Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Τομέας: Οργάνωση και Διοίκηση

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ IDEF0 ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ PETRI ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΛΑΘΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

"Συνθετική διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος"

Θεοδωράκης Γεώργιος

Χανιά, Σεπτέμβριος 2009

Η διατριβή του Γεωργίου Θεοδωράκη εγκρίνεται από τους κ.κ. :

Κοντογιάννη Θωμά	Αναπληρωτή Καθηγητή
Γρηγορούδη Ευάγγελο	Επίκουρο Καθηγητή
Τσουρβελούδη Νικόλαο	Αναπληρωτή Καθηγητή

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη μοντελοποίηση και ανάλυση των εργασιών ενός μηχανουργείου. Αναλυτικότερα, προτείνεται η μοντελοποίηση της λειτουργίας ενός μηχανουργείου για την κατασκευή ενός εξαρτήματος, με τη βοήθεια των μεθόδων IDEF0 και Δικτύων Petri.

Αρχικά, η περιγραφή των εργασιών θα μετατραπεί σε ένα διάγραμμα IDEF0 για να μελετήσουμε τις ροές των εργασιών που απαιτούνται και τις επιδράσεις των συνθηκών εργασίας στις εργασίες ενός μηχανουργείου. Αυτό θα αποτελέσει την βάση για την περαιτέρω μοντελοποίηση με χρήση των δικτύων Petri ώστε να είναι δυνατή η μοντελοποίηση και η ανάλυση ιδιοτήτων των λειτουργιών του μηχανουργείου.

Η IDEF0 είναι μία από τις πιο σημαντικές γλώσσες μεθόδους επιχειρησιακών διαδικασιών, που εμπεριέχεται στην οικογένεια μεθόδων IDEF. Αποτελείται από μια σειρά διαγραμμάτων ροής πληροφοριών με ιεραρχική ανάλυση. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι το μοντέλο που προκύπτει, ξεκινάει από ένα γενικό διάγραμμα πρώτου επιπέδου, που περιέχει τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου και σταδιακά αναλύεται λεπτομερώς σε άλλα υπό-επίπεδα.

Γενικά τα Δίκτυα Petri αποτελούν ένα μαθηματικό και γραφικό εργαλείο μοντελοποίησης που εφαρμόζεται σε πολλά συστήματα και τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι: η μοντελοποίηση εργασιών και πληροφοριών με γραφικά, οι δομές δεδομένων και η χρήση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού (π.χ. Standard ML), η προσομοίωση της ροής των εργασιών και η χρήση στοχαστικών μεταβλητών, και η μαθηματική ανάλυση των ιδιοτήτων του μοντέλου με δένδρα προσεγγισιμότητας και γραμμική άλγεβρα (πίνακες αναλλοίωτων). Για την παρούσα υλοποίηση θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό CPN TOOLS.

Για την μοντελοποίηση των εργασιών στο μηχανουργείο με IDEF0, θα ακολουθηθεί το μοντέλο κανόνων plan-do-check από τον έλεγχο ποιότητας. Για την μετατροπή των διαγραμμάτων σε Δίκτυα Petri, θα χρησιμοποιηθούν μια σειρά γενικών κανόνων αντιστοίχισης (mapping rules) μεταξύ των ιδιοτήτων των δικτύων Petri και διαγραμμάτων IDEF0. Βασικό μέλημα της εργασίας θα είναι η διερεύνηση των πιθανών ανθρωπίνων λαθών και ο αντίκτυπός τους στην παραγωγική διαδικασία και ασφάλεια των εργασιών στο μηχανουργείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7

1.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΜΑΤΟΣ 7

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 7

1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 8

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 10

3. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ PETRI 15

3.1 ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ 15

3.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΈΡΓΟΥ 17

3.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΈΡΓΟΥ 24

3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 29

3.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΈΡΓΟΥ 32

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ 38

4.1 ΓΕΝΙΚΑ 38

4.2 ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 38

ΒΗΜΑ 1ο 38

ΒΗΜΑ 2ο 39

ΒΗΜΑ 3ο 39

ΒΗΜΑ 5ο 41

ΒΗΜΑ 6ο & 7ο 41

ΒΗΜΑ 8ο & 9ο 42

ΒΗΜΑΤΑ 10ο & 11ο 43

ΒΗΜΑΤΑ 12ο - 17ο 44

ΒΗΜΑ 18ο 47

ΒΗΜΑΤΑ 19ο - 20ο 48

ΒΗΜΑΤΑ 21ο - 26ο 49

ΒΗΜΑ 27ο 53

5. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΛΑΘΩΝ 54

5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 55

5.2 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΈΡΓΟΥ 56

5.3 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΈΡΓΟΥ 62

5.4 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΈΛΕΓΧΟΣ ΈΡΓΟΥ 67

5.5 ΣΥΝΟΨΗ 70

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΛΑΘΩΝ 71

6.1 ΓΕΝΙΚΑ 71
6.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ 72
6.3 ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 74
ΒΗΜΑ 1ο 74
ΒΗΜΑ 2ο 75
ΒΗΜΑ 3ο 76
ΒΗΜΑ 4ο 77
ΒΗΜΑ 5ο 78
ΒΗΜΑ 6ο 79
ΒΗΜΑ 7ο & 8ο 80
ΒΗΜΑ 9ο & 10ο 81
ΒΗΜΑΤΑ 11ο & 12ο 82
ΒΗΜΑ 13ο 84
ΒΗΜΑΤΑ 14ο - 15ο 84
ΒΗΜΑΤΑ 16ο - 21ο 85
ΒΗΜΑ 22ο 89
6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 90

7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ 94

7.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 94
7.2 ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 1ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 97
7.3 ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 2ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 98
7.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 99
7.5 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ 1ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 100
7.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ 1ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 101
7.7 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ 2ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 103
7.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ 2ου ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 106
7.9 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ 108

8. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ 111

8.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ 111
8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 112
8.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ 114
8.3.1 Μοντέλο υποστήριξης γραμμής παραγωγής εξαρτημάτων 114
8.3.2 Μοντέλο υποστήριξης κατασκευής σύνθετων εξαρτημάτων 114

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 115

1. Εισαγωγή

1.1 Προσδιορισμός Θέματος

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη μοντελοποίηση και ανάλυση των εργασιών ενός μηχανουργείου. Αναλυτικότερα, προτείνεται η μοντελοποίηση της λειτουργίας ενός μηχανουργείου για την κατασκευή ενός εξαρτήματος, με τη βοήθεια των μεθόδων IDEF0 και Δικτύων Petri. Αρχικά, η περιγραφή των εργασιών θα μετατραπεί σε ένα διάγραμμα IDEF0 για να μελετηθούν οι ροές των εργασιών που απαιτούνται και τις επιδράσεις των συνθηκών εργασίας στις διεργασίες ενός μηχανουργείου. Αυτό θα αποτελέσει την βάση για την περαιτέρω μοντελοποίηση με χρήση των δικτύων Petri ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση και η ανάλυση ιδιοτήτων των λειτουργιών του συστήματος.

1.2 Σκοπός Εργασίας

Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μοντελοποίηση των εργασιών στο μηχανουργείο με τη βοήθεια των δικτύων Petri και των διαγραμμάτων IDEF0 της SADT (Structured Analysis Design Technique).[1] Το αρχικό μοντέλο που επιλέχθηκε για την αναπαράσταση των εργασιών μηχανουργείου είναι αυτό που εμφανίζεται στο βιβλίο SADT των David A. Marca και Clement L. McGowan. Πρόκειται για μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα μηχανουργείο και σκοπό έχει την κατασκευή ενός κομματιού από μία εργαλειομηχανή.

Πρώτος στόχος λοιπόν της εργασίας, είναι η δημιουργία ενός δικτύου Petri που θα προκύψει από το παραπάνω μοντέλο. Για την μετατροπή των διαγραμμάτων IDEF0 του παραπάνω μοντέλου σε Δίκτυα Petri, θα χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο γενικών κανόνων αντιστοίχισης μεταξύ των ιδιοτήτων των δικτύων Petri και διαγραμμάτων IDEF0.

Ο δεύτερος κύριος στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση των πιθανών ανθρωπίνων λαθών και ο αντίκτυπός τους στην παραγωγική διαδικασία. Το αρχικό μοντέλο αναπαριστά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος σε ιδανική μορφή και χωρίς προβλήματα. Όμως σε ένα πραγματικό και δυναμικό περιβάλλον, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η αλληλεπίδραση των ανθρώπων που μετέχουν στη διαδικασία παραγωγής. Σε ένα τέτοιο σύνθετο περιβάλλον είναι αναπόφευκτη η εμφάνιση διάφορων λαθών που οφείλονται σε εσφαλμένους ανθρώπινους χειρισμούς και σχέδια δράσης. Τέτοια λάθη μπορούν να καθυστερήσουν την παραγωγή και να οδηγήσουν σε ελαττωματικά τελικά εξαρτήματα. Αυτό συνεπάγεται σε επιπλέον σπατάλη πολύτιμων πόρων και χρόνου.

Σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση ενός συστήματος διαδικασιών που ανταποκρίνεται καλύτερα στα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος σε μηχανουργείο, με τη βοήθεια κατάλληλων ελεγκτών διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών.

1.3 Διάρθρωση της Εργασίας

Στο κεφάλαιο ***Θεωρητική Περιγραφή του Μοντέλου*** που ακολουθεί θα παρατεθεί η θεωρητική περιγραφή του μοντέλου της SADT, που μοντελοποιεί τις εργασίες του μηχανουργείου, και θα αναλυθούν λεπτομερώς όλα τα επιμέρους διαγράμματα IDEF0 που συνθέτουν το συνολικό σύστημα όπως αυτό μοντελοποιήθηκε. Επίσης θα υπάρξει μία περαιτέρω ανάλυση των εργασιών που εμπεριέχονται στα επιμέρους διαγράμματα IDEF0 αλλά και πως αυτές οι εργασίες και τα διαγράμματα συνδέονται μεταξύ τους.

Στη συνέχεια ακολουθεί το κεφάλαιο ***Σχεδιασμός και Υλοποίηση Συστήματος*** όπου αρχικά θα αναλυθεί πως έγινε η διαδικασία αντιστοίχισης των ιδιοτήτων της SADT με τις αντίστοιχες ιδιότητες των δικτύων Petri. Με τη βοήθεια της παραπάνω αντιστοίχισης προέκυψε το πολύ-επίπεδο δίκτυο Petri, το οποίο αναλύεται λεπτομερώς στη συνέχεια του κεφαλαίου. Συγκεκριμένα, θα

παρουσιαστούν όλα τα υπό-δίκτυα Petri, που συνθέτουν το συνολικό δίκτυο, και οι επιμέρους εργασίες τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο ***Προσομοίωση Κατασκευής Εξαρτήματος,*** θα παρατεθεί η αναλυτική περιγραφή της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για την κατασκευή ενός εξαρτήματος. Αυτό έχει ως στόχο την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του δικτύου Petri.

Ακολουθεί το κεφάλαιο ***Ενσωμάτωση Συστήματος Ελεγκτών Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών.*** Σε αυτό το σημείο θα αναλυθεί το σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων λαθών που ενσωματώθηκε στο αρχικό δίκτυο. Το σύστημα αυτό έχει άμεσο στόχο τον έγκαιρο εντοπισμό και την αντιμετώπιση ενδεχόμενων ανθρώπινων λαθών. Θα αναλυθεί η λειτουργία του προαναφερθέντος συστήματος και θα επεξηγηθεί η δράση του σε κάθε υπό-δίκτυο του συνολικού δικτύου Petri.

Στο επόμενο κεφάλαιο: ***Προσομοίωση Συστήματος με Διαχείριση των Ανθρωπίνων λαθών***, θα λάβει χώρα η αναλυτική περιγραφή μιας νέας προσομοίωσης της λειτουργίας του μηχανουργείου. Αυτό έχει ως στόχο να καταστεί ακόμα πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης ανθρώπινων λαθών

Στο τελευταίο κεφάλαιο: ***Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις,*** γίνεται μία σύντομη ανακεφαλαίωση των στόχων της εργασίας και αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία. Στο τέλος της εργασίας γίνονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

2. Θεωρητική Περιγραφή του μοντέλου

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για την αναπαράσταση των εργασιών μηχανουργείου είναι αυτό που εμφανίζεται στο βιβλίο SADT των David A. Marca και Clement L. McGowan [1]. Πρόκειται για μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα μηχανουργείο και σκοπό έχει την κατασκευή ενός κομματιού από μία εργαλειομηχανή.

Η μεθοδολογία μοντελοποίησης IDEF0, βασίζεται στη μεθοδολογία SADT (Structured Analysis and Design Technique) που αναπτύχθηκε από τον Douglas T. Ross και την SofTech Inc. Η μεθοδολογία SADT αναπτύχθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1960 (ξεκίνησε το 1969 και η πρώτη της μεγάλη εφαρμογή έγινε το 1973), κατά τη διάρκεια της επανάστασης του δομημένου προγραμματισμού. Η IDEF0 στην αυθεντική της μορφή, συμπεριλαμβάνει και ορισμούς της γραφικής γλώσσας μοντελοποίησης και περιγραφή της μεθοδολογίας για τα αναπτυσσόμενα μοντέλα.[2]

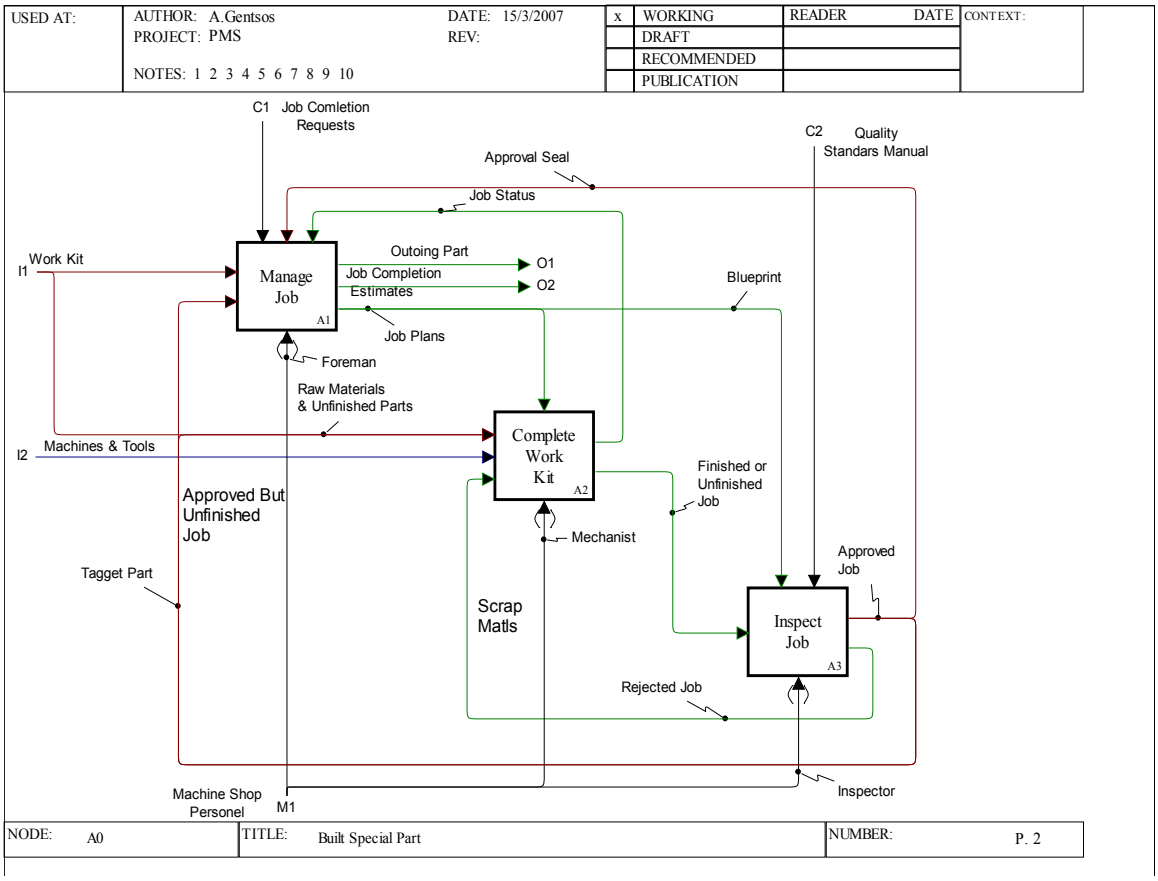
Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου IDEF0 σε ένα σύστημα είναι ένα μοντέλο που αποτελείται από μια ιεραρχική σειρά διαγραμμάτων, κειμένου και ειδικού λεξιλογίου που τα συνδέει. Τα δύο κυριότερα στοιχεία που συνθέτουν την μέθοδο, είναι οι λειτουργίες (που αναπαριστούνται στο διάγραμμα με κουτιά) και οι πληροφορίες και τα αντικείμενα που συνδέουν τις λειτουργίες (αναπαριστούνται στο διάγραμμα με βέλη).

Στην διαδικασία που παρουσιάζεται, το μοντέλο παίρνει σαν εισόδους τις πρώτες ύλες, τις διαθέσιμες μηχανές και τα εργαλεία και τις πληροφορίες που απαιτούνται για την κατασκευή του κομματιού. Σαν εξόδους το μοντέλο δίνει το παραγόμενο κομμάτι και τον χρόνο που υπολογίζεται να διαρκέσει η κατασκευή του. Το μοντέλο αποτελείται από διαγράμματα με ιεραρχική ανάλυση από πάνω προς τα κάτω (top – down decomposition).

Η λογική της διαδικασίας είναι ότι η πρώτη ύλη που μπαίνει στο σύστημα, ελέγχεται, διαπιστώνονται οι κατεργασίες που πρέπει να γίνουν και στέλνονται σαν πληροφορίες για την κατασκευή του επιθυμητού κομματιού. Το κομμάτι κατασκευάζεται σύμφωνα με τις υπάρχουσες προδιαγραφές. Στη συνέχεια υπόκειται σε έλεγχο και είτε γίνεται αποδεκτό και βγαίνει από το σύστημα είτε δεν γίνεται αποδεκτό και στέλνεται πίσω για εκ νέου κατεργασία.

