. Αποτελείται από δύο αρνητικούς βρόχους (B safety και B inappropriate) και έναν θετικό βρόχο ανάδρασης (R appropriate). Ένα σύστημα αναφορών που είναι ακατάλληλα σχεδιασμένο μπορεί να λειτουργήσει εις βάρος της ασφαλείας. Ο κύριος σκοπός αυτών των συστημάτων είναι να ενθαρρύνουν τους εργαζόμενους να είναι πιο προσεκτικοί σε ημερήσια βάση, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των περιστατικών. Ως κίνητρο για τη μείωση του αριθμού των περιστατικών, οι εργαζόμενοι με τις καλύτερες επιδόσεις ασφαλείας ανταμείβονται, όπως φαίνεται από τον αρνητικό βρόχο ανάδρασης Binappropriate. Όμως, η επιβράβευση των εργαζομένων που αναφέρουν μικρό αριθμό περιστατικών είναι δίκαιο μαχαίρι, καθώς αποτελεί επίσης κίνητρο για να αποκρύπτουν πληροφορίες σχετικά με μικρής έκτασης περιστατικά ή παρολίγον ατυχήματα.

Είναι λοιπόν δυνατόν να δημιουργηθεί η ψευδαίσθηση ότι το σύστημα γίνεται όλο και πιο ασφαλές, ενώ στην πραγματικότητα έχει απλά τεθεί σε σίγαση. Αυτό συμβαίνει επειδή όσο περισσότερα περιστατικά καταγράφονται, τόσο μικραίνει η ψευδαίσθηση της ασφαλείας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ασφάλεια και στη συνέχεια να μειώνονται τα περιστατικά. Ως εκ τούτου καταγράφονται όλο και λιγότερα περιστατικά όπως φαίνεται στον αρνητικό βρόχο ανάδρασης Bsafety (Σχήμα 4.28). Κατά ειρωνικό τρόπο, η εισαγωγή ενός συστήματος καταγραφής περιστατικών μπορεί να μειώσει την ασφάλεια.

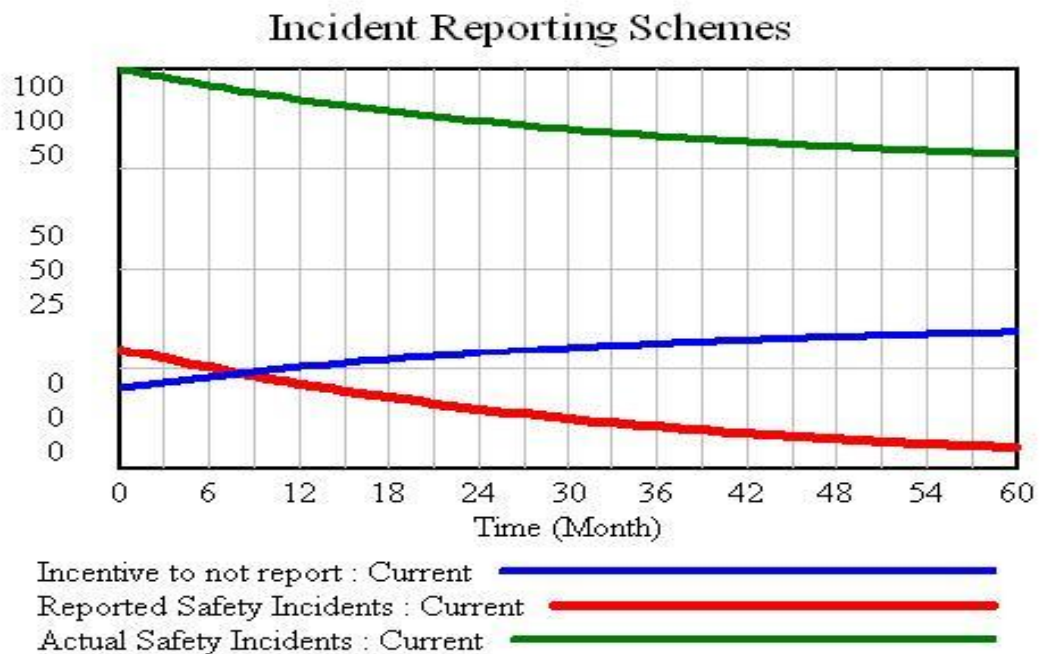


Σχήμα 4.28: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών»

Κατά την εφαρμογή των συστημάτων αναφοράς περιστατικών, είναι απαραίτητο να εξεταστούν προσεκτικά τα κίνητρα και οι ανταμοιβές που θα χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση προς την αναφορά των κινδύνων. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί η απόκρυψη των αναφορών είναι η ενθάρρυνση των εργαζομένων να αναφέρουν επικίνδυνα περιστατικά, παρά να γίνεται επιβράβευση των εργαζομένων με τις καλύτερες επιδόσεις ασφαλείας (βλέπε τον θετικό βρόχο ανάδρασης R appropriate). Όταν η συμπεριφορά αυτή ανταμείβεται είναι πιθανό οι εργαζόμενοι να βρουν εναλλακτικούς τρόπους σχετικά με την αναφορά περιστατικών προκειμένου να ανταμειφθούν. Αν τα κίνητρα είναι ακατάλληλα, σύμφωνα με την πρόθεση του προγράμματος, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι χειρότερο από το να μην υπήρχαν καθόλου κίνητρα. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί επίσης να παρατηρηθεί σε οργανισμούς που λειτουργούν σύμφωνα με πιστοποιημένες διαδικασίες. Στη συνέχεια στο Σχήμα 4.29, φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού.



Σχήμα 4.29: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών»



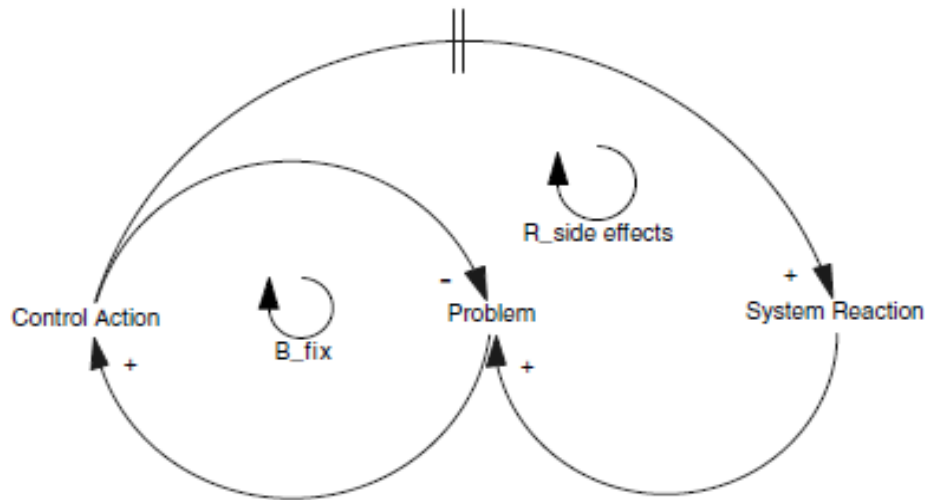
Σχήμα 4.30: Γράφημα αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών»

Στο Σχήμα 4.30 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς του παραπάνω αρχέτυπου όπου παρατηρείται μια συνεχής μείωση των καταγεγραμμένων περιστατικών ασφαλείας όσο αυξάνονται τα κίνητρα για την αναφορά λιγότερων ατυχημάτων ενώ ταυτόχρονα μειώνονται τα επικίνδυνα περιστατικά. Επίσης παρατηρείται ότι εάν επιβραβεύσουμε την αναφορά των περιστατικών από τους εργαζόμενους τότε αφενός τα περιστατικά μειώνονται και αφετέρου τα κίνητρα για λιγότερες αναφορές επίσης μειώνονται.

Για να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα επιτυχίας των συστημάτων αναφοράς περιστατικών θα πρέπει να κοινοποιείται ότι οι στόχοι αυτοί σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης και οι εργαζόμενοι να είναι εφοδιασμένοι με τους απαραίτητους πόρους ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην εκτέλεση των προγραμμάτων. Οι οργανισμοί μπορούν να αυξήσουν περαιτέρω την πιθανότητα επιτυχίας των προγραμμάτων αυτών με τη συμμετοχή των εργαζομένων στην ανάπτυξη αυτών των προγραμμάτων. Όταν συμβεί αυτό, οι εργαζόμενοι όχι μόνο κατανοούν το σκοπό και τους μηχανισμούς του προγράμματος καλύτερα, αλλά ενδέχεται να είναι περισσότερο αφοσιωμένοι σε αυτό.

4.3.5 «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»

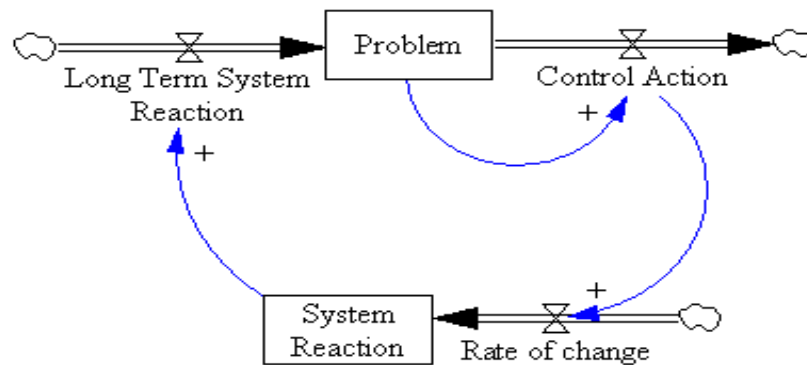
Το αρχέτυπο «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων» (Unintended side-effects of safety fixes) αποτελεί μια ειδική περίπτωση του αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν» (Fixes that Fail). Χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να αναλύσει περιπτώσεις όπου μια λύση που είναι αποτελεσματική σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα προκαλεί παρενέργειες μακροπρόθεσμα στη συμπεριφορά του συστήματος. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.31 το αρχέτυπο αυτό αποτελείται από ένα βρόχο αρνητικής ανάδρασης (Bfix) των διορθωτικών ενεργειών και ένα βρόχο θετικής ανάδρασης (R side effects) των ακούσιων παρενεργειών.



Σχήμα 4.31: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»

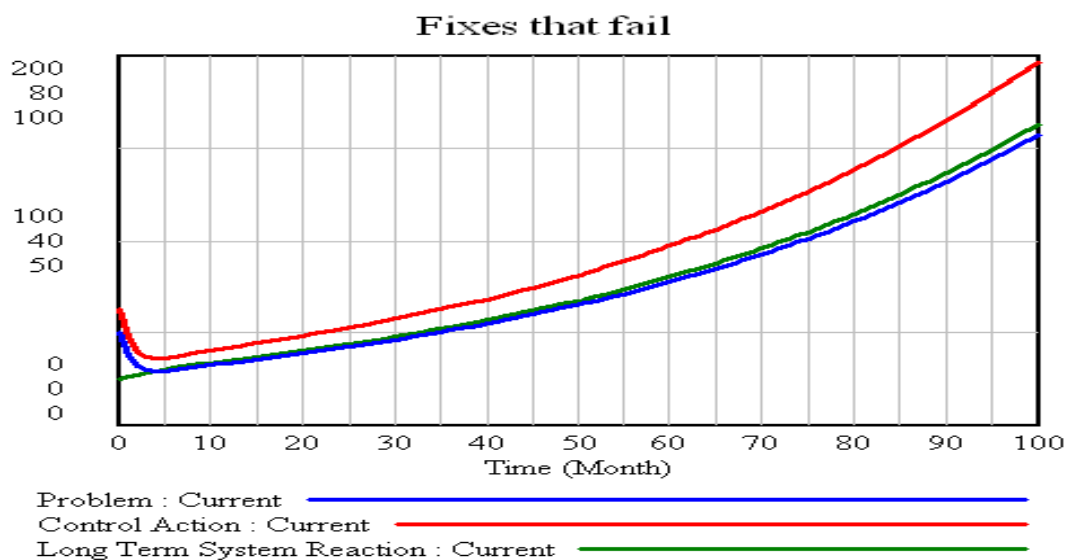
Ύστερα από κάποια χρονική καθυστέρηση οι δύο αυτοί βρόχοι ελέγχου επηρεάζουν το πρόβλημα, και καθιστούν σχετικά δύσκολη την αναγνώριση των αιτιών της νέας επιδείνωσης του προβλήματος.

Στο Σχήμα 4.32, φαίνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του αρχέτυπου αυτού. Οι βρόχοι αλληλεπιδρούν έτσι ώστε το επιθυμητό αποτέλεσμα που παράγεται από την προσωρινή λύση (αρνητικός βρόχος ανάδρασης Bfix) να αντισταθμίζεται από τις ανεπιθύμητες παρενέργειες που προκαλεί ο θετικός βρόχος ανάδρασης Rside μετά από κάποια καθυστέρηση. Παρόλο που, η προσωρινή λύση βελτιώνει αρχικά το πρόβλημα της ασφάλειας (Bfix), μετά από μια καθυστέρηση, η αντίδραση του συστήματος γίνεται ορατή και το πρόβλημα επιδεινώνεται. Αυτό προκαλεί μια τάση εφαρμογής της ίδιας προσέγγισης με πιο έντονο τρόπο (Rside). Κατά συνέπεια η πρόσκαιρη λύση συμβάλλει στην επιδείνωση του προβλήματος. Είναι πολύ σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η μια προσωρινή λύση ενδεχομένως να επιδεινώνει τη συνολική κατάσταση και να μη λύνει ουσιαστικά το πρόβλημα.



Σχήμα 4.32: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»

Το Σχήμα 4.33, παρουσιάζει τη γραφική επίλυση της συμπεριφοράς του παραπάνω αρχέτυπου όπου παρόλο που τα προβλήματα (Problem) μειώνονται πρόσκαιρα, κατά το διάστημα που εφαρμόζονται οι επιδιορθώσεις, οι μακροπρόθεσμες συνέπειες αυξάνονται. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αρχέτυπου είναι ότι με την πάροδο του χρόνου η συνεχιζόμενη μείωση του στόχου οδηγεί σε σταδιακή μείωση των επιδόσεων.

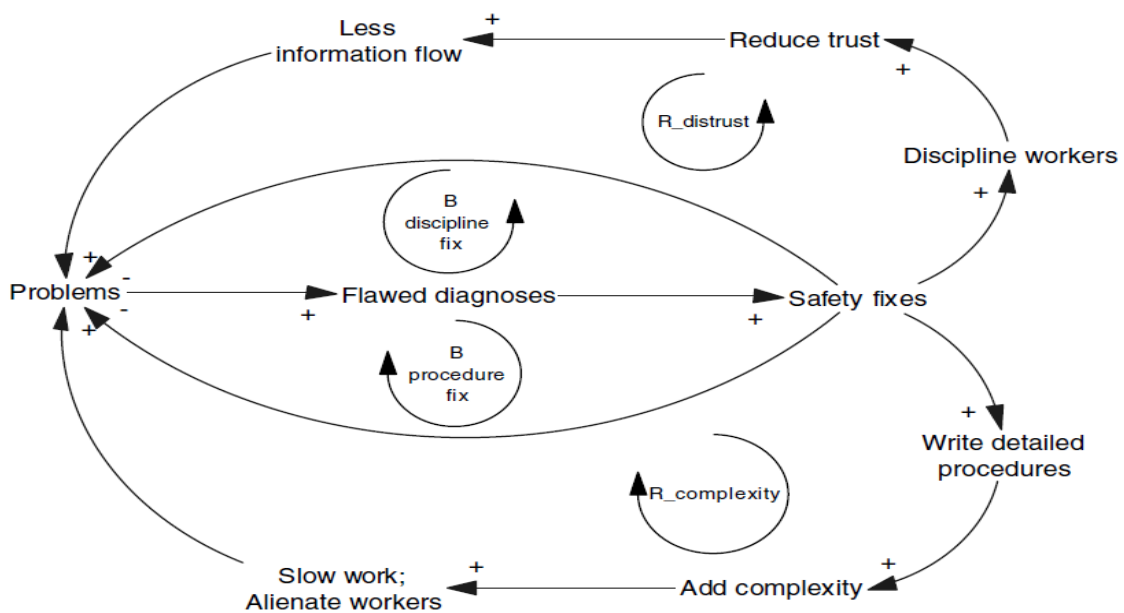


Σχήμα 4.33: Γράφημα αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»

Το παράδειγμα που ακολουθεί απεικονίζει δύο τακτικούς τύπους επιδιορθώσεων οι οποίοι είναι συχνά αναποτελεσματικοί: Ο πρώτος τύπος αφορά την πειθάρχηση των εργαζομένων και ο δεύτερος αφορά τη συμμόρφωση με λεπτομερείς γραπτές διαδικασίες.

4.3.6 «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»

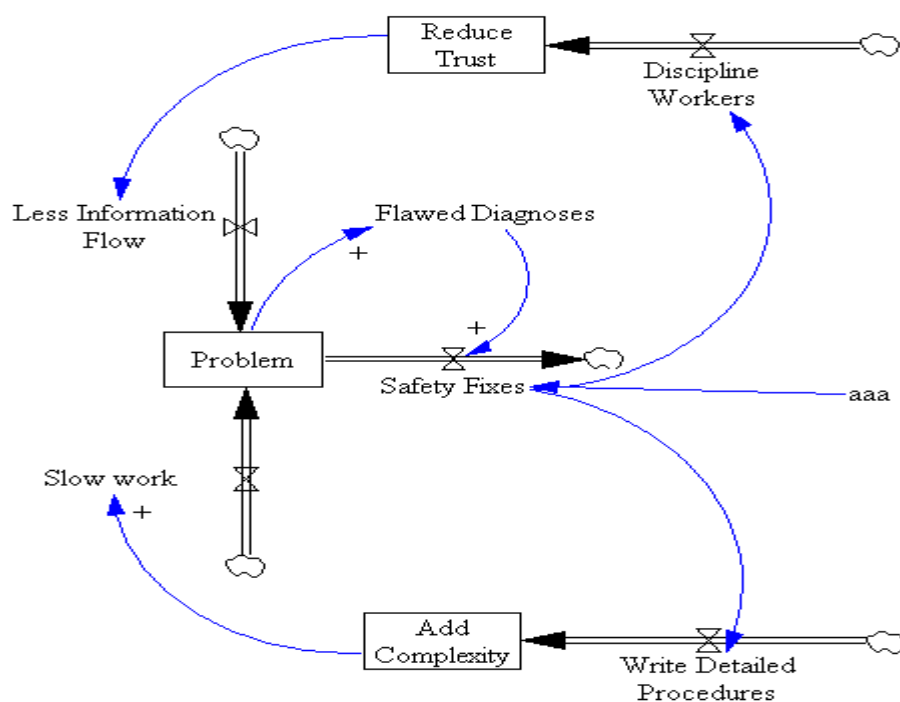
Το αρχέτυπο «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων» (Unsuccessful Problem Resolution), απεικονίζει μια συνηθισμένη παραλλαγή του αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων» (Unintended side-effects of Safety Fixes). Αποτελείται από δύο θετικούς βρόχους (R Distrust και R Complexity) και δύο αρνητικούς βρόχους ελέγχου (B discipline fix και B Procedure Fix). Σε αυτό το αρχέτυπο παρουσιάζονται δύο λύσεις προβλημάτων που σχετίζονται με τη συντήρηση και με άλλες βιομηχανικές διαδικασίες. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιρροής του Σχήματος 4.34, η πρώτη τυπική λύση αφορά την εφαρμογή γραπτών διαδικασιών ενώ η δεύτερη αφορά την πειθάρχηση των εργαζομένων με τις ισχύουσες διαδικασίες (B procedure fix και B discipline fix).



Σχήμα 4.34: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»

Όμως οι επιδιορθώσεις αυτές έχουν συχνά ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των ενισχυτικών βρόχων ανάδρασης Rdistrust και Rcomplexity πράγμα που επιδεινώνει το αρχικό πρόβλημα. Οι λεπτομερείς γραπτές διαδικασίες μπορούν να έχουν ως συνέπεια την πρόκληση λιγότερων λαθών στην εργασία. Όμως οι εργαζόμενοι έχουν την τάση να βλέπουν με δυσπιστία τις λεπτομερείς διαδικασίες και τη στενότερη επίβλεψη, πράγμα που μπορεί να μειώσει τα κίνητρα τους ή να προκαλέσει μια τυφλή ή κακόβουλη εφαρμογή των διαδικασιών.

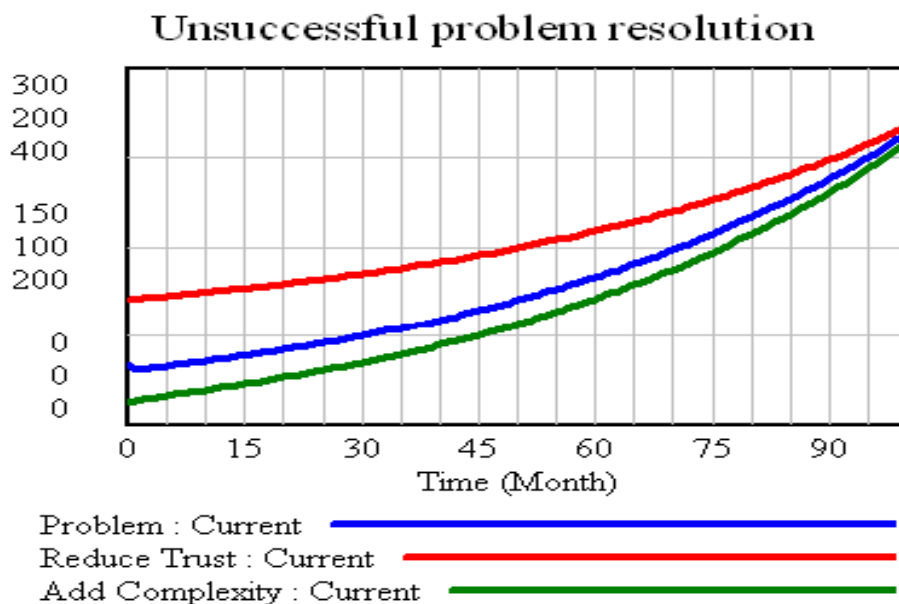
Οι έμπειροι εργαζόμενοι μπορούν να μη δέχονται να εργάζονται υπό το νέο παρεμβατικό καθεστώς με αποτέλεσμα να αναζητήσουν πιο ενδιαφέρουσες εργασίες σε άλλους οργανισμούς. Οι υπερβολικοί περιορισμοί στη συμπεριφορά των εργαζομένων μπορεί να τους αποθαρρύνουν να ασχοληθούν με την πραγματική επίλυση των προβλημάτων και τους ενθαρρύνουν να τηρούν τυφλά τις διαδικασίες, ακόμη και όταν αυτές οι διαδικασίες δεν αποτελούν την ενδεικνυόμενη λύση στο πρόβλημα.



Σχήμα 4.35: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»

Κατηγορώντας συχνά τους εργαζομένους για τα επικίνδυνα περιστατικά και επιβάλλοντας πειθαρχικές κυρώσεις, είναι δυνατόν να προκαλέσουν τάσεις απόκρυψης των προβλημάτων που υπάρχουν ή να δημιουργούνται πολύ πιο επικίνδυνες συνθήκες σε μια βιομηχανική εγκατάσταση.

Για παράδειγμα, όταν η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Federal Aviation Authority) παρείχε ασυλία από ποινικές διώξεις τους πιλότους που ανέφεραν περιστατικά ή ατυχήματα, ο αριθμός των αναφορών τριπλασιάστηκε. Αργότερα όταν αυτή η τροπολογία αποσύρθηκε, ο αριθμός των αναφορών μειώθηκε έξι φορές (Tamuz, 1994). Όταν τα περιστατικά αποκρύπτονται σκόπιμα, πολλά υποβόσκοντα προβλήματα δεν γίνονται ορατά και συχνά οδηγούν σε περισσότερα προβλήματα. Στο Σχήμα 4.36 φαίνεται το γράφημα της συμπεριφοράς του αρχέτυπου όπου τα προβλήματα λόγω της εφαρμογής των γραπτών διαδικασιών και της αυξημένης πειθαρχίας αυξάνονται ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης μείωσης της εμπιστοσύνης προς τους εργαζομένους και της αύξησης της πολυπλοκότητας των εργασιών που έχουν ανατεθεί στο προσωπικό.



Σχήμα 4.36: Γράφημα του αρχέτυπου «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»

4.4 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο, καταγράφηκαν εκείνες οι συμπεριφορές των ατόμων και των οργανισμών που εμφανίζονται αρκετά συχνά κατά τη μελέτη ενός συστήματος εργασίας οι οποίες ονομάζονται «αρχέτυπα». Αρχικά, παρουσιάστηκαν ορισμένα «κλασικά αρχέτυπα» τα οποία είναι διαδεδομένα σε ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων και αμέσως μετά μελετήθηκαν μερικά «αρχέτυπα ασφαλείας» τα οποία είναι δυνατόν να διαμορφώνουν κοινές οργανωτικές συμπεριφορές οι οποίες συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων.

Οι οργανωτικές αυτές συμπεριφορές καθίστανται χρήσιμες για τα επόμενα δύο κεφάλαια όπου αναπτύσσεται το Συνθετικό Μοντέλο, καθόσον αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την περιγραφή της βασικής δομής ενός εργασιακού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο, τα αρχέτυπα καθίστανται απαραίτητα για την απόκτηση ουσιαστικότερης γνώσης τόσο για τη φύση του προβλήματος, όσο και για την κατανόηση των εννοιών και στοιχείων με σκοπό τη θεμελίωση του Συνθετικού Μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΡΙΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός Μοντέλου Εκτίμησης Επικινδυνότητας στηριζόμενο στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα μοντέλο το οποίο αναλύει το εργασιακό σύστημα και τις επιχειρησιακές διαδικασίες ενός τυπικού ορυχείου προκειμένου να προβλέψει και να αναλύσει πιθανά περιστατικά ή ατυχήματα. Η διαδικασία της ανάλυσης έχει σκοπό αφενός την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος εργασίας, το οποίο μελετάται κάτω από εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του και αφετέρου, τη διευκόλυνση της λήψης των αποφάσεων έτσι ώστε να βελτιώνεται η συνολική λειτουργία του. Η λειτουργικότητα του νέου μοντέλου που θα δημιουργηθεί θα στηρίζεται στη μελέτη του δείκτη επικινδυνότητας όπως αυτός επηρεάζεται από ένα πλήθος εργασιακών και παραγωγικών μεταβλητών.

Αρχικά, περιγράφεται ένα μοντέλο «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια» που αφορά το ρόλο των προσπαθειών των εργαζομένων στην ασφάλεια με σκοπό τη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας.

Αμέσως μετά, περιγράφεται ένα μοντέλο «Δέσμευση των Εργαζομένων και Διοικούντων στην Ασφάλεια» που αφορά το ρόλο των εργαζομένων και των διοικούντων στην ασφάλεια με σκοπό τη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας. Τέλος, περιγράφεται ένα μοντέλο «Εξωτερικών Επιδράσεων στην Ασφάλεια» που μελετά κάποιες πιέσεις από εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μεταβλητές του συστήματος εργασίας.

Σκοπός της δημιουργίας των τριών προτύπων είναι αφενός η μελέτη της διαχείρισης της ασφάλειας από τους εργαζομένους και τους διοικούντες ώστε να μειωθεί ο δείκτης επικινδυνότητας και αφετέρου η δημιουργία μιας βάσης για την ανάπτυξη του Συνθετικού Μοντέλου της διατριβής.

5.2 Ο ρόλος της δέσμευσης και των προσπαθειών των εργαζομένων στην ασφάλεια

Στόχος του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια» είναι η μείωση του δείκτη επικινδυνότητας, προσεγγίζοντας τον προκαθορισμένο στόχο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα πρότυπο είναι ένα ομοίωμα του συστήματος με τη βοήθεια του οποίου δύναται κάποιος να πειραματιστεί σε ότι αφορά τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος. Όμως για να διαμορφωθεί το πρότυπο ενός συστήματος πρέπει να καταγραφούν όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Για να γίνει αυτό απαιτείται μια συστηματική προσέγγιση για την απεικόνιση του συστήματος. Η προσέγγιση της Δυναμικής Συστημάτων πραγματοποιείται με το διάγραμμα επιρροής και το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος.

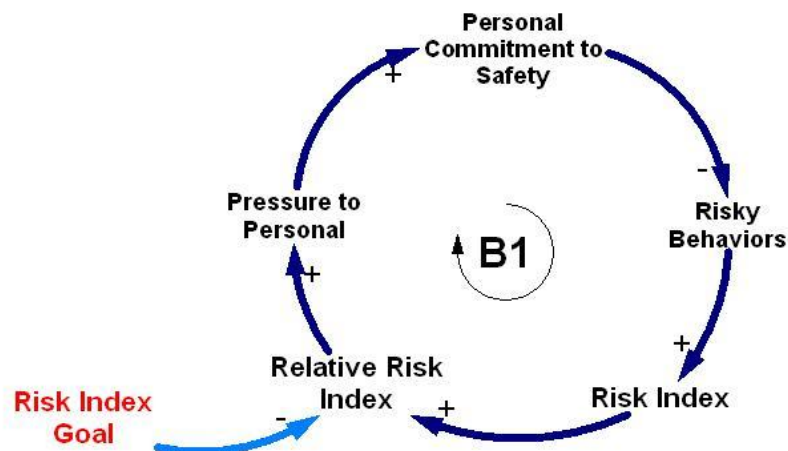
Οι παρακάτω παράγοντες αποτελούν τα στοιχεία της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων (Κοντογιάννης, 2017):

- *Θετική στάση απέναντι στο τμήμα υγιεινής και ασφάλειας*
- *Καλόβουλη και πιστή εφαρμογή των διαδικασιών*
- *Ελαχιστοποίηση των τάσεων απόκρυψης των προβλημάτων*
- *Χαμηλός βαθμός ανάληψης ρίσκου («προδιάθεση για ρίσκο»)*
- *Ομαδική εργασία και επικοινωνίες*

5.2.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια»

Η δομή ενός συστήματος στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων απεικονίζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων επιρροής. Το συγκεκριμένο διάγραμμα επιρροής που αναφέρεται στη δέσμευση των εργαζομένων, περιλαμβάνει ένα βρόχο αρνητικής ανάδρασης B1 ο οποίος περιγράφεται στην ενότητα αυτή.

Στο βρόχο B1 του διαγράμματος επιρροής (Σχήμα 5.1) παρατηρείται ότι με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety), μειώνονται οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors), με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης για δέσμευση των εργαζομένων (Pressure to Personal) με αποτέλεσμα να μειώνεται η δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους. Ως εκ τούτου, προκαλείται αύξηση των επικίνδυνων συμπεριφορών εκ μέρους των εργαζομένων με συνέπεια την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας.

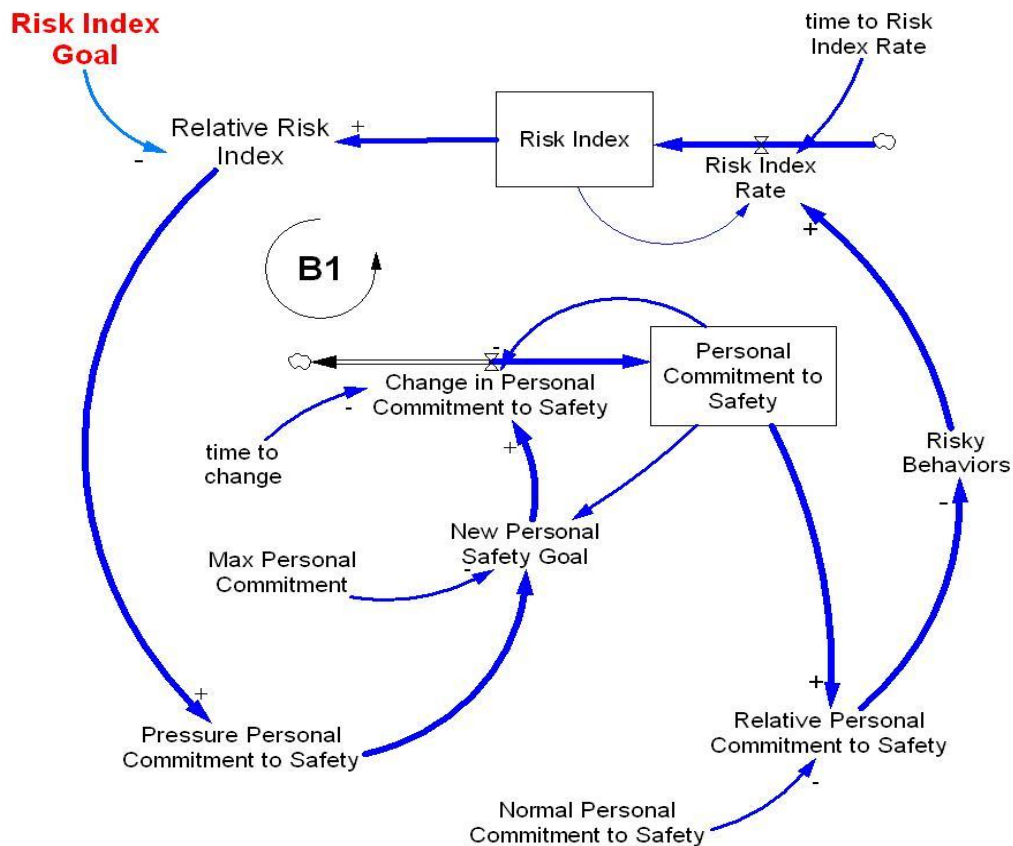


Σχήμα 5.1: Διάγραμμα επιρροής «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»

Λόγω αυτών των αρνητικών αναδράσεων, το σύστημα εισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος σε σχέση με το χρόνο να τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο (Risk Index Goal), στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί.

5.2.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια»

Παρόλο που το διάγραμμα επιρροής είναι ένα χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης της δομής ενός συστήματος παρουσιάζει και ορισμένους σχεδιαστικούς περιορισμούς. Ο σημαντικότερος περιορισμός είναι ότι στο διάγραμμα επιρροής δεν αναγνωρίζονται οι καταστατικές μεταβλητές και οι ροές του συστήματος. Όμως στη Δυναμική Συστημάτων, η αναγνώριση των μεταβλητών με τις οποίες περιγράφονται οι καταστάσεις και οι ροές του συστήματος αποτελεί μια κεντρική διαδικασία. Παρακάτω παρουσιάζεται η μετάβαση από το διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια» στο διάγραμμα ροών και καταστάσεων του, το οποίο αποτελεί το τελικό στάδιο απεικόνισης του συστήματος.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»

Ο ρόλος των εργαζομένων στη διαχείριση ασφάλειας

1. Ο βρόχος B1 απεικονίζει το ρόλο της δέσμευσης των εργαζομένων στην ασφάλεια με τη μεταβλητή *Personal Commitment to Safety*. Για την ακρίβεια, λαμβάνεται υπόψη μια σχετική τιμή της τρέχουσας κατάστασης σε σχέση με μια κανονική κατάσταση.