Σύμφωνα με το διάγραμμα IDEF0, στο οποίο στηρίχθηκε το δίκτυο Petri, οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας είναι τρεις,

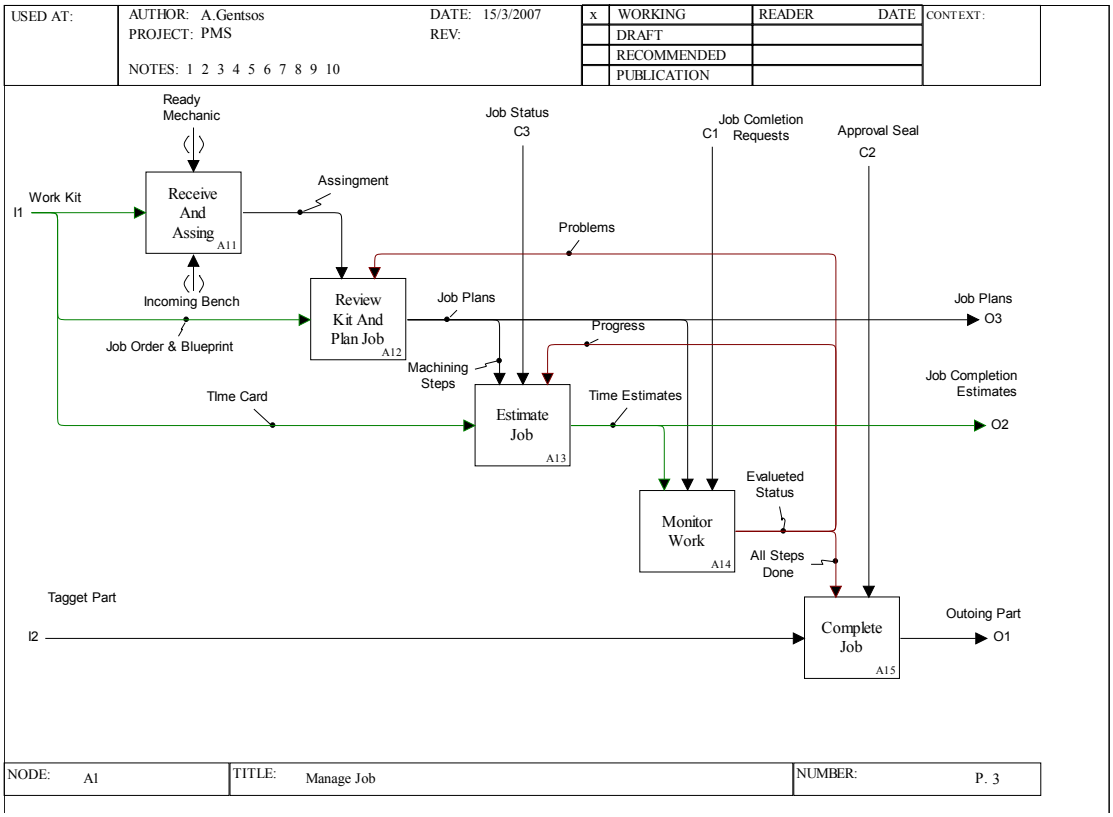
- **Διαχείριση Έργου (*manage job*),**
- **Εκτέλεση Έργου (*complete work kit*),**
- **Έλεγχος Έργου *(Inspect job).***



Εικόνα 1 - Διάγραμμα Συνολικού Συστήματος

Το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** έχει ως σκοπό την εξαγωγή των σχεδίων, με τα οποία θα κατασκευαστεί το εργαλείο και από αυτό λαμβάνεται τελικά το εργαλείο. Το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** πραγματοποιεί τις απαιτούμενες εργασίες για να κατασκευαστεί το εργαλείο και το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** ελέγχει αν το εξάρτημα καλύπτει τις προδιαγραφές, τις οποίες πρέπει να πληροί το εργαλείο ώστε να θεωρηθεί έτοιμο.

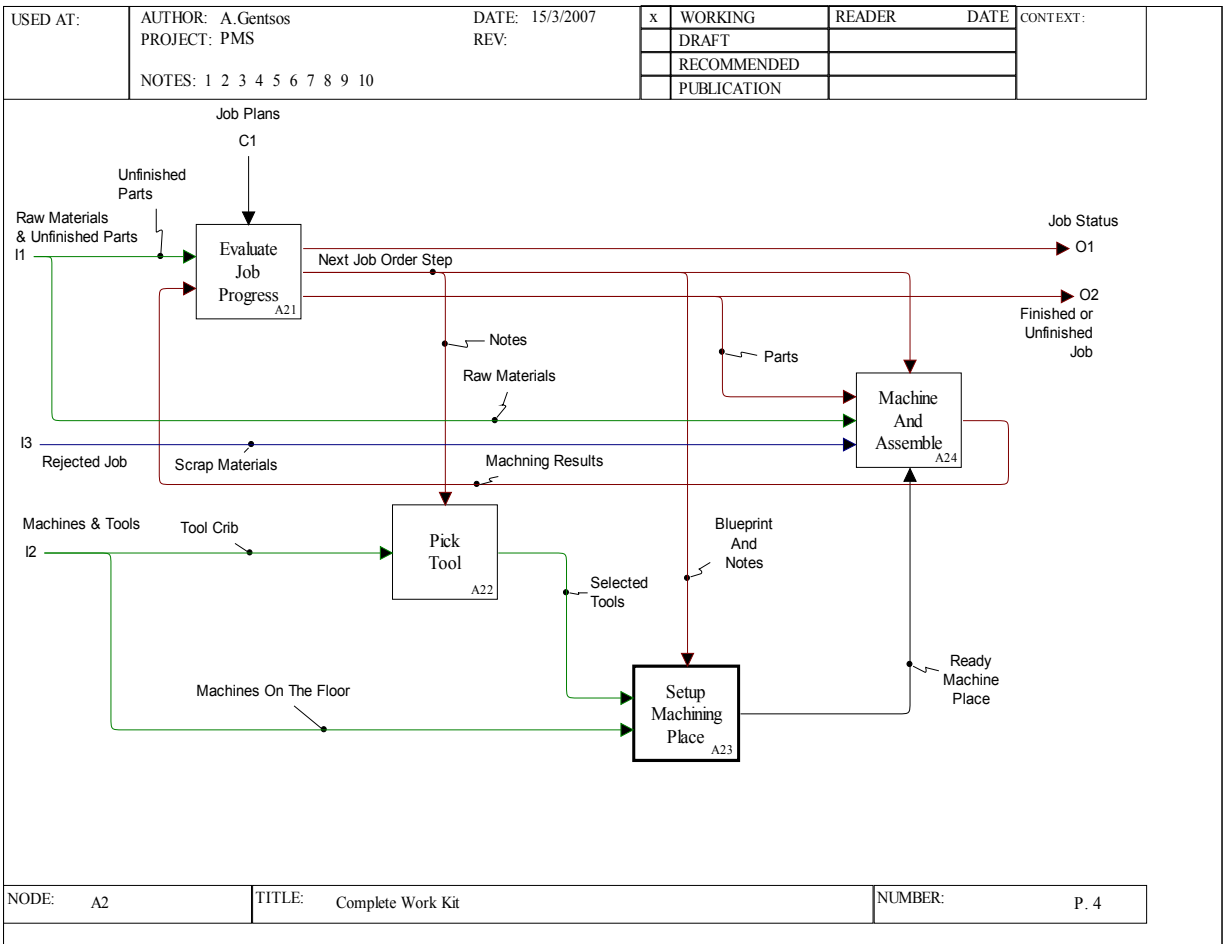
Το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** παίρνει πληροφορίες από το πακέτο εργασίας (Work Kit) και στέλνει πληροφορίες τόσο στο υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου***, όσο και στο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** τις οποίες χρησιμοποιούν για να εκτελέσουν τις εργασίες τους. Επίσης κάνει το τελευταίο έλεγχο για τα εξαρτήματα που θεωρούνται αποδεκτά από το υποσύστημα ***Ελέγχου Έργου*** και τα βγάζει από το σύστημα.



Εικόνα 2 – Διάγραμμα υποσυστήματος της Διαχείρισης Έργου

Το Πακέτο εργασίας από το οποίο παίρνει πληροφορίες η ***Διαχείριση Έργου*** περιέχει τη σειρά των εργασιών και τα σχέδια δράσης (job Order and Blueprint), την κάρτα χρονικής διάρκειας (time card) και όλες τις πρώτες ύλες (raw materials).

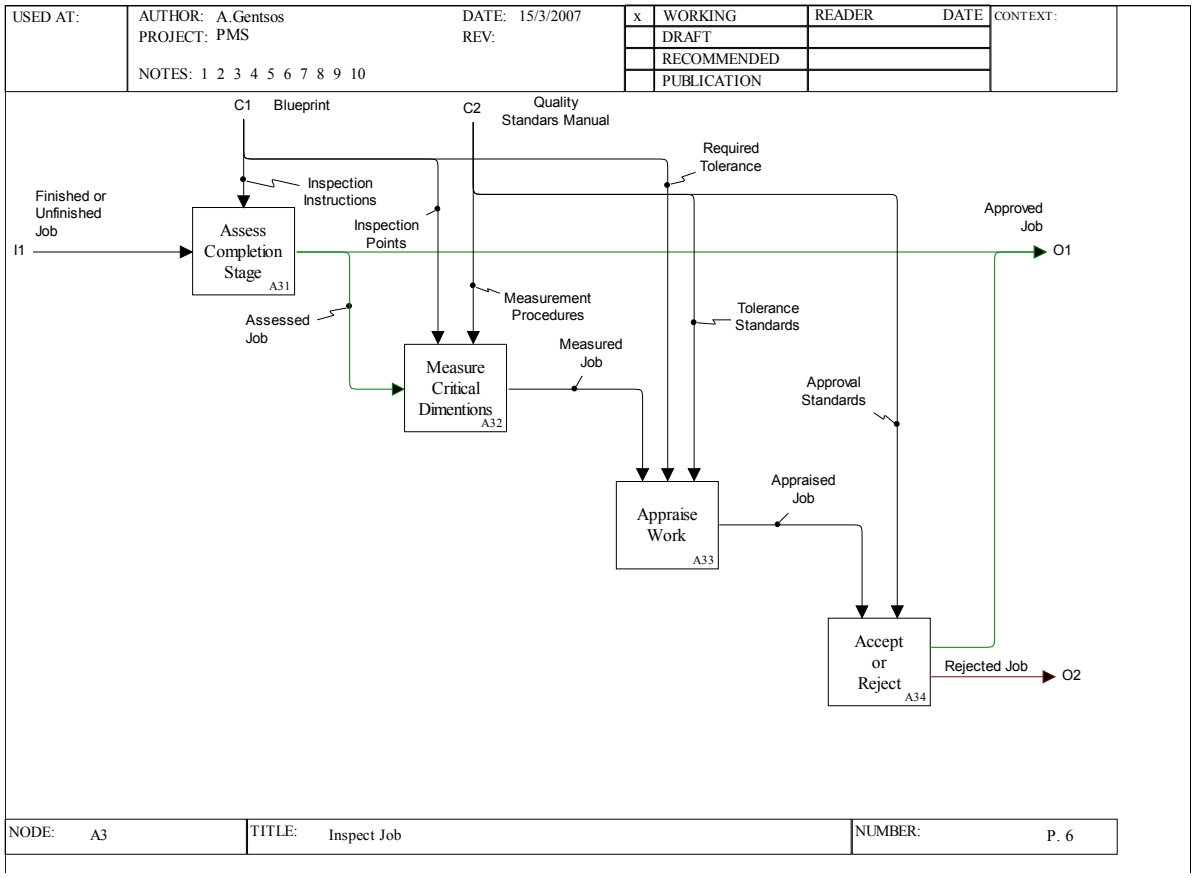
Το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** παίρνει την πληροφόρηση από τη ***Διαχείριση Έργου*** για την διαδικασία παραγωγής του εξαρτήματος, τις πρώτες ύλες από το Πακέτο Εργασίας, όπως και τα εξαρτήματα που έχουν απορριφθεί από το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου***, χρησιμοποιεί τα κατάλληλα εργαλεία και την εργαλειομηχανή για να κατασκευάσει το επιθυμητό εξάρτημα, ενώ ενημερώνει το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** για την πρόοδο των εργασιών.



Εικόνα 3 - Διάγραμμα Εκτέλεση Έργου

Μετά τη κατασκευή του εξαρτήματος από το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου,*** τα εξαρτήματα περνάνε από το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** για να ελεγχθεί αν πληρούν τις προδιαγραφές και μπορούν να εξέλθουν από την παραγωγή ως τελικά προϊόντα ή πρέπει να γίνουν κάποιες επιπλέον εργασίες ώστε να διορθωθούν τα ελαττωματικά τους σημεία.

Το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** παίρνει πληροφορίες από το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου***, τα έτοιμα εξαρτήματα από το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** και εγκρίνει ή απορρίπτει το εξάρτημα. Τα εξαρτήματα που θεωρούνται ότι χρειάζονται βελτιώσεις (rejected job) επιστρέφονται στην ***Εκτέλεση Έργου***, και γίνονται οι περαιτέρω βελτιώσεις. Τα εξαρτήματα που θεωρούνται κατάλληλα, έχουν πάρει δηλαδή έγκριση στέλνονται στο υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** και εξέρχονται από το σύστημα.



Εικόνα 4 - Διάγραμμα Ελέγχου Έργου

3. Υλοποίηση – Ανάλυση του Δικτύου Petri

3.1 Γενικοί κανόνες Υλοποίησης

Η υλοποίηση του δικτύου Petri πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας την μοντελοποίηση που παρουσιάστηκε στα διαγράμματα IDEF0 και περιγράφηκε παραπάνω. Για την μετατροπή των διαγραμμάτων σε δίκτυα Petri χρησιμοποιήθηκαν οι εξής γενικοί κανόνες:

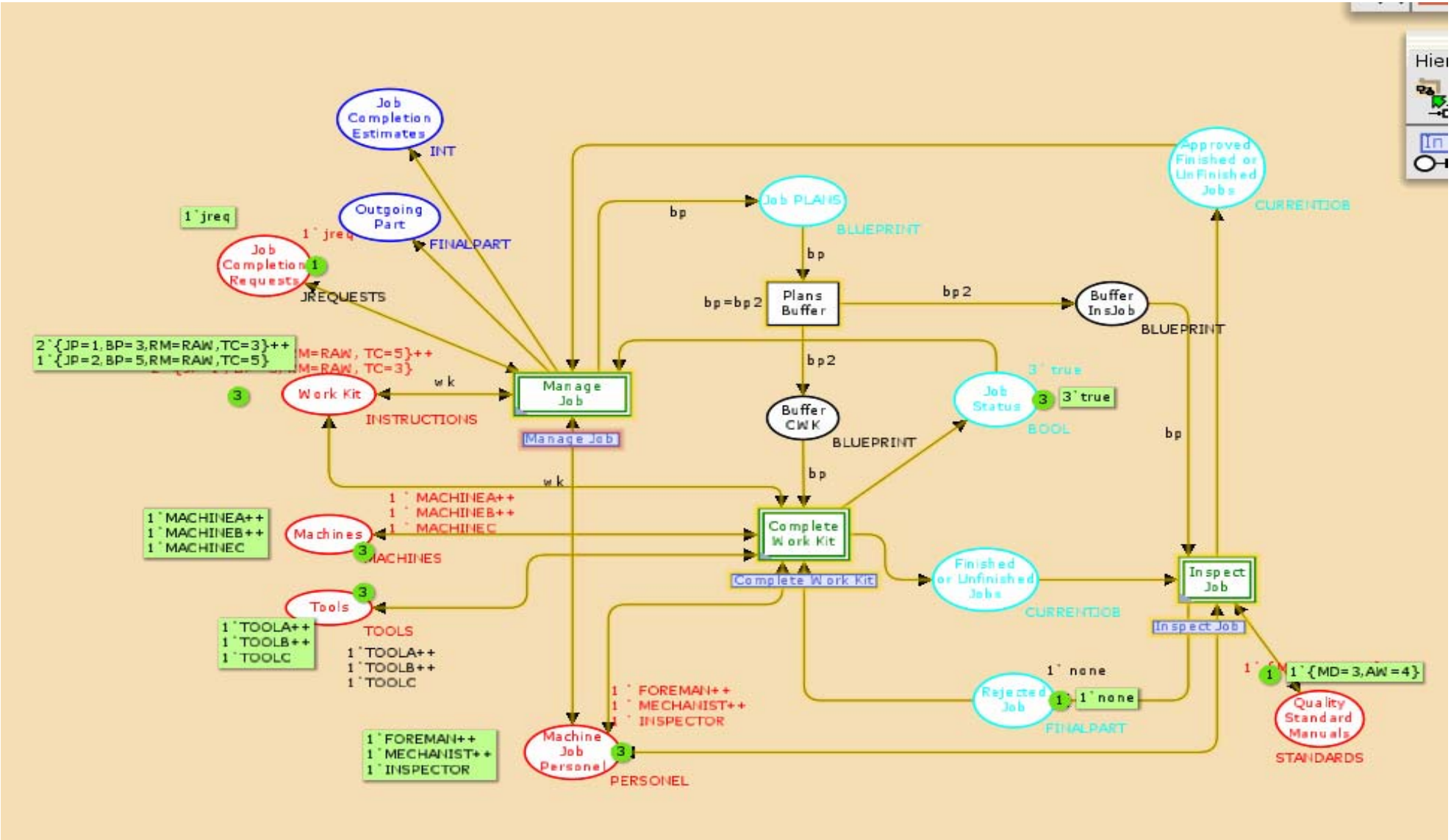
1. Τα κουτιά των διαγραμμάτων της SADT γίνονται μεταβάσεις (ορθογώνια παραλληλόγραμμα) που διαβάζουν εντολές και εκτελούν εργασίες.
2. Τα βέλη της SADT μετατρέπονται σε τόξα που καταλήγουν σε θέσεις (κύκλοι) οι οποίες περιγράφουν πληροφορίες, εντολές και θέσεις αναμονής.
3. Οι οντότητες της SADT (π.χ. προσωπικό, προϊόντα, πληροφορίες), αναπαρίστανται ως μάρκες στο δίκτυο Petri.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα συνοπτικό δίκτυο (system), το οποίο περιλαμβάνει τις εργασίες που γίνονται στο μηχανουργείο, για την κατασκευή του εξαρτήματος και πως αυτές συσχετίζονται.