- **Relative Personal Commitment to Safety = $\frac{\text{Personal Commitment to Safety}}{\text{Normal Personal Commitment to Safety}}$**

2. Λαμβάνοντας υπ'όψιν την έρευνα του Cooke 2003, οι επικίνδυνες συμπεριφορές (risky behaviors) επηρεάζονται από τη σχετική δέσμευση της ασφάλειας των εργαζομένων (Relative Personal Commitment to Safety).

$$\text{Risky behaviors} = 1 / \text{Relative Personal Commitment to Safety}$$

3. Ο ρυθμός του δείκτη επικινδυνότητας επηρεάζεται από τις επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων.

$$\text{Risk Index Rate} = (\text{risky behaviors} - \text{Risk Index}) / \text{Time to Risk Index}$$

Για την τιμή του δείκτη επικινδυνότητας, υπολογίζεται το ολοκλήρωμα του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) από μια αρχική τιμή.

$$\text{Risk Index}(t) = \text{Initial Risk Index} + \int_0^t \text{Risk Index Rate}(t) dt$$

4. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο επιθυμητός στόχος του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal) σχηματίζεται η μεταβλητή σχετικός δείκτης επικινδυνότητας (Relative Risk Index) που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Relative Risk Index} = \text{IF THEN ELSE} (\text{Risk Index Goal} = 0, 1, \text{Risk Index} / \text{Risk Index Goal})$$

5. Όσο μειώνεται ο σχετικός δείκτης επικινδυνότητας τόσο μειώνεται η πίεση των εργαζομένων για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Personal Commitment to Safety).

$$\text{Pressure Personal Commitment to Safety} = \text{Relative Risk Index}$$

6. Η δέσμευση των εργαζομένων αποτελεί μια καταστατική μεταβλητή η οποία ξεκινά από μια αρχική τιμή (Initial Personal Commitment to Safety) και μεταβάλλεται με ένα ρυθμό Change in Personal Commitment to Safety ως εξής:

- $$\text{Personal Commitment to Safety}(t) = \text{Initial Personal Commitment to Safety} + \int_0^t \text{Change in Personal Commitment to Safety}(t) dt$$
- **Change in Personal Commitment to Safety= (New personal safety goal- Personal Commitment to Safety)/time to change**
 - **New Personal Safety Goal=min(Pressure Personal Commitment to Safety*Personal Commitment to Safety, Max Personal Commitment)**

Όπου:

New Personal Safety Goal= ο νέος στόχος της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων

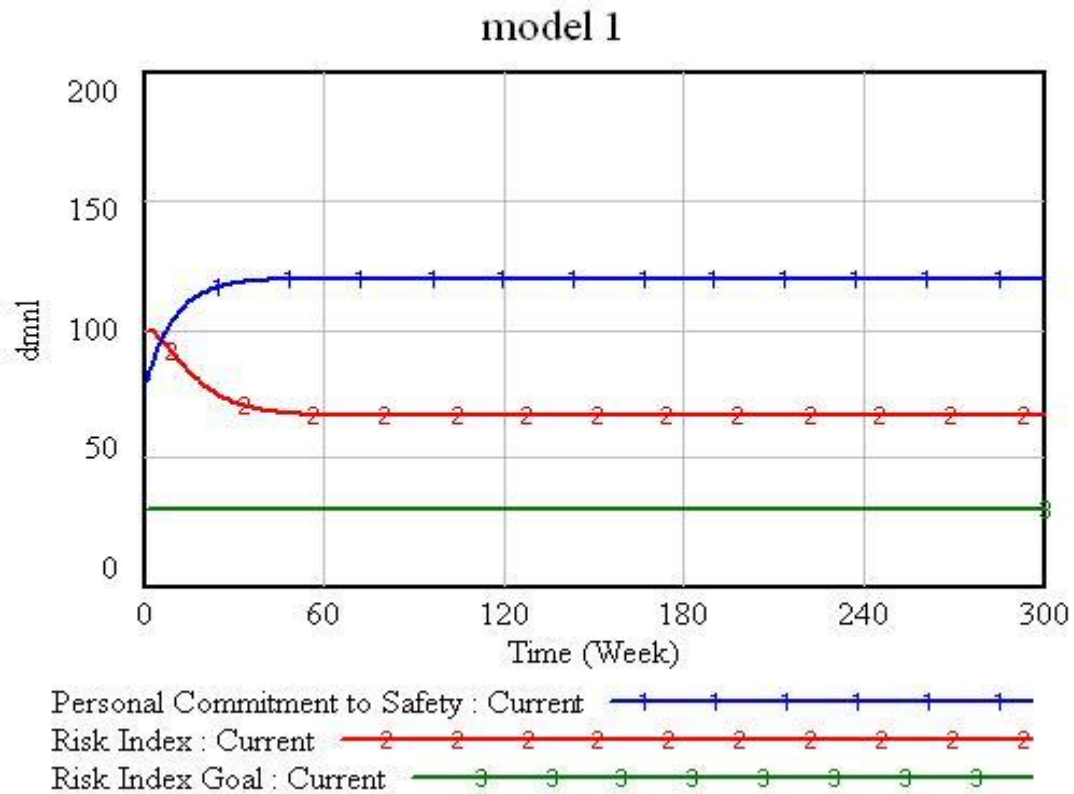
Change in Personal Commitment to Safety= ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων

Initial Personal Commitment to Safety= η αρχική τιμή της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές και οι τιμές τους στηρίχθηκαν στις τιμές των μεταβλητών του μοντέλου Ασφαλείας της έρευνας του Cooke 2003, η οποία αφορά τη μελέτη και τη διερεύνηση των αιτιών της καταστροφής του ορυχείου Westray.

- *Normal Personal Commitment to Safety*
- *Initial Personal Commitment to Safety*
- *Initial Risk Index*
- *Risk Index Goal*
- *Personal Commitment Goal*
- *time to change per commitment to safety*

Αμέσως μετά, φαίνεται το γράφημα συμπεριφοράς (Σχήμα 5.3) το οποίο προέκυψε από την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου ροών και καταστάσεων με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού.



Σχήμα 5.3: Γράφημα συμπεριφοράς «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»

Το σύστημα υπεισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο καθώς, στην αρνητική ανάδραση, η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο, στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους, ο δείκτης επικινδυνότητας μειώνεται και πλησιάζει τον προκαθορισμένο στόχο. Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί έχει δοθεί από εξωτερική πηγή (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο 67. Αυτό συμβαίνει διότι όταν μειωθεί αρκετά ο δείκτης επικινδυνότητας δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους

εργαζομένους με αποτέλεσμα να επιβραδύνονται οι προσπάθειές τους πράγμα που επιτυγχάνει μια ισορροπία του συστήματος σε μια τιμή αρκετά μεγαλύτερη από τον προκαθορισμένο στόχο.

5.3 Ο ρόλος της δέσμευσης των εργαζομένων και των διοικούντων στην ασφάλεια

Στο νέο μοντέλο λαμβάνεται υπόψη, όχι μόνο η δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους, αλλά και η δέσμευση της ασφάλειας από τη διοίκηση. Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί μία παραλλαγή του προηγούμενου μοντέλου, όπου η μείωση του δείκτη επικινδυνότητας στηρίχθηκε αποκλειστικά στη δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους. Στο πρώτο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα επιρροής του συστήματος ενώ στο δεύτερο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος.

5.3.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»

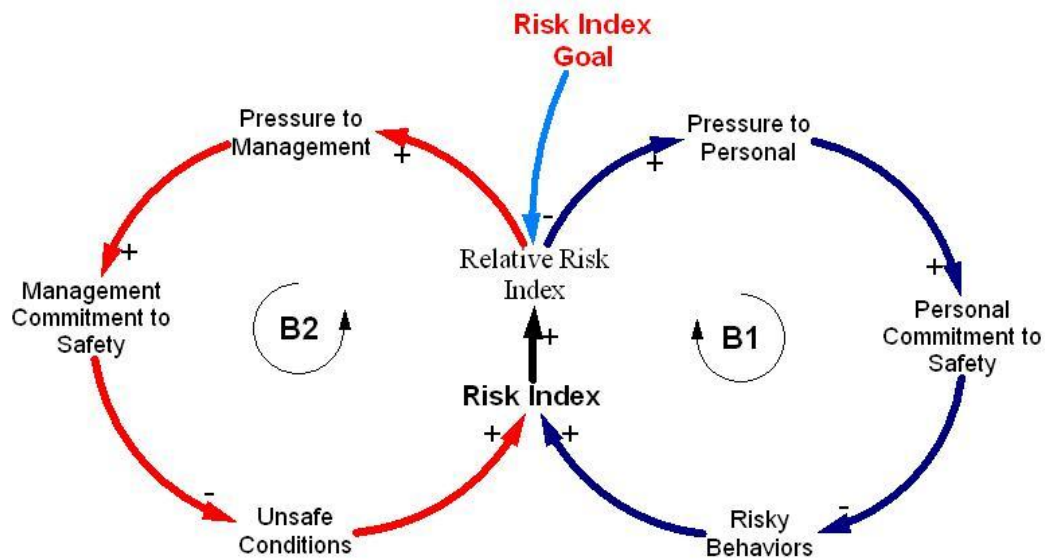
Η δομή ενός συστήματος στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων απεικονίζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων επιρροής. Το συγκεκριμένο διάγραμμα επιρροής για το σύστημα ασφαλείας, περιλαμβάνει το βρόχο B2 ο οποίος αφορά τη δέσμευση της ασφάλειας από τη διοίκηση και το βρόχο B1 ο οποίος αφορά τη δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους ο οποίος παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παράγραφο 5.2.1.

Στο βρόχο B2 του διαγράμματος επιρροής (Σχήμα 5.4) παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety) μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες εργασίας (Unsafe Conditions) οι οποίες, σε συνδυασμό με τις επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων (Risky Behaviors), μειώνουν το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Όταν όμως συμβεί αυτό, τότε

υπάρχει ένας λογικός εφησυχασμός από τη διοίκηση με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση για δέσμευση της διοίκησης (Pressure to Management) και εν συνεχεία, να μειώνεται η δέσμευση της διοίκησης (Management Commitment to Safety). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ανασφαλών συνθηκών εργασίας εκ μέρους της με συνέπεια την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας. Έτσι λόγω των αρνητικών αναδράσεων, το σύστημα τελικά εξισορροπεί σε μια κατάσταση όπου ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index) τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο (Risk Index Goal) και είναι μικρότερος σε σχέση με το μοντέλο «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια»

Οι παρακάτω παράγοντες αποτελούν τα στοιχεία της δέσμευσης της ασφάλειας της διοίκησης (Κοντογιάννης, 2017):

- *Σχεδίαση εξοπλισμού (Χωροθέτηση, επιγραφές, μέσα ατομικής προστασίας)*
- *Σχεδίαση πινάκων ελέγχου (Περιεκτικότητα, ομαδοποίηση, ιεράρχηση, συμβατότητα με χρήστες)*
- *Βοηθήματα/Εγχειρίδια εργασίας (Σαφήνεια, επάρκεια οδηγιών, ενημέρωση, λεπτομερέστερες γραπτές δοκιμασίες, προειδοποιήσεις, υποστήριξη αποφάσεων)*
- *Εκπαίδευση (Χρήση νέου εξοπλισμού, εξάσκηση σε νέες καταστάσεις, εξάσκηση στη χρήση εγχειριδίων για καταστάσεις ανάγκης, χρήση αυτόματου ελέγχου)*
- *Οργανωτικοί παράγοντες (Κανονισμοί ασφαλείας, καταμερισμός εργασίας, επικοινωνίες, ομαδικός προσανατολισμός)*
- *Βελτιστοποίηση συνθηκών εργασίας*
- *Συντήρηση του εξοπλισμού σε τακτά χρονικά διαστήματα*

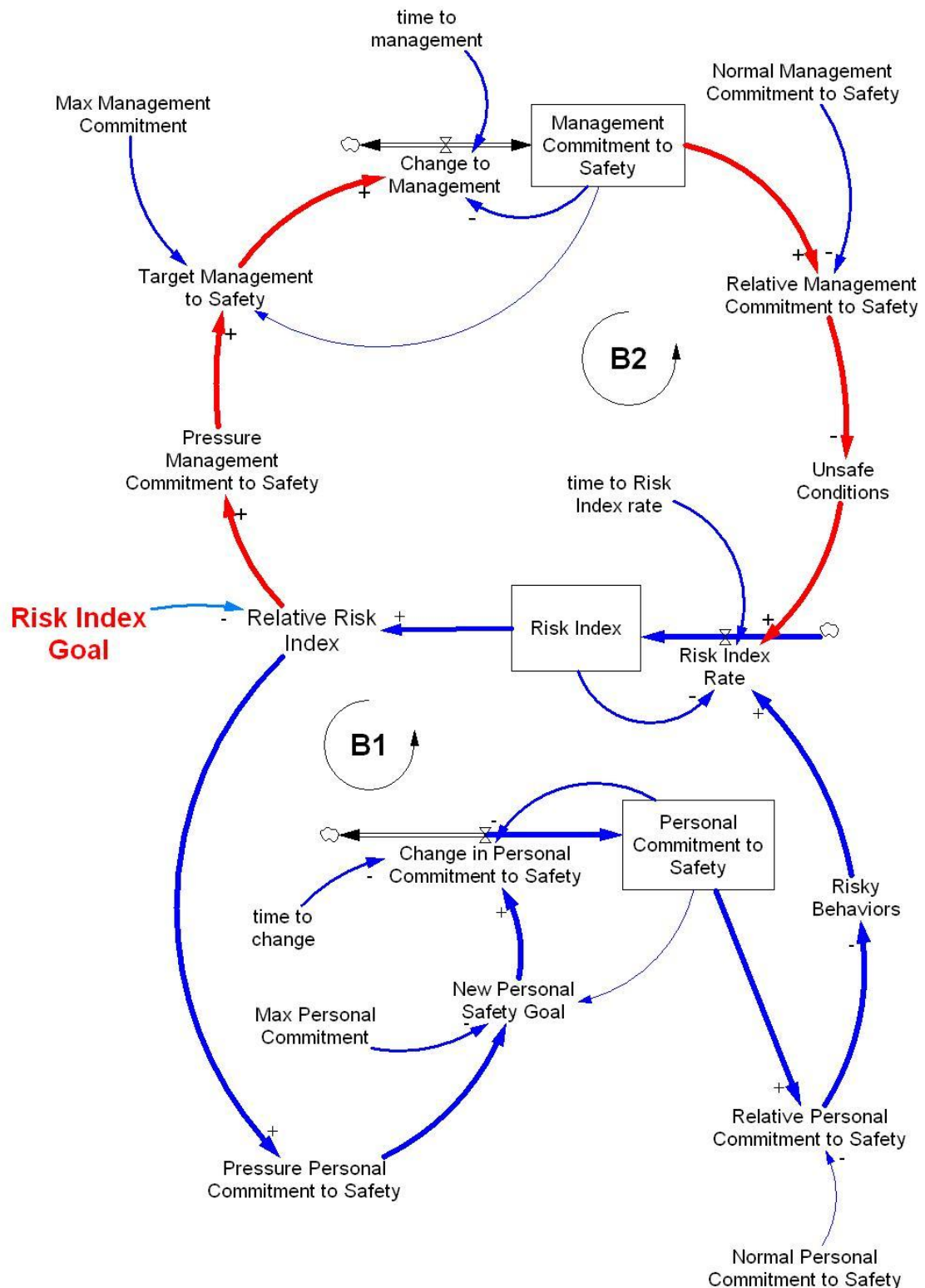


Σχήμα 5.4: Διάγραμμα επιρροής «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»

5.3.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»

Παρακάτω παρουσιάζεται η μετάβαση από το διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων και διοικούντων στην ασφάλεια» στο διάγραμμα ροών και καταστάσεων του, το οποίο αποτελεί το τελικό στάδιο απεικόνισης του συστήματος.

Ο βρόχος **B1** του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων και των διοικούντων στην ασφάλεια» που αφορά το ρόλο των εργαζομένων στη διαχείριση της ασφάλειας, είναι πανομοιότυπος με το βρόχο B1 του μοντέλου No1 ο οποίος αναλύθηκε εκτενώς στην προηγούμενη παράγραφο 4.2.2.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»

Ο ρόλος της Διοίκησης στη διαχείριση της ασφάλειας

1. Ο βρόχος B2 απεικονίζει τον ρόλο της δέσμευσης της διοίκησης στην ασφάλεια με τη μεταβλητή Management Commitment to Safety. Για την ακρίβεια, λαμβάνεται υπόψη μια σχετική τιμή της τρέχουσας κατάστασης σε σχέση με μια κανονική κατάσταση.

$$\text{➤ } \text{Relative Management Commitment to Safety} = \text{Management Commitment to Safety} / \text{Normal Management Commitment to Safety}$$

2. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την έρευνα του Cooke 2003, οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) επηρεάζονται από τη σχετική δέσμευση της ασφάλειας της διοίκησης (Relative Management Commitment to Safety).

$$\text{➤ } \text{Unsafe Conditions} = 1 / \text{Relative Management Commitment to Safety}$$

3. Ο ρυθμός του δείκτη επικινδυνότητας επηρεάζεται τόσο από τις επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων όσο και από τις ανασφαλείς συνθήκες εργασίας που προκαλούνται από αμέλεια της διοίκησης.

Risk Index Rate = ((Risky Behaviors * Unsafe Conditions) - Risk Index) / time to Risk Index rate

Για το δείκτη επικινδυνότητας, υπολογίζεται το ολοκλήρωμα του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) από μια αρχική τιμή.

$$\text{➤ } \text{Risk Index}(t) = \text{Initial Risk Index} + \int_0^t \text{Risk Index Rate}(t) dt$$

4. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο επιθυμητός στόχος του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal) σχηματίζεται η μεταβλητή σχετικός δείκτης επικινδυνότητας (Relative Risk Index) που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{➤ } \text{Relative Risk Index} = \text{IF THEN ELSE (Risk Index Goal} = 0, 1, \text{Risk Index / Risk Index Goal)}$$

5. Όσο μειώνεται ο σχετικός δείκτης επικινδυνότητας τόσο μειώνεται η πίεση της διοίκησης για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Management Commitment to Safety).

➤ **Pressure Management Commitment to Safety=Relative Risk Index**

6. Η δέσμευση της διοίκησης αποτελεί μια καταστατική μεταβλητή η οποία ξεκινά από μια αρχική τιμή (Initial Management Commitment to Safety) και μεταβάλλεται με ένα ρυθμό Change in Management Commitment to Safety ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & \text{Management Commitment to Safety}(t) = \\
 & \text{Initial Management Commitment to Safety} + \\
 & \int_0^t \text{Change in Management Commitment to Safety}(t) dt \\
 & \text{Change to Management} = (\text{Target Management to Safety} - \text{Management} \\
 & \text{Commitment to Safety}) / \text{time to management} \\
 & \min (\text{Max Management Commitment, Pressure Management Commitment} \\
 & \text{to Safety} * \text{Management Commitment to Safety})
 \end{aligned}$$

Όπου:

Target Management to Safety= ο στόχος της δέσμευσης της ασφάλειας για τη διοίκηση

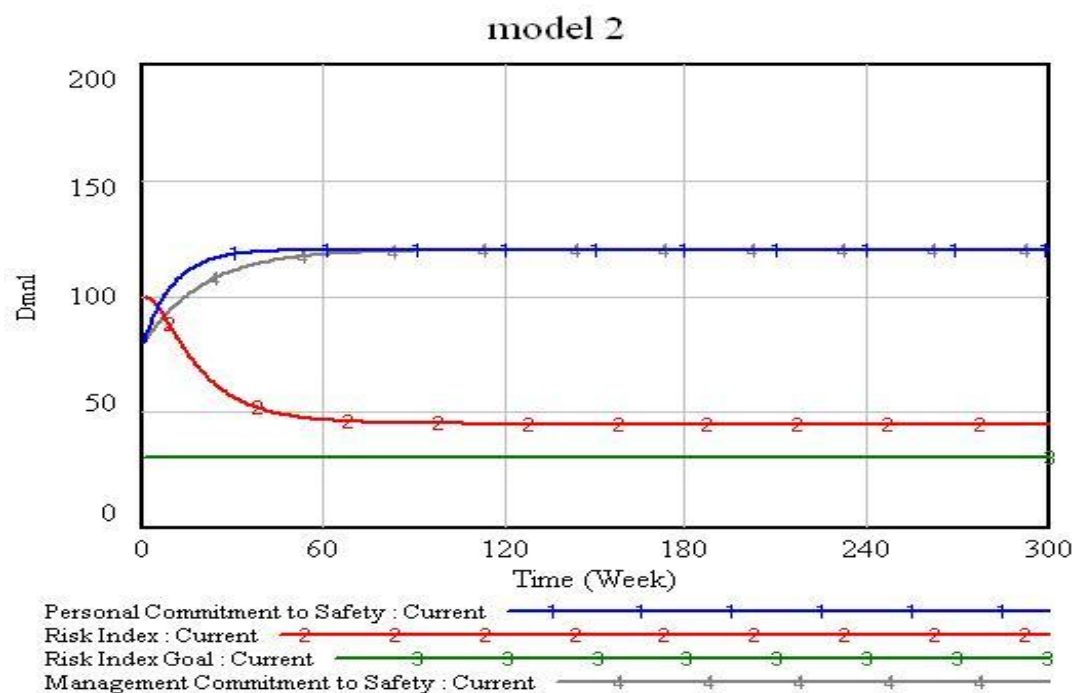
Change to Management= ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευση της ασφάλειας της διοίκησης

Initial Management Commitment to Safety= η αρχική τιμή της δέσμευσης της ασφάλειας της διοίκησης.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές και οι τιμές τους στηρίχθηκαν στις τιμές των μεταβλητών του μοντέλου Ασφαλείας της έρευνας του Cooke 2003, η οποία αφορά τη μελέτη και τη διερεύνηση των αιτιών της καταστροφής του ορυχείου Westray.

- *Normal Management Commitment to Safety*
- *Time to Risk Index*
- *Initial Risk Index*
- *Risk Index Goal*
- *time to management*
- *Max management Commitment*
- *Initial Management Commitment to Safety*

Αμέσως μετά, φαίνεται το γράφημα το οποίο προέκυψε από την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου ροών και καταστάσεων του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων και διοικούντων στην ασφάλεια» με τη βοήθεια του λογισμικού.



Σχήμα 5.6: Γράφημα συμπεριφοράς «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»

Όπως φαίνεται και στο γράφημα συμπεριφοράς του Σχήματος 5.6, το σύστημα υπεισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος σε σχέση με το χρόνο να τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα το σύστημα ισορροπεί. Συγκεκριμένα παρατηρείται, ότι όσο αυξάνεται η δέσμευση των εργαζομένων και η δέσμευση της διοίκησης, ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index) μειώνεται και πλησιάζει τον προκαθορισμένο στόχο. Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί έχει δοθεί από εξωτερική πηγή (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο 44.4. Αυτό συμβαίνει διότι όταν μειωθεί αρκετά ο δείκτης επικινδυνότητας δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τη διοίκηση και τους εργαζομένους με αποτέλεσμα να επιβραδύνονται οι προσπάθειές τους πράγμα που επιτυγχάνει μια ισορροπία του συστήματος σε μια τιμή μεγαλύτερη από τον προκαθορισμένο στόχο αλλά μικρότερη σε σχέση με το μοντέλο «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια».

5.4 Εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια του συστήματος εργασίας

Η καινοτομία του τρίτου μοντέλου είναι ότι εξετάζει κάποιες πιέσεις από εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μεταβλητές του συστήματος. Στο πρώτο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα επιρροής του συστήματος ενώ στο δεύτερο στάδιο διαμορφώνεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του συστήματος.

5.4.1 Διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα επιρροής (Σχήμα 5.7) το σύστημα ασφαλείας περιλαμβάνει το βρόχο B1 ο οποίος αφορά τη δέσμευση των εργαζομένων και το βρόχο B2 ο οποίος αφορά τη δέσμευση της διοίκησης.

Produce), τόσο μικρότερο θα είναι το ενδιαφέρον των διοικητικών στελεχών για την ασφάλεια (Pressure to Management). Παρόλο που η ανάλυση του ρόλου των πιέσεων παραγωγής απαιτεί μια ξεχωριστή μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, είναι δυνατόν να αποκτηθεί μια αρχική εντύπωση μέσω της απλής ενσωμάτωσης μιας μεταβλητής (Relative Management to Produce) στο προηγούμενο μοντέλο.

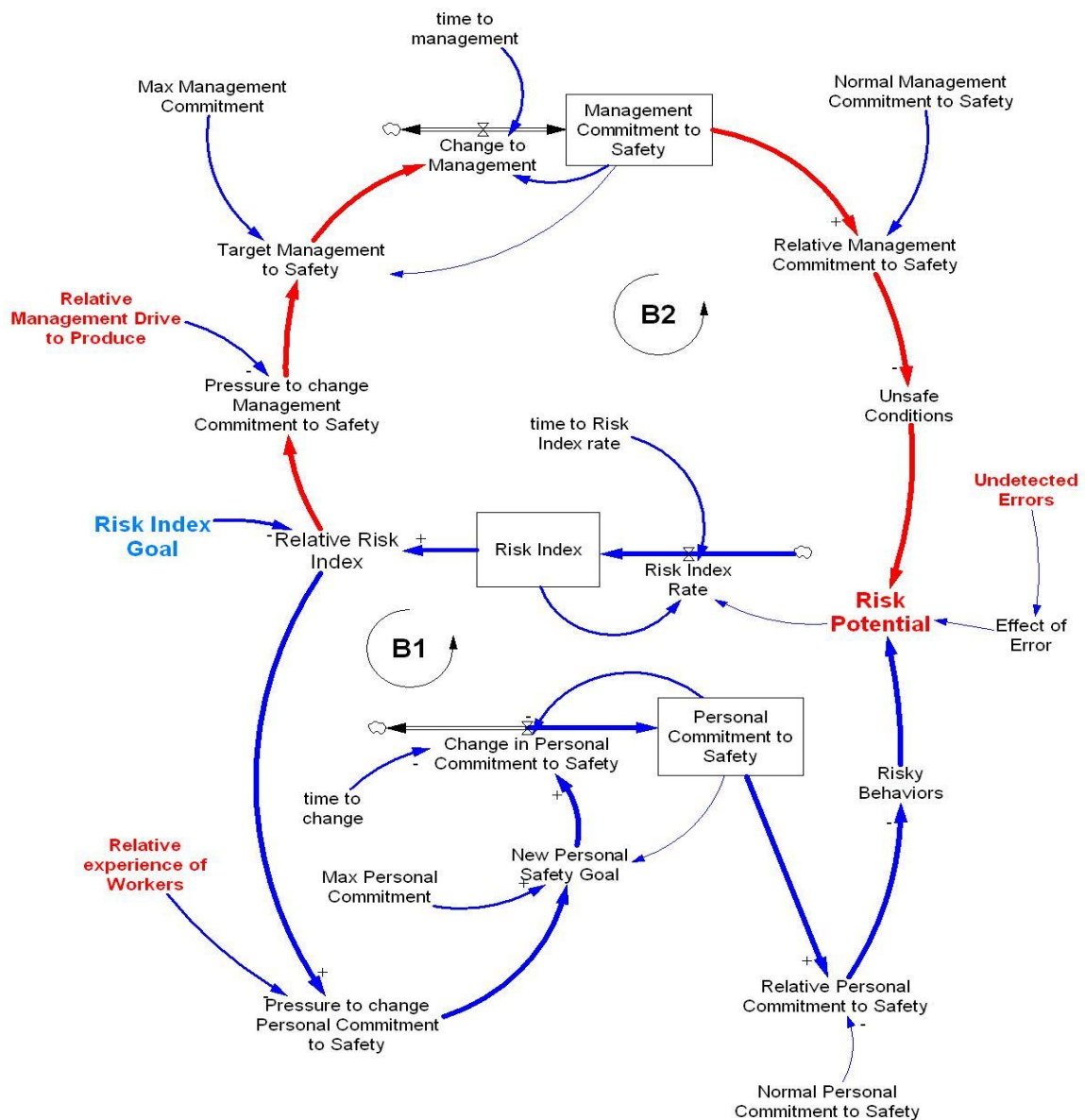
Επίσης, στο συγκεκριμένο διάγραμμα λαμβάνονται υπόψη οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων να εντοπίζουν τυχόν λάθη κατά την εκτέλεση των εργασιών που παρουσιάζονται στην παραγωγική διαδικασία. Συγκεκριμένα, αναμένεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αδιάγνωστων λαθών τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι επιπτώσεις τους στην ασφάλεια (Risk Potential). Τα αδιάγνωστα λάθη σε συνδυασμό με τις επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων και τις ανασφαλείς συνθήκες εκ μέρους της διοίκησης επηρεάζουν το δυνητικό ρίσκο.

5.4.2 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»

Παρακάτω, παρουσιάζεται η μετάβαση από το διάγραμμα επιρροής του μοντέλου «εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια» στο διάγραμμα ροών και καταστάσεων του, το οποίο αποτελεί το τελικό στάδιο απεικόνισης του συστήματος. Στην αρχή, το μοντέλο ξεκινάει με συγκεκριμένες αρχικές τιμές για τις δεσμεύσεις της ασφάλειας της διοίκησης και των εργαζομένων, οι οποίες στη συνέχεια αλλάζουν ως αντίδραση στις διάφορες πιέσεις που δέχονται. Συγκεκριμένα, η δέσμευση της διοίκησης για την ασφάλεια ανταποκρίνεται στις πιέσεις που ασκούνται από την επίδραση της παραγωγής. Απεναντίας, η δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους ανταποκρίνεται στις πιέσεις που ασκούνται από τη σχετική εμπειρία των εργαζομένων. Και οι δύο δεσμεύσεις μαζί, ανταποκρίνονται στις πιέσεις που ασκούνται από τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors).

Συγκεκριμένα, στο βρόχο B1 η πίεση των εργαζομένων για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Personal Commitment to Safety) επηρεάζεται από τη σχετική εμπειρία των εργαζομένων (Relative Experience of Workers). Όσο αυξάνεται η εμπειρία των εργαζομένων τόσο μειώνεται το ενδιαφέρον τους (καθώς έχουν εξοικειωθεί με τον

κίνδυνο) για τήρηση των μέτρων ασφαλείας και κατ' επέκταση επιτυγχάνεται μικρότερη δέσμευσή για την ασφάλεια (Γεωργουλάκης, 2000). Ο βρόχος B1 του μοντέλου «εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια» που αφορά το ρόλο των εργαζομένων στη διαχείριση της ασφάλειας, είναι πανομοιότυπος με το βρόχο B1 του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων και διοικούντων στην ασφάλεια» ο οποίος αναλύθηκε εκτενώς στην παράγραφο 5.2.2.



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»

Συγκεκριμένα, στο βρόχο B2 η πίεση των διοικούντων για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Management Commitment to Safety) επηρεάζεται από τις επιδράσεις της παραγωγής. Όσο αυξάνεται το άγχος για μεγαλύτερη παραγωγή (Relative Management Drive to Produce), τόσο μικρότερο θα είναι το ενδιαφέρον των διοικητικών στελεχών για την ασφάλεια (Pressure to Management). Ο βρόχος B2 του μοντέλου «εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια» που αφορά το ρόλο της διοίκησης στη διαχείριση της ασφάλειας, είναι πανομοιότυπος με το βρόχο B2 του μοντέλου «δέσμευση των εργαζομένων στην ασφάλεια» ο οποίος αναλύθηκε εκτενώς στην παράγραφο 5.3.2.

Η εξέταση της κατανομής που ακολουθούν οι ρυθμοί των λαθών είναι σημαντική όταν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη των μεταβλητών και εργασιακών παραγόντων που ασκούν αξιόλογη επιρροή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται σε ποιο βαθμό τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) μπορούν να επηρεάσουν το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential). Ο πίνακας Effect of Error συνδέει το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) με την ανθρώπινη αξιοπιστία η οποία εκφράζεται με τον αριθμό των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors) που δεν έχουν εντοπιστεί στο υποσύστημα Ενεργειών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων.

Ο δείκτης επικινδυνότητας αφορά την πιθανότητα να προκύψει κάποιο περιστατικό ή ατύχημα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα από τον αριθμό των ατυχημάτων ή των περιστατικών καθώς και από τις συνέπειες που θα προέκυπταν από αυτό.

➤ **Risk Potential= F (UC, RB, UDE)**

➤ **Risk Potential= Unsafe Conditions*Risky Behaviors*Effect of Error**

- Η μεταβλητή Δυνητικο Ρίσκο (Risk Potential) κυμαίνεται σε κλίμακα από **1-200**
- Οι μεταβλητές των Ανασφαλών Συνθηκών (Unsafe Conditions) και των Επικίνδυνων Συμπεριφορών (Risky Behaviors) κυμαίνονται σε κλίμακα από **0-1**

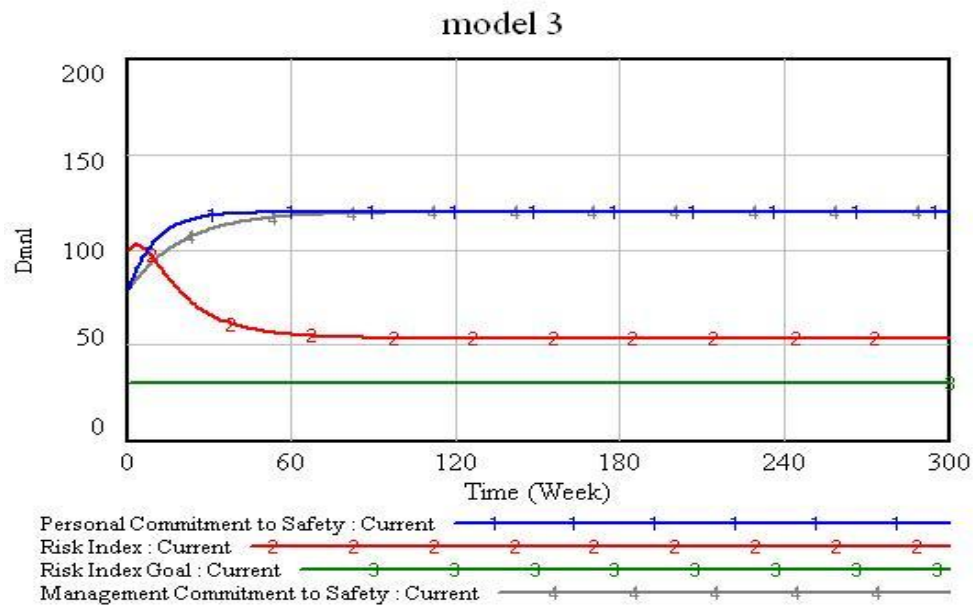
- Ο πίνακας (Effect of Error) που συνδέει την Ανθρώπινη Αξιοπιστία με το Δυνητικό Ρίσκο κυμαίνεται σε κλίμακα από **1-10**
- Η μεταβλητή Δείκτης Επικινδυνότητας (Risk Index) κυμαίνεται σε κλίμακα από **1-200**

Αμέσως μετά παρουσιάζεται ένας πίνακας ο οποίος βαθμονομεί το Δείκτη Επικινδυνότητας ανάλογα με το πόσο πιθανό θεωρείται να συμβεί ένα περιστατικό ή ατύχημα. Ο συγκεκριμένος πίνακας θεωρείται σημαντικός τόσο για τα τρία μοντέλα που αναπτύχθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο όσο και για την ανάλυση ευαισθησίας που θα εκπονηθεί για το Συνθετικό Μοντέλο της παρούσας εργασίας, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το πόσο είναι πιθανό να συμβεί ένα περιστατικό ή ατύχημα υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους.

Πίνακας 5.1: Βαθμονόμηση Δείκτη Επικινδυνότητας

Δείκτης Επικινδυνότητας	Περιγραφή Επικινδυνότητας
$150 < \text{Risk Index} < 300$	Κρίσιμη: Υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης συμβάντος
$100 < \text{Risk Index} < 150$	Υψηλή: Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης συμβάντος
$70 < \text{Risk Index} < 100$	Μέτρια: Υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης ανεπιθύμητου συμβάντος
$50 < \text{Risk Index} < 70$	Χαμηλή: Η επικινδυνότητα είναι ελεγχόμενη χωρίς να αποκλείεται η εκδήλωση συμβάντος
$\text{Risk Index} < 50$	Αμελητέα: Η επικινδυνότητα είναι ασήμαντη

Αμέσως μετά, φαίνεται το γράφημα συμπεριφοράς το οποίο προέκυψε από την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου ροών και καταστάσεων του μοντέλου «εξωτερικές επιδράσεις στην ασφάλεια» με τη βοήθεια του λογισμικού.



Σχήμα 5.9: Γράφημα συμπεριφοράς «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»

Όπως φαίνεται και στο γράφημα συμπεριφοράς του Σχήματος 5.9, το σύστημα υπεισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής του δείκτη επικινδυνότητας να τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο, στο οποίο τελικά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ισορροπεί. Παρατηρείται, ότι όσο αυξάνεται η δέσμευση της ασφάλειας από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index) μειώνεται και πλησιάζει τον προκαθορισμένο στόχο. Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί έχει δοθεί από εξωτερική πηγή (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο 53. Αυτό συμβαίνει διότι όταν μειωθεί αρκετά ο δείκτης επικινδυνότητας δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τη διοίκηση και τους εργαζομένους με αποτέλεσμα να επιβραδύνονται οι προσπάθειές τους πράγμα που επιτυγχάνει μια ισορροπία του συστήματος σε μια τιμή μεγαλύτερη από τον προκαθορισμένο στόχο.

5.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό δημιουργήθηκε αρχικά το μοντέλο «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια» το οποίο αφορά το ρόλο των προσπαθειών των εργαζομένων στην ασφάλεια με σκοπό τη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το μοντέλο «Δέσμευση των Εργαζομένων και Διοικούντων στην Ασφάλεια» που αφορά το ρόλο των εργαζομένων και των διοικούντων για την ασφάλεια με σκοπό επίσης τη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας. Τέλος, δημιουργήθηκε το μοντέλο των «Εξωτερικών Επιδράσεων στην Ασφάλεια» που μελετά πως κάποιες πιέσεις από εξωτερικούς παράγοντες επηρεάζουν τις μεταβλητές του συστήματος.

Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά το Συνθετικό Μοντέλο της διατριβής όπου με τη βοήθεια του λογισμικού Vensim θα δοκιμαστεί κάτω από εναλλακτικά Σενάρια ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

6.1 Εισαγωγή

Τα τρία μοντέλα που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός σύνθετου μοντέλου για τις διαδικασίες ασφαλείας. Επιπλέον θα εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις με άλλες επιχειρησιακές διαδικασίες που αφορούν την παραγωγή (Production Subsystem), τη διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού (Human Resources Subsystem) και τη διαχείριση των εργασιών και αστοχιών (Task Backlog & Errors Subsystem).

Η καινοτομία του Συνθετικού Μοντέλου έγκειται στη μελέτη των αλληλεπιδράσεων των τεσσάρων επιχειρησιακών διαδικασιών και την εξέταση των εξωτερικών επιδράσεων. Στη νέα προσέγγιση, η επικινδυνότητα δεν είναι μια στατική έννοια αλλά μια δυναμική έννοια η οποία αναδύεται από την αλληλεπίδραση πολλών επιχειρησιακών διαδικασιών. Επιπλέον μελετάται η διακύμανση της επικινδυνότητας στο χρόνο καθώς μια παροδική μείωση αυτής μπορεί να αυξήσει υπέρμετρα τις προσδοκίες των διοικούντων οι οποίοι είναι δυνατόν να σταματήσουν τις υπάρχουσες επενδύσεις για την ασφάλεια.

6.2 Εποπτικό διάγραμμα επιρροής

Η δομή ενός συστήματος στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων απεικονίζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων επιρροής. Το συγκεκριμένο εποπτικό διάγραμμα επιρροής του Συνθετικού μοντέλου (Σχήμα 6.1) αποτελείται από πέντε βρόχους αρνητικής ανάδρασης οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα τέσσερα υποσυστήματα που προαναφέρθηκαν.

Το **Υποσύστημα Ασφάλειας**, αποτελείται από δύο βρόχους B1 και B2 που απεικονίζουν τις δεσμεύσεις των εργαζομένων και της διοίκησης. Η μελέτη των μοντέλων ασφαλείας, έχει απασχολήσει στο παρελθόν πολλές έρευνες που σχετίζονται με τη Δυναμική Συστημάτων (Cooke 2003, Gang et al., 2012; Jiang et al., 2015; Shin et al., 2014; Wang et al., 2016).

Στο βρόχο B1, παρατηρείται ότι με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων (Personal Commitment to Safety) μειώνονται οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) των εργαζομένων (Cooke 2003), με αποτέλεσμα να μειώνεται το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) το οποίο με τη σειρά του μειώνει το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Όταν όμως μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας, τότε υπάρχει ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους που συντελεί στη μείωση της πίεσης για δέσμευση των εργαζομένων σε ζητήματα ασφάλειας (Pressure to Personal). Ως εκ τούτου, αυξάνεται ο αριθμός των επικίνδυνων συμπεριφορών εκ μέρους των εργαζομένων με αποτέλεσμα την αύξηση του δυνητικού ρίσκου (Risk Potential) το οποίο με τη σειρά του αυξάνει το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα υπεισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος σε σχέση με το χρόνο να τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο, στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί. Επιπλέον μείωση της δέσμευσης, είναι δυνατόν να προκληθεί από τους έμπειρους εργαζομένους πράγμα που απεικονίζεται με τη μεταβλητή (Relative Experience of Workers).

Στο βρόχο B2 απεικονίζεται ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο είναι δυνατόν να γίνει ο έλεγχος του υποσυστήματος της Ασφάλειας (Safety Subsystem). Από το Σχήμα 6.1,

παρατηρείται ότι με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας της διοίκησης (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) εκ μέρους της διοίκησης (Cooke 2003), με αποτέλεσμα να μειώνεται το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) το οποίο με τη σειρά του μειώνει το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Αυτό προκαλεί εφησυχασμό στη διοίκηση πράγμα το οποίο μειώνει την πίεση για δέσμευση της διοίκησης σε θέματα ασφάλειας (Pressure to Management). Αποτέλεσμα της μείωσης της δέσμευσης της διοίκησης είναι η αύξηση των ανασφαλών συνθηκών εκ μέρους της με αποτέλεσμα την αύξηση του δυνητικού ρίσκου (Risk Potential) το οποίο με τη σειρά του αυξάνει το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Επιπλέον μείωση της δέσμευσης είναι δυνατόν να προκληθεί από αύξηση των αναγκών της παραγωγής πράγμα που απεικονίζεται με τη μεταβλητή (Relative Management Drive to Produce).

Επίσης, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) ως εξωτερική πηγή πίεσης από το υποσύστημα των Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων επηρεάζουν το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential). Τέλος, οι βρόχοι B1 και B2 του διαγράμματος επιρροής, δέχονται επιδράσεις από το βρόχο B3 ο οποίος αποτελεί το υποσύστημα της Παραγωγής και από το βρόχο B4 ο οποίος αποτελεί το υποσύστημα του Ανθρώπινου Δυναμικού.

Το υποσύστημα της Παραγωγής (Production Subsystem), ελέγχεται μέσω του **βρόχου B3** ο οποίος ρυθμίζει το απόθεμα του προϊόντος (Inventory). Όταν αυξηθεί το επιθυμητό απόθεμα (Desired Inventory), η διόρθωση του αποθέματος (Inventory Correction) ενεργοποιεί το μηχανισμό διόρθωσης & αποκατάστασης του αποθέματος. Ως εκ τούτου προκαλείται αύξηση του στόχου του ρυθμού παραγωγής (Production Rate Goal) με αποτέλεσμα το απόθεμα (Inventory) να φτάσει τον επιθυμητό στόχο (Desired Inventory). Αν όμως μειωθεί το επιθυμητό απόθεμα, τότε ενεργοποιείται ο μηχανισμός διόρθωσης και αποκατάστασης του αποθέματος με αποτέλεσμα τη μείωση του στόχου του ρυθμού παραγωγής (Production Rate Goal). Ως εκ τούτου, το σύστημα εισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος σε σχέση με το χρόνο να τείνει σε ένα όριο, στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί. Επισημαίνεται ότι ο βρόχος B3 δέχεται

Το υποσύστημα του **Ανθρώπινου Δυναμικού** (Human Resources Subsystem), ελέγχεται μέσω του **βρόχου B4** ο οποίος ρυθμίζει το εργατικό δυναμικό (Workforce). Όταν αυξηθεί το επιθυμητό εργατικό δυναμικό (Desired Workforce), η μεταβλητή Workforce Correction ενεργοποιεί το μηχανισμό διόρθωσης & αποκατάστασης του εργατικού δυναμικού με συνέπεια την αύξηση του ρυθμού προσλήψεων (Hiring rate) με αποτέλεσμα το εργατικό δυναμικό να φτάσει τον επιθυμητό στόχο (Desired Workforce). Αν όμως, μειωθεί το επιθυμητό εργατικό δυναμικό, ενεργοποιείται ο μηχανισμός διόρθωσης & αποκατάστασης του, αποτέλεσμα το εργατικό δυναμικό να φτάσει τον επιθυμητό στόχο. Ως εκ τούτου, το σύστημα εισέρχεται σε ένα εξισορροπητικό κύκλο με αποτέλεσμα η τιμή της μεταβλητής που εκφράζει την κατάσταση του συστήματος σε σχέση με το χρόνο να τείνει σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό όριο (Risk Index Goal), στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί.

Επισημαίνεται ότι ο βρόχος B4 του διαγράμματος επιρροής δέχεται επιδράσεις από το υποσύστημα της Παραγωγής (βρόχος B3) και από το υποσύστημα της Ασφάλειας (βρόχοι B1 και B2). Επίσης δέχεται επιρροή από το υποσύστημα των Εργασιών σε εκκρεμότητα & σφαλμάτων και από το ρυθμό παραγγελιών (Order Rate) ο οποίος αποτελεί την κινητήριο δύναμη του συστήματος.

Το **υποσύστημα των Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων** (Task Backlog & Errors Subsystem), ελέγχεται μέσω του **βρόχου B5** ο οποίος ρυθμίζει τις εργασίες σε εκκρεμότητα (Task Backlog). Σε αυτό το υποσύστημα, εισέρχονται οι νέες εργασίες οι οποίες παραμένουν στο «απόθεμα» για επεξεργασία και εξέρχονται όταν ολοκληρώνονται. Ουσιαστικά ο βρόχος B5 δείχνει ότι καθώς αυξάνονται οι εργασίες σε εκκρεμότητα, αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure) με σκοπό την ταχύτερη ολοκλήρωση των εργασιών. Επίσης, το σύστημα περιλαμβάνει μία επιπλέον καταστατική μεταβλητή των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors).

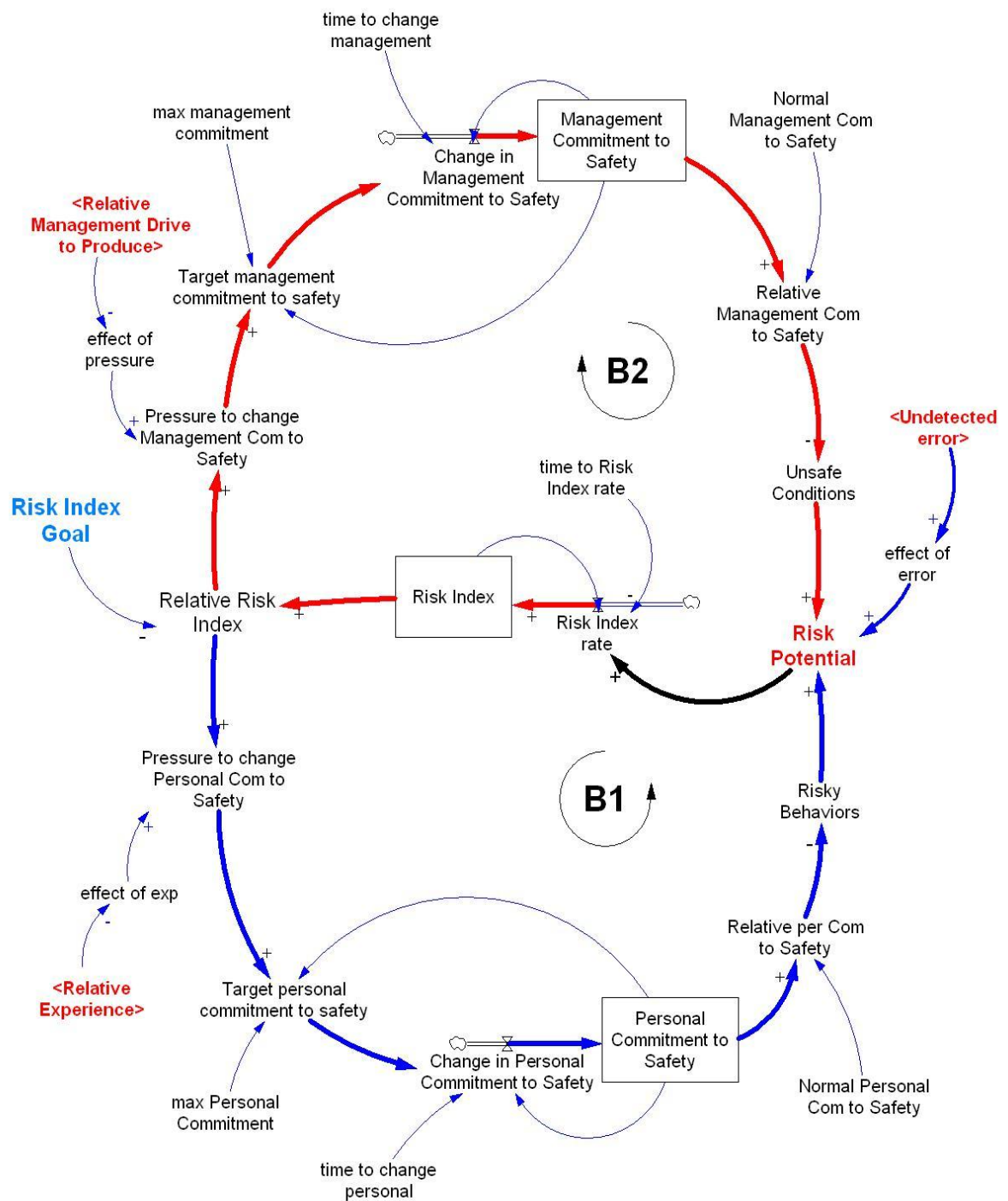
Επισημαίνεται ότι ο βρόχος B5 του διαγράμματος επιρροής δέχεται επιδράσεις από το υποσύστημα της Παραγωγής (βρόχος B3) και από το υποσύστημα του Ανθρώπινου Δυναμικού (βρόχος B4). Επίσης, δέχεται την επιρροή του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) ο οποίος αποτελεί την κινητήριο δύναμη του συστήματος.

6.3 Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του Συνθετικού Μοντέλου

Ακολούθως παρουσιάζεται το διάγραμμα ροών και καταστάσεων του Συνθετικού Μοντέλου, το οποίο αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα, (1) το υποσύστημα Ασφαλείας (Safety Subsystem), (2) το υποσύστημα Παραγωγής (Production Subsystem), (3) το υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources Subsystem) και (4) το υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων (Task Backlog & Errors Subsystem).

6.3.1 Υποσύστημα ασφαλείας

Το υποσύστημα Ασφαλείας (Safety Subsystem) ελέγχεται από δύο συμπληρωματικούς βρόχους (αρνητικής ανάδρασης) οι οποίοι αναφέρονται στη δέσμευση και στις προσπάθειες που καταβάλλουν οι εργαζόμενοι και οι διοικούντες αντίστοιχα και επηρεάζουν την επικινδυνότητα (Risk Index).



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος ασφαλείας του Συνθετικού Μοντέλου (Safety Subsystem)

Ο ρόλος των εργαζομένων στη διαχείριση ασφάλειας

1. Ο βρόχος B1 απεικονίζει το ρόλο της δέσμευσης των εργαζομένων στην ασφάλεια με τη μεταβλητή Personal Commitment to Safety. Για την ακρίβεια, λαμβάνεται υπόψη μια σχετική τιμή της τρέχουσας κατάστασης σε σχέση με μια κανονική κατάσταση.

➤ **Relative Personal Commitment to Safety= Personal Commitment to Safety/Normal Personal Commitment to Safety**

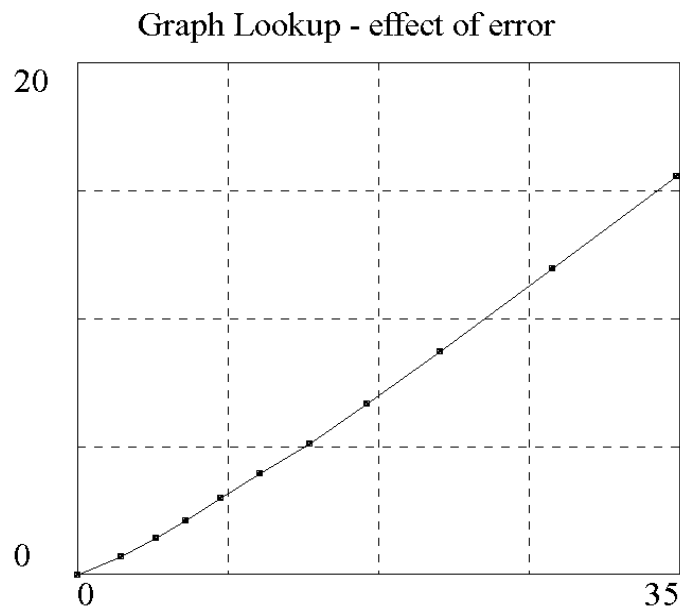
2. Λαμβάνοντας υπ'όψιν την έρευνα του Cooke 2003, οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) επηρεάζονται από τη σχετική δέσμευση της ασφάλειας των εργαζομένων (Relative Personal Commitment to Safety).

➤ **Risky Behaviors= 1/ Relative Personal Commitment to Safety**

3. Το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) επηρεάζεται τόσο από τις επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) του βρόχου B1 και τις ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) του βρόχου B2, όσο και από την ανθρώπινη αξιοπιστία που εκφράζεται με τον αριθμό των λαθών (Undetected Errors) που δεν έχουν εντοπιστεί στο υποσύστημα Ενεργειών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων.

➤ **Risk Potential= Unsafe Conditions*Risky Behaviors*effect of error**

Όπου effect of error είναι ένας πίνακας που συνδέει το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) με την ανθρώπινη αξιοπιστία η οποία εκφράζεται με τον αριθμό των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors) τα οποία δεν έχουν εντοπιστεί στο υποσύστημα Ενεργειών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων.



Σχήμα 6.3: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «effect of error»

4. Ο ρυθμός του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) επηρεάζεται από το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential).

➤ **Risk Index Rate= (Risk Potential-Risk Index)/ time to Risk Index)**

Για το δείκτη επικινδυνότητας, υπολογίζεται το ολοκλήρωμα του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) από μια αρχική τιμή.

➤ **$Risk Index(t) = Initial Risk Index + \int_0^t Risk Index Rate(t) dt$**

5. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο επιθυμητός δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index Goal) σχηματίζεται η μεταβλητή σχετικός δείκτης επικινδυνότητας (Relative Risk Index) που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

➤ **Relative Risk Index=IF THEN ELSE (Risk Index Goal=0, 1, Risk Index / Risk Index Goal)**

6. Όσο μειώνεται ο σχετικός δείκτης επικινδυνότητας (Relative Risk Index), τόσο μειώνεται η πίεση των εργαζομένων για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Personal Commitment to Safety). Επίσης, όσο αυξάνεται η σχετική εμπειρία των εργαζομένων (Relative Experience) η οποία αποτελεί επιρροή από το υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού, τόσο μειώνεται το ενδιαφέρον των εργαζομένων για δέσμευση της ασφάλειας.

- **Pressure to change Personal Com to Safety = Relative Risk Index*(effect of exp)**
- **effect of exp= 1/Relative Experience**

7. Η δέσμευση των εργαζομένων αποτελεί μια καταστατική μεταβλητή η οποία ξεκινά από μια αρχική τιμή (Initial Personal Commitment to Safety) και μεταβάλλεται με ένα ρυθμό Change in Personal Commitment to Safety ως εξής:

- $$\text{Personal Commitment to Safety}(t) = \text{Initial Personal Commitment to Safety} + \int_0^t \text{Change in Personal Commitment to Safety}(t) dt$$
- **Change in Personal Commitment to Safety= (Target Personal Commitment to Safety-Personal Commitment to Safety)/time to change per com to safety**
 - **Target personal commitment to safety= min(Pressure to change Personal Com to Safety*Personal Commitment to Safety, max Personal Commitment)**

Όπου:

Target personal commitment to safety =ο στόχος της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων

Change in Personal Commitment to Safety= ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων

Initial Personal Commitment to Safety= η αρχική τιμή της δέσμευσης της ασφάλειας των εργαζομένων.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές:

- *Normal Personal Commitment to Safety*
- *Initial Personal Commitment to Safety*
- *Time to Risk Index*
- *Initial Risk Index*
- *Risk Index Goal*
- *Personal Commitment Goal*
- *time to change per commitment to safety*
- *Relative Experience*

Ο ρόλος της διοίκησης στη διαχείριση της ασφάλειας

1. Ο βρόχος B2 απεικονίζει τον ρόλο της δέσμευσης της διοίκησης στην ασφάλεια με τη μεταβλητή Management Commitment to Safety. Για την ακρίβεια, λαμβάνεται υπόψη μια σχετική τιμή της τρέχουσας κατάστασης σε σχέση με μια κανονική κατάσταση.

- **Relative Management Commitment to Safety = Management Commitment to Safety/Normal Management Commitment to Safety**

2. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την έρευνα του Cooke 2003, οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) επηρεάζονται από τη σχετική δέσμευση της ασφάλειας της διοίκησης (Relative Management Commitment to Safety).

- **Unsafe Conditions=1/ Relative Management Commitment to Safety**

3. Το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential) επηρεάζεται τόσο από τις επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) του βρόχου B1 και τις ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) του βρόχου B2, όσο και από την ανθρώπινη αξιοπιστία που εκφράζεται με τον αριθμό των λαθών (Undetected Errors) που δεν έχουν εντοπιστεί στο υποσύστημα Ενεργειών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων.

➤ **Risk Potential= Unsafe Conditions*Risky Behaviors*effect of error**

4. Ο ρυθμός του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) επηρεάζεται από το δυνητικό ρίσκο (Risk Potential).

➤ **Risk Index Rate= (Risk Potential-Risk Index)/ time to Risk Index)**

Για το δείκτη επικινδυνότητας, υπολογίζεται το ολοκλήρωμα του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Rate) από μια αρχική τιμή.

➤ **$Risk Index(t) = Initial Risk Index + \int_0^t Risk Index Rate(t) dt$**

5. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο επιθυμητός δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index Goal) σχηματίζεται η μεταβλητή σχετικός δείκτης επικινδυνότητας (Relative Risk Index) που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

➤ **Relative Risk Index=IF THEN ELSE (Risk Index Goal=0, 1, Risk Index / Risk Index Goal)**

6. Όσο μειώνεται ο σχετικός δείκτης επικινδυνότητας τόσο μειώνεται η πίεση της διοίκησης για δέσμευση της ασφάλειας (Pressure Management Commitment to Safety). Επίσης, όσο αυξάνονται οι πιέσεις για μεγαλύτερη παραγωγή (Relative Management to Produce) τόσο μικρότερο θα είναι το ενδιαφέρον των διοικητικών στελεχών για την ασφάλεια (Pressure to Management).

➤ **Pressure to change Management Com to Safety = (Relative Risk Index)*(effect of pressure)**

7. Η δέσμευση της διοίκησης αποτελεί μια καταστατική μεταβλητή η οποία ξεκινά από μια αρχική τιμή (Initial Management Commitment to Safety) και μεταβάλλεται με ένα ρυθμό Change in Management Commitment to Safety ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & \text{Management Commitment to Safety}(t) = \\
 & \text{Initial Management Commitment to Safety} + \\
 & \int_0^t \text{Change in Management Commitment to Safety}(t) dt
 \end{aligned}$$

➤ **Change to Management= (Target management commitment to safety- Management Commitment to Safety)/time to change management**

➤ **Target management commitment to safety= min(Pressure to change Management Com to Safety*Management Commitment to Safety, max management commitment)**

Όπου:

Target Management to Safety= ο στόχος της δέσμευσης της ασφάλειας της διοίκησης

Change to Management= ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευση της ασφάλειας της διοίκησης

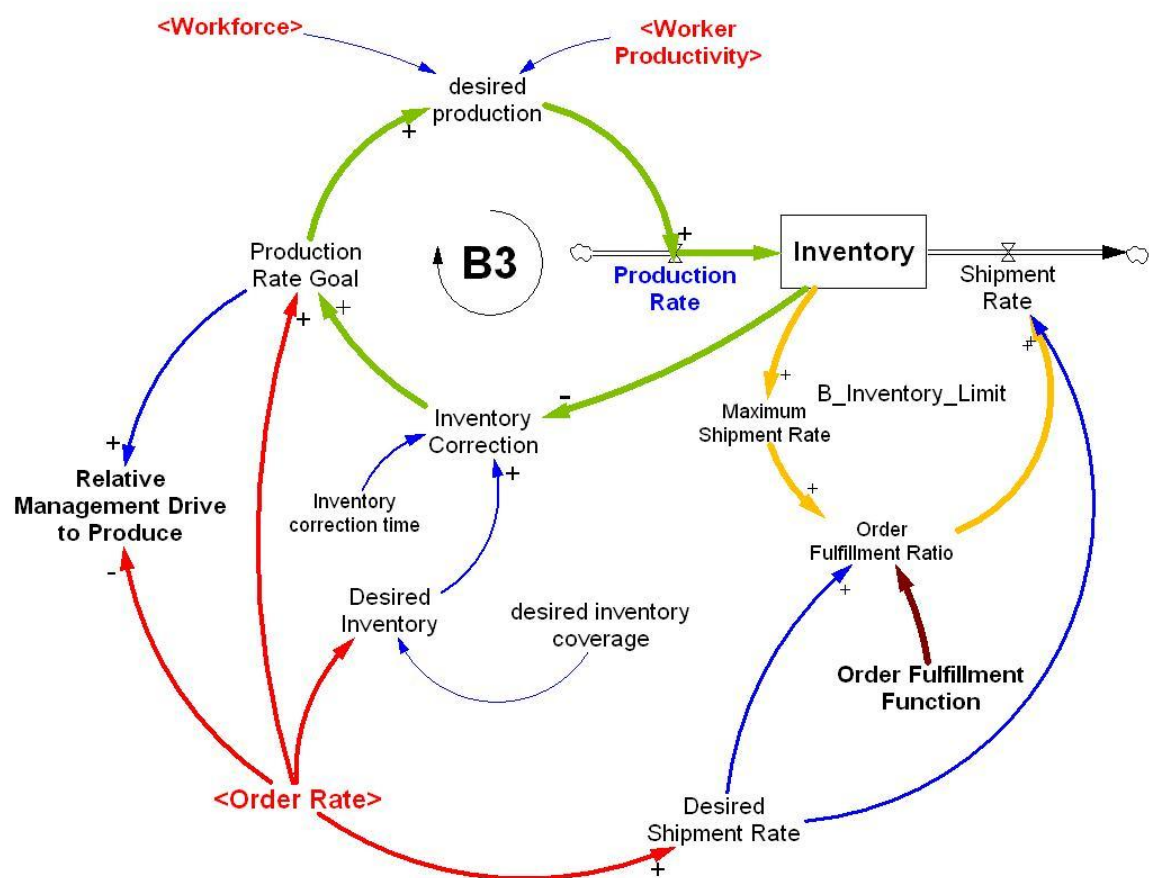
Initial Management Commitment to Safety= η αρχική τιμή της δέσμευσης της ασφάλειας της διοίκησης.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές:

- *Normal Management Commitment to Safety*
- *Time to Risk Index*
- *Initial Risk Index*
- *Risk Index Goal*
- *Max management Commitment*
- *Initial Management Commitment to Safety*

6.3.2 Υποσύστημα παραγωγής

Το Υποσύστημα Παραγωγής (Production Subsystem) ελέγχεται με δύο τρόπους: (1) Έλεγχος του ρυθμού αύξησης του αποθέματος (βρόχος B3) και (2) Έλεγχος του ρυθμού μείωσης του αποθέματος, οι οποίοι ρυθμίζουν το απόθεμα (βρόχος B_Inventory_Limit).



Σχήμα 6.4: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Παραγωγής του Συνθετικού Μοντέλου (Production Subsystem)

Βρόχος αρνητικής ανάδρασης B3

Σκοπός του συγκεκριμένου βρόχου ανάδρασης είναι η ενεργοποίηση του μηχανισμού αποκατάστασης του αποθέματος με τη βοήθεια της μεταβλητής Inventory Correction, έτσι ώστε το απόθεμα (Inventory) να φτάσει στον επιθυμητό στόχο (Desired Inventory) ο οποίος προκύπτει από τον ρυθμό των παραγγελιών (Order Rate) που δίνονται.

1. Στο βρόχο αρνητικής ανάδρασης B3, παρατηρείται ότι η διόρθωση αποθέματος (Inventory Correction) επηρεάζεται από το επιθυμητό στόχο (Desired Inventory) και από το χρόνο διόρθωσης αποθέματος (Inventory Correction Time). Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξής:

- **Inventory Correction= (Desired Inventory-Inventory)/Inventory correction time**
- **Desired Inventory=Order Rate*desired inventory coverage**

2. Η επιχείρηση προσδιορίζει έναν επιθυμητό ρυθμό παραγωγής (Production Rate Goal) ο οποίος επιτυγχάνει μια διόρθωση του αποθέματος (Inventory Correction) λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό παραγγελιών (Order Rate).

- **Production Rate Goal=max (0, Inventory Correction+Order Rate)**

3. Ωστόσο, εάν ο επιθυμητός στόχος παραγωγής (desired production) υπερβαίνει τη δυναμικότητα του συστήματος τότε λαμβάνεται υπόψη μόνο η πραγματική δυνατότητα παραγωγής. Αυτή η παραδοχή εκφράζεται ως ακολούθως:

- **Desired production= min (Production Rate Goal, Workforce*Worker Productivity)**

4. Το απόθεμα (Inventory) είναι μία καταστατική μεταβλητή η οποία εκφράζεται με την ακόλουθη μορφή.

$$\text{Inventory}(t) = \text{Desired Inventory} + \int_0^t [\text{Production Rate}(t) - \text{Shipment Rate}(t)] dt$$

Όπου Production Rate ο ρυθμός παραγωγής, Shipment Rate ο ρυθμός αποστολής και Desired Inventory η αρχική τιμή του αποθέματος.

Βρόχος αρνητικής ανάδρασης B Inventory Limit

Ο συγκεκριμένος βρόχος ανάδρασης είναι απαραίτητος αφενός για την αποφυγή αρνητικών αποθεμάτων και αφετέρου για την παροχή ρεαλιστικής απόκρισης του ρυθμού αποστολής όταν ο επιθυμητός ρυθμός αποστολής πλησιάζει τη μέγιστη τιμή του. Ακολουθώντας την πρακτική του *Sterman (2000)*, έχει οριστεί μια λειτουργία η οποία ονομάζεται λειτουργία εκπλήρωσης παραγγελιών (Order Fulfillment Function) ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί αυτή η απόκριση. Οι παράμετροι αυτής της λειτουργίας είναι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται από τον Sterman.

1. Στο βρόχο αρνητικής ανάδρασης B_Inventory Limit παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το απόθεμα τόσο αυξάνεται ο μέγιστος ρυθμός αποστολής (Maximum Shipment Rate).

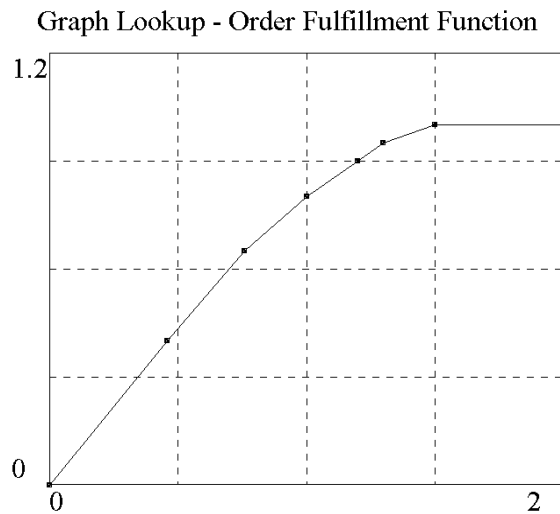
$$\text{Maximum Shipment Rate} = \text{Inventory} / \text{minimum shipping delay}$$

όπου minimum shipping delay η ελάχιστη καθυστέρηση της αποστολής

2. Όσο αυξάνεται ο μέγιστος ρυθμός αποστολής τόσο αυξάνεται η αναλογία εκπλήρωσης των παραγγελιών (Order Fulfillment Ratio).

$$\text{Order Fulfillment Ratio} = \text{Order Fulfillment Function} (\text{Maximum Shipment Rate} / \text{Desired Shipment Rate})$$

όπου Order Fulfillment Function είναι ένας πίνακας που αφορά τη λειτουργία εκπλήρωσης παραγγελιών ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί αυτή η απόκριση.



Σχήμα 6.5: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Order Fulfillment Function»

3. Όσο αυξάνεται η αναλογία εκπλήρωσης των παραγγελιών, τόσο αυξάνεται ο ρυθμός αποστολής (Shipment Rate), όπου όσο αυξάνεται ο ρυθμός αποστολής, τόσο μειώνεται το απόθεμα του ορυχείου.

➤ **Shipment Rate= Desired Shipment Rate*Order Fulfillment Ratio**

Όπου

Relative Management Drive to Produce («άγχος» της διοίκησης για την παραγωγή) =
Production Rate Goal / Order Rate

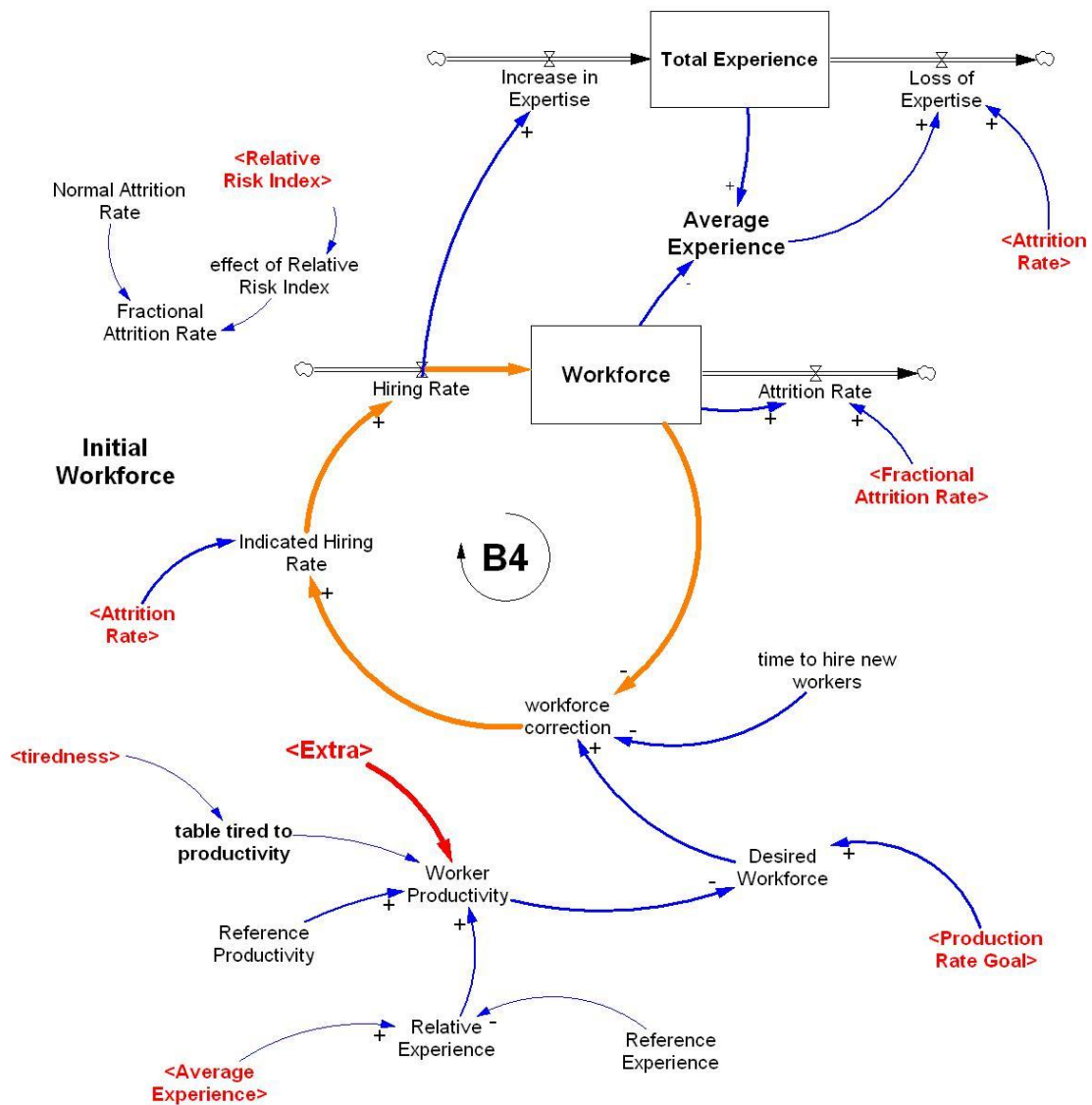
Desired Inventory Coverage =Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές:

- *Inventory correction time*
- *desired inventory coverage*
- *minimum shipping delay*

6.3.3 Υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού

Το υποσύστημα του Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources Subsystem), ελέγχεται μέσω του **βρόχου B4** ο οποίος ρυθμίζει το εργατικό δυναμικό (Workforce). Επίσης, το σύστημα περιλαμβάνει μία επιπλέον καταστατική μεταβλητή που αναφέρεται στη συνολική εμπειρία των εργαζομένων (Total Experience).