Οι τρεις βασικές εργασίες για την κατασκευή του εξαρτήματος, όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως είναι η ***Διαχείριση Έργου***, η ***Εκτέλεση Έργου*** και ο ***Έλεγχος Έργου***. Κάθε μία από τις τρεις αυτές εργασίες περιλαμβάνει έναν αριθμό επιμέρους εργασιών οι οποίες πρέπει να γίνουν για να κατασκευαστεί το τελικό προϊόν. Έτσι κάθε μία από τις βασικές εργασίες αναλύεται περαιτέρω σε επιμέρους εργασίες που περιγράφονται σε υπό-δίκτυα Petri.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα του συνοπτικού δικτύου Petri όπως αυτό προέκυψε από το αρχικό IDEF0 διάγραμμα:

Εικόνα 5 –Δίκτυο Petri Συνολικού συστήματος



3.2 Διαχείριση Έργου

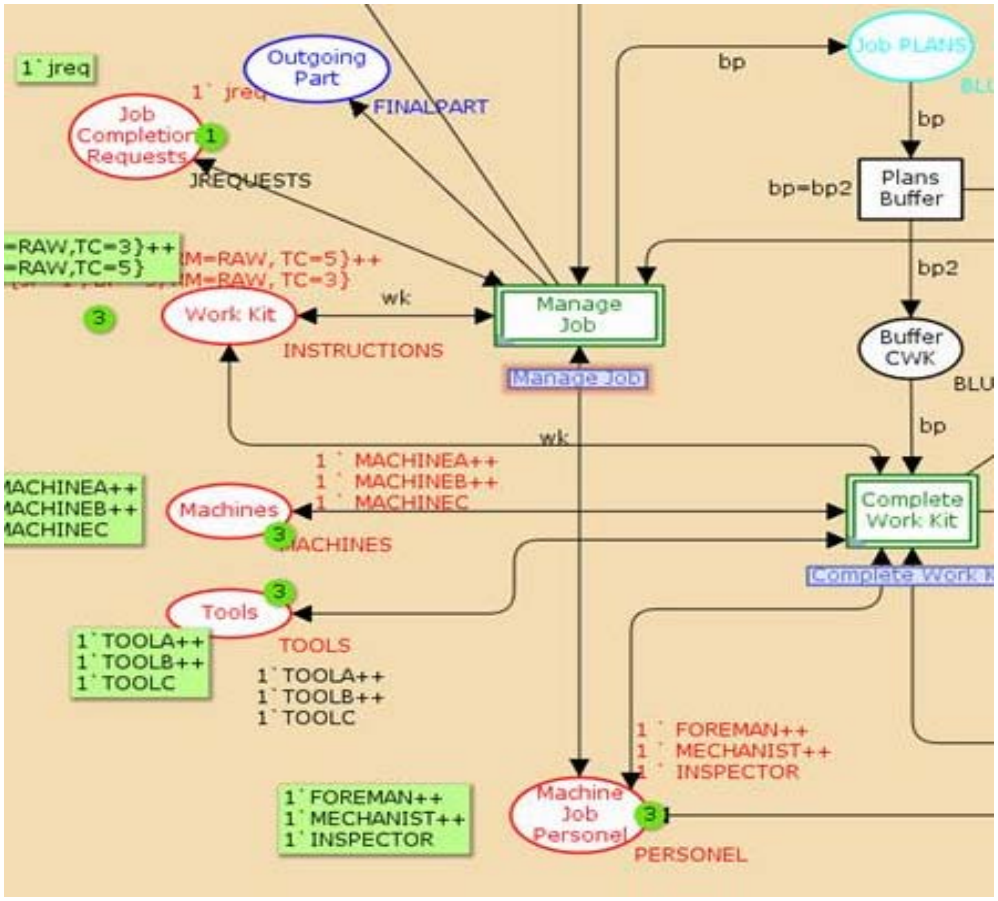
Η πρώτη από τις βασικές εργασίες του συστήματος είναι το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** το οποίο έχει ως στόχο να εκπληρώσει δύο εργασίες:

α) τη δημιουργία των σχεδίων δράσης (job plans) που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του εξαρτήματος

Το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** όπως φαίνεται παρακάτω λαμβάνει ένα αίτημα ολοκλήρωσης εργασίας (Job completions request), τη σειρά των εργασιών και τα σχέδια (job Order and Blueprint) από το πακέτο εργασίας χρησιμοποιεί το κατάλληλο προσωπικό, τον επιστάτη και μετά από κάποιες εργασίες παράγει τα σχέδια εργασίας (job plans) που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από τις δύο άλλες εργασίες (***Εκτέλεσης Έργου***, ***Έλεγχος Έργου***) για να ολοκληρωθεί η κατασκευή του εξαρτήματος.

β) τον έλεγχο υλοποίησης των απαραίτητων βημάτων για την εξαγωγή του εξαρτήματος εκτός δικτύου

Η εργασία αυτή αποτελεί τη τελευταία εργασία του συστήματος, δηλαδή τον τελικό έλεγχο για την εξαγωγή του εξαρτήματος από το σύστημα. Συγκεκριμένα το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** λαμβάνει τα εξαρτήματα που έχουν εγκριθεί (approved finished or unfinished job) από το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** και ελέγχει αν έχουν ολοκληρωθεί όλα τα βήματα κατασκευαστεί το εξάρτημα.



Σχήμα 1 – Υποσύστημα Διαχείρισης Έργου

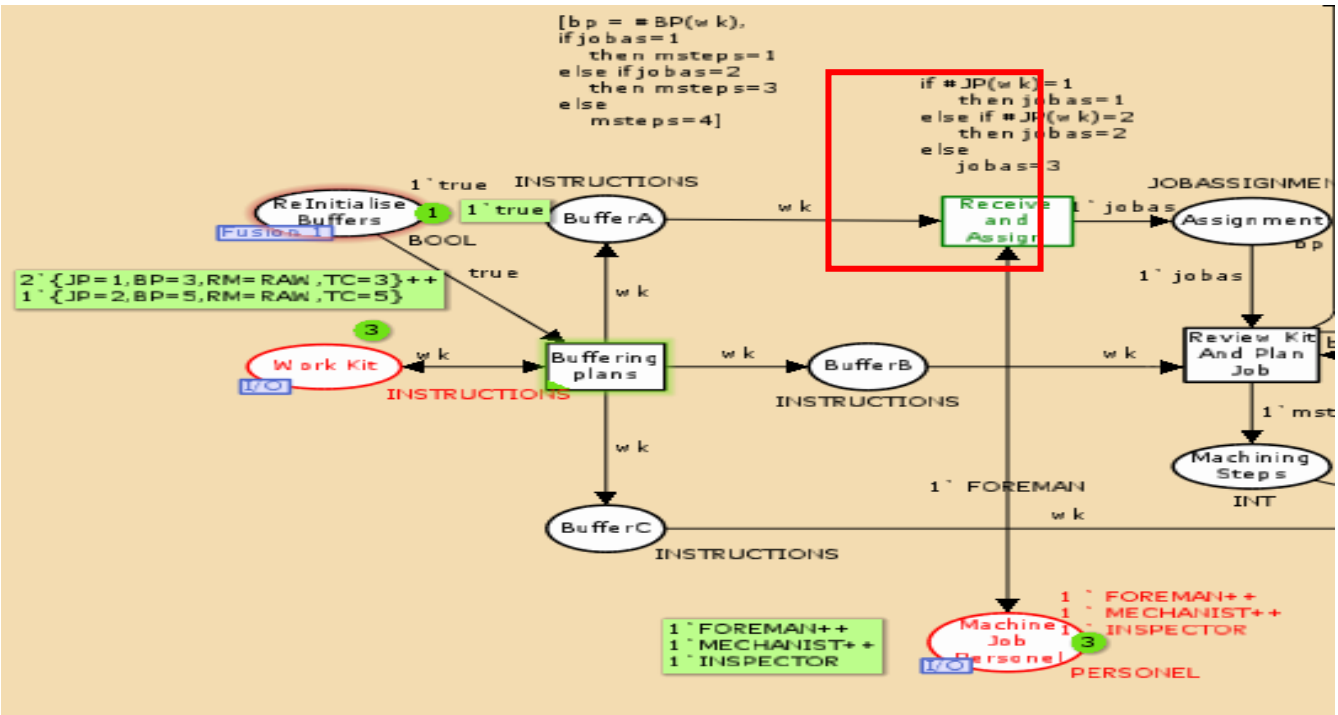
Το υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** όπως εξηγήθηκε προηγουμένως αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους εργασιών, οι οποίες πρέπει να αναλυθούν, ώστε να γίνει κατανοητός ο ρόλος του. Το υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** αποτελείται από πέντε επιμέρους εργασίες.

α) Η πρώτη περιλαμβάνει την κατανομή εργασιών (*receive and assign)*, το οποίο παίρνει τη σειρά των εργασιών και τα σχέδια (job Order and Blueprint) και τα μετατρέπει σε μία ανάθεση εργασιών (Assignment).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 το πακέτο εργασίας, αποτελείται από μία εγγραφή με τέσσερα στοιχεία, τις πρώτες ύλες (raw material), τη σειρά εργασιών (job Order), τα σχέδια (Blueprint) και την χρονική κάρτα (time card) που θα

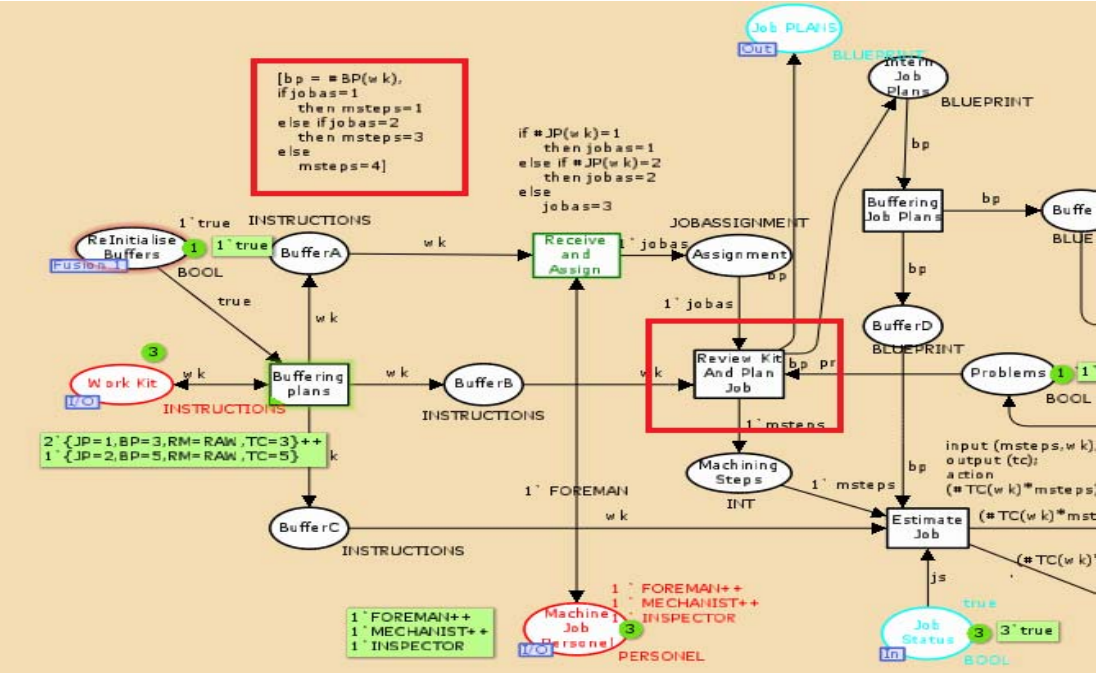
χρησιμοποιηθεί αργότερα. Στο Πακέτο Εργασίας περιλαμβάνει 3 πιθανά σενάρια, τα δύο έχουν τις ίδιες τιμές για τα στοιχεία του Πακέτο Εργασίας και το τρίτο διαφορετικές. Επειδή το σενάριο που θα επιλεχτεί από το Πακέτο Εργασίας πρέπει να χρησιμοποιηθεί και σε επόμενες εργασίες στο ίδιο υποσύστημα, χρησιμοποιείται ένα Buffer και το σενάριο που επιλέχτηκε περιμένει να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν είναι έτοιμες να ενεργοποιηθούν οι άλλες μεταβάσεις (Δηλαδή ουσιαστικά δημιουργούνται τρεις μάρκες).

Η κατανομή εργασιών λοιπόν λαμβάνει ένα από τα τρία σενάρια από το Πακέτο Εργασίας και χρησιμοποιεί και τον επιστάτη (foreman) από το προσωπικό και βγάζει ως έξοδο μία ανάθεση εργασίας (jobas). Η ανάθεση εργασίας προκύπτει από τον κώδικα της *ανάθεσης εργασιών*. Σύμφωνα με το Σχήμα 2, αν το JB (job Order) του σεναρίου είναι 1, θα έχουμε μια ανάθεση εργασίας (jobas) που θα παίρνει την τιμή 1, αν το JB παίρνει την τιμή 2 θα έχουμε μία ανάθεση εργασίας (jobas) που θα παίρνει την τιμή 2, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη τιμή του JB, η ανάθεση εργασίας (jobas), θα παίρνει την τιμή 3.



Σχήμα 2 - Ανάθεση Εργασιών

β) Κατόπιν η ανάθεση εργασιών (jobas) που παράχθηκε στο προηγούμενο βήμα παρέχεται ως πληροφορία στη *Διεξαγωγή Σχεδίων (Review Kit and Plan Job)*, το οποίο εκτός από την ανάθεση παίρνει και αυτό τη σειρά των εργασιών και τα σχέδια (job Order and Blueprint), καθώς και τα προβλήματα που τυχόν υπάρχουν στην Επόπτευση Εργασίας (Monitor Work) και δίνει σαν έξοδο τα σχέδια που απαιτούνται για την εργασία (σχήμα 3).



Σχήμα 3 – Διεξαγωγή Σχεδίων

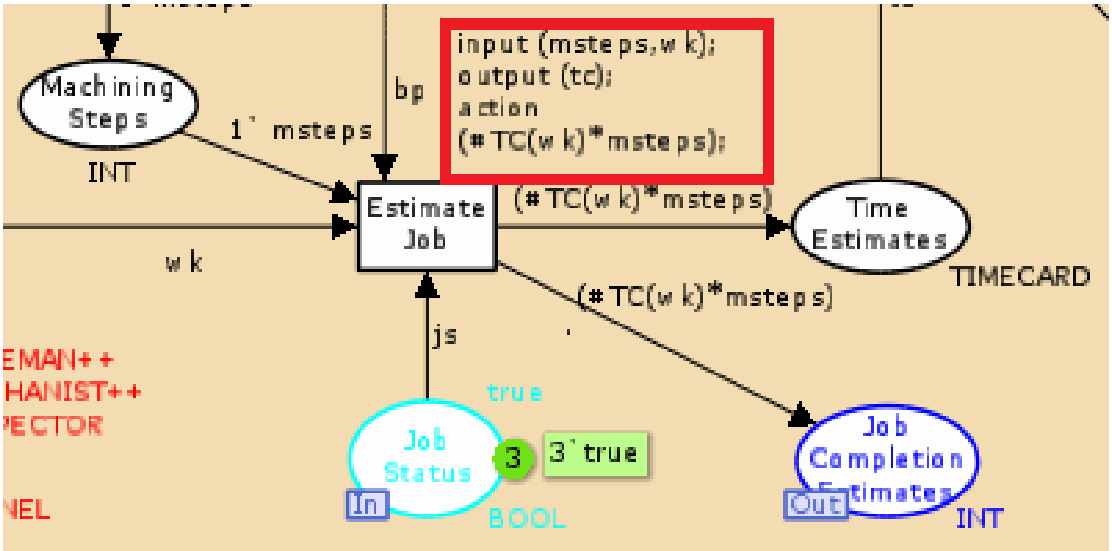
Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3, η Διεξαγωγή Σχεδίων λαμβάνει την ανάθεση εργασίας (jobas) το σενάριο που έχει δοθεί και τα πιθανά προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν από τη διαδικασία παραγωγής, (αυτά αρχικά θεωρούνται ότι δεν υπάρχουν). Έτσι προκύπτουν τα σχέδια δράσης που απαιτούνται για την εργασία (bp) και ο αριθμός των βημάτων που απαιτούνται για τη διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος. Ο υπολογισμός των παραπάνω γίνεται με βάση τον κώδικα που υπάρχει στα “guards” της μετάβασης Διεξαγωγή Σχεδίων. Αυτός αναφέρει ότι τα σχέδια που απαιτούνται για τη διαδικασία (bp) είναι το BP (Blueprint) του σεναρίου και ο αριθμός των βημάτων που απαιτούνται για τη κατασκευή προκύπτει από το jobas που υπολογίστηκε στην *ανάθεση εργασιών* και συγκεκριμένα αν το jobas είναι 1, για να ολοκληρωθεί η εργασία χρειάζεται 1 βήμα, αν είναι 2 χρειάζονται 3 βήματα, αλλιώς 4 βήματα.

Τα σχέδια εργασίας που προκύπτουν από τη Διεξαγωγή Σχεδίων χωρίζονται πάλι με έναν Buffer σε τρεις θέσεις, καθώς είναι απαραίτητα για 3 διαφορετικές εργασίες (μεταβάσεις).

γ) Η επόμενη εργασία του υποσυστήματος ***Διαχείρισης Έργου*** είναι η *Εκτίμηση Έργου* (*Estimate Job)*, που λαμβάνει τα σχέδια εργασίας και τα βήματα που χρειάζονται για να κατασκευαστεί το εξάρτημα, καθώς και τη χρονική κάρτα και υπολογίζει την εκτιμώμενη χρονική διάρκεια που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η κατασκευή (σχήμα 4).

Η χρονική διάρκεια υπολογίζεται με βάση των κώδικα της *Εκτίμησης Έργου*. Σύμφωνα με αυτόν, η χρονική διάρκεια ισούται με το γινόμενο της χρονικής κάρτας (time card) και του αριθμού των βημάτων (msteps) που υπολογίστηκαν στη *Διεξαγωγή Σχεδίων*.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η χρονική διάρκεια που προκύπτει από την παραπάνω μετάβαση αποτελεί την 1η γενική έξοδο του συστήματος (Job Completion Estimates).