Σχήμα 6.6: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Ανθρώπινου Δυναμικού του Συνθετικού Μοντέλου (Human Resources Subsystem)

Μηχανισμός αποκατάστασης εργατικού δυναμικού

Σκοπός του συγκεκριμένου βρόχου ανάδρασης B4, είναι η ενεργοποίηση του μηχανισμού αποκατάστασης του αριθμού των εργαζομένων (Workforce) με τη βοήθεια της μεταβλητής Workforce Correction έτσι ώστε ο αριθμός των εργαζομένων (Workforce), να φτάσει την επιθυμητή τιμή του αριθμού των εργαζομένων (Desired Workforce). Αυτό επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του ρυθμού πρόσληψης (Hiring Rate) και του ρυθμού απόλυσης (Attrition Rate) των εργαζομένων του ορυχείου.

1. Η ρύθμιση του εργατικού δυναμικού (Workforce) βασίζεται σε έναν διορθωτικό παράγοντα (workforce correction) της πρόσληψης προσωπικού ο οποίος λαμβάνει υπόψη το τρέχον και επιθυμητό επίπεδο του εργατικού δυναμικού αλλά και το χρόνο που χρειάζεται για την πρόσληψη προσωπικού. Επομένως ισχύει ότι:

$$\text{➤ Workforce correction} = (\text{Desired Workforce} - \text{Workforce}) / \text{time to hire new workers}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την έρευνα του Garcia 2003, το επιθυμητό επίπεδο εργατικού δυναμικού δίνεται από την κάτωθι σχέση:

$$\text{➤ Desired Workforce} = \text{Production Rate Goal} / \text{Worker Productivity}$$

Όπου Production Rate Goal είναι ο στόχος του ρυθμού παραγωγής και Worker Productivity είναι η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου.

2. Ο ενδεικνυόμενος ρυθμός προσλήψεων νέων εργαζομένων (Indicated Hiring Rate) εξαρτάται από το ρυθμό απόλυσης αυτών (Attrition Rate) και τον διορθωτικό παράγοντα (workforce correction).

$$\text{➤ Indicated Hiring Rate} = \text{Attrition Rate} + \text{workforce correction}$$

3. Το εργατικό δυναμικό είναι μια καταστατική μεταβλητή με είσοδο (Hiring Rate), με έξοδο (Attrition Rate) και αρχική τιμή (Initial Number of Workers).

$$\text{Workforce}(t) = \text{Initial Numbers of Workers} + \int_0^t [\text{Hiring Rate}(t) - \text{Attrition Rate}(t)] dt$$

4. Όσον αφορά το ρυθμό απόλυσης (Attrition Rate) ισχύουν τα εξής:

$$\text{Attrition Rate} = \text{Workforce} * \text{Fractional Attrition Rate}$$

Ο ρυθμός απόλυσης εξαρτάται από τον αριθμό των εργαζομένων (Workforce) και από τον κλασματικό ρυθμό απόλυσης (Fractional Attrition Rate) ο οποίος όπως φαίνεται αμέσως παρακάτω εάν υπερβαίνει τη μονάδα τότε ισούται με ένα (=1) αλλιώς λαμβάνεται υπόψη το γινόμενο του φυσιολογικού ρυθμού απόλυσης (Normal Attrition Rate) με την επίδραση του σχετικού ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (effect of Relative Risk Index). Αυτή η παραδοχή εκφράζεται ως ακολούθως:

$$\text{Fractional Attrition Rate} = \min(\text{Normal Attrition Rate} * \text{effect of Relative Risk Index}, 1)$$

$$\text{Effect of Relative Risk Index} = \max(\text{Relative Risk Index}, 1)$$

Η επίδραση του σχετικού ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας (Relative Risk Index) δε μπορεί να έχει μικρότερη τιμή από τη μονάδα.

Μηχανισμός ρύθμισης της εμπειρίας των εργαζομένων

1. Η συνολική εμπειρία των εργαζομένων (Total Experience) είναι μια καταστατική μεταβλητή με είσοδο την αύξηση της εμπειρίας (Increase in Expertise) και με έξοδο τη μείωση της εμπειρίας (Loss of Expertise). Συγκεκριμένα οι σχέσεις που συνδέονται με την καταστατική είναι οι εξής:

$$\text{Total Experience}(t) = \text{Initial Workforce} * \text{Experience of new workers} + \int_0^t [\text{Increase in Expertise}(t) - \text{Loss of Expertise}(t)] dt$$

- **Increase in Expertise= reference experience*Hiring Rate**
- **Loss of Expertise=Attrition Rate*Average Experience**

Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι:

Average Experience= Total Experience/Workforce

Όπου Average Experience ο μέσος όρος εμπειρίας των εργαζομένων

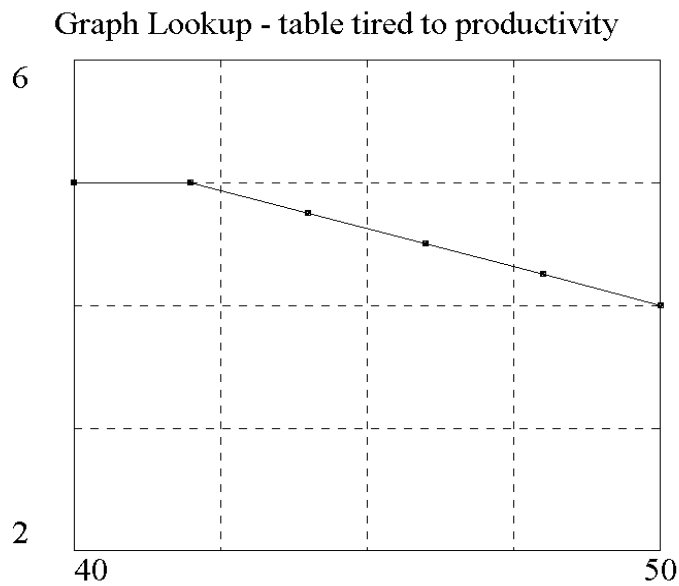
2. Λαμβάνοντας υπ'όψιν την έρευνα του Cooke 2003, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζόμενου εξαρτάται από μία τιμή αναφοράς της παραγωγικότητας (Reference Productivity) η οποία προσαυξάνεται ανάλογα με τη σχετική εμπειρία των εργαζομένων (Relative Experience of Workers).

- **Worker Productivity=(Reference Productivity*Relative Experience) + STEP (table tired to productivity*Extra/1000,100)**

Στις 100 εβδομάδες, λόγω της μεταβολής του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) και λόγω της μεταβολής του ωραρίου των εργαζομένων, η παραγωγικότητα των εργαζομένων μεταβάλλεται ανάλογα. Η αρχική τιμή του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) είναι 5000 ton/week και για κάθε αύξηση ή μείωση extra=1000 ton/week η παραγωγικότητα θα αυξάνεται ή θα μειώνεται αντίστοιχα με την κόπωση (tiredness) που υφίστανται οι εργαζόμενοι. Όσο μεγαλύτερη κόπωση υφίστανται οι εργαζόμενοι εξαιτίας της αύξησης του ωραρίου τόσο μικρότερη θα είναι η αύξηση της παραγωγικότητας. Η σχέση αυτή αποτελεί απόφαση της διοίκησης προκειμένου να ανταπεξέλθει το ορυχείο στις απαιτήσεις της παραγωγής στα πλαίσια της εύρυθμης λειτουργίας του.

Όπου STEP συνάρτηση με την οποία επιτυγχάνονται βηματικές αλλαγές στις τιμές μιας μεταβλητής.

Επίσης, όπου table tired to productivity είναι ένας πίνακας που συνδέει την κόπωση των εργαζομένων με την παραγωγικότητα.



Σχήμα 6.7: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «table tired to productivity»

Relative Experience = Average Experience/Reference Experience

Όπου Relative Experience η σχετική εμπειρία των εργαζομένων

Όπου Reference Experience η εμπειρία αναφοράς των εργαζομένων

Όπου Reference Productivity η παραγωγικότητα αναφοράς του κάθε εργαζομένου

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές:

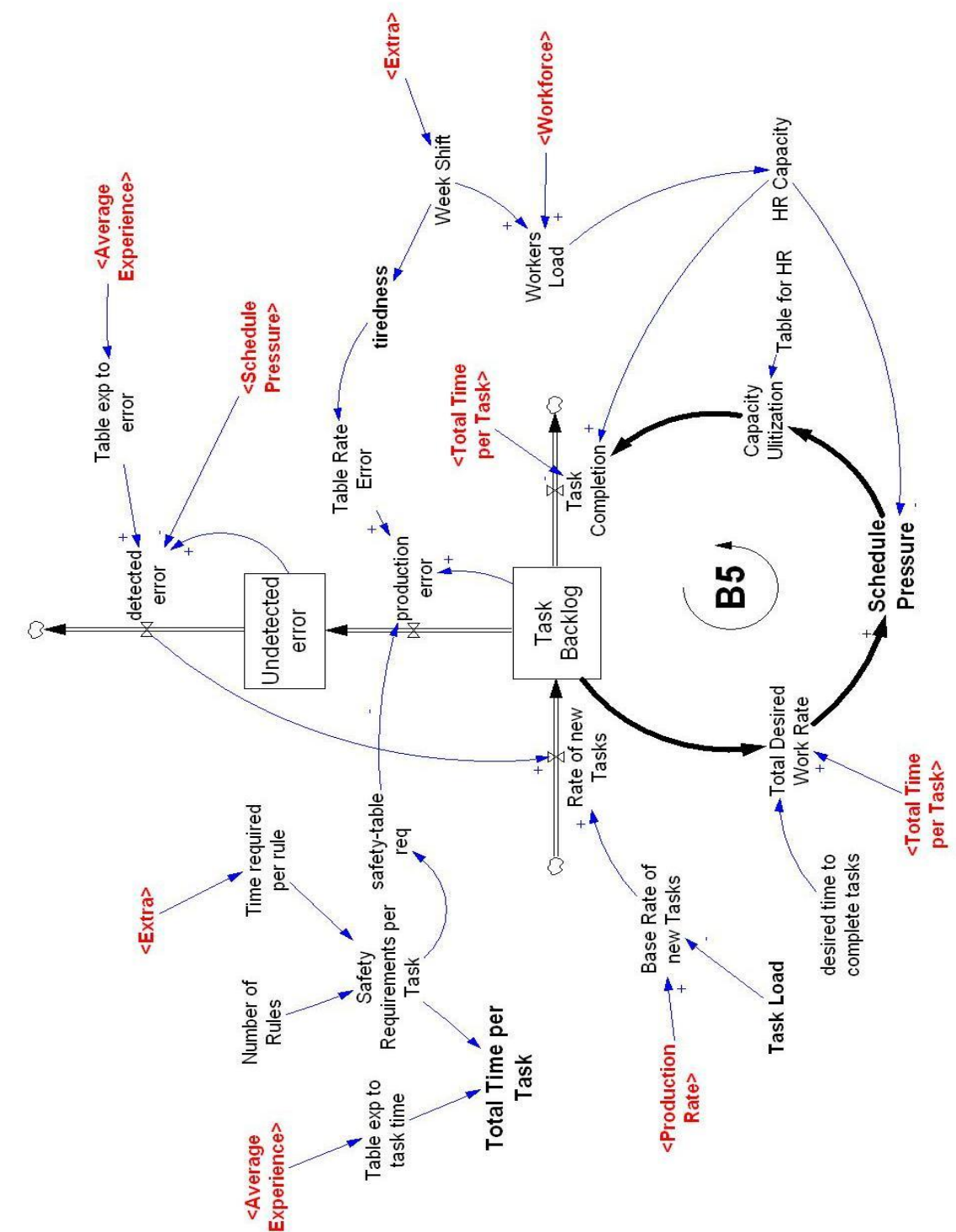
- *Normal Attrition Rate*
- *Initial Workforce*
- *Reference Productivity*
- *Reference Experience*
- *time to hire new workers*

6.3.4 Υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων

Το υποσύστημα των Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων (Task Backlog & Errors Subsystem), ελέγχεται μέσω του **βρόχου B5** ο οποίος ρυθμίζει τις εργασίες σε εκκρεμότητα (Task Backlog). Σε αυτό το υποσύστημα, εισέρχονται οι νέες εργασίες οι οποίες παραμένουν στο «απόθεμα» για επεξεργασία και εξέρχονται όταν ολοκληρώνονται. Ουσιαστικά ο βρόχος B5 δείχνει ότι καθώς αυξάνονται οι εργασίες σε εκκρεμότητα, αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure) με σκοπό την ταχύτερη ολοκλήρωση των εργασιών.

Επίσης, το σύστημα περιλαμβάνει μία επιπλέον καταστατική μεταβλητή των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors).

Επισημαίνεται ότι ο βρόχος B5, δέχεται επιρροές από το ρυθμό παραγωγής (Production Rate), από την παραγωγικότητα των εργαζομένων (Worker Productivity), από την εμπειρία των εργαζομένων και από τον αριθμό των εργαζομένων (Workforce). Επίσης, δέχεται την επιρροή του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) ο οποίος αποτελεί την κινητήριο δύναμη όλου του συστήματος.



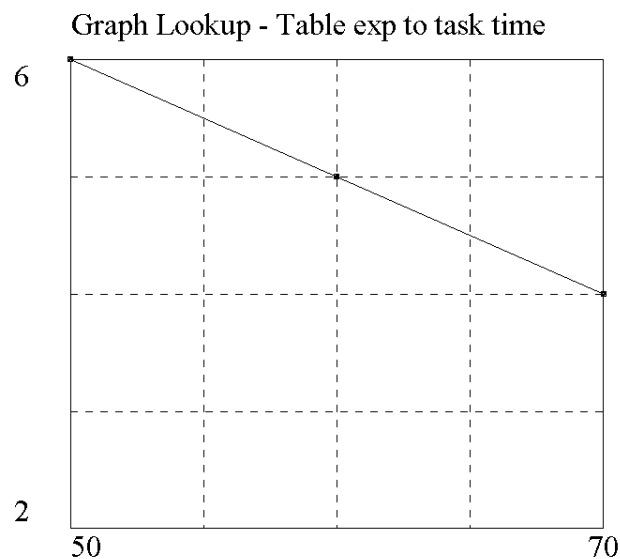
Σχήμα 6.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων Συνθετικού Μοντέλου (Task Backlog & Errors Subsystem)

Βρόχος αρνητικής ανάδρασης B5

1. Ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας των εργασιών (Total Time per Task) εξαρτάται από την εμπειρία των εργαζομένων (Average Experience) καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η εμπειρία τους τόσο μικρότερος θα είναι ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας των εργασιών (Total Time per Task), ο οποίος προσαυξάνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις των εργασιών σε ασφάλεια (Safety Requirements per Task).

- **Total Time per Task= Table exp to task time + Safety Requirements per Task**

Όπου Table exp to task time πίνακας που συνδέει την εμπειρία των εργαζομένων με το συνολικό χρόνο επεξεργασίας των εργασιών (Total Time per Task).



Σχήμα 6.9: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table exp to task time»

Οι χρονικές απαιτήσεις για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών (Safety Requirements per Task) εξαρτώνται από τον αριθμό των κανονισμών ασφαλείας (Number of Rules) και το χρόνο διεκπεραίωσης των κανονισμών αυτών (Time required per rule) ο οποίος αυξάνεται βηματικά ανάλογα με το ρυθμό των παραγγελιών. Αυτό συμβαίνει διότι όσο

αυξάνεται η παραγωγή τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για τη διεκπεραίωση των κανονισμών για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών σύμφωνα με την πολιτική ασφαλείας του ορυχείου.

- **Safety Requirements per Task= Number of Rules*Time required per rule**
- **Time required per rule= 0.4+STEP(0.05*(Extra/1000),100)**

Επομένως, ο συνολικός επιθυμητός ρυθμός εργασιών δίδεται από τη σχέση:

- **Total Desired Work Rate= Task Backlog*Total Time per Task/desired time to complete tasks**

2. Η δυναμικότητα του εργατικού δυναμικού (HR Capacity) αντιπροσωπεύει τις ποσοτικές εργασιακές δυνατότητες του δυναμικού ανά εβδομάδα και εξαρτάται από το συνολικό εβδομαδιαίο φόρτο εργασίας όλων των εργαζομένων (Workers Load):

- **HR Capacity=Workers Load**

Ο συνολικός εβδομαδιαίος φόρτος εργασίας του εργατικού δυναμικού (Workers Load) εξαρτάται από τον αριθμό των εργαζομένων (Workforce) και από το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week shift). Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξής:

- **Workers Load = Week Shift*Workforce**

Στις 100 εβδομάδες, λόγω της μεταβολής του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate), το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζόμενου θα μεταβάλλεται αντίστοιχα. Η αρχική τιμή του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) είναι 5000 ton/week και για κάθε αύξηση ή μείωση extra=1000 ton/week, το εβδομαδιαίο ωράριο θα αυξάνεται ή θα μειώνεται αντίστοιχα κατά δύο (2) ώρες. Η σχέση αυτή αποτελεί απόφαση της διοίκησης λόγω της μεταβολής του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) και στοχεύει στην καλύτερη ανταπόκριση στις ανάγκες των παραγγελιών και κατ' επέκταση στην εύρυθμη λειτουργία του ορυχείου.

- **Week Shift=40+STEP (2*Extra/1000,100)**

Πίνακας 6.1: Αντιστοίχιση του ρυθμού παραγγελιών με το εβδομαδιαίο ωράριο ανά εργαζόμενο

Order Rate (ton/week)	Week Shift (hours/week/people)
5000	40
6000	42
7000	44
8000	46
9000	48
10000	50

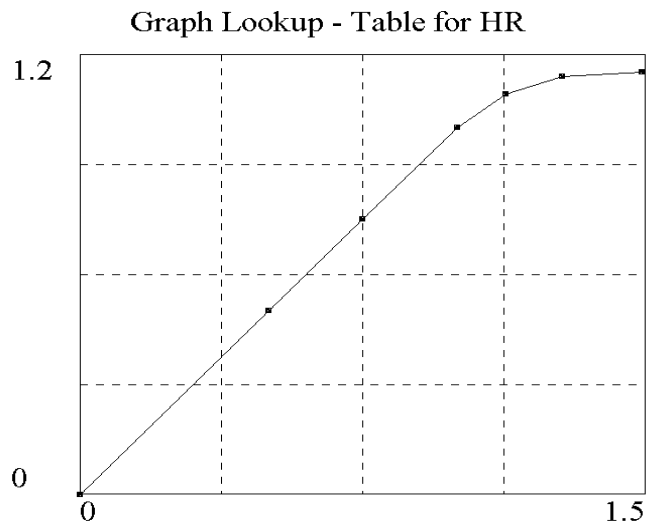
Η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure) αναφέρεται στη χρονική πίεση που υφίσταται το εργατικό δυναμικό για την ολοκλήρωση των εργασιών σε εκκρεμότητα. *Λαμβάνοντας υπ'όψιν την έρευνα των Serman 2000 & Lyneis 2009*, η πίεση του χρονοδιαγράμματος εξαρτάται από το συνολικό επιθυμητό ρυθμό εργασιών (Total Desired Work Rate) και από τις εργασιακές δυνατότητες του δυναμικού (HR Capacity). Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξής:

➤ **Schedule Pressure=Total Desired Work Rate/HR Capacity**

3. Λαμβάνοντας υπόψη την έρευνα του Lyneis 2009, όσο αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος αυξάνεται η αξιοποίηση της παραγωγικής ικανότητας (Capacity Utilization).

➤ **Capacity Utilization= Table for HR (Schedule Pressure)**

όπου Table for HR είναι ένας πίνακας που αφορά την παραγωγική ικανότητα ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί η αξιοποίησή της.



Σχήμα 6.10: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table for HR»

4. Όσο αυξάνεται η αξιοποίηση της παραγωγικής ικανότητας, αυξάνεται ο ρυθμός ολοκλήρωσης των εργασιών. Επίσης, ο ρυθμός ολοκλήρωσης των εργασιών επηρεάζεται από το συνολικό χρόνο (Total Time per Task) που χρειάζεται μία εργασία ώστε να ολοκληρωθεί.

➤ **Task completion= (HR Capacity*Capacity Utilization)/Total Time per Task**

6. Όσον αφορά το ρυθμό εισροής νέων εργασιών (Rate of new Tasks), αυτός περιλαμβάνει τόσο τις νέες εργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή (Base rate of new Tasks), όσο και τις εργασίες στις οποίες έχουν γίνει λάθη τα οποία όμως έχουν εντοπισθεί (detected errors).

➤ **Rate of new Tasks=Base Rate of new Tasks + detected errors**

Οι νέες εργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή (Base rate of new Tasks) επηρεάζονται τόσο από το ρυθμό παραγωγής (Production Rate) όσο και από τον αριθμό των τόνων που παράγονται σε κάθε εργασία (Task Load).

➤ **Base Rate of new Tasks= Production Rate/ Task Load**

Η καταστατική μεταβλητή Task Backlog ρυθμίζεται από μια είσοδο και μια έξοδο.

$$\begin{aligned} \text{Task Backlog}(t) = & \text{Base Rate of new Tasks} * \text{Desired time to complete tasks} + \\ & \int_0^t [\text{Rate of new Tasks}(t) - \\ & \text{production error}(t) - \text{Task completion}(t)] dt \end{aligned}$$

Η μεταβλητή detected error αποτελεί έξοδο της καταστατικής των εργασιών στις οποίες έχουν εντοπιστεί λάθη και ατέλειες. Ως εκ τούτου, αυτές προστίθενται στο βασικό ρυθμό των εργασιών (Base Rate of new Tasks) ώστε να προκύπτει ο συνολικός ρυθμός των νέων εργασιών (Rate of new Tasks).

Επεξεργασία εργασιών που έχουν παρατηρηθεί ατέλειες

1. Είναι σημαντικό να εξετασθούν οι εργασίες στις οποίες έχουν γίνει λάθη ή έχουν παρουσιαστεί ατέλειες. Τα λάθη και οι ατέλειες έχουν αθροιστικό χαρακτήρα και μοντελοποιούνται με την καταστατική μεταβλητή των αδιάγνωστων λαθών (Undetected error).

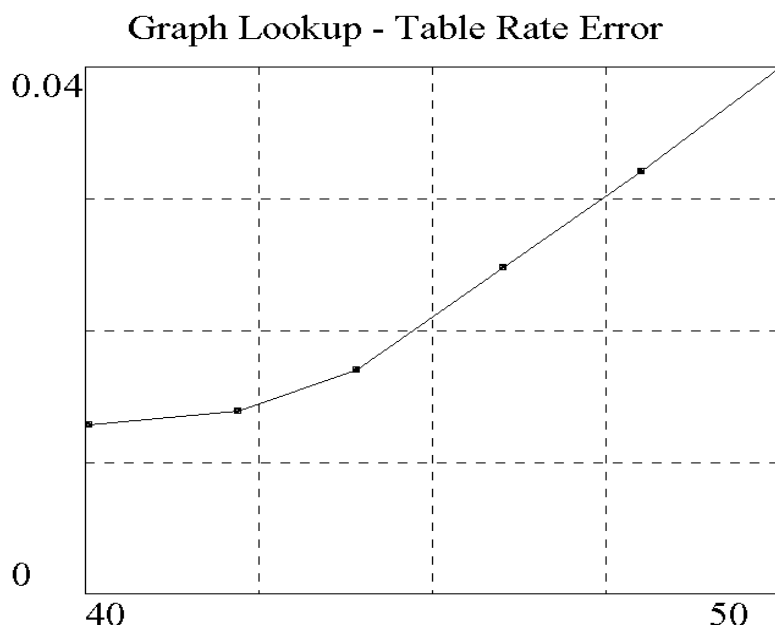
$$\begin{aligned} \text{Undetected Error}(t) = & \int_0^t [\text{production error}(t) - \text{detected error}(t)] dt \end{aligned}$$

Το production error αποτελεί είσοδο της καταστατικής των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors) και το detected error έξοδο της καταστατικής των αδιάγνωστων λαθών.

2. Το production error αποτελεί είσοδο της καταστατικής των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors) και ταυτόχρονα έξοδο της καταστατικής των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog).

- **Production error= Task Backlog*Table Rate Error*Safety table Req**
- **tiredness= Week Shift**

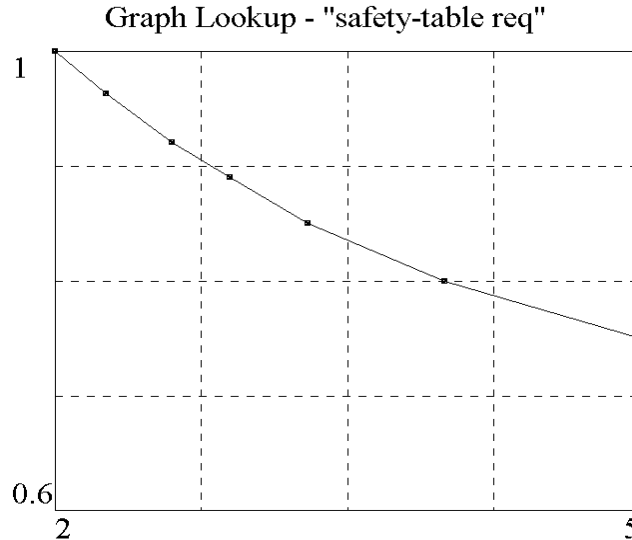
Όπου Table Rate Error είναι ένας πίνακας που συνδέει την κόπωση που υφίσταται ο κάθε εργαζόμενος με το ρυθμό παραγωγή λαθών.



Σχήμα 6.11: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table Rate Error»

Η κόπωση (tiredness), εξαρτάται από τις συνολικές ώρες που εργάζεται ο κάθε εργαζόμενος ανά εβδομάδα. Όσες περισσότερες ώρες εργάζεται ο εργαζόμενος τόσο μεγαλύτερη θα είναι η κόπωση. Ως εκ τούτου, όσο μεγαλύτερη είναι η κόπωση τόσο μειώνονται οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων με αποτέλεσμα να είναι μεγαλύτερος ο ρυθμός παραγωγής λαθών τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν τον αριθμό των αδιάγνωστων λαθών. Οι συνέπειες της παρατεταμένης εργασίας και έλλειψης ύπνου έχουν μελετηθεί σε πολλές εργονομικές έρευνες (Floberg 1985 & Kontogiannis 2017) οι οποίες αποδεικνύουν τις βλαπτικές επιπτώσεις στον εργαζόμενο και κατ' επέκταση στην επίδοση του οργανισμού. Αυτό συμβαίνει διότι η κόπωση επιβραδύνει τις αντιδράσεις και μειώνει την οξύτητα των αισθήσεων του εργαζομένου.

Επίσης όπου Safety table Req. πίνακας που συνδέει τις χρονικές απαιτήσεις για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών με το ρυθμό παραγωγής λαθών.



Σχήμα 6.12: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «safety-table req»

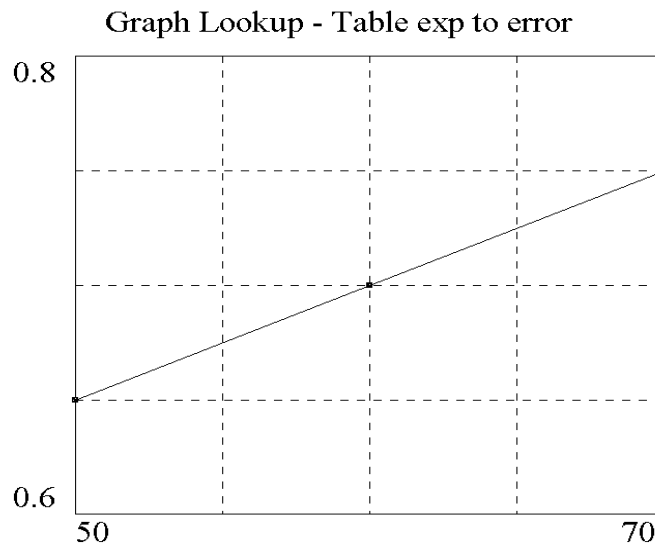
3. Από την άλλη πλευρά, τα λάθη που αναγνωρίζονται εξαρτώνται τόσο από την εμπειρία των εργατών (Table exp to error) όσο και την πίεση του χρονοδιαγράμματος. Όσο μεγαλύτερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μεγαλύτερες νοητικές ικανότητες έχουν ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερη πίεση υπάρχει λόγω του χρονοδιαγράμματος τόσο πιο δύσκολη καθίσταται η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών (Κοντογιάννης, 2017).

➤ **Detected error=Undetected error*Table exp to error/Schedule Pressure**

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω μεταβλητές είναι σταθερές:

- *Desired time to complete tasks*
- *Number of Rules*
- *Task Load*

Όπου Table exp to error, πίνακας που συνδέει την εμπειρία των εργαζομένων με την ικανότητα τους να εντοπίζουν εσφαλμένες εργασίες.



Σχήμα 6.13: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table exp to error»

6.4 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή εφαρμόζεται μια νέα προσέγγιση όπου η επικινδυνότητα αναπαριστάται ως μια δυναμική μεταβλητή η οποία αναδύεται μέσα από τις αλληλεπιδράσεις της ασφάλειας με ένα σύνολο επιχειρησιακών διαδικασιών (π.χ. παραγωγή, διαχείριση εργατών, διαχείριση εργασιών). Στο παρελθόν, η επικινδυνότητα είχε εκληφθεί ως μια στατική έννοια συνδεδεμένη με το σύστημα ασφαλείας μόνο. Αυτή η εποικοδομητική προσέγγιση εστιάζει στα διλήμματα της διοίκησης και των εργαζομένων σχετικά με τους τρόπους εξισορρόπησης των απαιτήσεων της ασφάλειας, της παραγωγής και της διαχείρισης των πόρων και έργων.

Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε μια προσπάθεια κατανόησης των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων των τεσσάρων επιχειρησιακών διαδικασιών. Είναι φανερό ότι έγιναν πολλές απλοποιήσεις όσον αφορά την πολύπλοκη λειτουργία κάθε επιχειρησιακής διαδικασίας. Ωστόσο, η απλοποίηση κάθε υποσυστήματος βοήθησε στην ανάλυση των αλληλεπιδράσεών τους καθώς και στην εξέταση κάποιων εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν συνολικά το σύστημα εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

7.1 Εισαγωγή

Η Ανάλυση Ευαισθησίας είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση και την αξιολόγηση ενός μοντέλου και χρησιμοποιείται για να καθορίσει πόσο «ευαίσθητο» είναι ένα σύστημα στις αλλαγές των τιμών των παραμέτρων και της δομής του. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για να καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο μια ανεξάρτητη μεταβλητή του συστήματος μπορεί να επηρεάσει μια συγκεκριμένη εξαρτημένη μεταβλητή του ίδιου συστήματος μέσα από ένα σύνολο σεναρίων υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους. Εξαρτημένη μεταβλητή είναι εκείνη που αποκτά μία τιμή που επηρεάζεται από τις τιμές των υπολοίπων παραμέτρων.

Στην παρούσα εργασία η Ανάλυση Ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι αυξομειώσεις των παραγγελιών επηρεάζουν το σύνολο των επιχειρησιακών διαδικασιών (π.χ. τον αριθμό των εργαζομένων, την παραγωγικότητα και τα λάθη των εργαζομένων κλπ) ενός τυπικού ορυχείου. Ειδικότερα κρίσιμος θεωρείται ο αντίκτυπος της αυξομείωσης του ρυθμού των παραγγελιών στο Δείκτη Επικινδυνότητας (Risk Index). Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπήρξε σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου του τυπικού ορυχείου με τα δεδομένα ενός πραγματικού ορυχείου έτσι ώστε να ρυθμιστούν κατάλληλα οι μεταβλητές και οι σχέσεις αυτών στο υπάρχον μοντέλο. Ως εκ τούτου, οι αλληλεπιδράσεις των επιχειρησιακών διαδικασιών και ο αντίκτυπος των εξωτερικών μεταβλητών καθιστούν πολύ σημαντική την Ανάλυση Ευαισθησίας για την επικύρωση του Συνθετικού Μοντέλου.

Το Συνθετικό Μοντέλο, θα τροφοδοτηθεί με δεδομένα εισόδου όπου μέσα από την Ανάλυση Ευαισθησίας θα υποβληθεί σε πλήθος δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δεδομένα εξόδου με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Συγκεκριμένα, το Συνθετικό Μοντέλο θα υποβληθεί σε 17 διαφορετικές δοκιμές-Σενάρια. Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών θα αυξάνεται από τις 5000 έως τις 10000 tonnes/week με αλλαγή στις παραμέτρους και τις συνθήκες που θα συνοδεύουν τη συγκεκριμένη κατάσταση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των μεταβλητών του Συνθετικού Μοντέλου, στηρίχθηκαν στις τιμές των μεταβλητών του μοντέλου Δυναμικής Συστημάτων της έρευνας του Cooke 2003, η οποία αφορά τη μελέτη και τη διερεύνηση των αιτιών της καταστροφής του ορυχείου Westray.

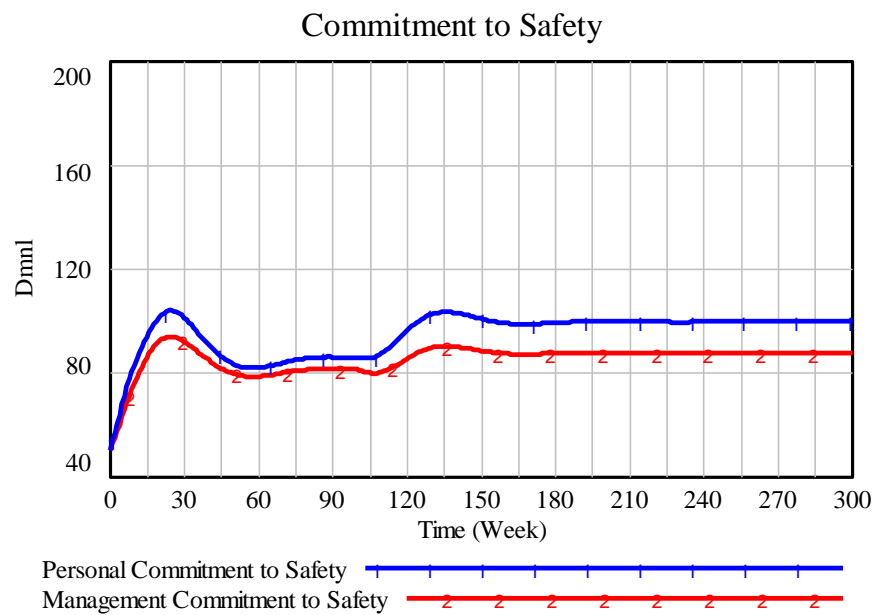
7.2 Σενάρια ελέγχου του Συνθετικού Μοντέλου

7.2.1 Σενάριο 1

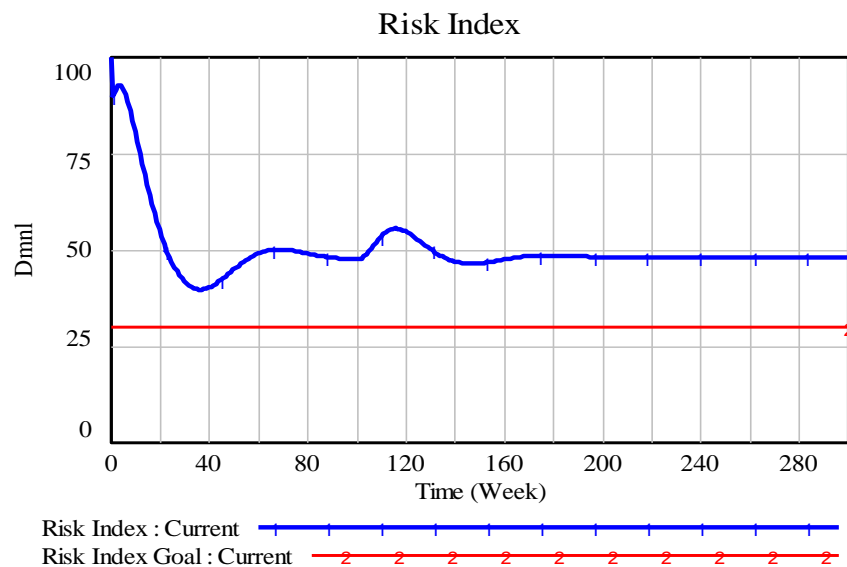
Πίνακας 7.1: Παράμετροι Σεναρίου 1

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks

Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παραπάνω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το Σενάριο 1, που αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.