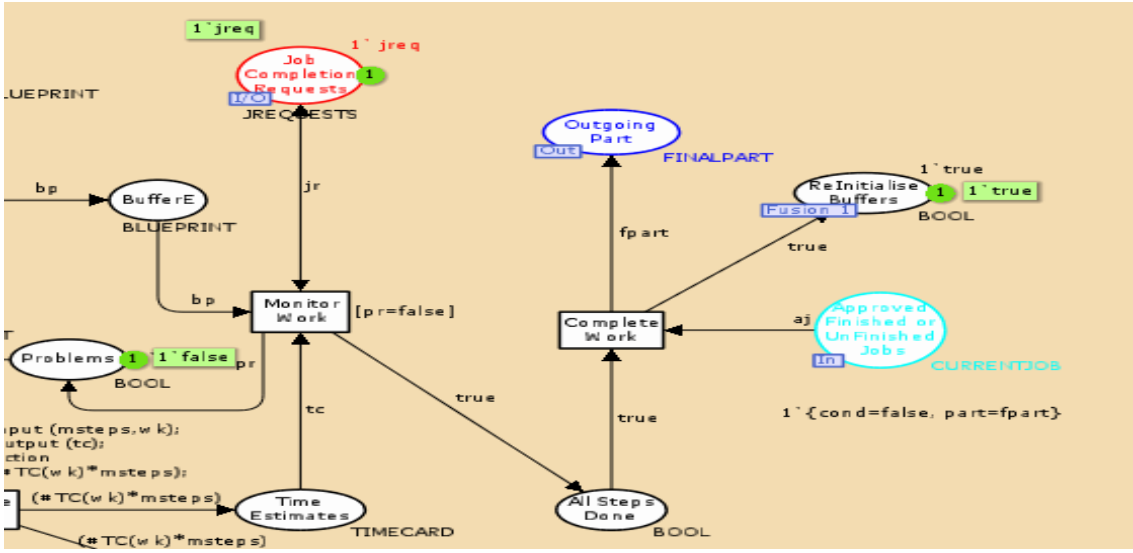


Σχήμα 4 – Εκτιμώμενη Χρονική Διάρκεια

δ) Η τέταρτη εργασία του *υποσυστήματος* ***Διαχείρισης Έργου*** είναι η *Επόπτευση Έργου* (*Επόπτευση Έργου)*, η οποία λαμβάνει τα σχέδια εργασίας (job plans), τον χρονικό υπολογισμό από εκτίμηση χρονικής διάρκειας (Time Estimates), τις απαιτήσεις για την ολοκλήρωση της εργασίας (Job completions request) και παρέχει την ανάδραση που αναφέρθηκε παραπάνω με όλα τα δυνατά προβλήματα που έχουν προκύψει μέχρι τώρα. Παράλληλα ενημερώνει και το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** για όλα τα βήματα (all steps done) που έχουν πραγματοποιηθεί, ώστε να μπορέσει να προωθήσει το εξάρτημα στην έξοδο του συστήματος (σχήμα 5).

ε) Η τελευταία εργασία είναι η Ολοκλήρωση Έργου (Complete Work), η οποία λαμβάνει τα εξαρτήματα που έχουν γίνει αποδεκτά από τον ***Έλεγχο Έργου*** και την πληροφορία από το *υποσύστημα Επόπτευση Έργου* και επιτρέπει ή όχι την έξοδο του προϊόντος από το σύστημα (σχήμα 5).

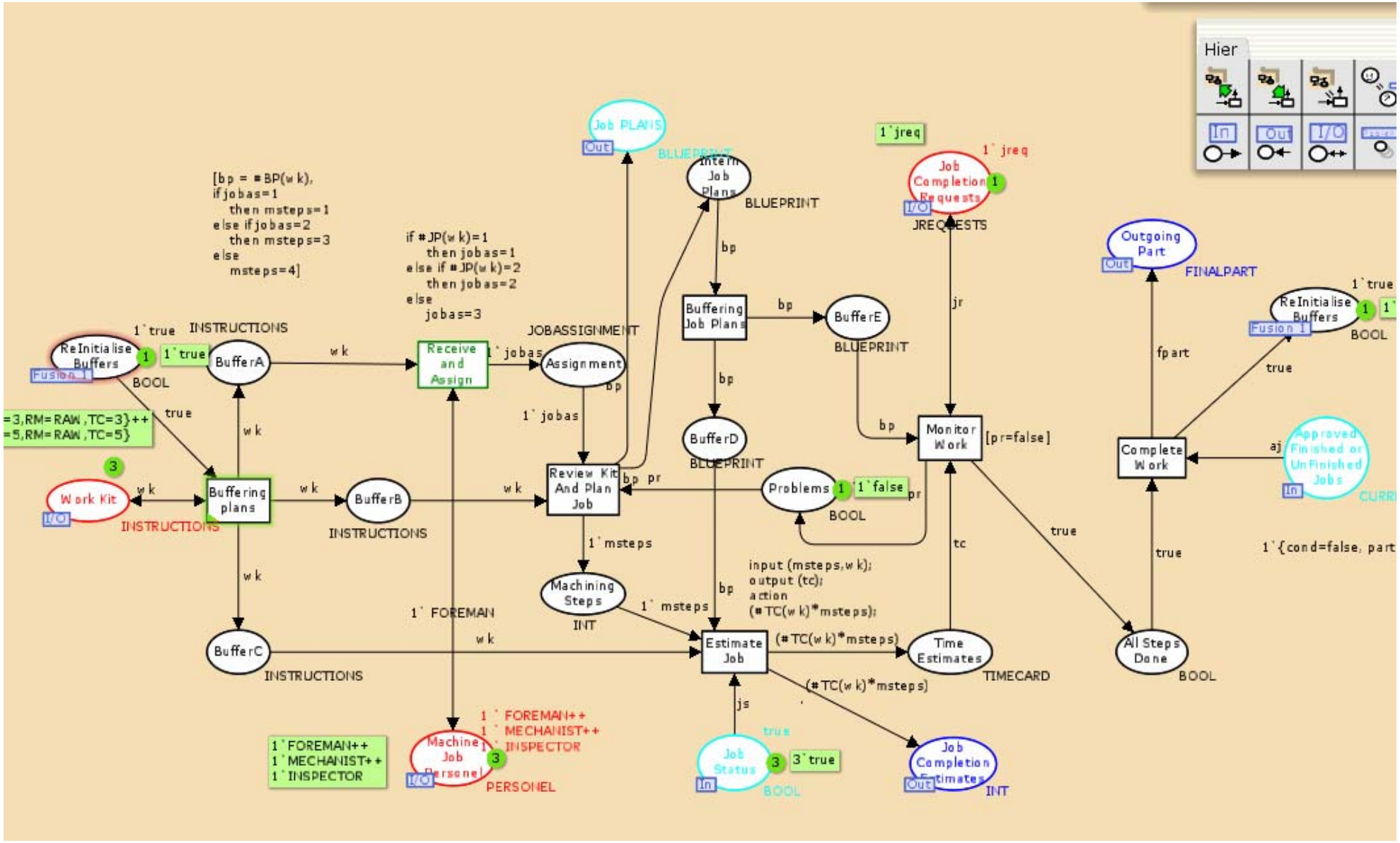
Συνοπτικά, ο έλεγχος περνάει από το *υποσύστημα* ***Διαχείρισης Έργου***, στα άλλα υποσυστήματα και στο τέλος μετά την τελική αποδοχή του εξαρτήματος από το *υποσύστημα* ***Έλεγχος Έργου***, ο έλεγχος περνάει ξανά στο *υποσύστημα* ***Διαχείριση Έργου*** προκειμένου να εξάγει το τελικό εξάρτημα από το σύστημα (μέσω της εργασίας – μετάβασης Complete Work)



Σχήμα 5 – Ολοκλήρωση Έργου

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα του συνολικού υπό-συστήματος Διαχείριση Έργου.

Εικόνα 6 – Υποδίκτυο Διαχείριση Έργου

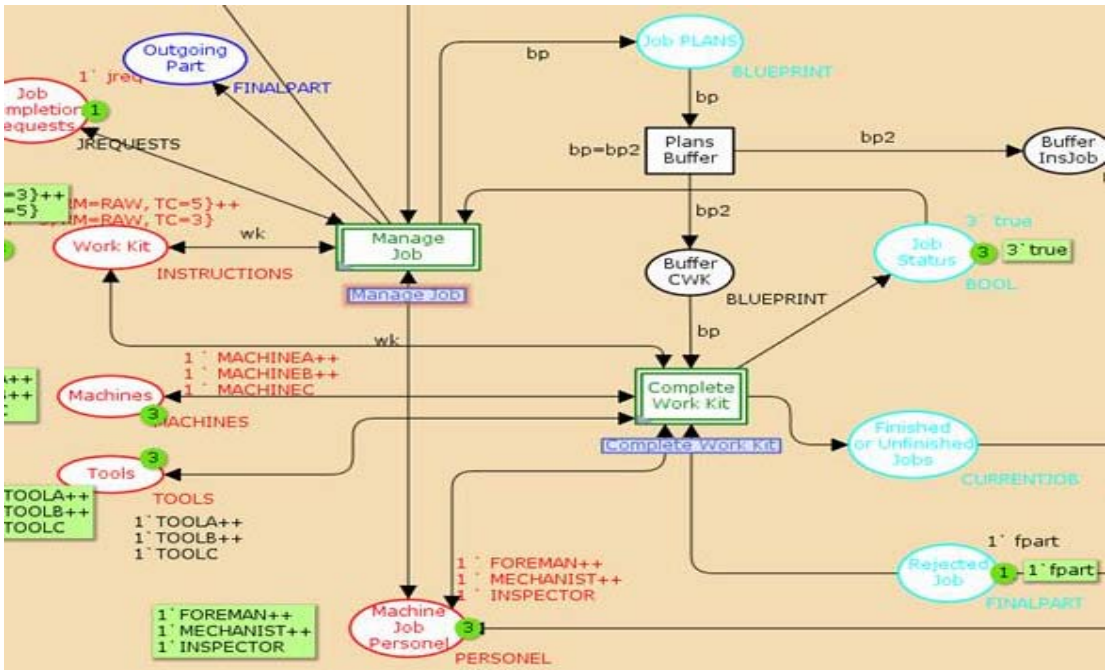


3.3 Εκτέλεση Έργου

Η δεύτερη βασική εργασία του μηχανουργείου είναι το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου***, το οποίο ασχολείται με την κατασκευή του εξαρτήματος. Οι έξοδοι από την ***Εκτέλεση Έργου*** είναι:

1. το εξάρτημα που έχει κατασκευαστεί και
2. η πληροφορία ότι τελείωσε αυτή η εργασία

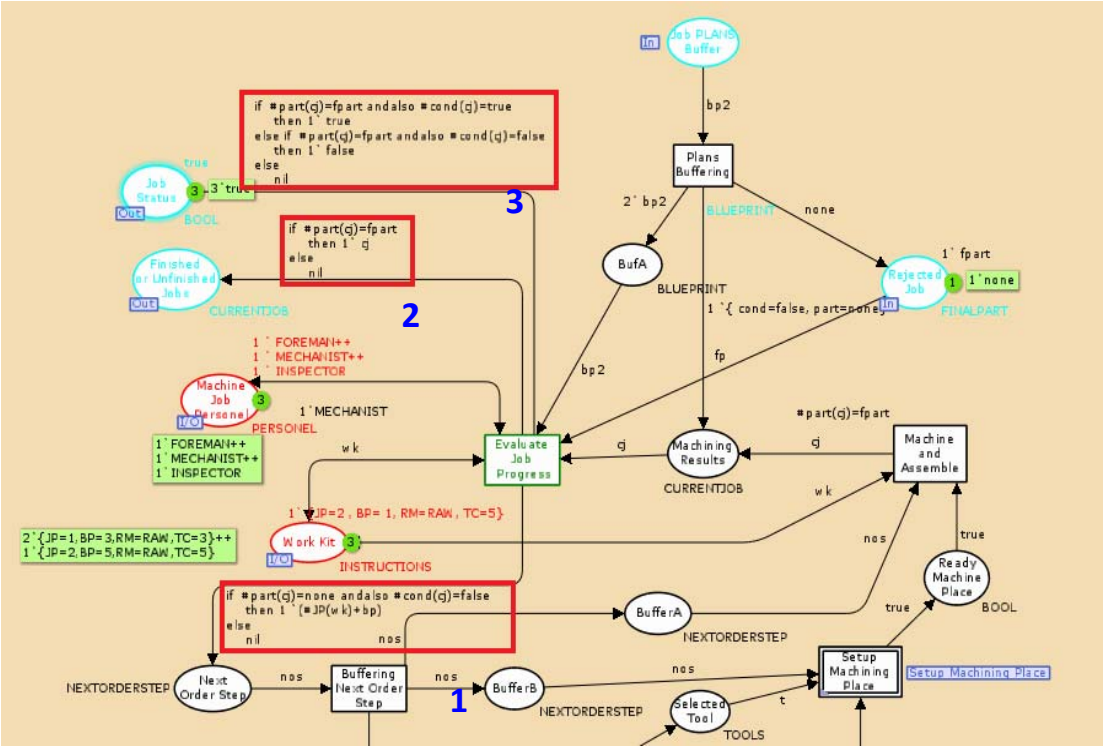
Αναλυτικότερα, το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου,*** όπως φαίνεται στο σχήμα 6 λαμβάνει τα σχέδια εργασίας (job plans), τις πρώτες ύλες (raw materials) από το Πακέτο Εργασίας ή τα απορριφθέντα εξαρτήματα (rejected job) και χρησιμοποιεί μία εργαλείο-μηχανή για να κατασκευάσει τα εξαρτήματα τα οποία εξέρχονται από το σύστημα και πηγαίνουν στο υποσύστημα ***Ελέγχου Έργου***. Επίσης, εξάγει την πληροφορία ότι ολοκληρώθηκε η εργασία κατασκευής και τη στέλνει στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου***, το οποίο το χρησιμοποιεί για την προώθηση του εξαρτήματος εκτός του συστήματος.



Σχήμα 6 – Προώθηση Σχεδίων

Το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** αποτελείται από τέσσερις εργασίες:

α) Η πρώτη εργασία είναι η *Αξιολόγηση της Εργασίας* (*Evaluate Job Progress)*, η οποία παίζει το ρόλο του ελεγκτή της ***Εκτέλεσης Έργου***. Έτσι αφού ελέγξει τις πρώτες ύλες (raw materials) στέλνει πληροφορίες ώστε να ρυθμιστεί η εργαλειομηχανή, ως προς την κατεργασία που πρέπει να κάνει. Επίσης στέλνει πληροφορίες για τις πρώτες ύλες στη μετάβαση *Συναρμολόγηση (Machine and Assemble),* κάνει τον τελικό έλεγχο για το αν το εργαλείο είναι έτοιμο και παρέχει πληροφορία στη ***Διαχείριση Έργου*** για την κατάσταση που βρίσκεται το επεξεργαζόμενο κομμάτι.



Σχήμα 7 - Αξιολόγηση της Εργασίας

Όπως φαίνεται από το σχήμα 7 το Job Plans χωρίζεται σε τρία μέρη με τη βοήθεια ενός Buffer, καθώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε πολλές μεταβάσεις του υπό-δικτύου της ***Εκτέλεση Έργου***.

Για την εκτίμηση της προόδου της εργασίας η μετάβαση (*Evaluate Job Progress)* παίρνει τα σχέδια, τις πρώτες ύλες και απασχολεί ένα από τους τρεις εργάτες, τον μηχανικό και μπορεί να στείλει πληροφορίες σε τρία σημεία :

i) Στο Επόμενο βήμα (next order step), το οποίο στέλνει πληροφορίες για να ρυθμιστεί η εργαλειομηχανή.
ii) Στο Job status το οποίο στέλνει πληροφορίες για την κατάσταση που βρίσκεται το επεξεργαζόμενο κομμάτι.
iii) Και στο Ολοκληρωμένο ή μη Ολοκληρωμένο έργο (Finished or unfinished job), το οποίο βγαίνει από το υποδίκτυο του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου*** για να συνεχιστεί η επεξεργασία του.

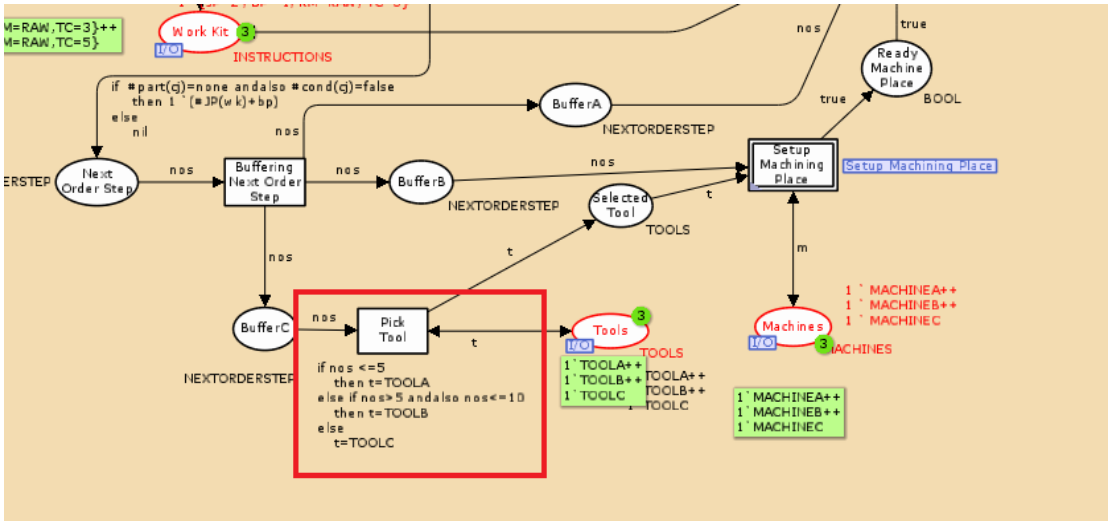
Για να επιλεγεί σε ποιο από τα τρία σημεία θα στείλει η *Αξιολόγηση της Εργασίας* τις πληροφορίες χρησιμοποιούνται κάποιοι κώδικες που ουσιαστικά κατευθύνουν την μάρκα με βάση το στάδιο της επεξεργασίας. Ο κώδικας 1 (σχήμα 7) χρησιμοποιείται για να στείλει την πληροφορία για το πώς θα ρυθμιστεί η μηχανή, η οποία σύμφωνα με τον κώδικα περνάει μόνο όταν δεν υπάρχει το τελικό εξάρτημα και δεν πληρείται η συνθήκη (δημιουργείται στη *Συναρμολόγηση*) ότι το εξάρτημα είναι έτοιμο, και παίρνει την τιμή nos (nextorderstep) που ισούται με το άθροισμα του JP από το σενάριο του Πακέτο Εργασίας που έχει επιλεγεί και των σχεδίων που απαιτούνται (bp) και έχουν παραχθεί από τη ***Διαχείριση Έργου***.

Ο κώδικας 2 (σχήμα 7) αναφέρει ότι το εξάρτημα είναι έτοιμο και μπορεί να σταλεί εκτός του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου***, μόνο αν υπάρχει το τελικό εξάρτημα που παράγεται από τη *Συναρμολόγηση (Machine and Assemble)*. Τέλος ο κώδικας 3 (σχήμα 7) πληροφορεί τη ***Διαχείριση Έργου*** για την κατάσταση που βρίσκεται το επεξεργαζόμενο κομμάτι. Συγκεκριμένα, αν έχουμε πάρει το τελικό εξάρτημα (fpart) και πληρείται η συνθήκη ότι το εξάρτημα είναι έτοιμο (cond=true), τότε στέλνεται στη ***Διαχείριση Έργου*** το σήμα true. Αντίθετα αν έχουμε πάρει το τελικό εξάρτημα αλλά έχουμε ημιτελή εργασία (cond=false), στέλνεται false. Σε κάθε άλλη περίπτωση δεν ενεργοποιείται η έξοδος (Job Status).

β) Η δεύτερη εργασία του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου*** είναι *η επιλογή εργαλείου* (*Pick Tool).* Εδώ γίνεται η επιλογή του εργαλείου με βάση το οποίο θα γίνει η κατασκευή του εξαρτήματος. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιλογή εργαλείου και το *η Ρύθμιση του Χώρου Εργασίας* έχουν ως στόχο να ρυθμίσουν την εργαλειομηχανή με βάση τις πληροφορίες που πήραν από το *Αξιολόγηση της*

Εργασίας κατασκευάζοντας τον μηχανισμό για τη *Συναρμολόγηση (Machine and Assemble).*

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8 υπάρχουν τρία εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του εξαρτήματος, το Tool A, Tool B και Tool C. Η επιλογή του εργαλείου υπολογίζεται με βάση την τιμή του nos (nextorderstep), σύμφωνα με τον κώδικα που υπάρχει στα guard της επιλογής εργαλείου και λέει ότι αν το nos (nextorderstep) είναι μικρότερο από 5, να πάρει το εργαλείο A, αν παίρνει τιμή στο διάστημα (5, 10] να πάρει το εργαλείο B, ενώ αν είναι μεγαλύτερο από 10 να πάρει το εργαλείο C.

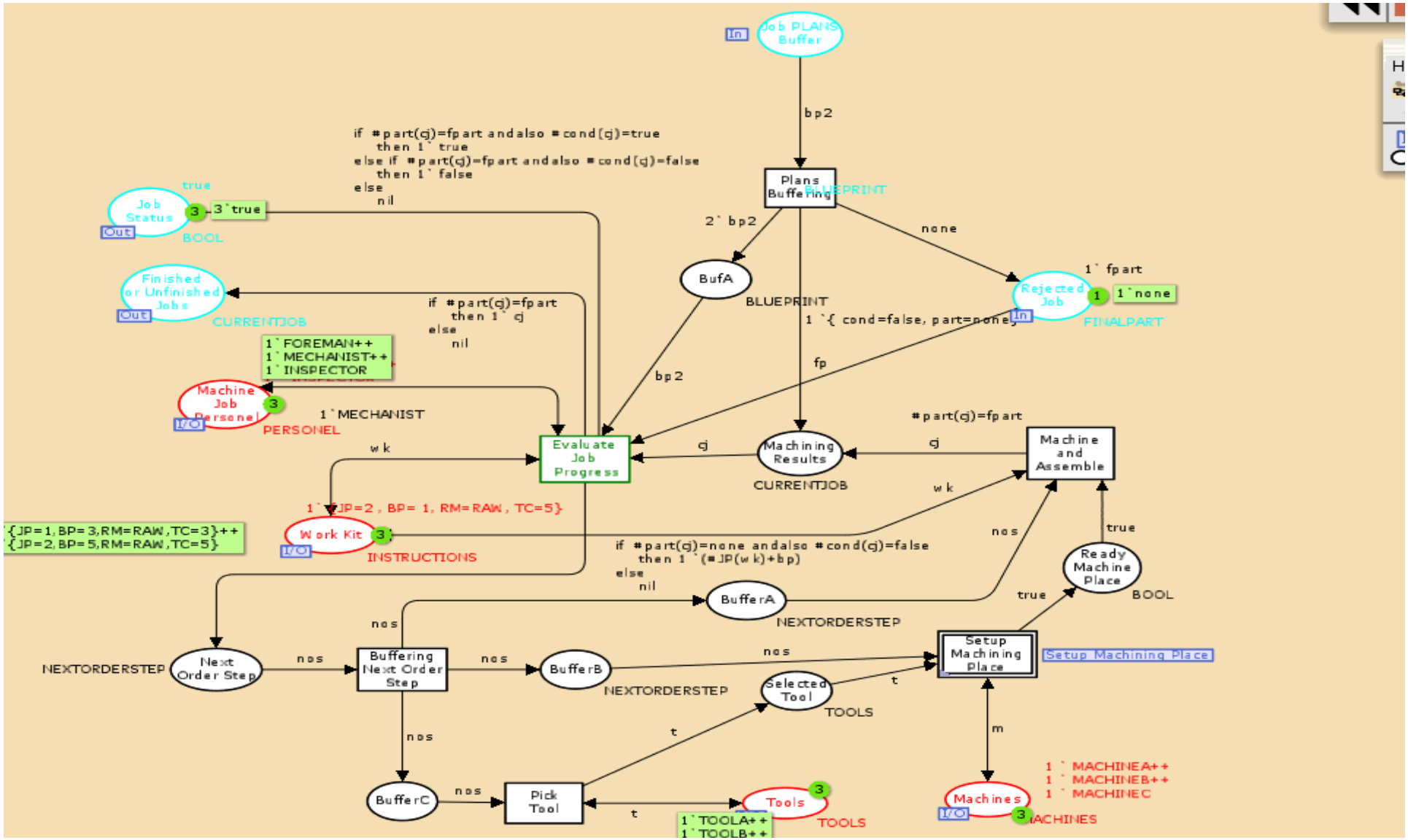


Σχήμα 8 – Επιλογή Εργαλείου

γ) Η τρίτη εργασία του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου*** είναι *η Προετοιμασία Χώρου Εργασίας* (*Setup Machining Place)*, η οποία αναλύεται σε ένα άλλο υποδίκτυο και δείχνει πως θα ρυθμιστεί η εργαλειομηχανή. Το υποδίκτυο *Προετοιμασία Χώρου Εργασίας* αποτελείται από 6 εργασίες. Σε όλες τις εργασίες που γίνονται σε αυτό το υποδίκτυο χρησιμοποιείται το nos (nextorderstep) και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας Buffer που χώρισε το nos (nextorderstep) σε όσες είναι και οι εργασίες του υπό-δικτύου.

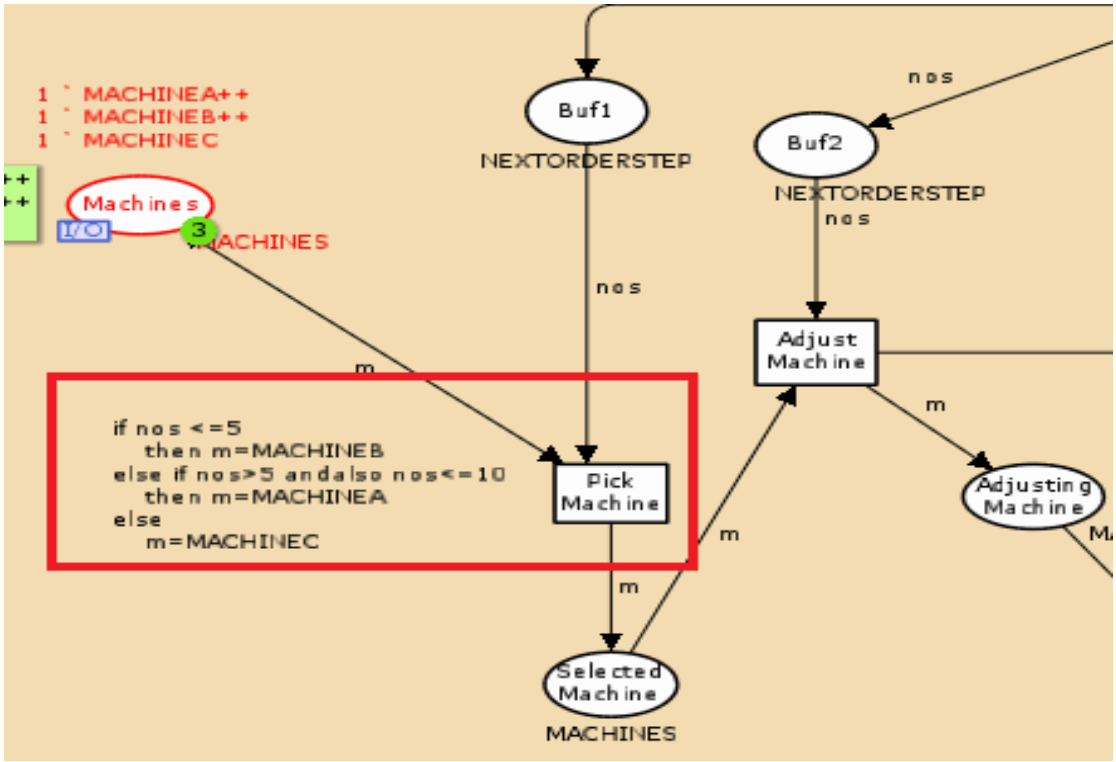
Στην Εικόνα 7 παρατίθεται το συνολικό διάγραμμα του υπό-δικτύου ***Εκτέλεση Έργου***

Εικόνα 7 - **Υπό-δίκτυο Εκτέλεση Έργου**



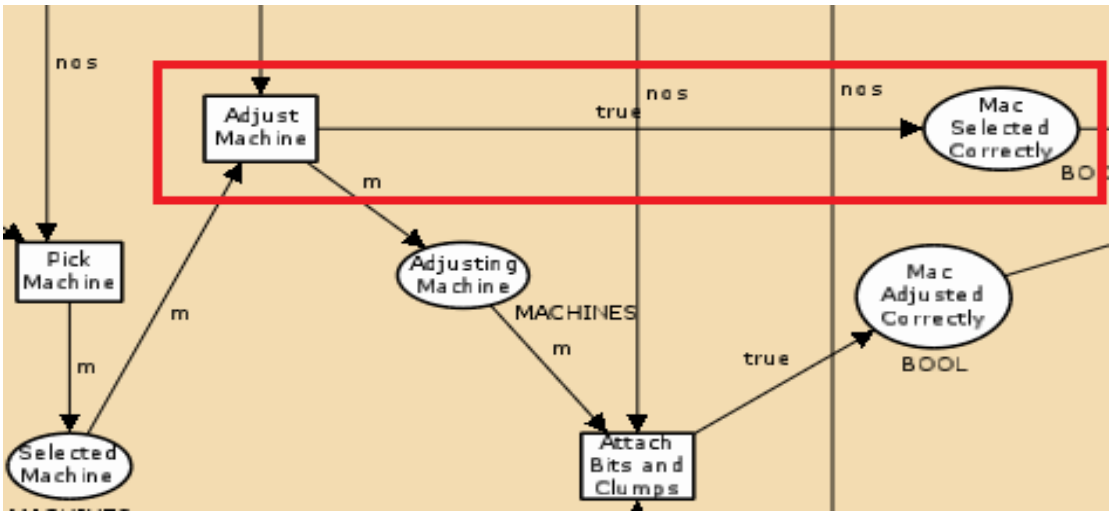
3.4 Προετοιμασία Χώρου Εργασίας

Η πρώτη εργασία του υπό-δικτύου ***Προετοιμασία Χώρου Εργασίας (Setup Machine Place)*** είναι η επιλογή της μηχανής (*Pick Machine)*. Όπως φαίνεται στο σχήμα 9 υπάρχουν 3 μηχανές (Machine A, Machine B, Machine C). Η επιλογή της μηχανής γίνεται με βάση την τιμή του nos (nextorderstep) από τον κώδικα που υπάρχει στα guard του *Pick Machine.* Συγκεκριμένα, αν η τιμή του nos (nextorderstep) είναι μικρότερη από 5, να πάρει τη μηχανή B, αν παίρνει τιμή στο διάστημα (5, 10] να πάρει τη μηχανή B, ενώ αν είναι μεγαλύτερο από 10 να πάρει τη μηχανή C.



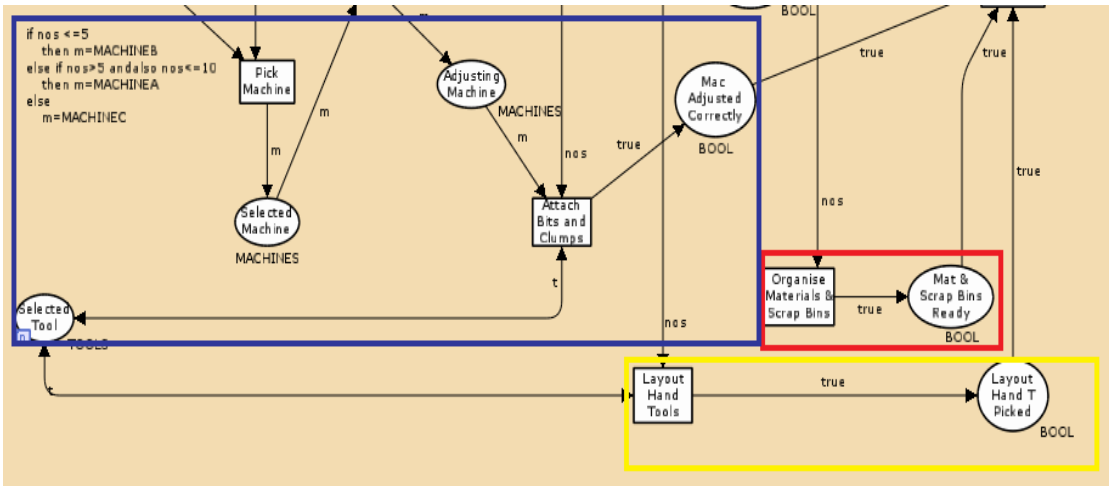
Σχήμα 9 – Επιλογή Μηχανής

Η δεύτερη εργασία είναι *η ρύθμιση της μηχανής (Adjust Machine)*. Εδώ ρυθμίζεται κατάλληλα η μηχανή που έχει επιλεχθεί με βάση του nos (nextorderstep) και στέλνει ένα σήμα ελέγχου στο *Machine Place Ready*, για το αν ρυθμίστηκε επιτυχώς ή όχι η μηχανή που επιλέχθηκε (σχήμα 10).



Σχήμα 10- Προετοιμασία Χώρου Εργασίας

Η επόμενη εργασία του υποσυστήματος ***Προετοιμασία Χώρου Εργασίας*** είναι το Attach Bits and Clumps (σχήμα 11) όπου παίρνει τα εργαλεία που έχουν επιλεχθεί από τη μετάβαση *Επιλογή Εργαλείου* και τα τοποθετεί στην μηχανή που έχει επιλεχθεί από την *Επιλογή Μηχανής (Pick Machine).* Οι επόμενες δύο εργασίες έχουν να κάνουν με την επιλογή άλλων υλικών-εργαλείων που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του εξαρτήματος. Συγκεκριμένα το *Layout Hand Tools* (σχήμα 11) επιλέγει τα κατάλληλα εργαλεία χειρός που είναι αναγκαία για την κατασκευή του εξαρτήματος. Το *Organize Material and Scrub Bins* (σχήμα 11) επιλέγει τα υλικά και τα κουτιά των πρώτων υλών που χρειάζονται για τη διαδικασία. Και οι δύο εργασίες γίνονται με βάση την πληροφορία του nos (nextorderstep) και μετά την επιλογή των κατάλληλων αντικειμένων στέλνουν ένα σήμα επιτυχημένης ρύθμισης στη μετάβαση *Machine Place Ready*.

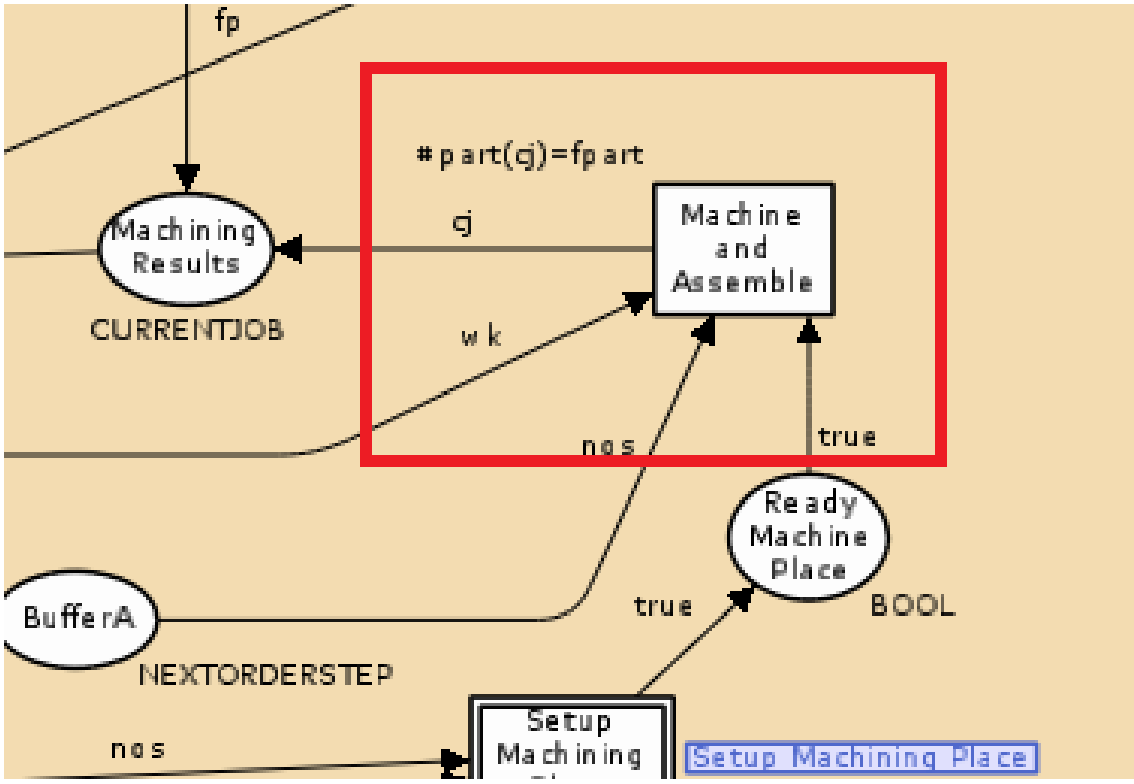


Σχήμα 11 - Προετοιμασία Χώρου Εργασίας

Η τελευταία εργασία *Machine Place Ready* λαμβάνει τα σήματα επιτυχημένης ρύθμισης από τις παραπάνω εργασίες και δίνει σήμα επιτυχούς ρύθμισης του χώρου εργασίας, της μηχανής και των εργαλείων και μπορεί να προχωρήσει η διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος.

Η τελευταία εργασία του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου*** είναι η *Συναρμολόγηση (Machine And Assemble),* η οποία ουσιαστικά κατασκευάζει το εξάρτημα. Συγκεκριμένα με τη βοήθεια του nos (nextorderstep) παίρνει τις πρώτες ύλες από το σενάριο που επιλέχθηκε και την έγκριση από το υποσύστημα *Προετοιμασία Χώρου Εργασίας* ότι η εργαλειομηχανή και τα εργαλεία για την κατασκευή του εξαρτήματος είναι έτοιμα και κατασκευάζει το εξάρτημα.