Σχήμα 7.1: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 1



Σχήμα 7.2: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 1

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.67** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 55**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

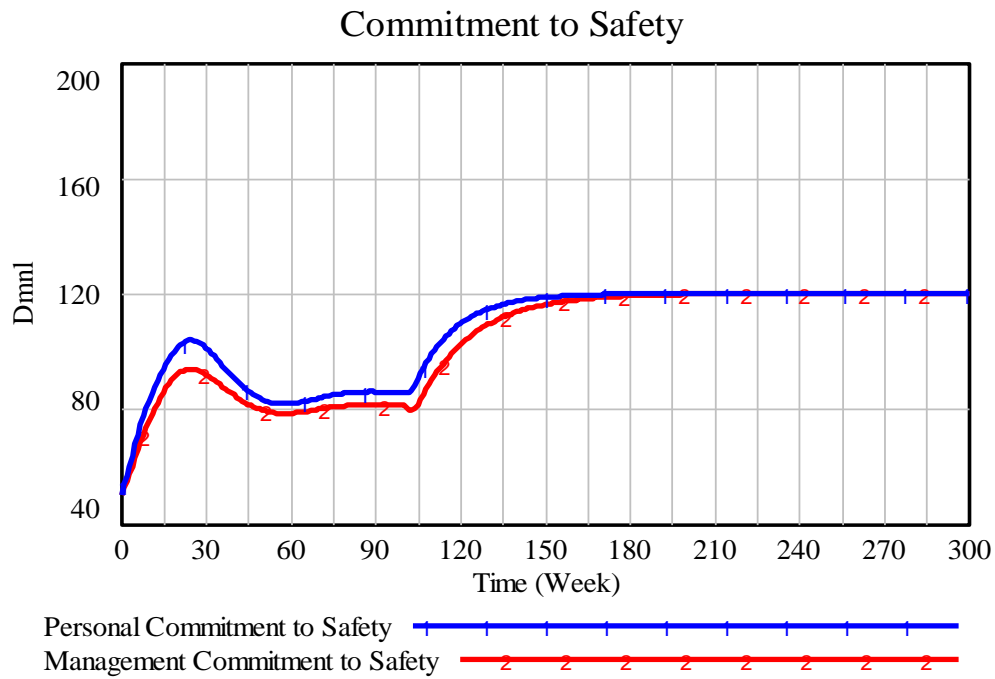
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.67*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 99 & 88*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 55*

7.2.2 Σενάριο 2

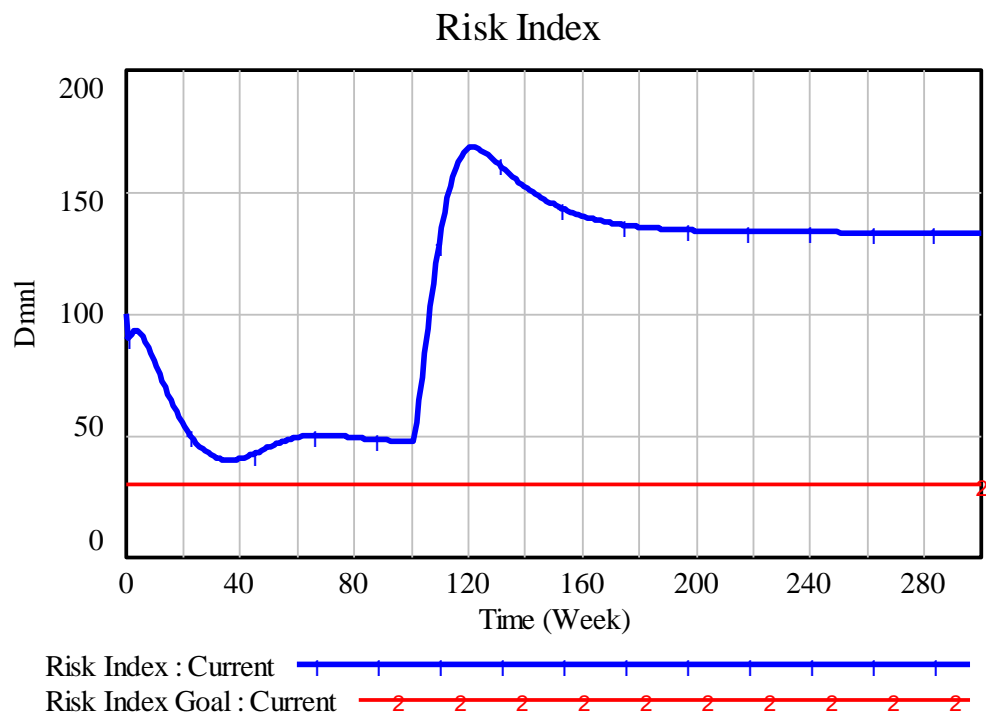
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το Σενάριο 2, οι οποίοι αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.

Πίνακας 7.2: Παράμετροι Σεναρίου 2

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000 -> 10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.3: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 2



Σχήμα 7.4: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 2

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 εβδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 100** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **22.17** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 133, με μέγιστη τιμή 168**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **133**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο του,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

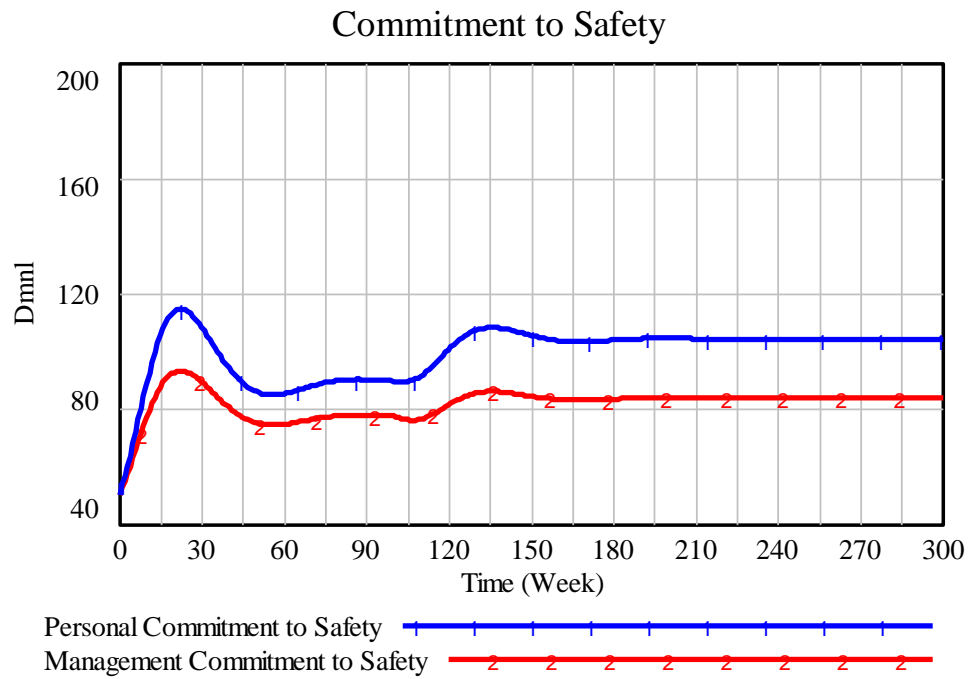
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 22.17*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 133 με μέγιστη τιμή στο 168*

7.2.3 Σενάριο 3

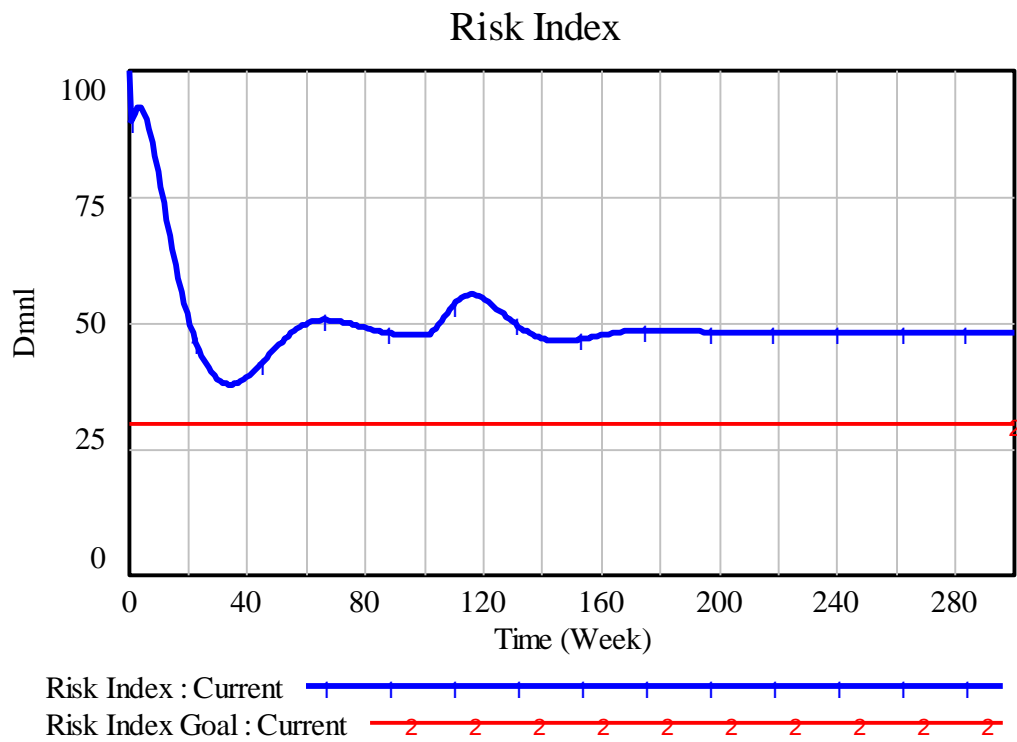
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.3: Παράμετροι Σεναρίων 3

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	180	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	180	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.5: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 3



Σχήμα 7.6: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 3

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.67** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 55**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση των ορίων των δεσμεύσεων έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή μείωση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε σύγκριση με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

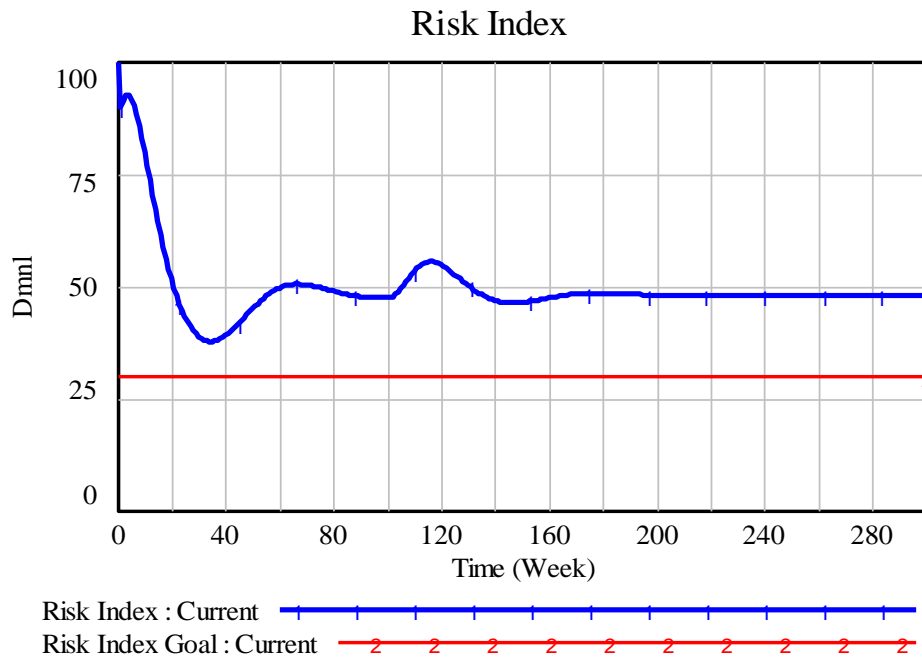
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.67*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 104 & 84*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 55*

7.2.4 Σενάριο 4

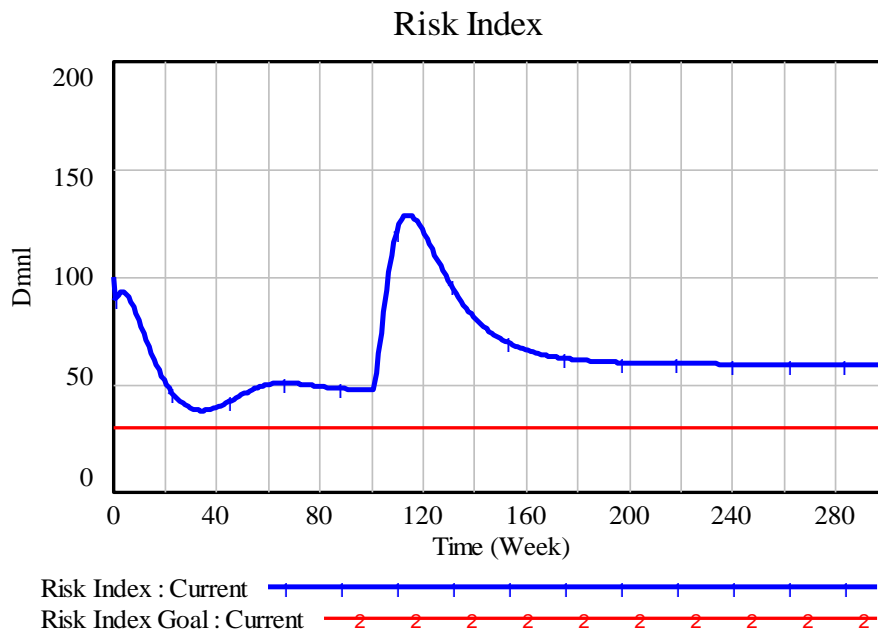
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.4: Παράμετροι Σεναρίων 4

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000 -> 10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	180	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	180	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.7: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 4



Σχήμα 7.8: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 4

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **22.17** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 59, με μέγιστη τιμή 128**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **59**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση των ορίων των δεσμεύσεων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε σύγκριση με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

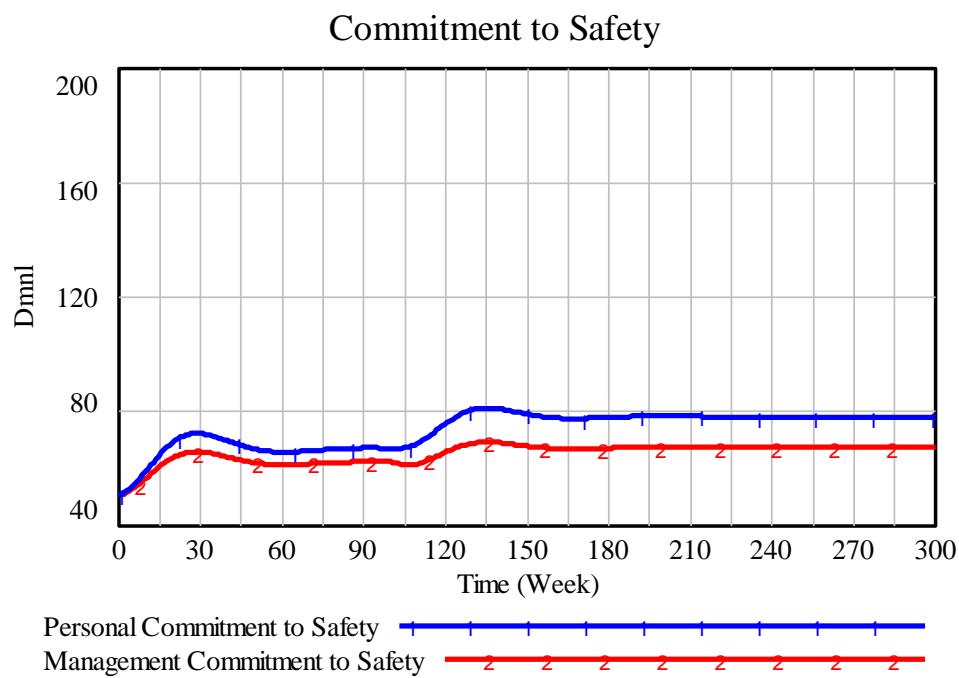
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 22.17*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 180 & 180*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 59 με μέγιστη τιμή στο 128*

7.2.5 Σενάριο 5

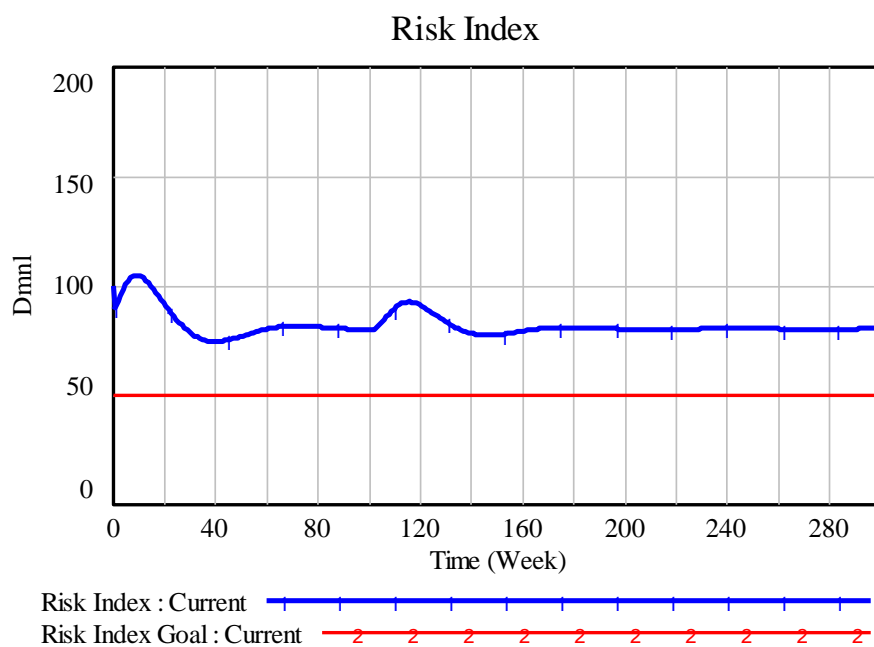
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.5: Παράμετροι Σεναρίων 5

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	50	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.9: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 5



Σχήμα 7.10: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 5

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.67** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 80, με μέγιστη τιμή 92**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **80**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφesusχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση του στόχου του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal), έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σχετικά με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

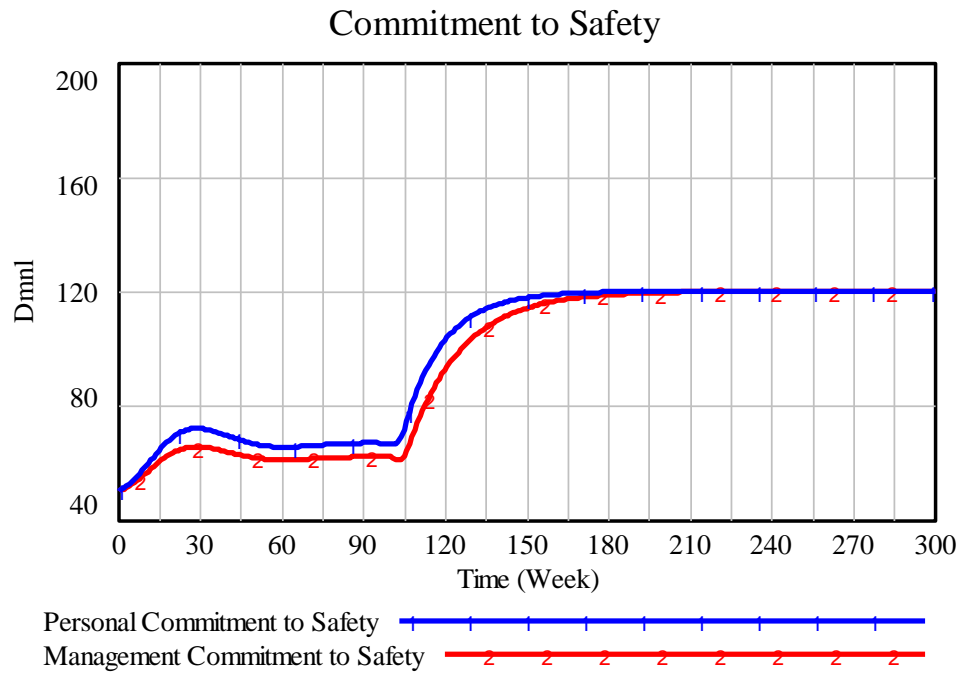
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.67*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 78 & 67*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 80 με μέγιστη τιμή στο 92*

7.2.6 Σενάριο 6

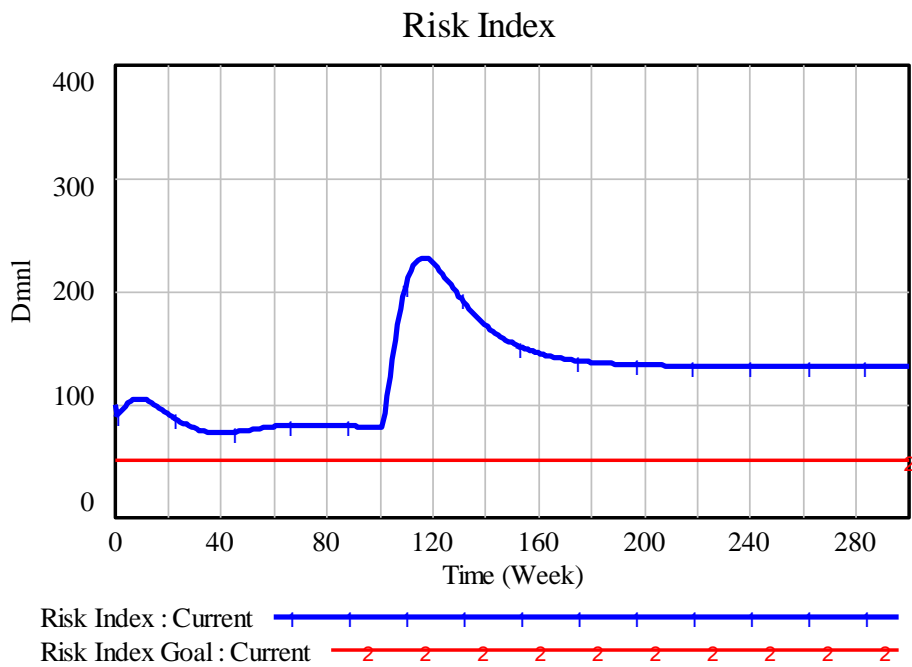
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.6: Παράμετροι Σεναρίων 6

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	50	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.11: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 6



Σχήμα 7.12: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 6

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **22.17** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 133, με μέγιστη τιμή 229**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **133**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση του στόχου του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal), έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σχετικά με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

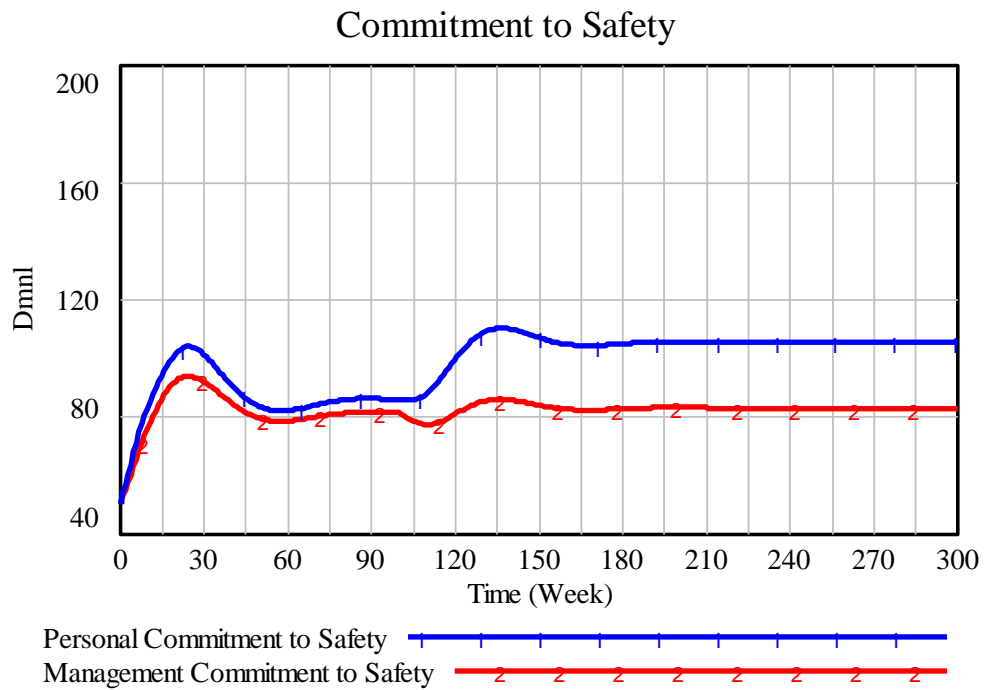
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 22.17*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 133 με μέγιστη τιμή στο 229*

7.2.7 Σενάριο 7

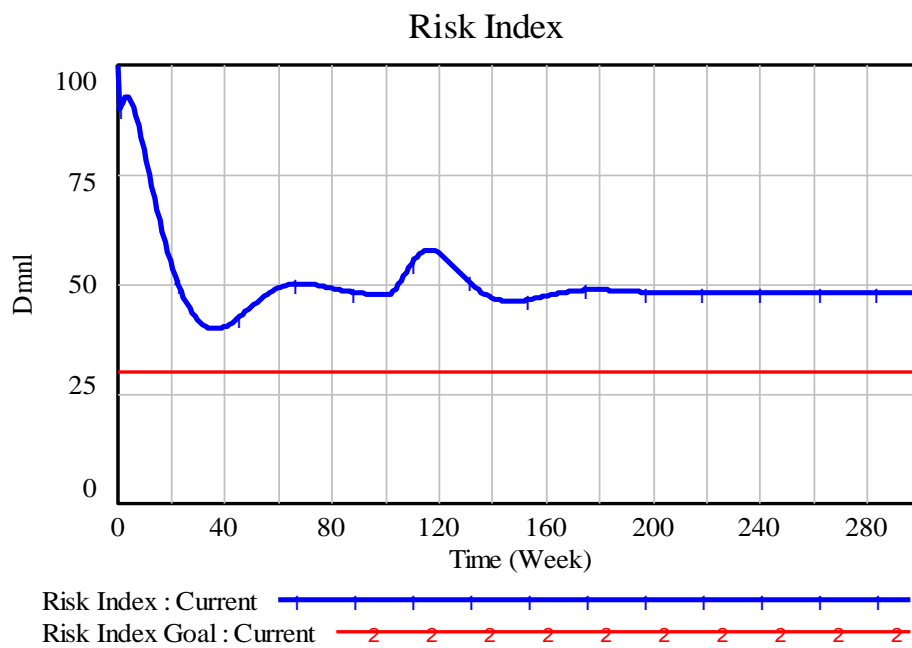
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.7: Παράμετροι Σεναρίου 7

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	6	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.13: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 7



Σχήμα 7.14: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 7

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.67** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 58**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, ο μέγιστος δείκτης επικινδυνότητας του σεναρίου 7, είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο δείκτη επικινδυνότητας του σεναρίου 1 του σημείου αναφοράς, όπου η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος ήταν 3 εβδομάδες. Και αυτό οφείλεται στη σημαντική διαφορά της τιμής που έχει ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) πάνω από τις 6000 tonnes/week, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει τη μέγιστη τιμή των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors), με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μέγιστη τιμή του δείκτη επικινδυνότητας.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

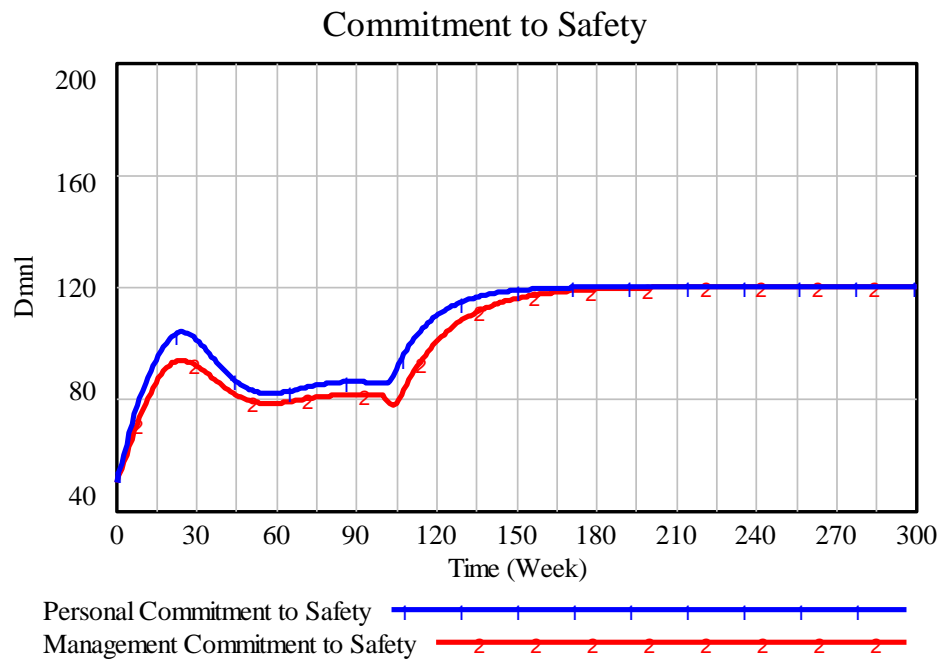
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 36.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.67 και μέγιστο στα 5.1*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 105 & 83*
- *Μειώνεται και εξισορροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 58*

7.2.8 Σενάριο 8

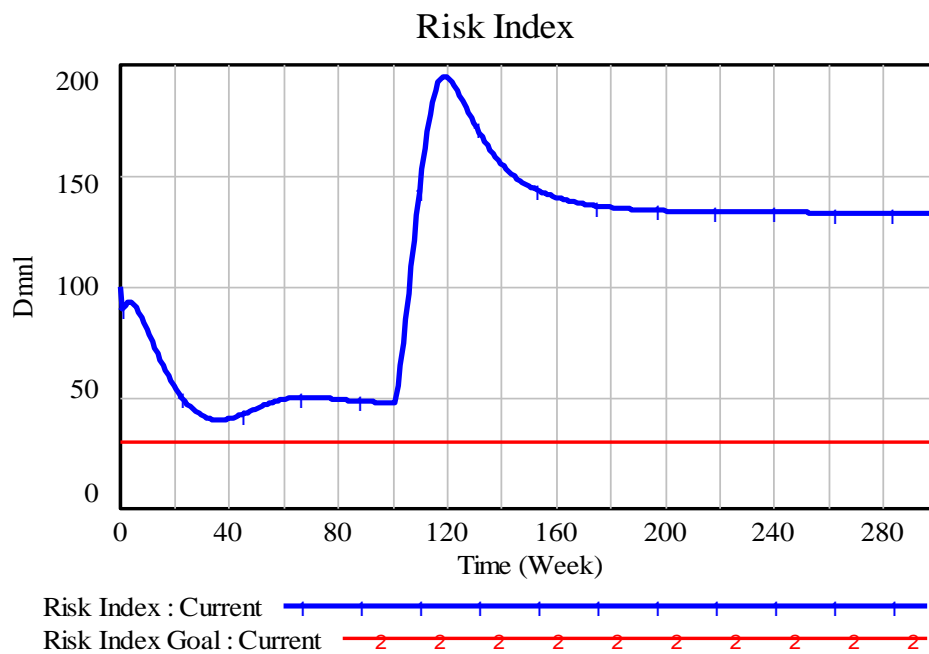
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.8: Παράμετροι Σεναρίου 8

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	6	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.15: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίον 8



Σχήμα 7.16: Γράφημα Risk Index Σεναρίον 8

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91** και ο μέγιστος αριθμός στους **107** εργαζόμενους.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **22.17** (μέγιστες 25.88) λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 133, με μέγιστη τιμή 195**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **133**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, ο μέγιστος δείκτης επικινδυνότητας του σεναρίου 8, είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο δείκτη επικινδυνότητας του σεναρίου 2 του σημείου αναφοράς, όπου η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος ήταν 3 εβδομάδες. Και αυτό οφείλεται στη σημαντική διαφορά της τιμής που έχει ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) πάνω από τις 10000 tonnes/week, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει τη μέγιστη τιμή των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors), με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μέγιστη τιμή του δείκτη επικινδυνότητας.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

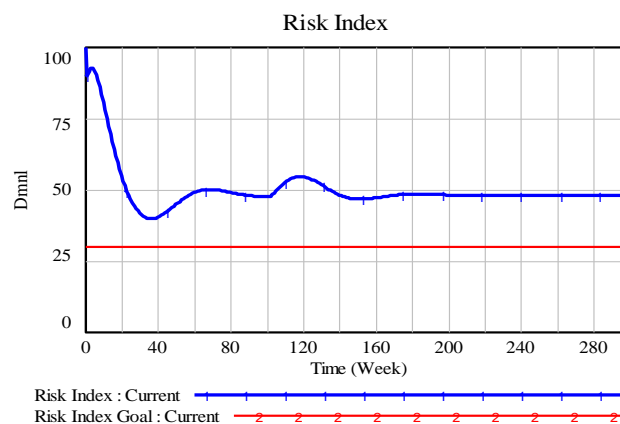
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 60.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους και μέγιστο 107*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 22.17 και μέγιστο στα 26*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισορροπείται το Risk Index στο 133 με μέγιστη τιμή στο 195*

7.2.9 Σενάριο 9

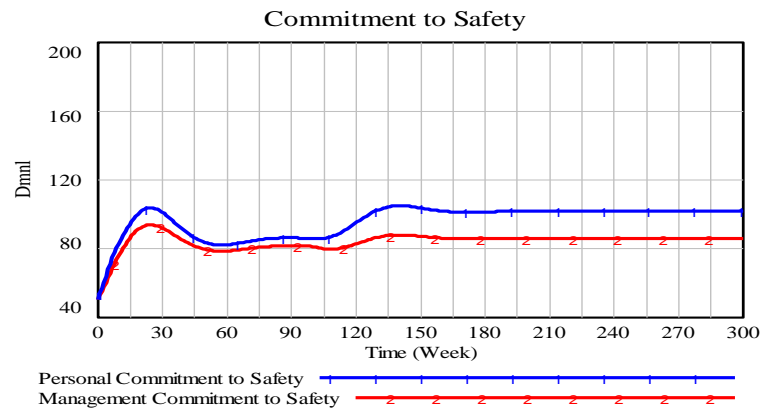
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.9: Παράμετροι Σεναρίου 9