Τελικά σαν έξοδο αυτής της μετάβασης παίρνουμε μία εγγραφή (cj) που περιέχει μία συνθήκη (cond) για το αν η δουλειά είναι ολοκληρωμένη ή όχι (true/false) και επίσης το τελικό εξάρτημα.

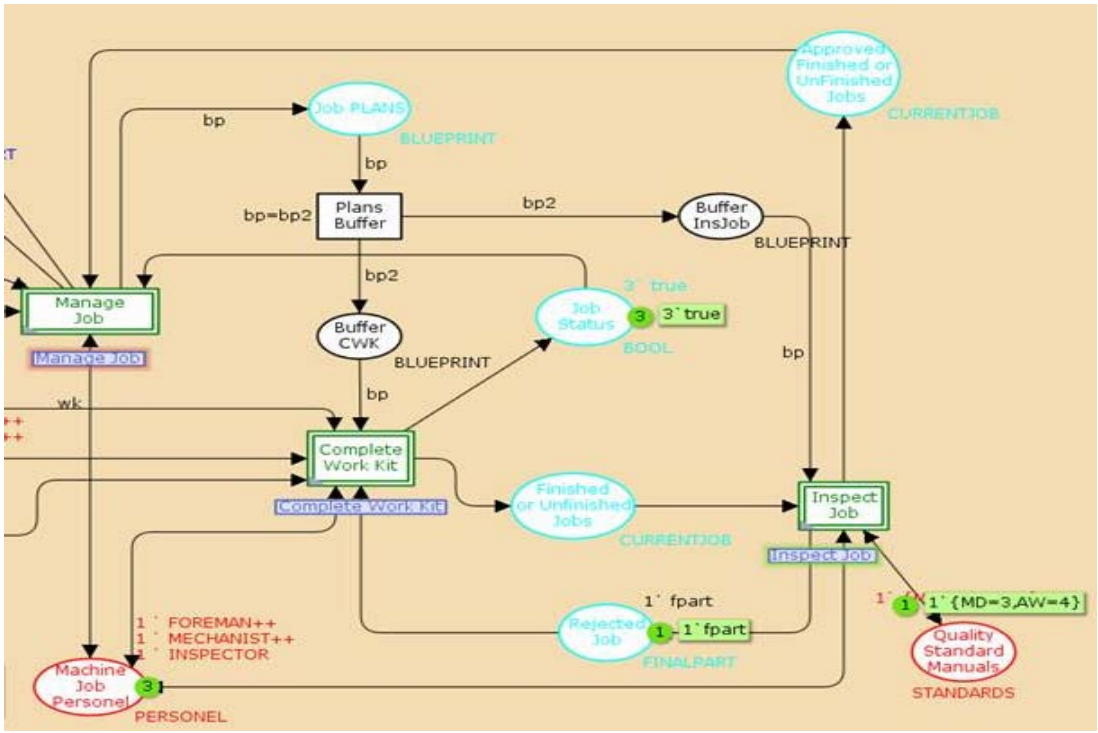


Σχήμα 12 - Συναρμολόγηση

3.5 Έλεγχος Έργου

Τέλος, η τρίτη βασική εργασία του συστήματος μας είναι ο ***Έλεγχος Έργου***, η οποία έχει ως σκοπό τον έλεγχο των ολοκληρωμένων ή ημιτελών εργασιών. Αυτό γίνεται με βάση μία σειρά από απαιτούμενες προδιαγραφές και την αποτίμηση τους αν είναι έτοιμα ή πρέπει να σταλούν πίσω στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** για διόρθωση.

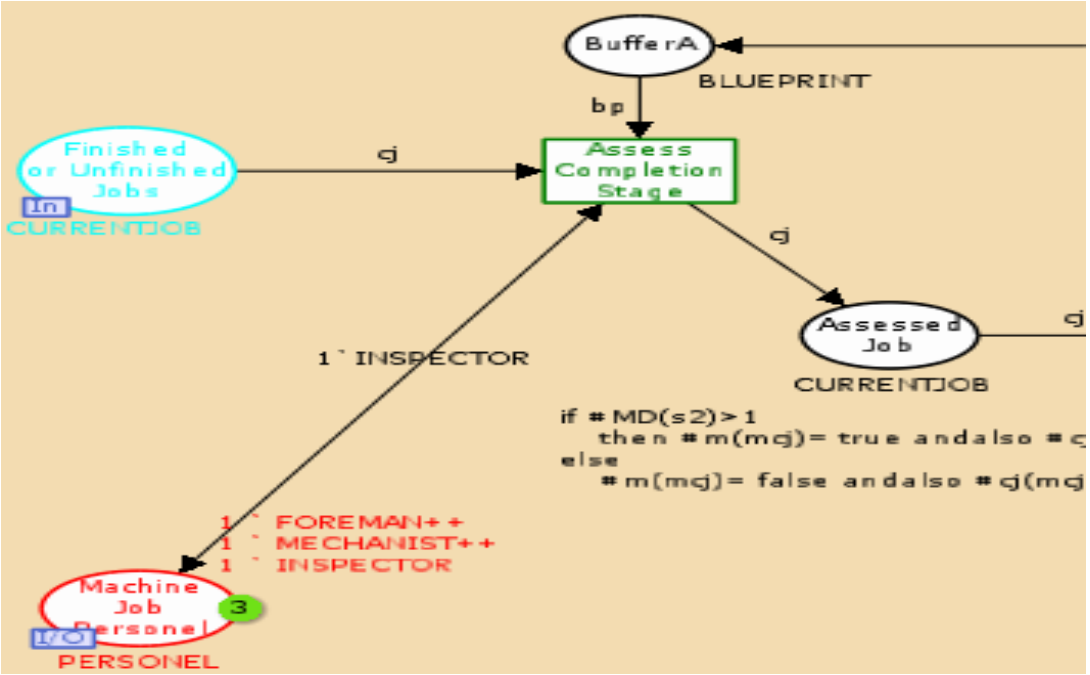
Αναλυτικότερα, όπως φαίνεται στο σχήμα 13, ο ***Έλεγχος Έργου*** λαμβάνει από το υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** τα έτοιμα εξαρτήματα (finished/Unfinished jobs), τα σχέδια εργασίας (job plans) από το υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** και με βάση τις απαιτούμενες προδιαγραφές (quality standards manual), και με την βοήθεια του εργάτη (επιθεωρητής) ελέγχει αν το εξάρτημα τηρεί τις προδιαγραφές και ανάλογα το στέλνει ή στη ***Διαχείριση Έργου*** αν είναι έτοιμο ή στην ***Εκτέλεση Έργου*** αν χρειάζεται κάποιες διορθώσεις.



Σχήμα 12 – ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΡΓΟΥ

Ο ***Έλεγχος Έργου*** περιλαμβάνει ένα αριθμό από άλλες εργασίες και γι' αυτό αναλύεται σε ένα υποδίκτυο Petri. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τέσσερις εργασίες:

α) Την Αξιολόγηση του βαθμού ολοκλήρωσης (*Assess Completion Stage*), όπου λαμβάνεται το εξάρτημα που κατασκευάστηκε , τα σχέδια εργασίας (job plans) ώστε να γίνει μία αποτίμηση της αποπεράτωσης της εργασίας (assessed job), για να μπορέσουν να ακολουθήσουν οι επόμενοι έλεγχοι του εξαρτήματος.

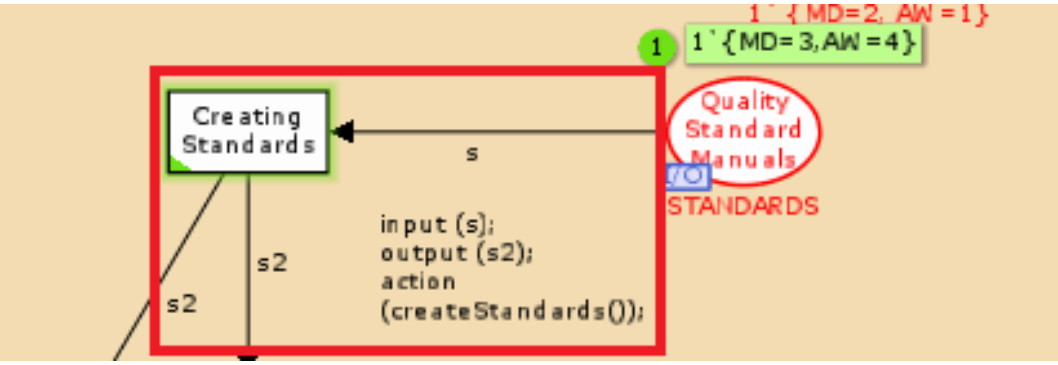


Σχήμα 13 - Αξιολόγηση του βαθμού ολοκλήρωσης

β) Η επόμενη εργασία είναι ο έλεγχος των διαστάσεων του εξαρτήματος (*Measure Critical Dimensions*). Σε αυτή την εργασία λαμβάνονται υπόψη οι προδιαγραφές ποιότητας, ανοχών και διαστάσεων του εξαρτήματος όπως αυτά προκύπτουν από το εγχειρίδιο ποιότητας, τα σχέδια που δημιουργήθηκαν από τη ***Διαχείριση Έργου*** και το εξάρτημα που κατασκευάστηκε από την ***Εκτέλεση Έργου*** και ελέγχεται αν το τελικό προϊόν είναι κατασκευασμένο με βάση τις προδιαγραφές που απαιτούνται.

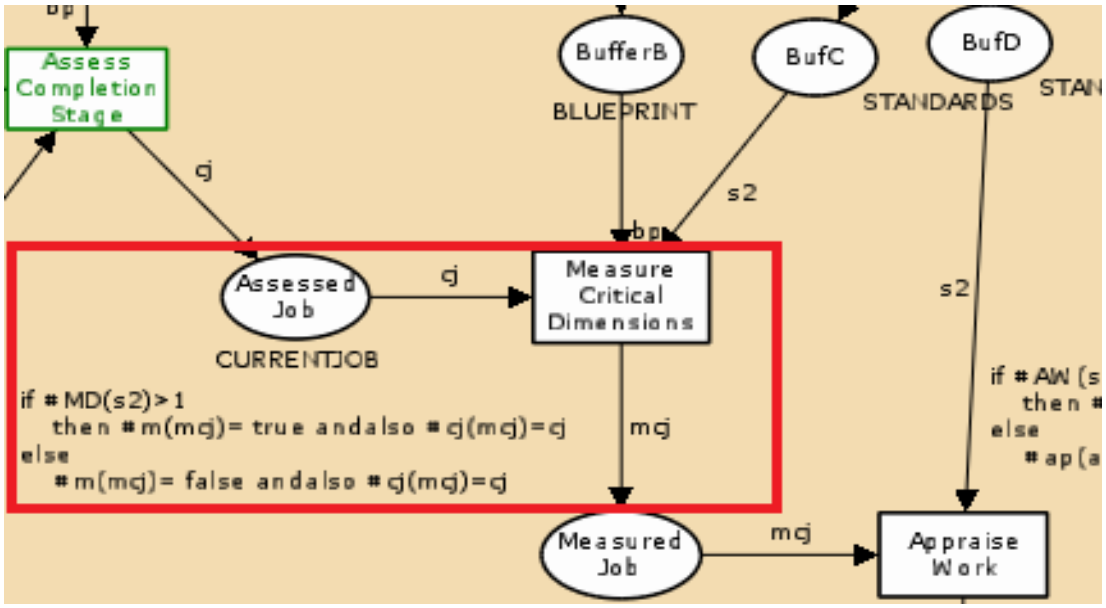
Η δημιουργία των προδιαγραφών (standards) (σχήμα 14) γίνεται με τυχαίο τρόπο με χρήση της συνάρτησης rand(). Συγκεκριμένα οι προδιαγραφές είναι μία εγγραφή που αποτελείται από δυο πεδία, το MD(measure dimensions) και το AW(appraise work). Τα δύο αυτά πεδία είναι ακέραιοι αριθμοί μεταξύ 1 και 5 και παίρνουν τυχαίες τιμές με τη βοήθεια της παρακάτω συνάρτησης:

```
fun createStandards()=
{MD=MESDIM.ran(), AW=APRWORK.ran()}
```



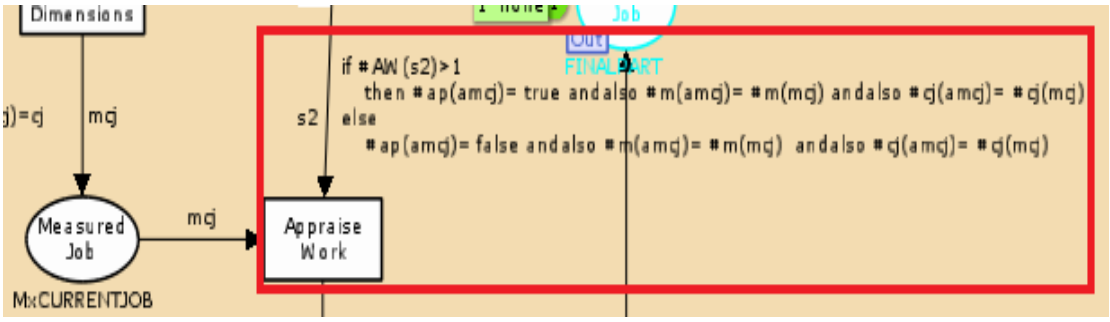
Σχήμα 14 – προδιαγραφες ποιοτητας

Ο έλεγχος πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός κώδικα που υπάρχει στα «guards» της μετάβασης *μέτρηση κρίσιμων διαστάσεων* (*Measure Critical Dimensions)* και ο οποίος λέει ότι αν οι μετρημένες διαστάσεις (MD) παίρνουν τιμή μεγαλύτερη του 1, τότε το εξάρτημα πληροί τις προδιαγραφές αλλιώς όχι. Στην έξοδο της *μέτρησης κρίσιμων διαστάσεων* έχουμε μία εγγραφή mcj που περιέχει τόσο την assessed job (cj), όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει αν οι διαστάσεις του εξαρτήματος ήταν άρτιες.



Σχήμα 15 - μέτρηση κρίσιμων διαστάσεων

γ) Στην συνέχεια ακολουθεί η αξιολόγηση των εργασιών (*appraise work*). Αυτή η εργασία δέχεται το εξάρτημα στο οποίο έχουν ελεγχθεί οι διαστάσεις του (measured job) από τη *μέτρηση κρίσιμων διαστάσεων*, καθώς και τις απαιτούμενες προδιαγραφές που επιβάλλονται από το εγχειρίδιο ποιότητας και γίνεται μία εκτίμηση της εργασίας (σχήμα 16). Ο έλεγχος γίνεται με βάση τον κώδικα που περιέχει αυτή η εργασία στα «guards» ελέγχοντας πάλι τις προδιαγραφές. Σαν έξοδος αυτής της εργασίας δημιουργείται μια εγγραφή amcj που περιέχει τόσο την mcj (που παράχθηκε από Measure Critical Dimensions), όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει εάν η ποιότητα κατασκευής είναι αποδεκτή.

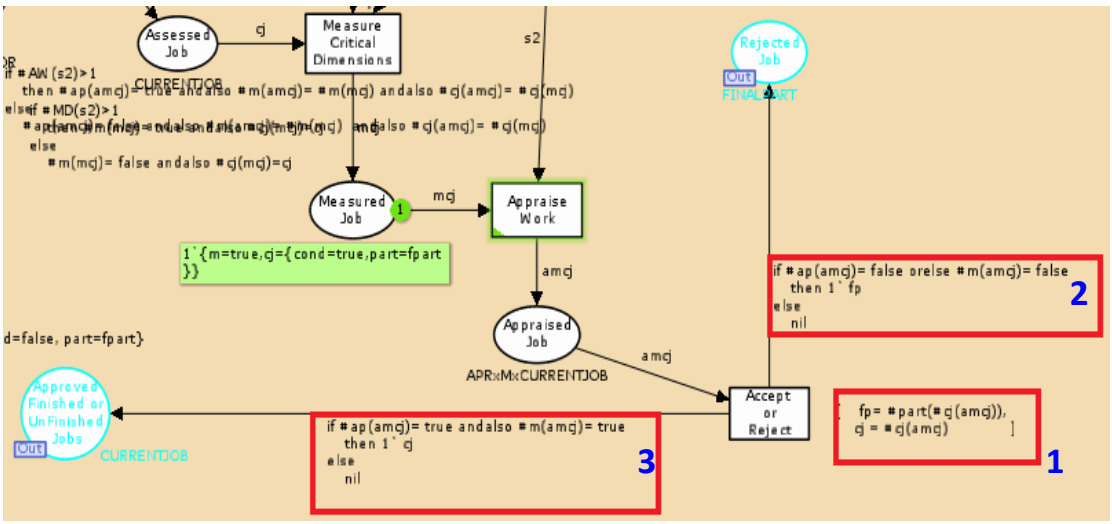


Σχήμα 16- αξιολόγηση της εργασίας

δ) Τέλος ακολουθεί η έγκριση ή απόρριψη του εξαρτήματος (accept or reject), όπου λαμβάνεται υπόψη η εκτίμηση της εργασίας (appraised job),σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές αποδοχής και αποφασίζεται αν το κομμάτι θα γίνει αποδεκτό και θα σταλεί στη ***Διαχείριση Έργου*** ή μη αποδεκτό και να σταλεί στην ***Εκτέλεση Έργου***.

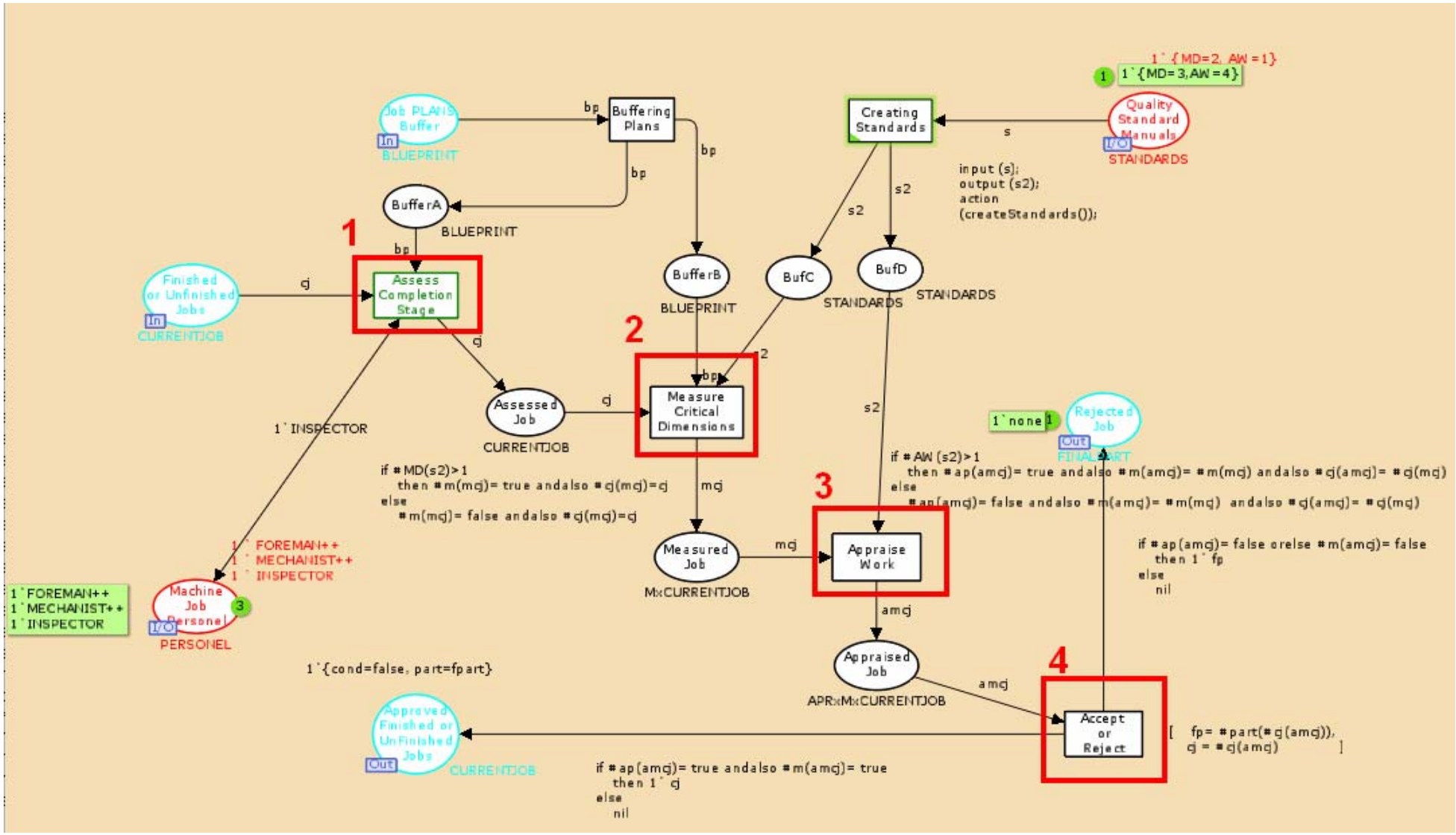
Σε αυτήν την εργασία αποφασίζεται αν το εξάρτημα που φτιάχτηκε είναι αποδεκτό, δηλαδή έτοιμο και σύμφωνα με τις προδιαγραφές που επιβάλει το εγχειρίδιο ποιότητας ή όχι. Το εξάρτημα μπορεί να θεωρηθεί είτε ότι είναι κατασκευασμένο με βάση τις προδιαγραφές (Approved Finished or Unfinished Job), είτε ότι δεν είναι κατασκευασμένο με βάση αυτές (Rejected Job).

Η επιλογή της κατάστασης του εξαρτήματος γίνεται με βάση τους κώδικες 1, 2 και 3 που φαίνονται στο σχήμα 17. Συγκεκριμένα, εάν το εξάρτημα έχει άρτιες διαστάσεις και ικανοποιητική κατασκευή στέλνεται στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** (κώδικας 3) σαν αποδεκτή ολοκληρωμένη ή ημιτελής δουλεία (acj), ενώ εάν κάποιο από τα δύο κριτήρια δεν ικανοποιείται τότε το εξάρτημα στέλνεται σαν rejected job (fp) στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** (ο κώδικας 2).



Ακολουθεί το αναλυτικό διάγραμμα του υποσυστήματος Έλεγχος Έργου.

Εικόνα 8 - Υπό-δίκτυο Έλεγχος Έργου



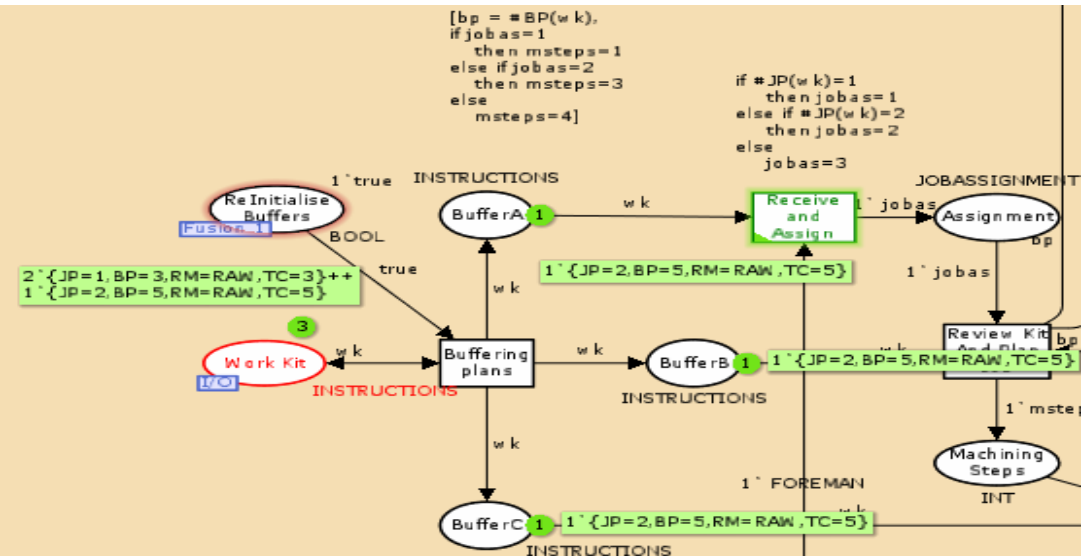
4. Προσομοίωση κατασκευής εξαρτήματος

4.1 Γενικά

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της προσομοίωσης του συστήματος για την κατασκευή ενός εξαρτήματος μηχανουργείου. Συγκεκριμένα όπως θα δούμε και στο παρακάτω σχήμα, επιλέγεται με τυχαίο τρόπο επιλέγεται μία μάρκα από το πακέτο εργασίας. Η μάρκα βεβαίως καθορίζει το ποιο εξάρτημα θα κατασκευαστεί.)

4.2 Βήματα Προσομοίωσης

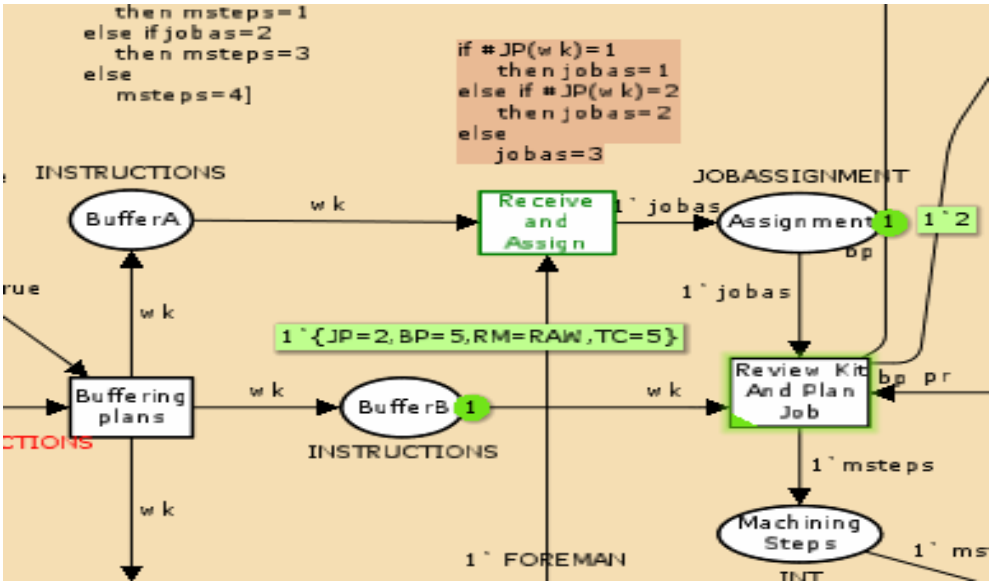
ΒΗΜΑ 1ο



Εικόνα 9 - Βήμα 1ο

Στο 1ο βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου***, και επιλέγεται τυχαία η μάρκα με το Πακέτο Εργασίας. Επειδή το Πακέτο Εργασίας θα χρησιμοποιηθεί σε πολλά σημεία σε αυτό το επίπεδο, ενεργοποιούνται οι τρεις buffers που δημιουργούν τρεις μάρκες με το αρχικό Πακέτο Εργασίας. Όπως θα δούμε παρακάτω, ο 1ος buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίησης της μετάβασης ***Receive and Assign,*** ο 2ος buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Διεξαγωγή Σχεδίων***, ενώ ο 3ος για την μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου.***

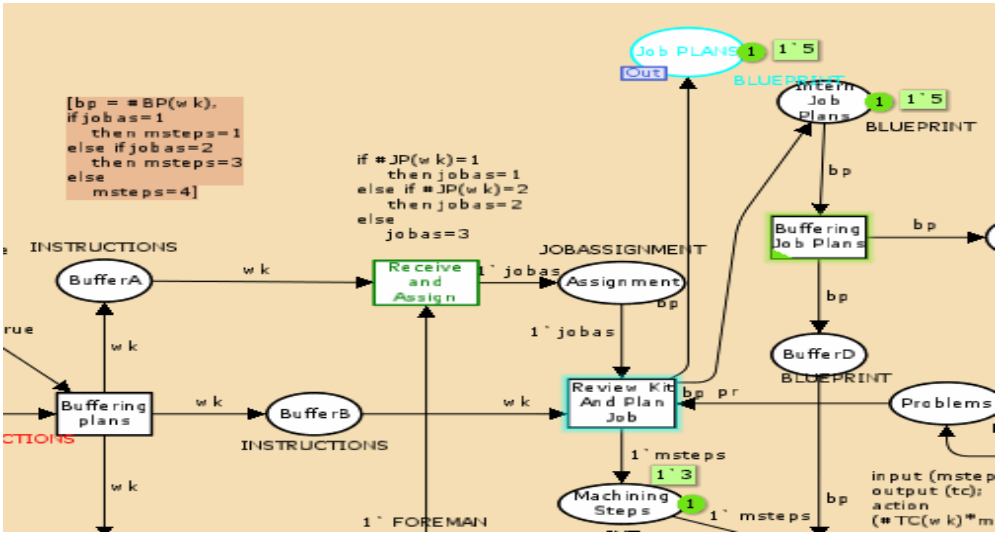
ΒΗΜΑ 2ο



Εικόνα 10 - - Βήμα 2ο

Στο 2ο βήμα της προσομοίωσης, δημιουργείται η μάρκα jobas, η οποία σχετίζεται με την ανάθεση εργασιών και με την εξαγωγή των σχεδίων που θα πάρουν τα άλλα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα η μάρκα παίρνει τη τιμή 2, αφού όπως φαίνεται από τον κώδικα στα guards, αυτό έπρεπε να συμβεί βάσει της αρχικής τιμής του πεδίου JP του εγγραφή Πακέτο Εργασίας. Στη συνέχεια η επόμενη μετάβαση που θα ενεργοποιηθεί θα είναι η Διεξαγωγή Σχεδίων.

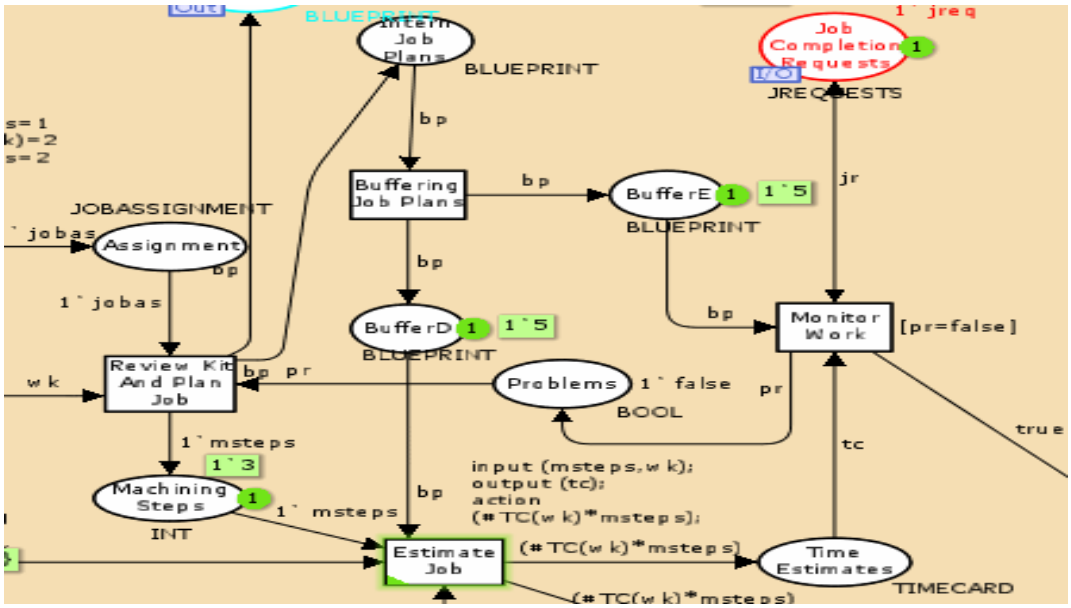
ΒΗΜΑ 3ο



Εικόνα 11 - Βήμα 3ο

Στο 3° βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** αφού ήταν έτοιμη η μεταβλητή jobas και η μεταβλητή με το αρχικό Πακέτο Εργασίας (από τον bufferb). Σε αυτή τη μετάβαση, μεταφέρονται τα σχέδια (Blueprints) προς τα άλλα επίπεδα (***Εκτέλεση Έργου*** & ***Έλεγχος Έργου***) και επίσης υπολογίζονται ο αριθμός των βημάτων που απαιτούνται για τη διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος, βάσει του κώδικα που υπάρχει στα guards της συγκεκριμένης μετάβασης. Έτσι οι τιμές που παίρνουν τελικά οι έξοδοι της μετάβασης (μάρκες) είναι:

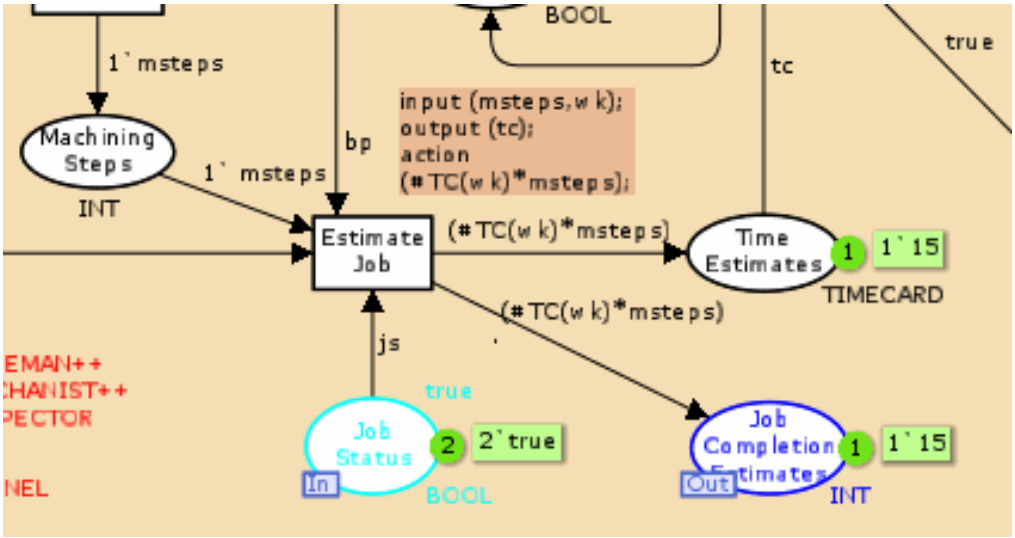
- **Αριθμός Βημάτων (Msteps)** = 3
- **Σχέδια (Blueprint)** = 5



Εικόνα 12 - Βήμα 4°

Στο 4° βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Buffering Job Plans.*** Έτσι τα σχέδια που δημιουργήθηκαν ακριβώς πριν, με αυτή τη μετάβαση θα φυλάχτηκαν με τη βοήθεια 2 buffers για να χρησιμοποιηθούν παρακάτω στα υποσυστήματα ***Εκτίμηση Έργου & Επόπτευση Έργου.***

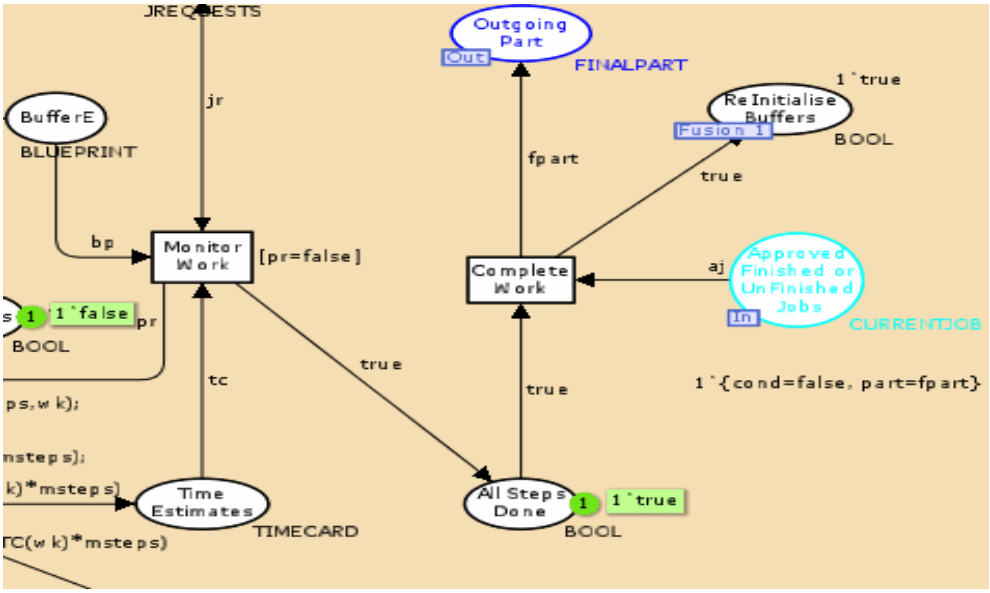
ΒΗΜΑ 5ο



Εικόνα 13 - Βήμα 5ο

Στο 5ο βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου.*** Εδώ με τη βοήθεια των εισόδων: (βήματα) msteps & (σχέδια) bp υπολογίζεται η εκτιμώμενη χρονική διάρκεια της κατασκευής (με τη βοήθεια του κώδικα της μετάβασης) η οποία είναι και η πρώτη τελική έξοδος του συστήματος και εδώ λαμβάνει την τιμή 15.