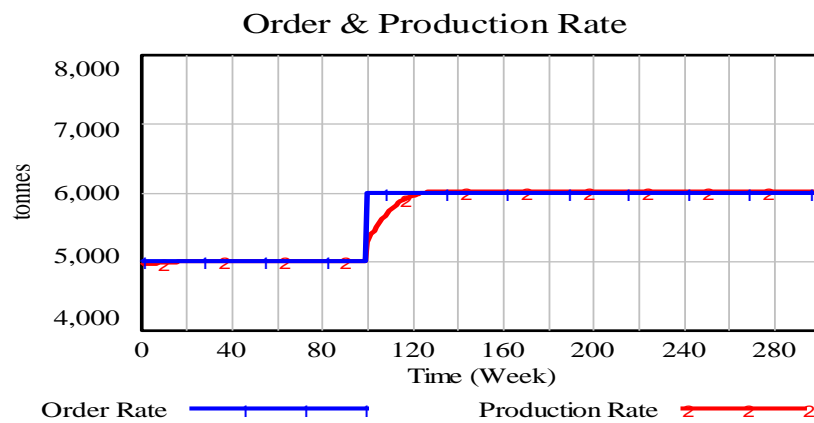
Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	20	Weeks



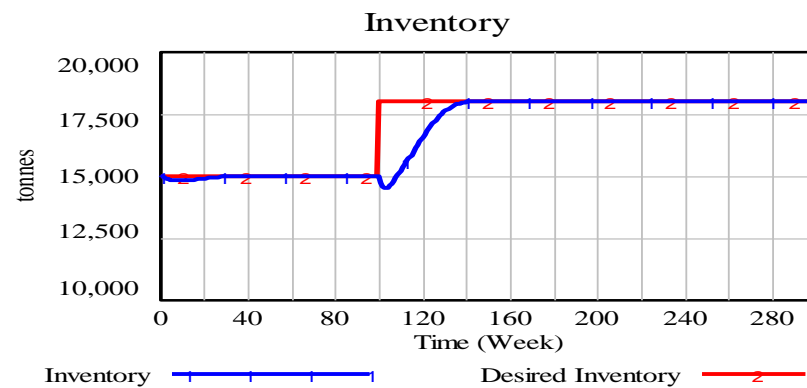
Σχήμα 7.17: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 9



Σχήμα 7.18: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 9



Σχήμα 7.19: Γράφημα Order & Production Rate Σεναρίου 9



Σχήμα 7.20: Γράφημα Inventory Σεναρίου 9

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes /week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.67** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 55**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, λόγω της αύξησης του χρόνου πρόσληψης των εργαζομένων (time to hire new workers), οι αυξήσεις του ρυθμού παραγωγής (Production Rate) και του αποθέματος (Inventory) έχουν πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οικονομικές συνέπειες λόγω της αδυναμίας του ορυχείου να ανταποκριθεί εγκαίρως στις απαιτήσεις των παραγγελιών. Ο ρυθμός παραγωγής αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 ton/week με καθυστέρηση 25 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 9 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Το απόθεμα φτάνει την επιθυμητή τιμή του αποθέματος με καθυστέρηση 55 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 25 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Ο δείκτης επικινδυνότητας και οι δεσμεύσεις για την ασφάλεια δεν εμφανίζουν αξιόλογες μεταβολές.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

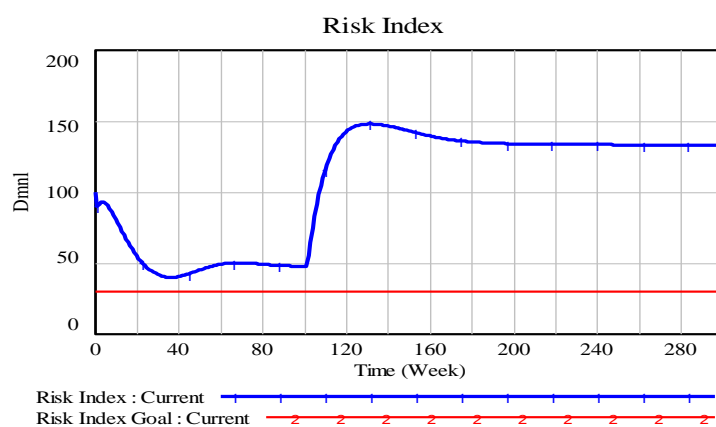
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.67*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 102 & 86*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 55*

7.2.10 Σενάριο 10

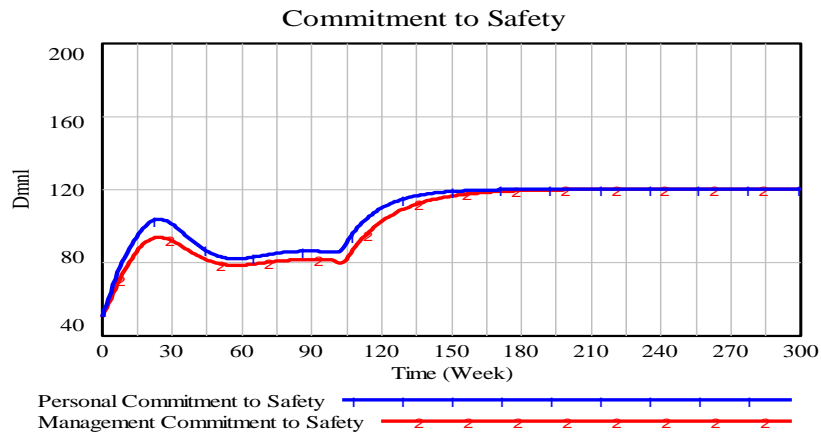
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.10: Παράμετροι Σεναρίου 10

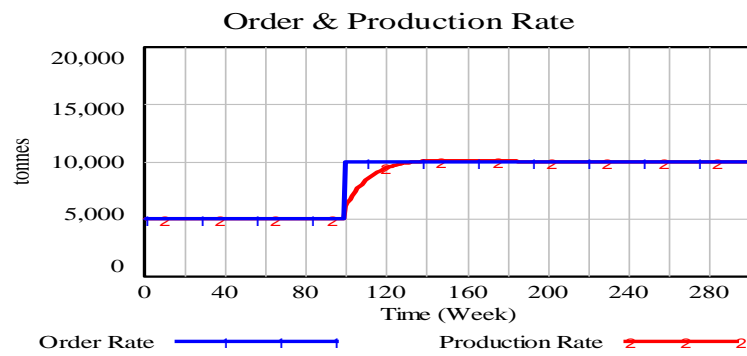
Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	20	Weeks



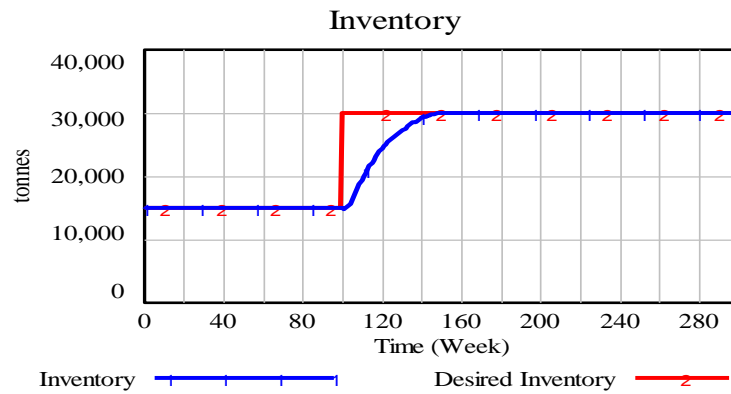
Σχήμα 7.21: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 10



Σχήμα 7.22: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 10



Σχήμα 7.23: Γράφημα Order & Production Rate Σεναρίου 10



Σχήμα 7.24: Γράφημα Inventory Σεναρίου 10

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **22.17** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 133, με μέγιστη τιμή 148**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **133**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, λόγω της αύξησης του χρόνου πρόσληψης των εργαζομένων (time to hire new workers), οι αυξήσεις του ρυθμού παραγωγής (Production Rate) και του αποθέματος (Inventory) έχουν πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οικονομικές συνέπειες λόγω της αδυναμίας του ορυχείου να ανταποκριθεί εγκαίρως στις απαιτήσεις των παραγγελιών. Ο ρυθμός παραγωγής, αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 ton/week με καθυστέρηση 35 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 9 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Το απόθεμα φτάνει την επιθυμητή τιμή του αποθέματος με καθυστέρηση 50 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 25 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

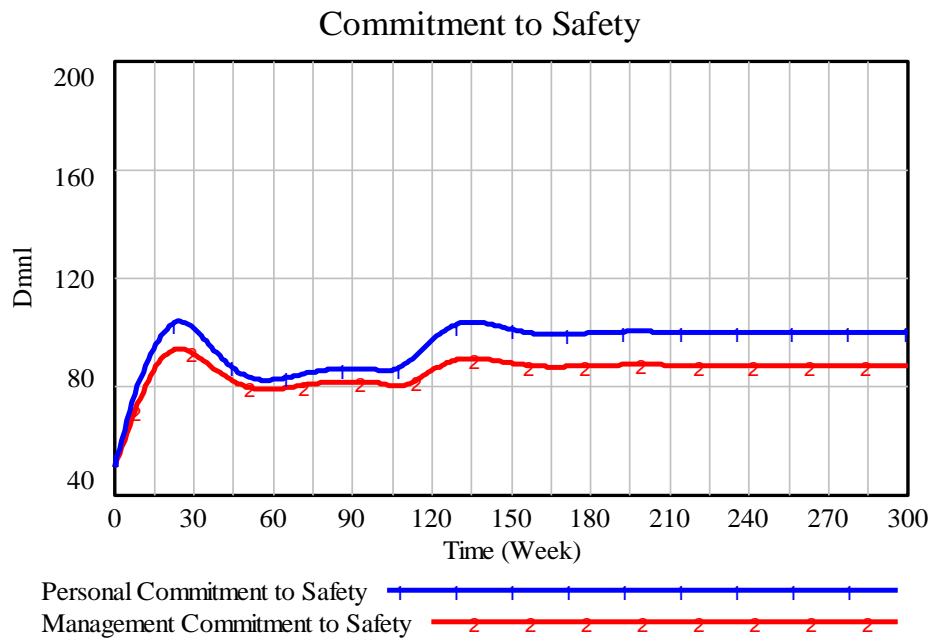
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 22.17*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 133 με μέγιστη τιμή στο 148*

7.2.11 Σενάριο 11

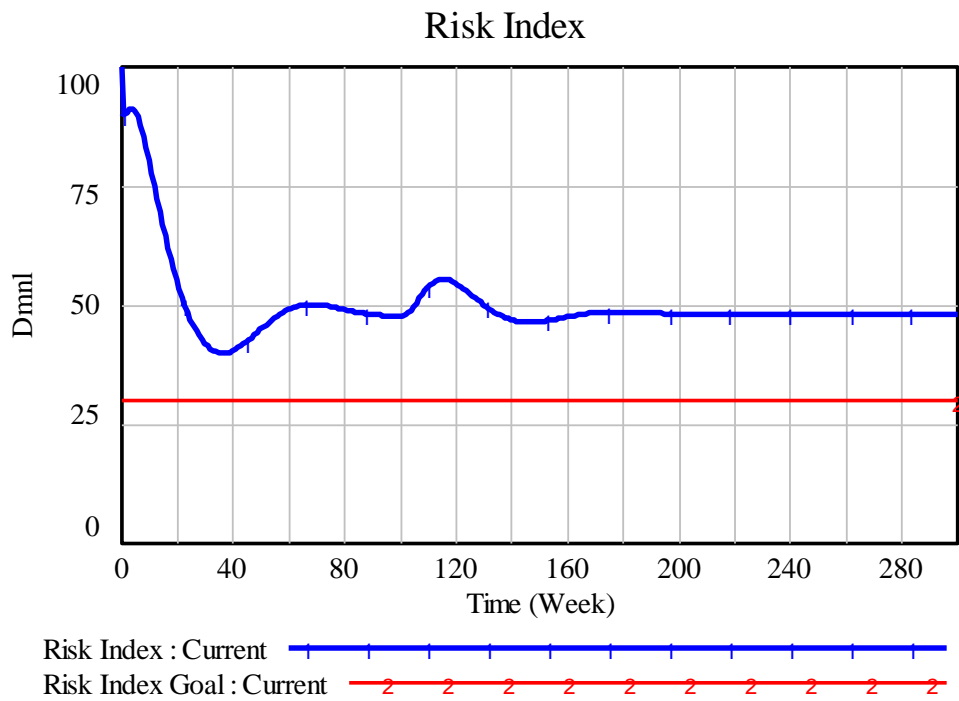
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και η συνολική διάρκεια μιας εργασίας (Total Time per Task) αυξάνεται στις 8.6 ώρες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.11: Παράμετροι Σεναρίου 11

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks
(Total Time Per Task)	8.6	Hours



Σχήμα 7.25: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 11



Σχήμα 7.26: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 11

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.8** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 56**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, όσο αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), τόσο αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure, στις 100 εβδομάδες από 0.82 σε 0.97) με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε ελάχιστα μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

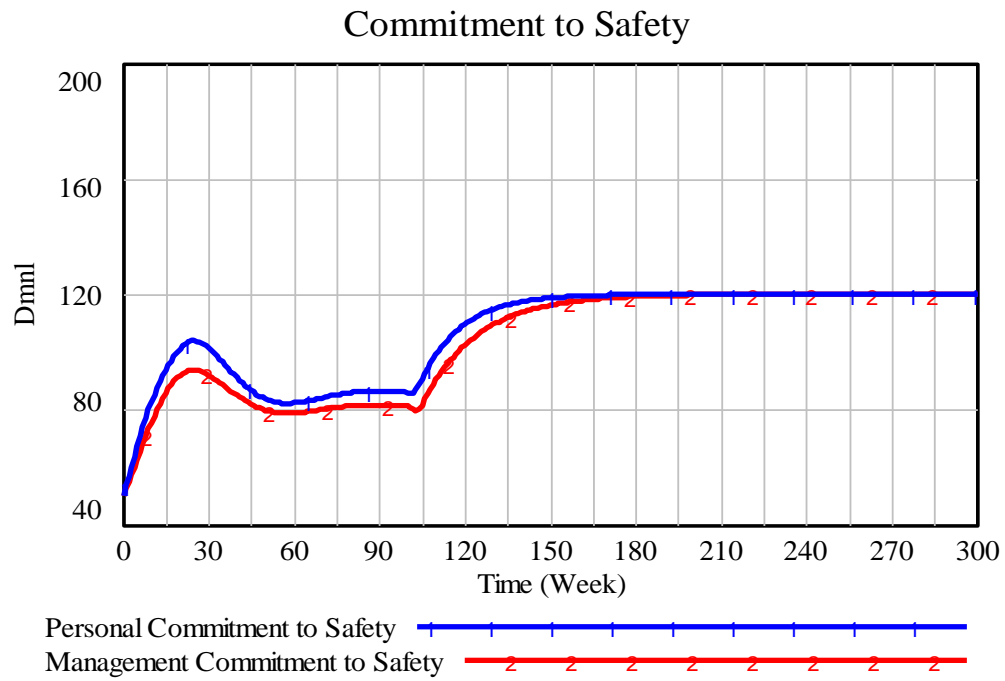
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.8*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 100 & 89*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 56*

7.2.12 Σενάριο 12

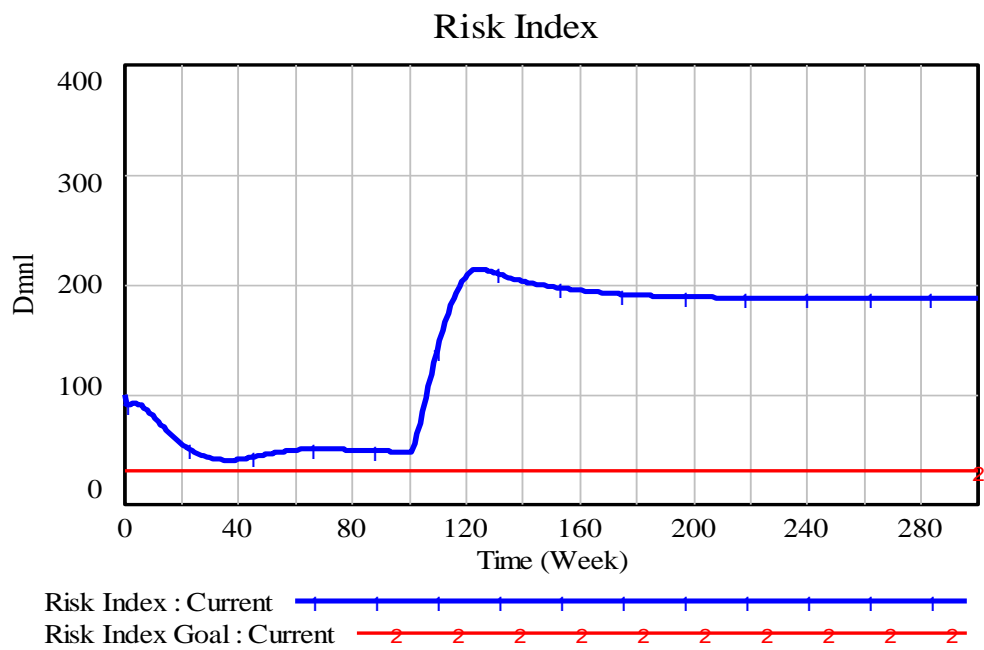
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και η συνολική διάρκεια μιας εργασίας (Total Time per Task) αυξάνεται στις 8.6 ώρες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.12: Παράμετροι Σεναρίου 12

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks
Συνολική διάρκεια εργασίας (Total Time per Task)	10.2	Hours



Σχήμα 7.27: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 12



Σχήμα 7.28: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 12

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **28.71** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 187, με μέγιστη τιμή 214**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **187**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, όσο αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), τόσο αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure, στις 100 εβδομάδες από 0.91 σε 1.22) με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

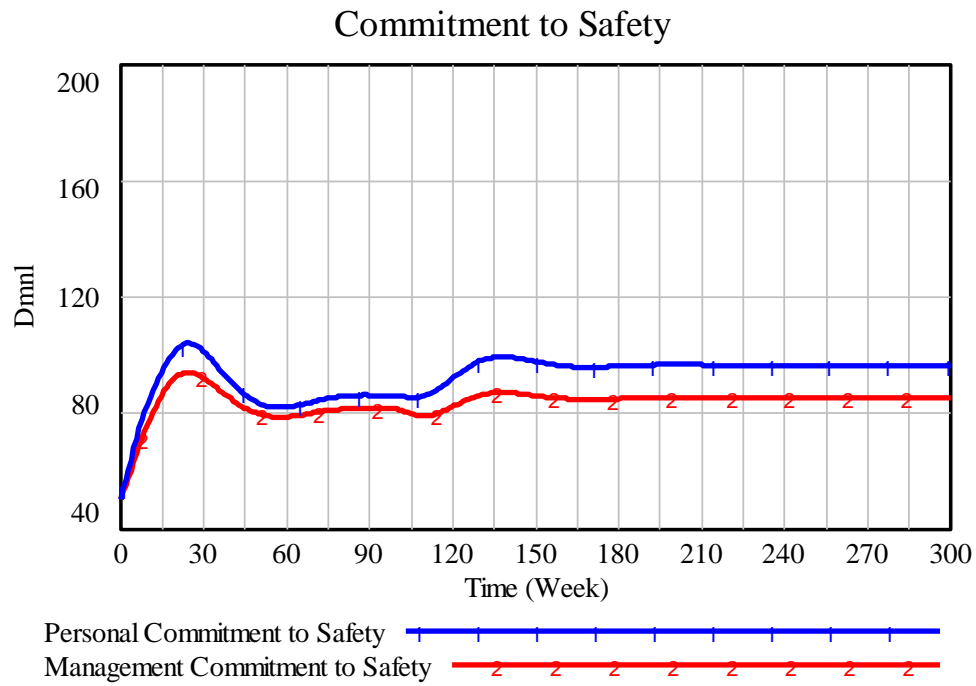
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 28.71*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισορροπείται το Risk Index στο 187 με μέγιστη τιμή στο 214*

7.2.13 Σενάριο 13

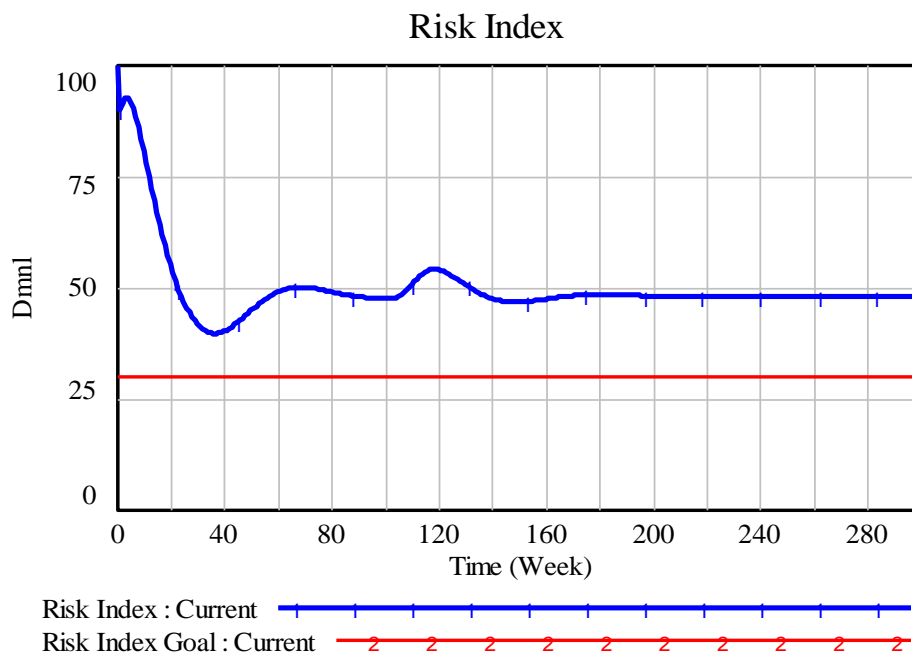
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Στο συγκεκριμένο Σενάριο περιγράφεται ένα σταθερό σύστημα εργασίας όπου η αύξηση των παραγγελιών δε θα αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και της παραγωγικότητας των εργαζομένων, αλλά με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Η παραγωγικότητα και το ωράριο θα έχουν σταθερές προκαθορισμένες τιμές και μετά τις 100 εβδομάδες. Η παραγωγικότητα ορίζεται στους 90 tonnes/week/people και το ωράριο στις 40 hours/people/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.13: Παράμετροι Σεναρίου 13

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.29: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 13



Σχήμα 7.30: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 13

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 εβδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **67**.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **4.32** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του στο **48**, με μέγιστη τιμή **54**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση των παραγγελιών δεν αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων αλλά αντιμετωπίζεται με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα μικρό αριθμό λαθών και κατ' επέκταση χαμηλές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index).

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

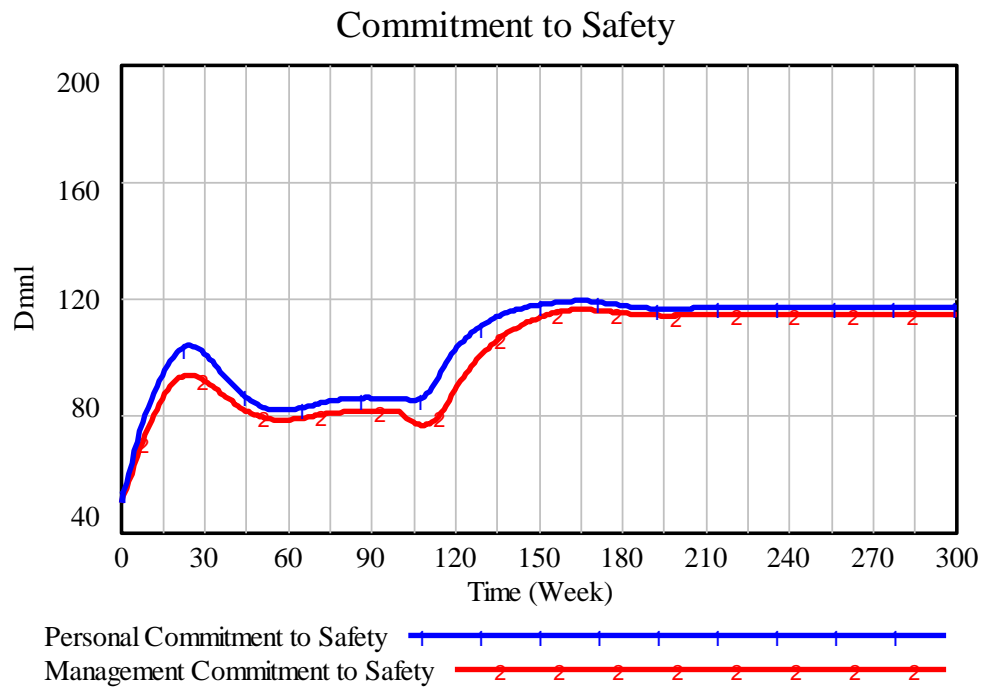
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 67 εργαζόμενους*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 4.32*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 96 & 85*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 54*

7.2.14 Σενάριο 14

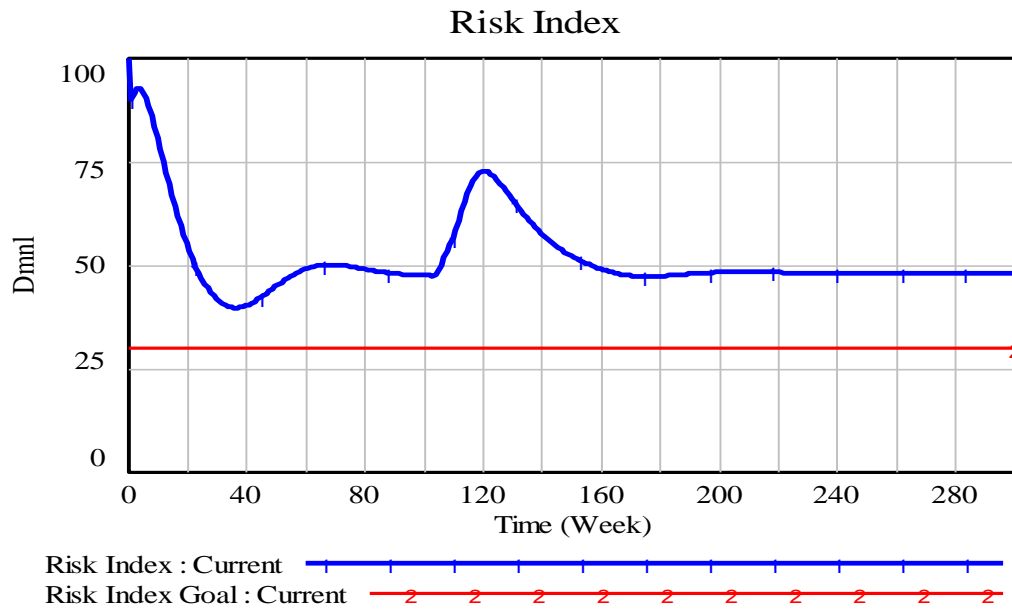
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Στο συγκεκριμένο Σενάριο περιγράφεται ένα σταθερό σύστημα εργασίας όπου η αύξηση των παραγγελιών δε θα αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και της παραγωγικότητας των εργαζομένων, αλλά με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Η παραγωγικότητα και το ωράριο θα έχουν σταθερές προκαθορισμένες τιμές και μετά τις 100 εβδομάδες. Η παραγωγικότητα ορίζεται στους 90 tonnes/week/people και το ωράριο στις 40 hours/people/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το συγκεκριμένο Σενάριο.

Πίνακας 7.14: Παράμετροι Σεναρίου 14

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.31: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 14



Σχήμα 7.32: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 14

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 εβδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **111**.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **7.26** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 73**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά, η αύξηση των παραγγελιών δεν αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων αλλά αντιμετωπίζεται με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα μικρό αριθμό λαθών και κατ' επέκταση χαμηλές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index).

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

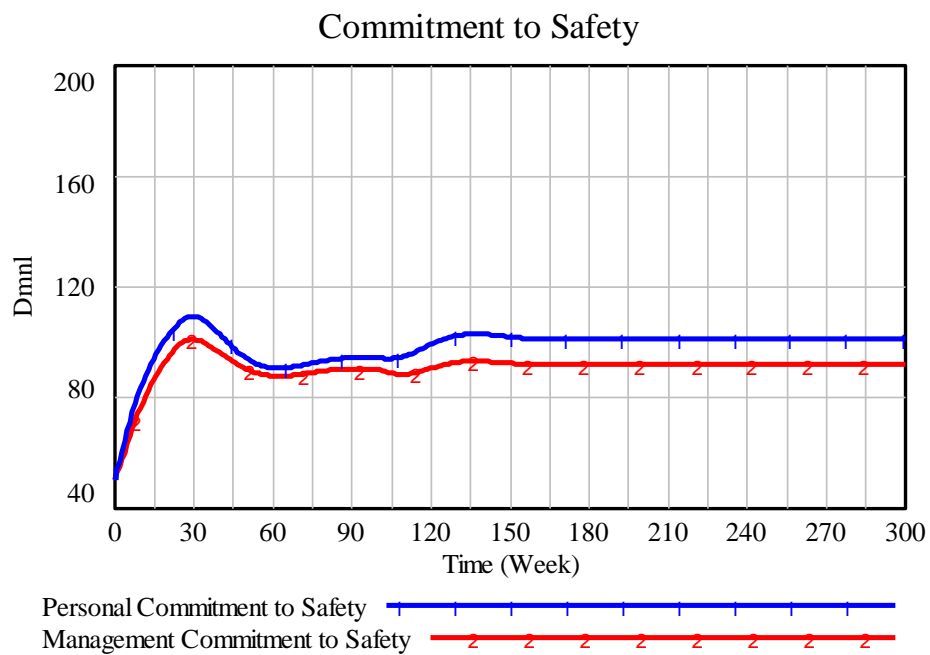
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 111 εργαζόμενους*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 7.26*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 117 & 115*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 73*

7.2.15 Σενάριο 15

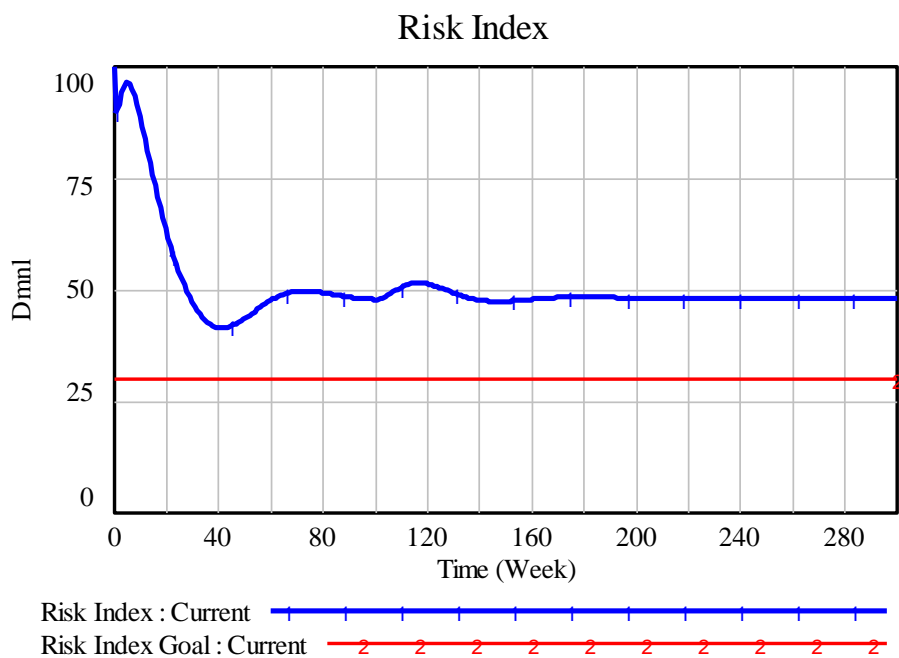
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week. Σε αυτή την υπόθεση η μέση εμπειρία των εργαζομένων είναι 50 αντί 60 εβδομάδες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το Σενάριο 15, που αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.

Πίνακας 7.15: Παράμετροι Σεναρίων 15

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->6000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.33: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 15



Σχήμα 7.34: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 15

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **63**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 95** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 42** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 4.4. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **5.72** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με μέγιστη τιμή 52**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται

ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά: 1) Λόγω της μείωσης της μέσης εμπειρίας των εργαζομένων από 60 σε 50 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) αυξάνονται περισσότερο από τα αδιάγνωστα λάθη του Σεναρίου 1. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν, ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες με αποτέλεσμα τα αδιάγνωστα λάθη να αυξάνονται.

2) Επίσης, λόγω της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (schedule pressure). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται δυσκολότερη η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών.

Όμως, παρόλο που αυξήθηκαν τα αδιάγνωστα λάθη, δεν αυξήθηκε ο δείκτης επικινδυνότητας, διότι έφτασαν σε σχετικά υψηλές τιμές οι δεσμεύσεις των διοικούντων και των εργαζομένων με αποτέλεσμα να συγκρατήσουν τον δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε χαμηλά επίπεδα.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 6000 tonnes/week, τότε:

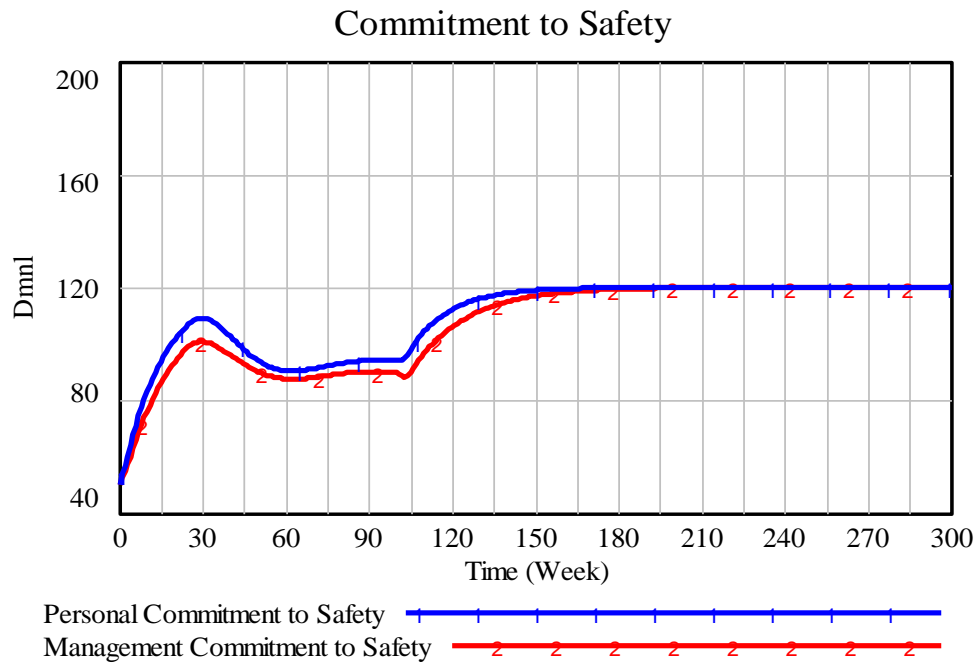
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 6000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 18.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 63 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 95 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 42 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 5.72*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 101 & 92*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με μέγιστη τιμή στο 52*

7.2.16 Σενάριο 16

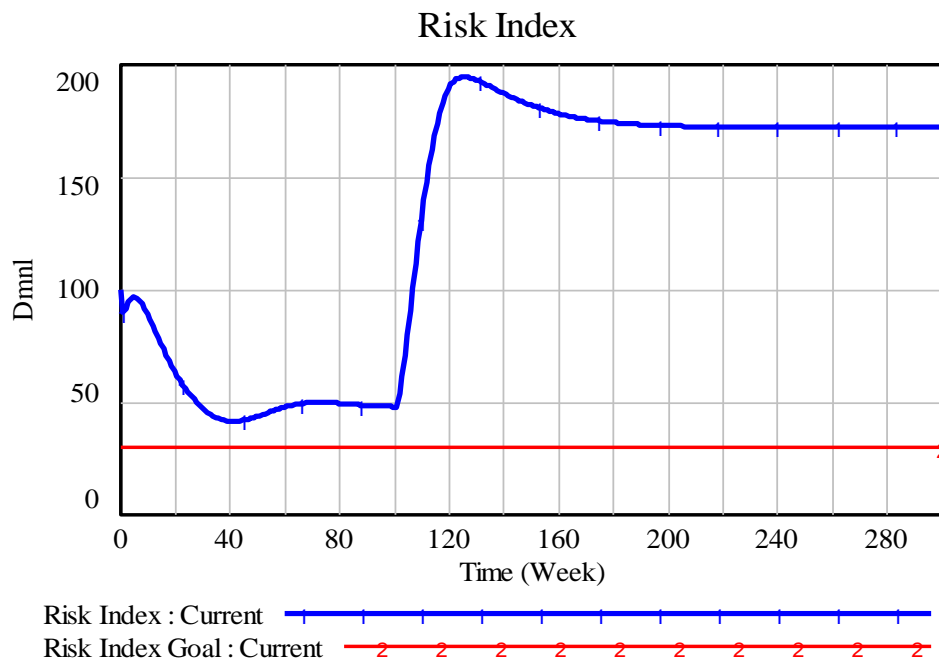
Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week. Σε αυτή την υπόθεση η μέση εμπειρία των εργαζομένων είναι 50 αντί 60 εβδομάδες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το Σενάριο 16, οι οποίοι αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.

Πίνακας 7.16: Παράμετροι Σεναρίων 16

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000 -> 10000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.35: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 16



Σχήμα 7.36: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 16

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 εβδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε αυξάνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **91**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου αυξάνεται από τους **90 στους 110** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) αυξάνεται από τις **40 στις 50** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 4.4. Στις 100 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περίπου στα **27.18** λόγω της αύξησης της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με την αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 172, με μέγιστη τιμή 194**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο 30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **172**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο,

δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Συμπερασματικά: 1) Λόγω της μείωσης της μέσης εμπειρίας των εργαζομένων από 60 σε 50 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) αυξάνονται περισσότερο από τα αδιάγνωστα λάθη του Σεναρίου 2. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν, ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες με αποτέλεσμα τα αδιάγνωστα λάθη να αυξάνονται.

2) Επίσης, λόγω της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (schedule pressure). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται δυσκολότερη η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών αυξηθεί στις 10000 tonnes/week, τότε:

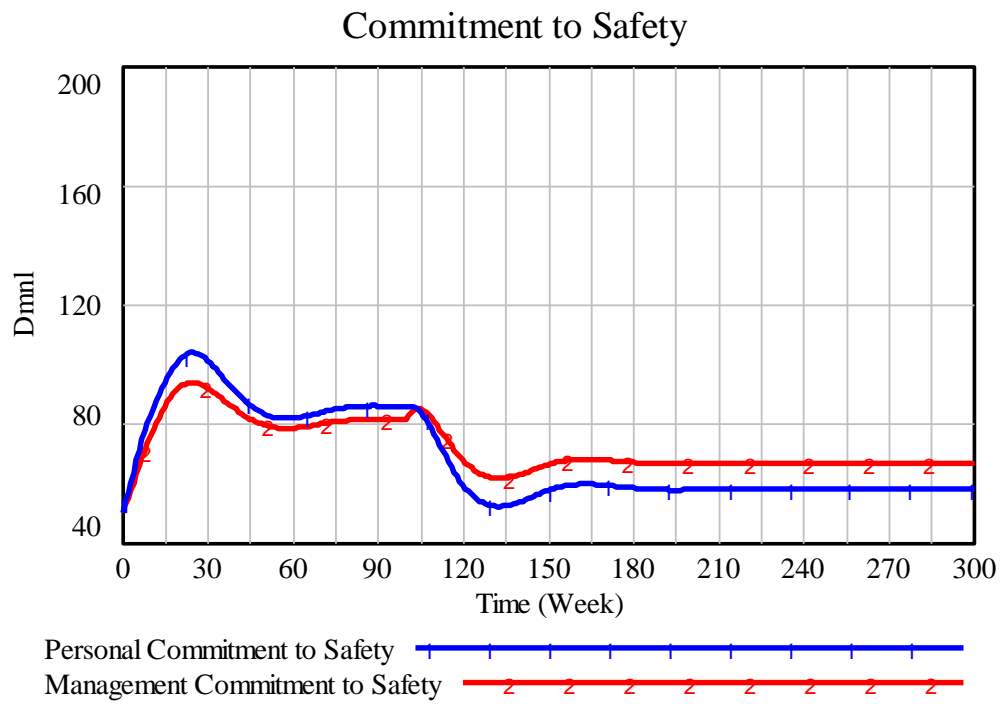
- *Αυξάνεται το Production Rate στις 10000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Inventory στις 30.000 tonnes/week*
- *Αυξάνεται το Workforce στους 91 εργαζόμενους*
- *Αυξάνεται το Productivity στους 110 tonnes/week/people*
- *Αυξάνεται το Week Shift στις 50 hours/people/week*
- *Αυξάνονται τα Undetected Error στα 27.18*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 120 & 120*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 172 με μέγιστη τιμή στο 194*

7.2.17 Σενάριο 17

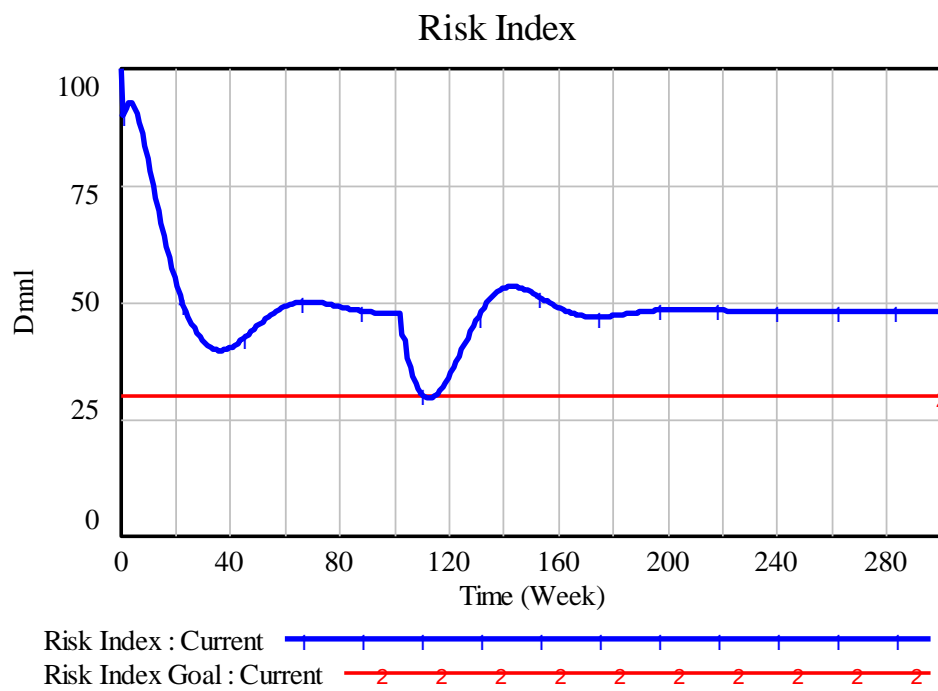
Έως τώρα οι προηγούμενες υποθέσεις, αφορούσαν αύξηση του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate). Στη συγκεκριμένη υπόθεση, τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων θα υπάρξει μείωση του ρυθμού παραγγελιών από τις 5000 στις 3000 tonnes/week. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αφορούν το Σενάριο 17, οι οποίοι αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.

Πίνακας 7.17: Παράμετροι Σεναρίου 17

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000->3000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks



Σχήμα 7.37: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 17



Σχήμα 7.38: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 17

Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών (Order Rate) μειώνεται από τις 5000 στις 3000 tonnes/week. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) μειώνεται από τις 5000 στις 3000 tonnes/week με καθυστέρηση λίγων εβδομάδων.

Αρχικά ο αριθμός των εργαζομένων είναι 55. Στις 100 βδομάδες όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) μειωθεί στις 3000 tonnes/week, τότε μειώνεται ο αριθμός των εργαζομένων στους **37**.

Αρχικά, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου (Worker Productivity) είναι 90 tonnes/week/people. Στις 100 εβδομάδες, όταν ο ρυθμός παραγγελιών μειωθεί στις 3000 tonnes/week, η παραγωγικότητα του κάθε εργαζομένου μειώνεται από τους **90 στους 80** tonnes/week/people και το εβδομαδιαίο ωράριο του κάθε εργαζομένου (Week Shift) μειώνεται από τις **40 στις 36** hours/people/week.

Αρχικά, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) είναι 3.6. Στις 100 εβδομάδες, όταν ο ρυθμός παραγωγής (Production Rate) μειωθεί στις 3000 tonnes/week, τα αδιάγνωστα λάθη μειώνονται στα **1.98** λόγω της μείωσης της παραγωγής. Η μείωση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τον καθορισμό του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους μειώνουν την παραγωγή λαθών (Production Error).

Παρατηρείται ότι, με τη μικρή αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τους εργαζομένους (Personal Commitment to Safety) και με τη μικρή αύξηση της δέσμευσης της ασφάλειας από τη διοίκηση (Management Commitment to Safety), μειώνονται ελάχιστα οι ανασφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) και οι επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας (Risk Index). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, λόγω της μείωσης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας μειώνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και της διοίκησης οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας και στην εξισορρόπηση του **στο 48, με ελάχιστη τιμή 30**.

Το προκαθορισμένο επιθυμητό όριο στο οποίο τελικά το σύστημα ισορροπεί, καθορίζεται από το στόχο που έχει δοθεί από εξωτερική πηγή για τον στόχο του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal). Παρόλο που ο προκαθορισμένος στόχος είναι στο

30, ο δείκτης επικινδυνότητας ισορροπεί στο **48**. Αυτό συμβαίνει διότι μόλις μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας και πλησιάζει στον προκαθορισμένο στόχο, δημιουργείται ένας εφησυχασμός από τους εργαζομένους και τη διοίκηση, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται και ύστερα από κάποια χρονική στιγμή να ισορροπεί.

Όταν ο ρυθμός παραγγελιών μειωθεί στις 3000 tonnes/week, τότε:

- *Μειώνεται το Production Rate στις 3000 Tonnes/week*
- *Μειώνεται το Inventory στις 9.000 Tonnes/week*
- *Μειώνεται το Workforce στους 37 εργαζόμενους*
- *Μειώνεται το Productivity στους 80 tonnes/week/people*
- *Μειώνεται το Week Shift στις 36 hours/people/week*
- *Μειώνονται τα Undetected Error στα 1.98*
- *Αυξάνονται Personal & Management Commitment στο 58 & 67*
- *Μειώνεται και εξισσοροπείται το Risk Index στο 48 με ελάχιστη τιμή στο 30*

7.3 Συμπεράσματα - Σύνοψη της ανάλυσης ευαισθησίας

Το Συνθετικό Μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, τροφοδοτήθηκε με δεδομένα εισόδου και υποβλήθηκε σε πλήθος δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους με τη βοήθεια του λογισμικού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα δεδομένα εξόδου που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας του Συνθετικού Μοντέλου, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Συγκεκριμένα, το Συνθετικό Μοντέλο υποβλήθηκε σε 17 διαφορετικές δοκιμές-σενάρια. Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών ήταν 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξανόταν από τις 5000 έως τις 10000 tonnes/week με τροποποιήσεις στις παραμέτρους και τις συνθήκες που θα συνοδεύουν τη συγκεκριμένη κατάσταση. Στο τελευταίο σενάριο, τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός των παραγγελιών μειώθηκε στις 3000 tonnes/week.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι βασικοί παράμετροι που αποτελούν τις αρχικές συνθήκες του Συνθετικού Μοντέλου.

Πίνακας 7.18: Αρχικές Συνθήκες Συνθετικού Μοντέλου

Ρυθμός Παραγγελιών (Order Rate)	5000	Tonnes/week
Στόχος δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)	30	Dmnl
Μέγιστη δέσμευση διοίκησης (max management commitment)	120	Dmnl
Μέγιστη προσωπική δέσμευση (max personal commitment)	120	Dmnl
Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος (Desired Inventory Coverage)	3	Weeks
Διάρκεια νέων προσλήψεων (Time to Hire New Workers)	8	Weeks

Πίνακας 7.19: Συγκεντρωτικός πίνακας Σεναρίων & δεδομένων εισόδου

Σενάρια	Ρυθμός Παραγγελιών στις 100 εβδομάδες (Order Rate)	Περιγραφή Σεναρίου
No1	5000 → 6000	Αρχικές Συνθήκες
No2	5000 → 10000	Αρχικές Συνθήκες
No3	5000 → 6000	Μέγιστη δέσμευση διοίκησης & εργαζ = 180
No4	5000 → 10000	Μέγιστη δέσμευση διοίκησης & εργαζ = 180
No5	5000 → 6000	Στόχος ρυθμού δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)= 50
No6	5000 → 10000	Στόχος ρυθμού δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index Goal)= 50
No7	5000 → 6000	Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος= 6
No8	5000 → 10000	Επιθυμητή κάλυψη αποθέματος= 6
No9	5000 → 6000	Διάρκεια νέων προσλήψεων= 20
No10	5000 → 10000	Διάρκεια νέων προσλήψεων= 20
No11	5000 → 6000	Συνολική διάρκεια κάθε εργασίας= 8.6
No12	5000 → 10000	Συνολική διάρκεια κάθε εργασίας= 10.2
No13	5000 → 6000	Σταθερή παραγωγικότητα= 90 & ωράριο= 40
No14	5000 → 10000	Σταθερή παραγωγικότητα= 90 & ωράριο= 40
No15	5000 → 6000	Εμπειρία των εργαζομένων= 50
No16	5000 → 10000	Εμπειρία των εργαζομένων= 50
No17	5000 → 3000	Μειώνεται ο ρυθμός παραγγελιών στις 3000 tonnes/week

Πίνακας 7.20: Α' Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εξόδου Συνθετικού Μοντέλου

Σενάριο	Δέσμευση της Ασφάλειας των εργαζομένων	Δέσμευση της Ασφάλειας της Διοίκησης	Δείκτης Επικινδυνότητας	Μέγιστος Δείκτης Επικινδυνότητας
No1	99	88	48	55
No2	120	120	133	168
No3	104	84	48	55
No4	180	180	59	128
No5	78	67	80	92
No6	120	120	133	229
No7	105	83	48	58
No8	120	120	133	195
No9	102	86	48	55
No10	120	120	133	148
No11	100	89	48	56
No12	120	120	187	214
No13	96	85	48	54
No14	117	115	48	73
No15	101	92	48	52
No16	120	120	172	194
No17	58	67	48	ελαχ=30

Πίνακας 7.21: Β' Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εξόδου Συνθετικού Μοντέλου

Σενάριο	Ρυθμός Παραγγελιών στις 100 εβδομάδες	Απόθεμα στις 100 εβδομάδες	Αριθμός Εργαζομένων στις 100 εβδομάδες	Αδιάγνωστα λάθη στις 100 εβδομάδες	Παραγωγικότητα στις 100 εβδομάδες	Ωράριο στις 100 εβδομάδες
No1	6000	18000	63	4.67	95	42
No2	10000	30000	91	22.17	110	50
No3	6000	18000	63	4.67	95	42
No4	10000	30000	91	22.17	110	50
No5	6000	18000	63	4.67	95	42
No6	10000	30000	91	22.17	110	50
No7	6000	36000	63	4.67 μεγ=5.1	95	42
No8	10000	60000	91	22.17 μεγ=26	110	50
No9	6000	18000	63	4.67	95	42
No10	10000	30000	91	22.17	110	50
No11	6000	18000	63	4.8	95	42
No12	10000	30000	91	28.71	110	50
No13	6000	18000	67	4.32	90	40
No14	10000	30000	111	7.26	90	40
No15	6000	18000	63	5.72	95	42
No16	10000	30000	91	27.18	110	50
No17	3000	9000	37	1.98	80	36

Στο Σενάριο 1, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Αυτό συμβαίνει διότι η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error). Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων οδηγούν στη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) κοντά στον προκαθορισμένο στόχο (Risk Index Goal).

Στο Σενάριο 2, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Αυτό συμβαίνει διότι η αύξηση της παραγωγής, επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου, τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων οδηγούν στη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Στο Σενάριο 3, οι μέγιστες δεσμεύσεις της διοίκησης και των εργαζομένων αυξάνονται από 120 στο 180. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Η αύξηση των ορίων των δεσμεύσεων έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή μείωση του δείκτη επικινδυνότητας σε σύγκριση με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Στο Σενάριο 4, οι μέγιστες δεσμεύσεις της διοίκησης και των εργαζομένων αυξάνεται από 120 στο 180. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο

δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Η αύξηση των ορίων των δεσμεύσεων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας σε σύγκριση με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Στο Σενάριο 5, ο στόχος του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας αυξάνεται από το 30 στο 50. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Η αύξηση του στόχου του δείκτη επικινδυνότητας έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας σχετικά με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Στο Σενάριο 6, ο στόχος του ρυθμού του δείκτη επικινδυνότητας αυξάνεται από το 30 στο 50. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Η αύξηση του στόχου του δείκτη επικινδυνότητας, έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας σχετικά με το δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Στο Σενάριο 7, η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος (Desired Inventory Coverage) αυξάνεται από τις 3 στις 6 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της

παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Ο μέγιστος δείκτης επικινδυνότητας του σεναρίου 7, είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο δείκτη επικινδυνότητας του σεναρίου 1 του σημείου αναφοράς, όπου η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος ήταν 3 εβδομάδες. Και αυτό οφείλεται στη σημαντική διαφορά της τιμής που έχει ο ρυθμός παραγωγής πάνω από τις 6000 tonnes/week, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει τη μέγιστη τιμή των αδιάγνωστων λαθών με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μέγιστη τιμή του δείκτη επικινδυνότητας.

Στο Σενάριο 8, η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος αυξάνεται από τις 3 στις 6 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Ο μέγιστος δείκτης επικινδυνότητας του σεναρίου 8, είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο δείκτη επικινδυνότητας του σεναρίου 2 του σημείου αναφοράς όπου, η επιθυμητή κάλυψη του αποθέματος ήταν 3 εβδομάδες. Και αυτό οφείλεται στη σημαντική διαφορά της τιμής που έχει ο ρυθμός παραγωγής πάνω από τις 1000 tonnes/week, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει τη μέγιστη τιμή των αδιάγνωστων λαθών με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μέγιστη τιμή του δείκτη επικινδυνότητας.

Στο Σενάριο 9, ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων (time to hire new workers) αυξήθηκε από τις 8 στις 20 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Λόγω της αύξησης του χρόνου πρόσληψης των εργαζομένων (time to hire new workers), οι αυξήσεις του ρυθμού παραγωγής και του αποθέματος έχουν πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οικονομικές συνέπειες λόγω της αδυναμίας του ορυχείου να ανταποκριθεί εγκαίρως στις απαιτήσεις των παραγγελιών. Ο ρυθμός παραγωγής αυξάνεται από τις 5000 στις 6000 ton/week με καθυστέρηση 25 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 9 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Το απόθεμα φτάνει την επιθυμητή τιμή του αποθέματος με καθυστέρηση 55 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 25 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Ο δείκτης επικινδυνότητας και οι δεσμεύσεις για την ασφάλεια δεν εμφανίζουν αξιόλογες μεταβολές.

Στο Σενάριο 10, ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων αυξήθηκε από τις 8 στις 20 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Λόγω της αύξησης του χρόνου πρόσληψης των εργαζομένων οι αυξήσεις του ρυθμού παραγωγής και του αποθέματος έχουν πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οικονομικές συνέπειες λόγω της αδυναμίας του ορυχείου να ανταποκριθεί εγκαίρως στις απαιτήσεις των παραγγελιών. Ο ρυθμός παραγωγής, αυξάνεται από τις 5000 στις 10000 ton/week με καθυστέρηση 35 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 9 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες. Το απόθεμα φτάνει την επιθυμητή τιμή του αποθέματος με καθυστέρηση 50 εβδομάδων έναντι καθυστέρησης 25 εβδομάδων όταν ο χρόνος πρόσληψης των εργαζομένων ήταν 8 εβδομάδες.

Στο Σενάριο 11, αυξήθηκε ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης

επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Όσο αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας τόσο αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (Schedule Pressure) με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας σε μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 1.

Στο Σενάριο 12, αυξήθηκε ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task). Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Όσο αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας τόσο αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας σε μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας του Σεναρίου 2.

Στο Σενάριο 13, η παραγωγικότητα και το ωράριο των εργαζομένων θα έχουν σταθερές προκαθορισμένες τιμές και μετά τις 100 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Στο συγκεκριμένο Σενάριο περιγράφεται ένα σταθερό σύστημα εργασίας όπου η αύξηση των παραγγελιών δεν αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων αλλά με επιπλέον αύξηση

του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρό αριθμό λαθών και κατ' επέκταση χαμηλές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας.

Στο Σενάριο 14, η παραγωγικότητα και το ωράριο των εργαζομένων θα έχουν σταθερές προκαθορισμένες τιμές και μετά τις 100 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

Στο συγκεκριμένο Σενάριο περιγράφεται ένα σταθερό σύστημα εργασίας όπου η αύξηση των παραγγελιών δεν αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων αλλά με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρό αριθμό λαθών και κατ' επέκταση χαμηλές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας.

Στο Σενάριο 15, η εμπειρία των εργαζομένων μειώθηκε από 60 σε 50 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 6000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

1) Λόγω της μείωσης της μέσης εμπειρίας των εργαζομένων από 60 σε 50 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη (Undetected Errors) αυξάνονται περισσότερο από τα αδιάγνωστα λάθη του Σεναρίου 1. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν, ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες με αποτέλεσμα τα αδιάγνωστα λάθη να αυξάνονται.

2) Επίσης, λόγω της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (schedule pressure). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται δυσκολότερη η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών. Όμως, παρόλο που αυξήθηκαν τα

αδιάγνωστα λάθη, δεν αυξήθηκε ο δείκτης επικινδυνότητας, διότι έφτασαν σε σχετικά υψηλές τιμές οι δεσμεύσεις των διοικούντων και των εργαζομένων με αποτέλεσμα να συγκρατήσουν τον δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index) σε χαμηλά επίπεδα.

Στο Σενάριο 16, η εμπειρία των εργαζομένων μειώθηκε από 60 σε 50 εβδομάδες. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων ο ρυθμός παραγγελιών αυξάνεται στις 10000 tonnes/week και λόγω της αύξησης της παραγωγής ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν σε μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο.

1) Λόγω της μείωσης της μέσης εμπειρίας των εργαζομένων από 60 σε 50 εβδομάδες, τα αδιάγνωστα λάθη αυξάνονται περισσότερο από τα αδιάγνωστα λάθη του σεναρίου 2. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν, ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες με αποτέλεσμα τα αδιάγνωστα λάθη να αυξάνονται.

2) Επίσης, λόγω της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας (total time per task), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος (schedule pressure). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται δυσκολότερη η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών με συνέπεια την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών.

Στο Σενάριο 17, ο ρυθμός παραγγελιών είναι 5000 tonnes/week. Τη χρονική στιγμή των 100 εβδομάδων, ο ρυθμός παραγγελιών μειώνεται στις 3000 tonnes/week και λόγω της μείωσης της παραγωγής μειώνεται ο δείκτης επικινδυνότητας με την ελάχιστη τιμή του, στο 30. Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων, οδηγούν στην εξισορρόπηση του στο 48 κοντά στον προκαθορισμένο στόχο. Επίσης, λόγω της μείωσης της παραγωγής μειώνεται ο αριθμός των εργαζομένων, η παραγωγικότητα καθώς και το ωράριό τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

8.1 Ερευνητικοί σκοποί

Σκοπός της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής ήταν η ανάπτυξη ενός Μοντέλου Εκτίμησης Επικινδυνότητας στηριζόμενο στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο το οποίο αναλύει το εργασιακό σύστημα και τις επιχειρησιακές διαδικασίες ενός τυπικού ορυχείου προκειμένου να προβλέψει και να εξετάσει πιθανά περιστατικά ή ατυχήματα.

Η καινοτομία του νέου μοντέλου έγκειται στον τρόπο με τον οποίο γεφυρώνεται η Οργανωσιακή Θεωρία με τη Δυναμική Συστημάτων, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύγχρονο εργαλείο-μοντέλο, πρόβλεψης και ανάλυσης συμβάντων. Η ανάλυση ατυχημάτων επηρεάζεται από την προσέγγιση που υιοθετείται από την επιχείρηση. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις στην ασφάλεια των εργασιακών συστημάτων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά στο Συνθετικό Μοντέλο της διατριβής όπως, η συστημική θεώρηση της ασφάλειας και η θεωρία συστημική ελέγχου και κυβερνητικής. Η Συστημική θεώρηση ασφάλειας (Reason 1997), δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στον ανθρώπινο παράγοντα, αλλά λαμβάνει υπόψη και τους τεχνολογικούς και διοικητικούς παράγοντες που συντέλεσαν στο ατύχημα. Θεωρεί λοιπόν ότι η πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα εξαρτάται από το συνδυασμό τριών παραγόντων : (1) τον άνθρωπο, (2) το σύστημα εργασίας και (3) το τεχνικό σύστημα. Ενώ, σύμφωνα με τη θεωρία του συστημικού ελέγχου και κυβερνητικής (Leveson 2011, Dekker 2011), τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας, είτε δεν μπορεί να επιβάλλει κάποιους «περιορισμούς ασφαλείας», είτε δεν μπορεί να ελέγξει αποτελεσματικά διάφορες εξωτερικές διαταραχές της εγκατάστασης.

Το πρόβλημα λοιπόν της ασφάλειας ανάγεται σε πρόβλημα ελέγχου του οργανισμού το οποίο μπορεί να γίνει διαχωρίσιμο από μία ιεραρχική δομή ελέγχου που λειτουργεί από ένα συγκεκριμένο κοινωνικό-τεχνικό σύστημα.

Επίσης, στο μοντέλο εφαρμόζεται μια νέα προσέγγιση όπου η επικινδυνότητα αναπαριστάται ως μια δυναμική μεταβλητή η οποία αναδύεται μέσα από τις αλληλεπιδράσεις της ασφάλειας με ένα πλήθος επιχειρησιακών διαδικασιών. Στο παρελθόν, η επικινδυνότητα είχε εκληφθεί ως μια στατική έννοια συνδεδεμένη με το σύστημα ασφαλείας μόνο. Ως εκ τούτου, οι παραγωγικές διαδικασίες είχαν εξετασθεί ως αντίπαλες διαδικασίες προς την ασφάλεια. Αυτή η εποικοδομητική προσέγγιση εστιάζει στα διλήμματα της διοίκησης και των εργαζομένων σχετικά με τους τρόπους εξισορρόπησης των απαιτήσεων της ασφάλειας, της παραγωγής και της διαχείρισης των πόρων και έργων.

Η παρούσα διατριβή συμβάλλει στην ανάπτυξη πρωτότυπης επιστημονικής γνώσης στο πεδίο της πρόβλεψης πιθανών περιστατικών ή ατυχημάτων σε ένα τυπικό ορυχείο, με βάση τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων της ασφάλειας με ένα σύνολο επιχειρησιακών διαδικασιών. Στο προτεινόμενο μοντέλο, η πιθανότητα να προκύψει κάποιο περιστατικό ή ατύχημα εξαρτάται τόσο από τη διάθεση των εργαζομένων και των διοικούντων να καταβάλλουν περισσότερη προσπάθεια όσο και από τις νοητικές ικανότητες των εργαζομένων. Συγκεκριμένα, το νέο μοντέλο ενσωματώνει τόσο την οργανωσιακή κουλτούρα της διοίκησης και των εργαζομένων, όσο και την ανθρώπινη αξιοπιστία που επηρεάζεται από τις στρατηγικές και πρακτικές των εργαζομένων, τον τρόπο οργάνωσης της εργασίας και το ευρύτερο σύστημα εργασίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στο Συνθετικό Μοντέλο της παρούσας διατριβής δεν εφαρμόστηκε η «Οργανωσιακή Μάθηση» (Organizational Learning) η οποία έχει μελετηθεί σε παλαιότερη έρευνα (Cooke, 2003). Με τη μάθηση (από τα περιστατικά που συνέβησαν αναπόφευκτα σε ένα σύνθετο σύστημα), ένας οργανισμός δύναται να μειώσει τον κίνδυνο και να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες, καθώς μέσω π.χ. της ενθάρρυνσης της υποβολής εκθέσεων για περισσότερα περιστατικά, αναπτύσσεται μια διαδικασία συνεχούς οργανωσιακής βελτίωσης.

Το Συνθετικό Μοντέλο, αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα εργασίας. Το υποσύστημα Ασφαλείας (Safety Subsystem), το υποσύστημα Παραγωγής (Production

Subsystem), το υποσύστημα Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources Subsystem) και το υποσύστημα Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων (Task Backlog & Errors Subsystem). Το Συνθετικό Μοντέλο τροφοδοτήθηκε με δεδομένα εισόδου και πραγματοποιήθηκαν δεκαεφτά Σενάρια. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας του Συνθετικού Μοντέλου, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

8.2 Μοντελοποίηση οργανωσιακών συμπεριφορών

Στο Συνθετικό μοντέλο που αναπτύχθηκε καταγράφηκαν οι παρακάτω οργανωσιακές συμπεριφορές.

- 1) Η δέσμευση των εργαζομένων για την ασφάλεια (Personal Commitment to Safety) αποτελεί ατομική συμπεριφορά και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των επικίνδυνων συμπεριφορών (Risky Behaviors).
- 2) Η δέσμευση της διοίκησης για την ασφάλεια (Management Commitment to Safety) αποτελεί οργανωσιακή συμπεριφορά και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ανασφαλών συνθηκών (Unsafe Conditions).
- 3) Η απόφαση της διοίκησης για αύξηση του ωραρίου εργασίας με ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων, προκειμένου να μην υπάρξει μεγάλη αύξηση του εργατικού δυναμικού, αποτελεί οργανωσιακή συμπεριφορά ώστε το ορυχείο να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της παραγωγής. Αυτό έχει διττό αποτέλεσμα καθώς από τη μία αντιμετωπίζονται οι αυξημένες απαιτήσεις της παραγωγής, από την άλλη όμως αυξάνεται η κόπωση των εργαζομένων με αποτέλεσμα να μειώνονται οι νοητικές τους ικανότητες. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση του αριθμού των αδιάγνωστων λαθών και κατ' επέκταση την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας του ορυχείου (Risk Index).
- 4) Η αύξηση της πίεσης του χρονοδιαγράμματος των εργασιών (Schedule Pressure) λόγω της αύξησης των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog), αποτελεί μια ακόμη

σημαντική οργανωσιακή συμπεριφορά και στοχεύει στην αξιοποίηση της παραγωγικής ικανότητας και κατ' επέκταση στην ταχύτερη ολοκλήρωση των εργασιών.

5) Η προτεραιότητα των διοικούντων για την παραγωγή έναντι της ασφάλειας, αποτελεί οργανωσιακή συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνονται οι πιέσεις για μεγαλύτερη παραγωγή (Relative Management to Produce) τόσο μικρότερο θα είναι το ενδιαφέρον των διοικητικών στελεχών για την ασφάλεια (Pressure to Management) με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας του ορυχείου (Risk Index).

8.3 Μοντελοποίηση ανθρωπίνων λαθών

Στο Συνθετικό Μοντέλο της παρούσας διατριβής, ο δείκτης επικινδυνότητας επηρεάζεται τόσο από τη διάθεση των εργαζομένων και των διοικούντων να καταβάλλουν περισσότερη προσπάθεια για την ασφάλεια όσο και από τις νοητικές ικανότητες των εργαζομένων να εντοπίζουν ή να αποφεύγουν τυχόν λάθη κατά την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών. Όταν όμως μειώνονται οι δεσμεύσεις για την ασφάλεια των εργαζομένων και των διοικούντων καθώς και οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων, τότε παράγονται δύο τύποι λαθών τόσο στο πλαίσιο της κουλτούρας ασφαλείας όσο και στο πλαίσιο των νοητικών ικανοτήτων.

1) Τα λάθη της «κουλτούρας ασφαλείας» προέρχονται από τις μειώσεις των δεσμεύσεων των διοικούντων και των εργαζομένων για την ασφάλεια και μοντελοποιούνται με τις επισφαλείς συνθήκες (Unsafe Conditions) εκ μέρους των διοικούντων και με τις επικίνδυνες συμπεριφορές (Risky Behaviors) των εργαζομένων. Τα λάθη αυτά προκαλούν αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας.

Ανασφαλείς συνθήκες εκ μέρους της διοίκησης:

- ανθυγιεινές συνθήκες, κακός φωτισμός & αερισμός, υψηλές θερμοκρασίες

- κακή κατάσταση του εξοπλισμού λόγω μη συντήρησης σε τακτά χρονικά διαστήματα
- χρησιμοποίηση ελαττωματικών & φθινών υλικών

Επικίνδυνες συμπεριφορές των εργαζομένων:

- αποφυγή χρήσης μέτρων ατομικής προστασίας (ΜΑΠ)
- κακές συνήθειες (απροσεξία, αμέλεια, επιπολαιότητα)
- μη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας

2) Οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων να αποφεύγουν τυχόν λάθη κατά την εκτέλεση των εργασιών, μειώνονται λόγω της διεύρυνσης του ωραρίου. Η διεύρυνση προκαλεί κόπωση, η οποία επιβραδύνει τις αντιδράσεις και μειώνει την οξύτητα των αισθήσεων του εργαζομένου. Επίσης, οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων να εντοπίζουν εσφαλμένες εργασίες μειώνονται λόγω της αύξησης της πίεσης του χρονοδιαγράμματος των εργασιών αφού όσο μεγαλύτερη πίεση υπάρχει τόσο πιο δύσκολη καθίσταται η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών. Τέλος, οι νοητικές ικανότητες των εργαζομένων να εντοπίζουν εσφαλμένες εργασίες μειώνονται εξαιτίας της μείωσης της εμπειρίας. Αυτό συμβαίνει διότι όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες.

Η μείωση των νοητικών ικανοτήτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού παραγωγής λαθών (Production Error) και, κατ' επέκταση, τη μείωση του ρυθμού εντοπισμού των λαθών (Detected Error) με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των αδιάγνωστων λαθών (Undetected Errors). Τα αδιάγνωστα λάθη είναι δυνατόν να έχουν τις παρακάτω μορφές:

- Αδυναμία προσδιορισμού στόχου ή εκτέλεσης εργασίας
- Καθυστέρηση (είτε στην έναρξη είτε στη διάρκεια της εργασίας)

- *Πρόωρη εκτέλεση (έγινε χωρίς να πληρούνται οι προϋποθέσεις)*
- *Σφάλματα (λανθασμένος στόχος ή ενέργεια)*
- *Παράβλεψη παρενεργειών*
- *Παραβιάσεις διαδικασιών*
- *Εφησυχασμός*

8.4 Σύνοψη της ανάλυσης ευαισθησίας

Το Συνθετικό Μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή, τροφοδοτήθηκε με δεδομένα εισόδου και υποβλήθηκε σε πλήθος δοκιμών υπό διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους με τη βοήθεια του λογισμικού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα δεδομένα εξόδου που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας του Συνθετικού Μοντέλου με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Συγκεκριμένα, το Συνθετικό Μοντέλο υποβλήθηκε σε 17 διαφορετικές Σενάρια. Αρχικά, ο ρυθμός παραγγελιών ήταν 5000 tonnes/week. Στις 100 εβδομάδες, ο ρυθμός παραγγελιών αυξανόταν από τις 5000 έως τις 10000 tonnes/week με τροποποιήσεις στις παραμέτρους και τις συνθήκες που συνοδεύουν τη συγκεκριμένη κατάσταση. Μερικές από τις πιο βασικές αρχικές συνθήκες αφορούν το στόχο του δείκτη επικινδυνότητας με την τιμή του να είναι 30, τις μέγιστες δεσμεύσεις των εργαζομένων και των διοικούντων να είναι στο 120 και τη διάρκεια των νέων προσλήψεων στις 8 εβδομάδες. Μερικά από τα Σενάρια αυτά, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο ως προς τα δεδομένα εξόδου όσο και ως προς τα συμπεράσματα που προέκυψαν τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Στα αρχικά Σενάρια, εξετάστηκε πως η αυξομείωση του ρυθμού των παραγγελιών (Order Rate) επηρεάζουν το δείκτη επικινδυνότητας (Risk Index). Παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της παραγωγής επηρεάζει τόσο τον αριθμό των εργασιών σε εκκρεμότητα (Task Backlog) όσο και τη διεύρυνση του ωραρίου (Week Shift), τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την παραγωγή λαθών (Production Error). Όμως, οι δεσμεύσεις της ασφάλειας των εργαζομένων και των διοικούντων (Personal and Management Commitment to Safety) οδήγησαν στη μείωση του δείκτη επικινδυνότητας κοντά στον προκαθορισμένο στόχο (Risk Index Goal).

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε πως η αύξηση των δεσμεύσεων των διοικούντων και των εργαζομένων επηρεάζουν το δείκτη επικινδυνότητας. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η αύξηση των ορίων των δεσμεύσεων οδήγησε σε επιπλέον μείωση του δείκτη επικινδυνότητας σε σύγκριση με το δείκτη των αρχικών Σεναρίων. Αυτό συνέβη λόγω της εντατικοποίησης των προσπαθειών των διοικούντων για την ασφάλεια έτσι ώστε να δημιουργούν ασφαλείς συνθήκες εργασίας καθώς και εντατικοποίησης των προσπαθειών των εργαζομένων έτσι ώστε να εμφανίζουν υπεύθυνες συμπεριφορές.

Αμέσως μετά, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η συμπεριφορά του συστήματος όταν αυξηθεί ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας. Προέκυψε ότι όταν αυξάνεται ο χρόνος επεξεργασίας, αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα αδιάγνωστα λάθη με συνέπεια να αυξάνεται ο δείκτης επικινδυνότητας σε μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας των αρχικών Σεναρίων.

Στη συνέχεια, ενδιαφέρον παρουσίασε η περίπτωση της εφαρμογής ενός σταθερού συστήματος εργασίας όπου η αύξηση των παραγγελιών δεν αντιμετωπίζεται από τη διοίκηση με αύξηση του ωραρίου και της παραγωγικότητας των εργαζομένων, αλλά με επιπλέον αύξηση του αριθμού των εργαζομένων. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος εργασίας, οδήγησε στην παραγωγή μικρού αριθμού λαθών και κατ' επέκταση χαμηλών τιμών του δείκτη επικινδυνότητας σε σύγκριση με ένα ευέλικτο σύστημα εργασίας. Ο αρνητικός παράγοντας του σταθερού συστήματος εργασίας αφορά τη μεγάλη συχνότητα προσλήψεων και απολύσεων των εργαζομένων καθώς και τις συνέπειες που ενδεχομένως να προκύψουν από το μεγάλο ρυθμό αυξομείωσης των εργαζομένων.

Τέλος, ένα Σενάριο που παρουσίασε ενδιαφέρον ήταν η περίπτωση της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων με αποτέλεσμα τα αδιάγνωστα λάθη να αυξάνονται περισσότερο από τα αδιάγνωστα λάθη των αρχικών Σεναρίων. Αυτό συνέβη διότι, όσο μικρότερη εμπειρία διαθέτουν οι εργαζόμενοι τόσο μικρότερες νοητικές ικανότητες έχουν ώστε να αναγνωρίζουν τις εσφαλμένες εργασίες με συνέπεια να αυξάνονται τα αδιάγνωστα λάθη. Επίσης λόγω της μείωσης της εμπειρίας των εργαζομένων, αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας της κάθε εργασίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του χρονοδιαγράμματος. Αυτό έχει ως συνέπεια να καθίσταται δυσκολότερη η αναγνώριση των εσφαλμένων εργασιών με αποτέλεσμα την αύξηση των αδιάγνωστων λαθών.

8.5 Επεκτάσεις και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το Συνθετικό Μοντέλο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής είναι δυνατό να εμπλουτιστεί για να μπορεί να αξιοποιηθεί σε μεγαλύτερο πλήθος πρακτικών εφαρμογών.

Ειδικότερα, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν οι επιρροές των οικονομικών στοιχείων στο εργασιακό σύστημα που αναπτύχθηκε έτσι ώστε να μελετηθούν και άλλες επιδράσεις. Για παράδειγμα, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθεί η προθυμία των διοικούντων να ξοδεύουν ένα μεγάλο μέρος των πόρων, π.χ. στη σχεδίαση εξοπλισμού βοηθήματα/εγχειρίδια εργασίας και εκπαίδευση. Επίσης, ένας καθοριστικός οικονομικός παράγοντας που καθορίζει το ύψος του προϋπολογισμού ενός ορυχείου είναι η μισθοδοσία των εργαζομένων, η οποία θα μπορούσε να συνδεθεί άμεσα με άλλους εργασιακούς παράγοντες του ορυχείου, π.χ. με την εμπειρία όσο και με τις υπερωρίες και τη διεύρυνση του ωραρίου. Επιπρόσθετα, ζημιές ή βλάβες στα μηχανήματα συνεπάγονται υψηλά κόστη επισκευής και συντήρησης με συνέπεια την καθυστέρηση της παραγωγής και κατ' επέκταση την επιβάρυνση του προϋπολογισμού. Αυτές οι μεταβλητές, θα μπορούσαν να εμπλουτίσουν τα υποσυστήματα που αφορούν

την προμήθεια αναλώσιμων υλικών για την εύρυθμη λειτουργία του ορυχείου πχ εκρηκτικά κλπ.

Εκτός από το δείκτη επικινδυνότητας που αφορά την πιθανότητα να προκύψει κάποιο ατύχημα ή περιστατικό, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στο μοντέλο ο ρυθμός και η σοβαρότητα των ατυχημάτων. Σε γενικές γραμμές, τα σοβαρά ατυχήματα έχουν διαφορετική επίδραση στον προϋπολογισμό, στην παραγωγή αλλά και στην ομαλή λειτουργία του ορυχείου απ' ότι ένα ένα απλό περιστατικό. Ακόμη, τα σοβαρά ατυχήματα θα μπορούσαν να έχουν αντίκτυπο τόσο στην υγεία των εργαζομένων όσο και στη ψυχολογία τους.

Επιπρόσθετα, ο ερευνητής δύναται να αναπτύξει περαιτέρω το Συνθετικό μοντέλο προκειμένου να διερευνήσει αναλυτικότερα τα επίπεδα επικινδυνότητας και τις διακυμάνσεις τους στην πορεία του χρόνου. Τέλος, το Συνθετικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, θα μπορούσε κάλλιστα να προσαρμοστεί στα δεδομένα πραγματικών ορυχείων ή μεταλλείων και να χρησιμοποιηθεί από εταιρίες που ασχολούνται ή θέλουν να δραστηριοποιηθούν με την εξορυκτική ή μεταλλευτική δραστηριότητα. Ως εκ τούτου, με τις κατάλληλες αλλαγές και παραμετροποιήσεις το μοντέλο θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε βιομηχανία χρειάζεται να εφαρμόσει ένα Σύστημα Διαχείρισης της Ασφάλειας. Σε αντίθεση με πολλές από τις υφιστάμενες μεθοδολογίες, οι οποίες είναι θεσμοθετημένες για συγκεκριμένους τομείς (Stamp, Fault Trees κλπ), η Δυναμική Συστημάτων μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε πρόβλημα διαχείρισης κινδύνου.

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε η Οργανωσιακή Μάθηση (Organizational Learning) και η Εκπαίδευση (Training) η οποίες μελετήθηκαν σε παλαιότερες έρευνες, δεν εφαρμόστηκαν στο Συνθετικό Μοντέλο της παρούσας διατριβής. Ως εκ τούτου, κάποιος ερευνητής στο μέλλον δύναται να αξιοποιήσει ή να εφαρμόσει συνδυαστικά το Συνθετικό Μοντέλο με τα μοντέλα του Cooke με σκοπό τη μείωση του κινδύνου & της σοβαρότητας των συμβάντων ή τη βελτιστοποίηση της πρόβλεψης και της διερεύνησης πιθανών περιστατικών ή ατυχημάτων σε ένα σύστημα εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

Acharya, S.R. & Saeed, K. (1996). An attempt to operationalize the recommendations of the “Limits to Growth” study to sustain the future of mankind. *System Dynamics Review*, 12 (4), 281-304. [49]

Armenia, S. & L. Roma, e. (2008). A new system dynamics model for the analysis of the paper digitization process in the Italian Public Administration. *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society*. Athens, Greece.

Aven T., Hauge S., Sklet S. & Vinnem J.E (2006). Methodology for incorporating human and organizational factors in risk analysis for offshore installations. *International Journal of Materials & Structural Reliability* 4(1): 1-14

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12 (3), 183-210.

Barlas, Y. (2002). *System Dynamics: Systemic Feedback Modeling for Policy Analysis in Knowledge for Sustainable Development - An Insight into the Encyclopedia of Life Support Systems*. UNESCO Publishing - Eolss Publishers, Paris.

Black LJ & Repenning NP. (2001). Why fire fighting is never enough: preserving high - quality product development. *System Dynamics Review* 17(1): 33-62. *System Dynamics Review*

Bouloiz H., Garbolino E., Tkiouat M., & Guarnieri F (2013). A system dynamics model for behavioral analysis of safety conditions in a chemical storage unit. *Safety Science* 58: 32-40

Carroll, J.S. (1998). Organizational learning activities in high hazard industries: The logics underlying self-analysis. *Journal of Management Studies* 35 (6), 699-717.

Cooke, D.L. (2002). *Westray, a tragedy of errors*. Unpublished Case Study, Calgary

- Cooke, D.L. (2003). Learning from Risk Index, University of Calgary, Calgary
- Cooke, D.L. (2003). A system dynamics analysis of the Westray mine disaster, Calgary
- Cooke, D.L. (2007). Introducing System Dynamics Modeling to Health Care in Alberta, Boston
- Coyle, R.G. (1979). Management System Dynamics. J. Wiley and Sons, New York.
- Coyle, R.G. (1996). System Dynamics Modeling: A Practical Approach. Chapman & Hall, New York.
- Deming, W.E. (1989). Out of the Crisis, Ninth Printing ed. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Boston
- Dekker, S. (2002). The Field Guide to Human Error Investigations. Ash gate Publishing, England. EISC, 2002. Bellevue Hazardous Waste Fire Inquiry, vol. 2. Economics and Industry Standing Committee, Legislative Assembly, Perth
- Dorner, D. (1996). The Logic of Failure: Recognizing and Avoiding Error in Complex Situations, Cambridge
- Dulac N & Nancy Leveson. (2004). An approach to design for safety in complex systems. In Proceedings of the 14th International Symposium of the International Council on Systems Engineering, 20–24 June, Toulouse, France.
- Dulac N, Owens BD, Leveson NG & Carroll JS. (2007). A hybrid approach to the creation of dynamic risk management models. In Proceedings of the 25th International System Dynamics Conference. Boston, MA
- Embrey D.E. (1992) Incorporating management and organizational factors into probabilistic safety assessment. Reliability Engineering & System Safety 38:199- 208
- Ford, A., (1999). Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems. Island Press, Washington D.C.
- Forrester J. (1961). Industrial Dynamics, Cambridge, Massachusetts
- Forrester, J. (1971). Counterintuitive behavior of social systems. Theory and Decision: 109-140., Cambridge, Massachusetts

- Forrester, J.W. & Senge, P.M., (1980). Tests for building confidence in system dynamics models. *System Dynamics, Studies in the Management Sciences*, Legasto
- Garcia Juan Martin. (2006). *System Dynamics - Exercises*
- Georgiadis, P. & Vlachos, D. (2004). Decision making in reverse logistics using system dynamics. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 14 (2), 259-272, Thessaloniki
- Georgiadis, P., Besiou, M. (2008). The importance of feedback loops designing environmental policies for sustainable development. 26th International Conference of System Dynamics Society, July 20-24, 2008, Athens.
- Gonzalez, Jose J. & Sawicka, Agata. (2003). The role of learning and risk perception in compliance. 21st International Conference of the System Dynamics Society, New York.
- Goh Y. M, Love P. E.D, Stagbouer G & Annesley C. (2012). “Dynamics of safety performance and culture: A group modeling approach”, *Accident Analysis and Prevention*, USA
- Goodman. (1974). *Study Notes in System Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Guo B., Wing Yiu T., & González V.A. (2015). Identifying behavior patterns of construction safety using system archetypes. *Accident Analysis & Prevention* 80: 125–141
- Hirsch G., Homer J., McDonnell G. & Milstein B. (2005) *Achieving Health Care Reform in the United States: Towards a Whole System Understanding*, Paper presented at the International System Dynamics Conference, Boston, USA.
- Holmer, J.B. (1996) ‘Why We Iterate: Scientific Modeling in Theory and Practice’, *System Dynamics Review*, Boston, USA.
- Holmer, J.B. (1997) ‘Structure, Data and Compelling Conclusions: Notes from the Field’, *System Dynamics Review*, Boston, USA.
- Hopkins A. (2012). ‘Disastrous Decisions: The human organizational causes of the Gulf of Mexico blowout’ CCH Australia

- Hoffman I & Wilkinson P. (2011) “The barrier based system for major accident prevention: a system dynamics analysis”, Hoffman Corporate Consulting PTY Ltd AND Wilkinson Risk Management PTY Ltd, Oxford, England.
- Hofmann, D.A. & Stetzer, A. (1998). The role of safety climate and communication in accident interpretation: implications for learning from negative events. *Academy of Management Journal* 41 (6), 644-657, Oxford, England.
- Homer JB, Jones AP, Seville DA, Essien JDK, Milstein B & Murphy D. (2004). The CDC's diabetes systems modeling project: Developing a new tool for chronic disease prevention and control. *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, Oxford, England
- Homer A.W. (2009). Coal mine safety regulation in China and the USA. *Journal of Contemporary Asia* 39(3): 424–439
- Hopkins, A. (2000). Lessons from Longford – The Esso Gas Plant Explosion. INSAG, I.N.S.A.G., 1986. No. 75-INSAG-1 Summary Report on the Post-accident, Australia
- Hynes, T. and Prasad, P. (1997). Patterns of 'mock bureaucracy' in mining disasters: an analysis of the Westray coal mine explosion. *Journal of Management Studies* 34 (4), 601-623.
- Jiang Z., Fang D., & Zhang M. (2015). Understanding the causation of construction workers' unsafe behaviors based on system dynamics modeling, *Journal of Construction Engineering & Management* 14: 1–14.
- Kim. (1992). Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams," *The Systems Thinker*, Vol. 3, No. 1, pp. 5
- Klassen, R.D., McLaughlin, C.P. (1996). The impact of environmental management on firm performance. *Management Science*, 42 (8), 1199-1214.
- Karuppan, C.M., Karuppan, M. & Schaefer, I.M. (1996). Total safety management: a TQM approach to industrial safety. *Production and Inventory Management Journal* (2), 15-20.
- Kim, D.H. & Anderson, V., (1998). *Systems Archetype Basics – From Story to Structure*. Pegasus Communications Inc., Waltham.

- Kirkwood. (1998). *System Dynamics Method: A Quick Introduction*, Arizona
- Kletz, T. (1999). *What Went Wrong? – Case Histories of Process Plant Disasters*. Elsevier, Houston.
- Kletz, T. (2001). *Learning from Accidents*. Butterworth-Heinemann, Oxford
- Kletz, T. 1993. *Lessons from disaster*, Gulf Pub. Co.
- Kontogiannis T. (2011). A systems perspective of managing error recovery and tactical re-planning of operating teams in safety critical domains. *Journal of Safety Research* 42: 73–85
- Kontogiannis T. (2012). Modeling patterns of breakdown (or archetypes) of human and organizational processes in accidents using system dynamics, *Safety Science* 50: 931-944
- La Porte, T.R. & Consolini, P.M. (1991). Working in practice but not in theory: Theoretical challenges of 'high reliability organizations'. *Journal of Public Administration Research and Theory* 1 (1), 19-47.
- Lane DC, Monefeldt C & Rosenhead JV (2000) looking in the wrong place for healthcare improvements: a system dynamics study of an accident and emergency department. *J Oper Res Soc* 51:518–531
- Leveson NG. (2003). A new approach to hazard analysis for complex systems. In *Proceedings of the 21st International Conference of the System Safety Society*. 4–8 August, Ottawa, Canada.
- Leveson NG. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science* 42(4): 237–270.
- Leveson, N., Wilson, Gorton, S. & Wiegmann, D.A. (2007). The report of the BPUS refineries independent safety review panel.
- Liu, C.-Y. & W.-T. Wang (2005). *System Dynamics Approach to Simulation of Tax Policy for Traditional and Internet Phone Services*. *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*. Boston.
- Luna-Reyes, L. F. & J. R. Gil-García (2009). Using Institutional Theory and Dynamic Simulation to Understand Complex E-Government Phenomena. *Proceedings of the*

27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA.

Lyneis, J.M. (1999) 'System Dynamics for Business Strategy: A Phased Approach', *System Dynamics Review*, 15 (1): 37-70.

Lyneis JM & Ford DN. (2007). System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research. *System Dynamics Review* 23(2/3): 157-189.

Lyneis JM, Cooper KG & Els SA. (2001). Strategic management of complex projects: a case study using system dynamics. *System Dynamics Review* 17(3): 237-260.

Lyneis JM, Madnick S. (2009). Preventing Accidents and Building a Culture of Safety: Insights from a Simulation Model, Sloan School of Management, MIT, USA.

Marais, K., Saleh, J.H. & Leveson, N.G. (2006). Archetypes for organizational safety. *Safety Science* 44, 565-582. Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem.

Moizer, J.D. (1997) 'System Dynamic Modelling of Occupational Safety: More Suitable for Learning or Policy Making?' The 1997 International System Dynamics Conference, Istanbul, Turkey, Aug 1997.

Moizer J.D. (1999) 'System Dynamics Modelling of Occupational Safety: A Case Study Approach' Doctoral Thesis, University of Stirling.

Morecroft & J. D. Sterman (1994). *Modeling for Learning Organizations*, Productivity Press, Portland, OR,

McGraw Hill (2000). Boston care in England. *System Dynamics Review* 15 (3): 293
erman JD. Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex
Introducing System Dynamics Modeling to Health Care in Alberta Page 17 of 17

Petersen, D. (1994). Integrating safety into total quality management. *Professional Safety* (June), 28-30.

Petersen, D. (1996). *Human Error Reduction and Safety Management*. 3rd ed., John Wiley & Sons,

- Pidgeon, N. (1997). The limits to safety? Culture, politics, learning and man-made disasters. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5 (1), 1-14.
- Saeed, K., 1995. Sustainable development: Old conundrums, new discords. *System Dynamics Review*, 12 (1), 59-80.
- Ragan, P.T. and Carder, B. (1994). Systems theory and safety. *Professional Safety* June, 22-27.
- Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ash gate Publishing, Aldershot, England.
- Repenning, N.P. and Sterman, J.D. (2001). Nobody ever gets credit for fixing problems that never happened: creating and sustaining process improvement. *California Management Review* 43 (4), 64-88.
- Richard, K.P. (1996). *Report of the Westray Mine Public Inquiry*. Province of Nova Scotia.
- Richardson & A. L. Pugh III (1981), *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts
- Rijpma, J.A. (1997). Complexity, tight-coupling and reliability: connecting normal accidents theory and high reliability theory. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5 (1), 15-23.
- Roberts, K.H. (1990). Some characteristics of one type of high reliability organization. *Organization Science* 1 (2), 160-176.
- Repenning NP. (2001). Understanding fire fighting in new product development. *Journal of Product Innovation Management* 18(5): 285–300.
- Roysten G., Dost A., Townsend J. and Turner H. (1999) Using System Dynamics to help develop and implement policies and programs in Health Care in England, *System Dynamics Review*, , Vol. 15, No
- Rudolph JW & Repenning NP. (2002). Disaster dynamics: understanding the role of quantity in organizational collapse. *Administrative Science Quarterly* 47(1): 1–30.
- Saeed, K., Radzicki, M.J., (1998). Foreword. *System Dynamics Review*, 14 (2-3), 105-106.

- Sawicka, Agata & Gonzalez, Jose J. (2003). Choice under risk in IT-environments according to cumulative prospect theory. 21st International Conference of the System Dynamics Society, New York.
- Schwaninger, M., S. Ulli-Beer, et al. (2008). Policy Analysis and Design in Local Public Management A System Dynamics Approach. Handbook of Trans disciplinary Research: 205-221.
- Stewart, J. and R. Ayres (2001). Systems theory and policy practice: An exploration. Policy Sciences 34(1): 79-94.
- Stave, K.A. (2002). Using system dynamics to improve public participation in environmental decisions. System Dynamics Review, 18 (2), 139-167.
- Sterman JD. (1984). Appropriate summary statistics for evaluating the historical fit of system dynamics models. Dynamica 10(2): 51-66.
- Sterman JD. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/ McGraw - Hill: New York.
- Teekasap, P. (2009). Cluster Formation and Government Policy: System Dynamics Approach. Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA.
- Taylor TRB, Ford DN. (2008). Managing tipping point dynamics in complex construction projects. Journal of Construction Engineering and Management 134(6):
- Vlachos, D., Georgiadis, P., Iakovou, E., (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. Computers & Operations Research, 34 (2), 367-394.
- Van Vuuren, D.P., Strengers, B.J., De Vries, H.J.M., (1999). Long-term perspectives on world metal use—A system-dynamics model. Resources Policy, 25 (4), 239-255.
- Wang L., Nie B., Zhang J., Su X., & Hu S. (2016). Study on coal mine macro, meso and micro safety management system. Perspectives in Science 7: 266—271.
- Waring, A. (1996) Safety Management Systems, London: Chapman and Hall. UNSW, 'Seeking and Finding organizational causes: Comments on the Swiss cheese model', School of Aviation, Last updated Feb 26, 2013, viewed July 24, 2013.

Wolstenholme, E.F. (1999) A Patient Flow Perspective of UK Health Service, System Dynamics Review. Vol. 15, no. 3, 253-273.

Wolstenholme, E.F., (2002) Patient Flow, Waiting and Managerial Learning - a systems thinking mapping approach, Working paper, Symmetric SD Ltd..

Wolstenholme E. F., (2003), Towards the definition and use of a Core Set of Archetypal Structures in System Dynamics, System Dynamics review Vol. 19, No. 1, Spring: 7-26.

Wolstenholme, E.F. (2005) Monk, D., McKelvie, D. and Smith G., Coping but not Coping in Health and Social Care – Masking the Reality of Running organizations beyond Design Capacity, Paper presented to the System Dynamics Conference, Boston, USA.

Zhang,X., Qiu, J., Zhao, D. & Schlick C.M. (2015). A human-oriented simulation approach for labor assignment flexibility in changeover processes of manufacturing cells. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 25(6): 740–757.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Θωμάς Κοντογιάννης (2017). Εργονομικές Προσεγγίσεις στη διοίκηση και διαχείριση της ασφάλειας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Πάτροκλος Γεωργιάδης (2006). Θεωρία Δυναμικής Συστημάτων, Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη

Μ. Γαλετάκης (2001). Υγιεινή και ασφάλεια σε υπόγεια και μεταλλευτικά έργα, Σημειώσεις μαθήματος, Χανιά

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α: Μεταβλητές Συνθετικού Μοντέλου

Attrition Rate	Ρυθμός αποχωρήσεων ή απολύσεων
Average experience	Μέσος όρος εμπειρίας των εργαζομένων
Base Rate of New Tasks	Ρυθμός Νέων Εργασιών
Capacity Utilization	Αξιοποίηση της δυναμικότητας των εργαζομένων
Change in Personal Commitment to Safety	Ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευση της ασφάλειας των εργαζομένων
Change in Management Commitment to Safety	Ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η δέσμευση της ασφάλειας των διοικούντων
Desired Inventory	Επιθυμητό Απόθεμα
Desired Production Rate	Επιθυμητός Ρυθμός Παραγωγής
Desired Shipment Rate	Επιθυμητός ρυθμός αποστολής
Desired Task Completion Rate	Επιθυμητός ρυθμός ολοκλήρωσης εργασιών
Desired Time to Complete Task	Επιθυμητός χρόνος ολοκλήρωσης εργασιών
Detected Errors	Ρυθμός εντοπισμένων λαθών
Hiring Rate	Ρυθμός Προσλήψεων

HR Capacity	Δυναμικότητα Εργατικού Δυναμικού
Indicated Hiring Rate	Ενδεδειγμένος αριθμός προσλήψεων
Initial Workforce	Αρχικός αριθμός των εργαζομένων
Inventory	Απόθεμα
Inventory Correction	Διόρθωση του Αποθέματος
Management Commitment to Safety	Δέσμευση της διοίκησης για ασφάλεια
Maximum Management Commitment	Μέγιστη δέσμευση της διοίκησης για ασφάλεια
Maximum Shipment Rate	Μέγιστος ρυθμός αποστολής
Number of Rules	Αριθμών κανόνων ανά εργασία
Number of Workers	Αριθμός των εργαζομένων
Order Rate	Ρυθμός Παραγγελιών
Max Personal Commitment	Μέγιστη προσωπική δέσμευση
Personal Commitment to Safety	Προσωπική δέσμευση για την ασφάλεια
Pressure on Management	Πίεση της διοίκησης για την ασφάλεια
Pressure on Personal	Πίεση των εργαζομένων για την ασφάλεια
Production Rate Goal	Στόχος του ρυθμού παραγωγής
Rate Error	Ρυθμός λαθών

Rate of New Tasks	Ρυθμός νέων εργασιών
Relative Experience of Workers	Σχετική εμπειρία των εργαζομένων
Relative Risk Index	Σχετικός δείκτης επικινδυνότητας
Relative Management Commitment to Safety	Σχετική δέσμευση της διοίκησης της ασφάλειας
Relative Personal Commitment to Safety	Σχετική προσωπική δέσμευση της ασφάλειας
Relative Productivity	Σχετική παραγωγικότητα
Safety Requirements per Task	Χρόνος που χρειάζεται για τις απαιτήσεις ασφαλείας ανά εργασία
Schedule Pressure	Πίεση λόγω του χρονοδιαγράμματος
Shipment Rate	Ρυθμός αποστολής
Task Backlog	Αριθμός εργασιών σε εκκρεμότητα
Task Completion	Ρυθμός της ολοκλήρωσης των εργασιών ανά εβδομάδα
Total Desired Work Rate	Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθούν όλες οι εργασίες ανά εβδομάδα
Total Experience of Workers	Συνολική εμπειρία των εργαζομένων
Total Time per Task	Συνολικός χρόνος ή ώρες ανά εργασία
Undetected Error	Αριθμός αδιάγνωστων λαθών
Risk Index	Δείκτης Επικινδυνότητας

Risk Index Goal	Στόχος Δείκτη Επικινδυνότητας
Risk Index Rate	Ρυθμός με τον οποίο αλλάζει ο Δείκτης Επικινδυνότητας
Risky Behaviors	Επικίνδυνες συμπεριφορές
Unsafe Conditions	Ανασφαλείς συνθήκες
Week Shift	Εργατοώρες εργαζόμενου ανά εβδομάδα
Workers Load	Συνολικές εργατοώρες όλων των εργαζομένων
Worker Productivity	Παραγωγικότητα Εργαζομένου ανά εβδομάδα
Workforce	Αριθμός των εργαζομένων
Workforce Correction	Διόρθωση αριθμού εργαζομένων

Παράρτημα Β: Λίστα Πινάκων και Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Επικίνδυνοι συνδυασμοί ρωγμών στα επίπεδα άμυνας του οργανισμού (Κοντογιάννης, 2017)	23
Σχήμα 1.2: Ιεραρχικός έλεγχος σε ένα κοινωνικό-τεχνικό σύστημα (Κοντογιάννης, 2017).....	26
Σχήμα 3.1 Ανοιχτό & κλειστό σύστημα.....	74
Σχήμα 3.2 Βασικά πρότυπα συμπεριφοράς (Γαρουφάς, 2010)	76
Σχήμα 3.3: Παράδειγμα διαγράμματος επιρροής (Kim, 1992)	78
Σχήμα 3.4: Παράδειγμα διαγράμματος ροών και καταστάσεων (Kim, 1992)	82
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων»	92
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων»	93
Σχήμα 4.3: Γράφημα αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων».....	94
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Κλιμάκωση»	95
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Κλιμάκωση»	95
Σχήμα 4.6: Γράφημα αρχέτυπου «Κλιμάκωση».....	96
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν».....	97
Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν».....	97
Σχήμα 4.9: Γράφημα αρχέτυπου «Διορθώσεις που Αποτυγχάνουν»	98
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης».....	99
Σχήμα 4.11: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης»	100
Σχήμα 4.12: Γράφημα αρχέτυπου «Μετατόπιση της Έμφασης»	101
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»	102
Σχήμα 4.14: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο».....	102

Σχήμα 4.15: Γράφημα αρχέτυπου «Επιτυχία στον Επιτυχημένο»	103
Σχήμα 4.16: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων».....	104
Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων».....	105
Σχήμα 4.18: Γράφημα αρχέτυπου «Τραγωδία των Κοινών Πόρων»	106
Σχήμα 4.19: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας».....	108
Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας»	109
Σχήμα 4.21: Γράφημα αρχέτυπου «Διάβρωση Στόχων Ασφαλείας»	110
Σχήμα 4.22: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»	111
Σχήμα 4.23: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας».....	112
Σχήμα 4.24: Γράφημα του αρχέτυπου «Απογοητευτικά Προγράμματα Ασφαλείας»	114
Σχήμα 4.25: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα».....	115
Σχήμα 4.26: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα».....	116
Σχήμα 4.27: Γράφημα αρχέτυπου «Διορθώνοντας τα Συμπτώματα»	117
Σχήμα 4.28: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών».....	119
Σχήμα 4.29: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών»	120
Σχήμα 4.30: Γράφημα αρχέτυπου «Συστήματα Αναφορών».....	120
Σχήμα 4.31: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων».....	122
Σχήμα 4.32: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»	123

Σχήμα 4.33: Γράφημα αρχέτυπου «Ανεπιθύμητες Παρενέργειες των Επιδιορθώσεων»	123
Σχήμα 4.34: Διάγραμμα επιρροής αρχέτυπου «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»	124
Σχήμα 4.35: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων»	125
Σχήμα 4.36: Γράφημα του αρχέτυπου «Ανεπιτυχής Επίλυση Προβλημάτων».....	126
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα επιρροής «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»	130
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»	132
Σχήμα 5.3: Γράφημα συμπεριφοράς «Δέσμευση των Εργαζομένων στην Ασφάλεια»	135
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα επιρροής «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια»	138
Σχήμα 5.5: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια».....	139
Σχήμα 5.6: Γράφημα συμπεριφοράς «Δέσμευση των Εργαζομένων και των Διοικούντων στην Ασφάλεια».....	142
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα επιρροής «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια».....	144
Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων του μοντέλου «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»	146
Πίνακας 5.1: Βαθμονόμηση Δείκτη Επικινδυνότητας	148
Σχήμα 5.9: Γράφημα συμπεριφοράς «Εξωτερικές Επιδράσεις στην Ασφάλεια»	149
Σχήμα 6.1: Εποπτικό διάγραμμα επιρροής του Συνθετικού Μοντέλου	154
Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος ασφαλείας του Συνθετικού Μοντέλου (Safety Subsystem)	157
Σχήμα 6.3: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «effect of error»	159

Σχήμα 6.4: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Παραγωγής του Συνθετικού Μοντέλου (Production Subsystem).....	164
Σχήμα 6.5: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Order Fulfillment Function».....	167
Σχήμα 6.6: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Ανθρώπινου Δυναμικού του Συνθετικού Μοντέλου (Human Resources Subsystem).....	168
Σχήμα 6.7: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «table tired to productivity»	172
Σχήμα 6.8: Διάγραμμα ροών και καταστάσεων υποσυστήματος Εργασιών σε Εκκρεμότητα & Σφαλμάτων Συνθετικού Μοντέλου (Task Backlog & Errors Subsystem).....	174
Σχήμα 6.9: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table exp to task time».....	175
Πίνακας 6.1: Αντιστοίχιση του ρυθμού παραγγελιών με το εβδομαδιαίο ωράριο ανά εργαζόμενο	177
Σχήμα 6.10: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table for HR».....	178
Σχήμα 6.11: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table Rate Error»	180
Σχήμα 6.12: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «safety-table req»	181
Σχήμα 6.13: Γραφική απεικόνιση του πίνακα «Table exp to error»	182
Πίνακας 7.1: Παράμετροι Σεναρίου 1	184
Σχήμα 7.1: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 1	185
Σχήμα 7.2: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 1	185
Πίνακας 7.2: Παράμετροι Σεναρίου 2	188
Σχήμα 7.3: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 2	189
Σχήμα 7.4: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 2	189
Πίνακας 7.3: Παράμετροι Σεναρίου 3	192
Σχήμα 7.5: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 3	193
Σχήμα 7.6: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 3	193
Πίνακας 7.4: Παράμετροι Σεναρίου 4	196

Σχήμα 7.7: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 4	197
Σχήμα 7.8: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 4	197
Πίνακας 7.5: Παράμετροι Σεναρίου 5	200
Σχήμα 7.9: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 5	201
Σχήμα 7.10: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 5	201
Πίνακας 7.6: Παράμετροι Σεναρίου 6	204
Σχήμα 7.11: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 6	205
Σχήμα 7.12: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 6	205
Πίνακας 7.7: Παράμετροι Σεναρίου 7	208
Σχήμα 7.13: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 7	209
Σχήμα 7.14: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 7	209
Πίνακας 7.8: Παράμετροι Σεναρίου 8	212
Σχήμα 7.15: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 8	213
Σχήμα 7.16: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 8	213
Πίνακας 7.9: Παράμετροι Σεναρίου 9	216
Σχήμα 7.17: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 9	216
Σχήμα 7.18: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 9	217
Σχήμα 7.19: Γράφημα Order & Production Rate Σεναρίου 9	217
Σχήμα 7.20: Γράφημα Inventory Σεναρίου 9	217
Πίνακας 7.10: Παράμετροι Σεναρίου 10	220
Σχήμα 7.21: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 10	220
Σχήμα 7.22: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 10	221
Σχήμα 7.23: Γράφημα Order & Production Rate Σεναρίου 10	221
Σχήμα 7.24: Γράφημα Inventory Σεναρίου 10	221
Πίνακας 7.11: Παράμετροι Σεναρίου 11	224

Σχήμα 7.25: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 11	225
Σχήμα 7.26: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 11	225
Πίνακας 7.12: Παράμετροι Σεναρίου 12	228
Σχήμα 7.27: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 12	229
Σχήμα 7.28: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 12	229
Πίνακας 7.13: Παράμετροι Σεναρίου 13	232
Σχήμα 7.29: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 13	233
Σχήμα 7.30: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 13	233
Πίνακας 7.14: Παράμετροι Σεναρίου 14	236
Σχήμα 7.31: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 14	237
Σχήμα 7.32: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 14	237
Πίνακας 7.15: Παράμετροι Σεναρίου 15	240
Σχήμα 7.33: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 15	241
Σχήμα 7.34: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 15	241
Πίνακας 7.16: Παράμετροι Σεναρίου 16	244
Σχήμα 7.35: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 16	245
Σχήμα 7.36: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 16	245
Πίνακας 7.17: Παράμετροι Σεναρίου 17	248
Σχήμα 7.37: Γράφημα Commitment to Safety Σεναρίου 17	249
Σχήμα 7.38: Γράφημα Risk Index Σεναρίου 17	249
Πίνακας 7.18: Αρχικές Συνθήκες Συνθετικού Μοντέλου	252
Πίνακας 7.19: Συγκεντρωτικός πίνακας Σεναρίων & δεδομένων εισόδου	253
Πίνακας 7.20: Α' Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εξόδου Συνθετικού Μοντέλου	254
Πίνακας 7.21: Β' Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων εξόδου Συνθετικού Μοντέλου	255