ΒΗΜΑ 6ο & 7ο

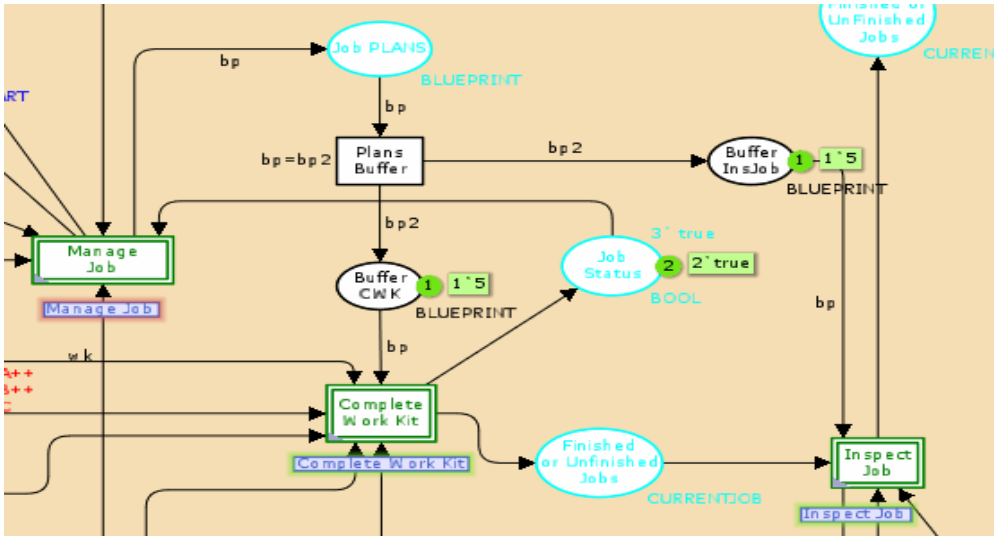


Εικόνα 14 - Βήμα 6ο

Στο 6° βήμα της προσομοίωσης, ολοκληρώνεται προσωρινά η λειτουργία του επιπέδου ***ΔΙΑΧΕΊΡΙΣΗ ΈΡΓΟΥ***, αφού έχουν πια ολοκληρωθεί όλα τα βήματα που αφορούν:

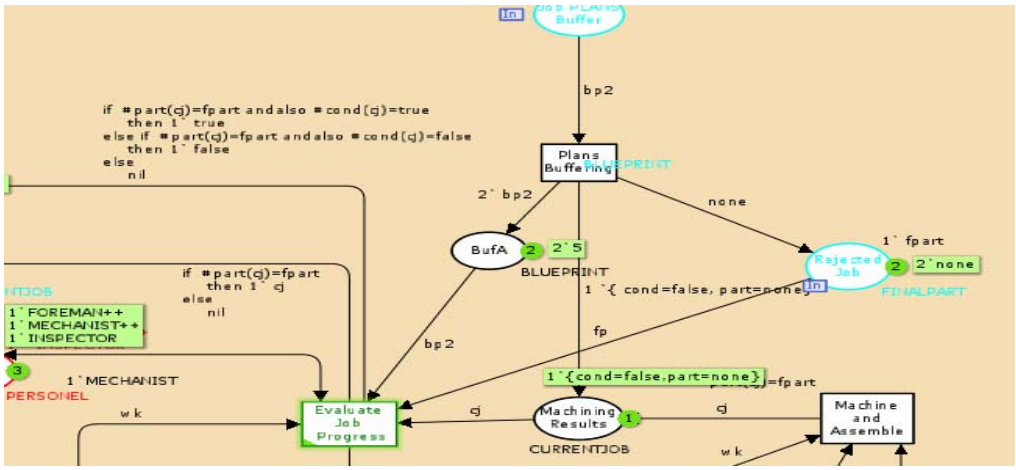
1. *Ανάθεση Εργασιών*
2. *Εξαγωγή Σχεδίων*
3. *Υπολογισμός εκτιμώμενης χρονική διάρκειας της εργασίας*

Στη συνέχεια θα μεταφερθούμε στο κεντρικό σύστημα όπου και «σώθηκαν» τα σχέδια που δημιουργήθηκαν εδώ, για να μεταβούμε ακριβώς παρακάτω στο σύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** όπου θα κατασκευαστεί το εξάρτημα.



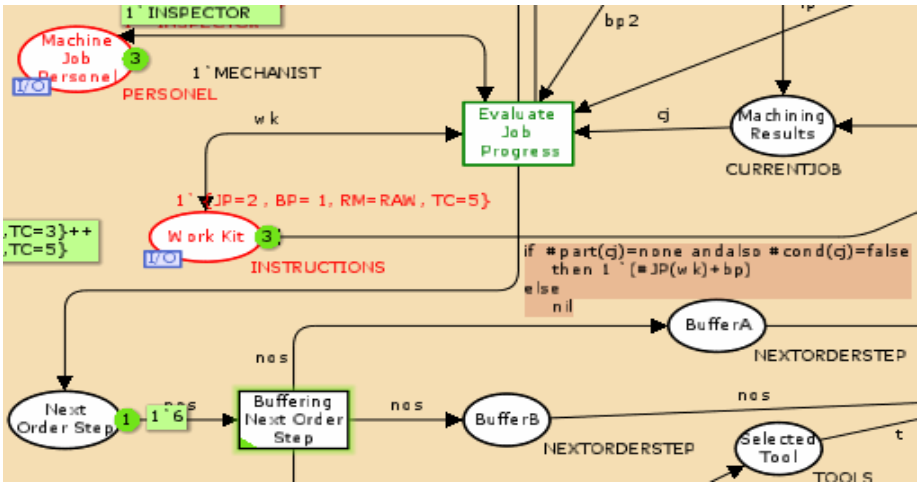
Εικόνα 15 - Βήμα 7°

ΒΗΜΑ 8° & 9°



Εικόνα 16 - Βήμα 8°

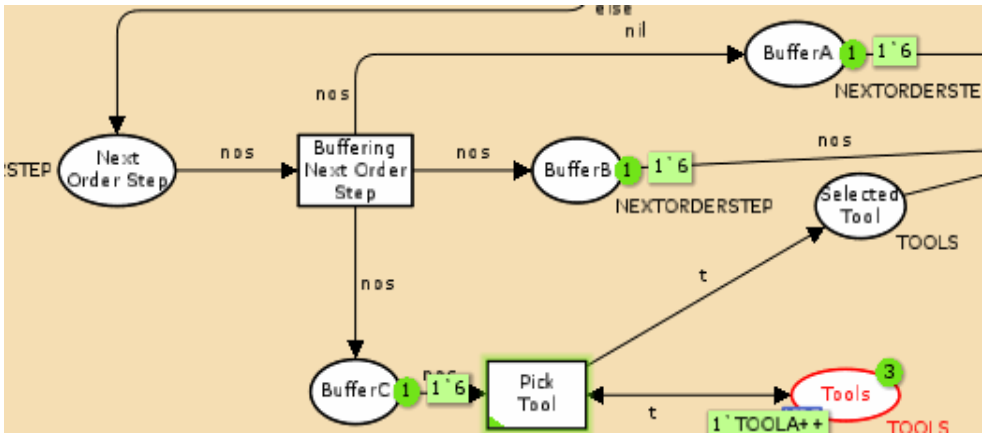
Στο 8° βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου***, και επειδή τα σχέδια (bp2) θα χρησιμοποιηθούν σε πολλά σημεία σε αυτό το επίπεδο, ενεργοποιείται ο bufA που δημιουργεί 2 μάρκες με τα αρχικά σχέδια. Όπως θα δούμε παρακάτω ο buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίησης της μετάβασης ***Αξιολόγηση της Εργασίας.***



Εικόνα 17 - Βήμα 9°

Στη συνέχεια, στο 9° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση Αξιολόγηση της Εργασίας όπου σε αυτή τη φάση καθορίζει πιο θα είναι το επόμενο βήμα της διεργασίας (βάσει της γενικής εισόδου: ***Πακέτο Εργασίας,*** και της εισόδου συστήματος***: bp2***) και σε αυτή την προσομοίωση παίρνει την τιμή 6.

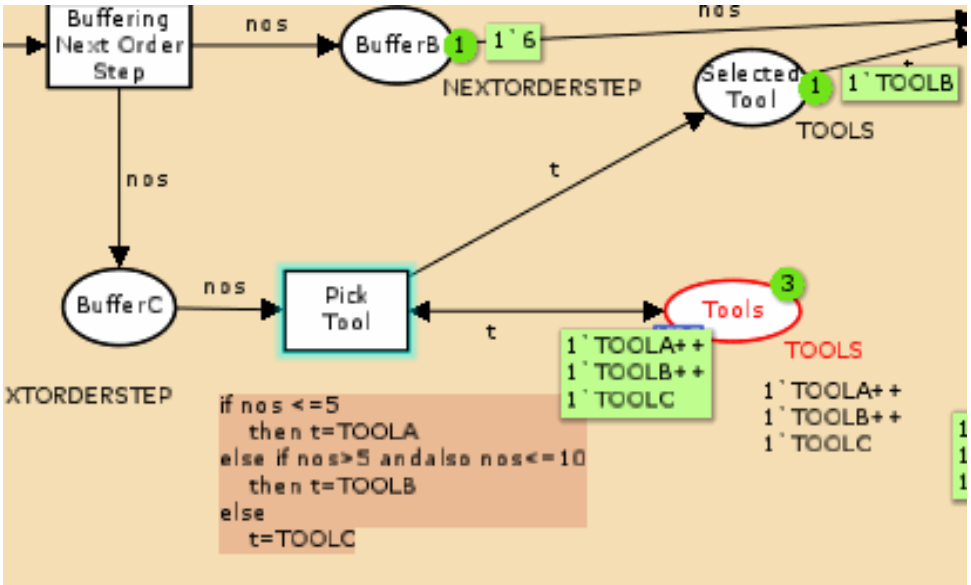
ΒΗΜΑΤΑ 10° & 11°



Εικόνα 18 - Βήμα 10°

Στη συνέχεια, στο 10° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Buffering Next Order Step*** όπου ουσιαστικά μεταφέρεται η εντολή

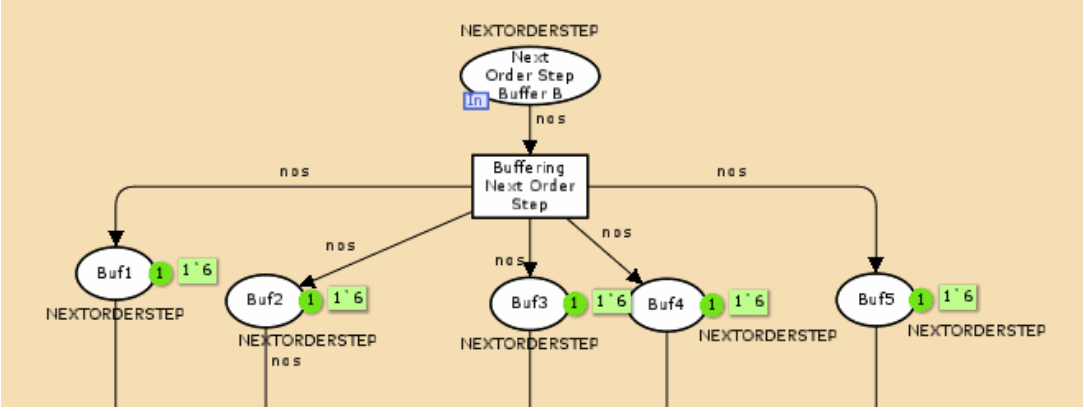
(μάρκα) nos (nextorderstep) στις τρεις θέσεις προκειμένου να φυλαχτεί προσωρινά και να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.



Εικόνα 19 - Βήμα 11ο

Έπειτα, στο 11ο βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείου*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή εργαλείου βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep) και στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται το εργαλείο TOOLB. Στη συνέχεια φεύγουμε προσωρινά από το σύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** και μεταβαίνουμε στο υποσύστημα του Setup Machine Place όπου θα ρυθμιστεί κατάλληλα η εργαλείο-μηχανή.

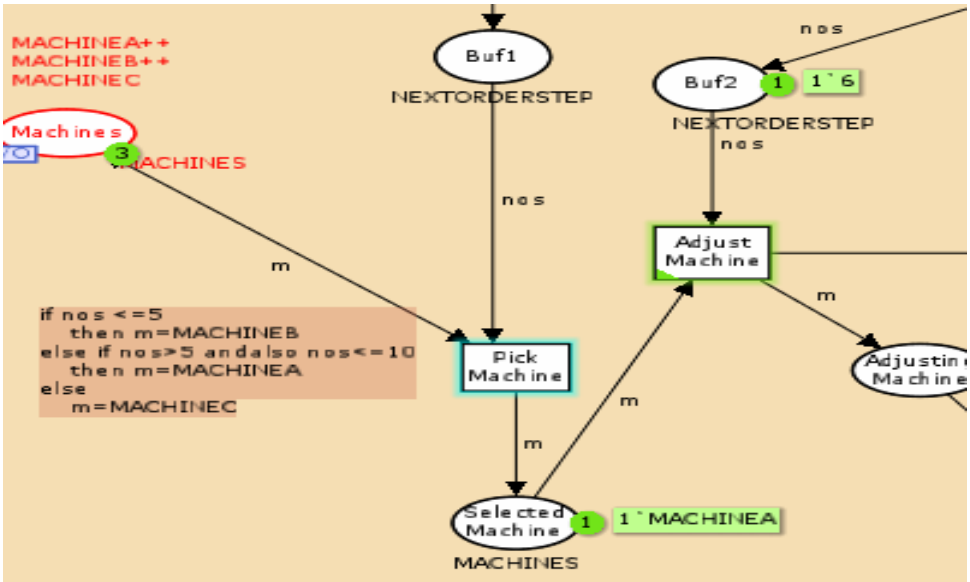
ΒΗΜΑΤΑ 12ο - 17ο



Εικόνα 20 - Βήμα 12ο

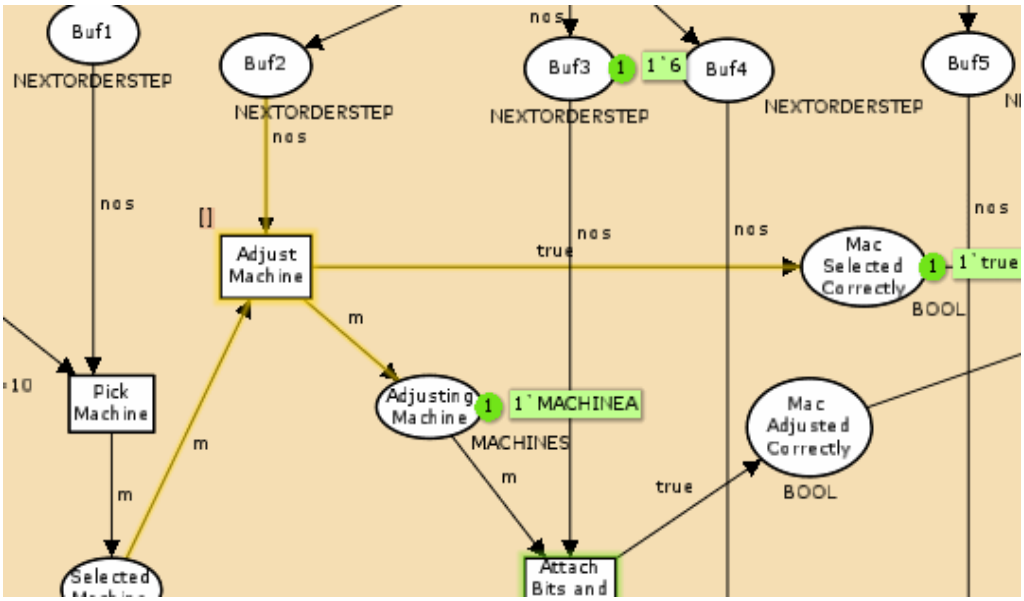
Στο 12ο βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στη ρύθμιση του χώρου εργασίας (***Setup Machine Place)***, όπου θα προετοιμαστούν κατάλληλα οι μηχανές

και τα εργαλεία που απαιτούνται για την εργασία. Επειδή το nos θα χρησιμοποιηθεί σε πολλά σημεία σε αυτό το επίπεδο, ενεργοποιούνται οι 6 buffers που δημιουργούν 6 μάρκες με το αρχικό nos (next order step).



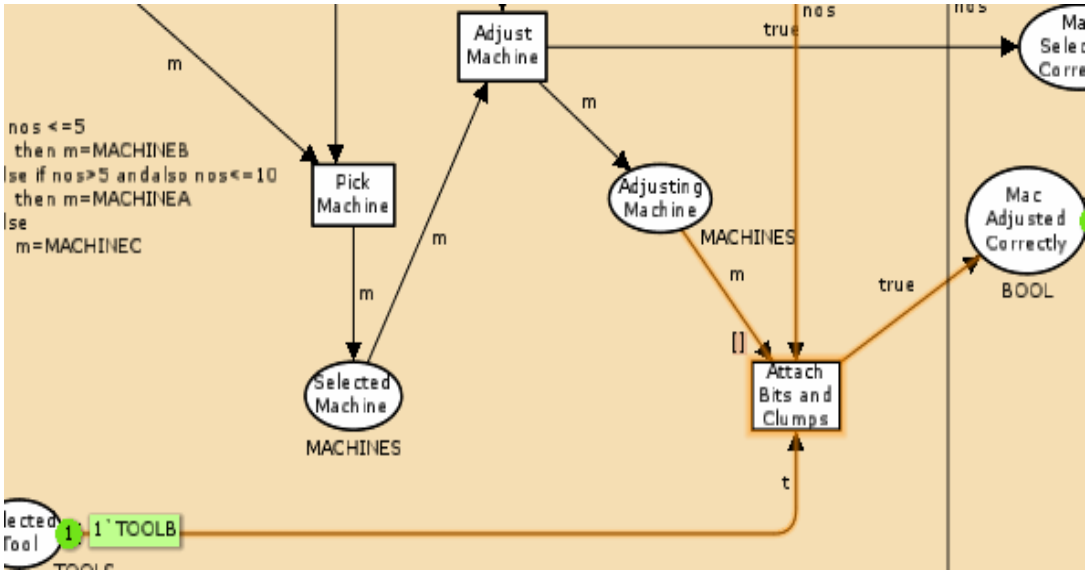
Εικόνα 21 - Βήμα 13°

Έπειτα, στο 13° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Επιλογή Μηχανής*** (***Pick Machine)*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή μηχανής βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep) και στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται η μηχανή MACHINEA.



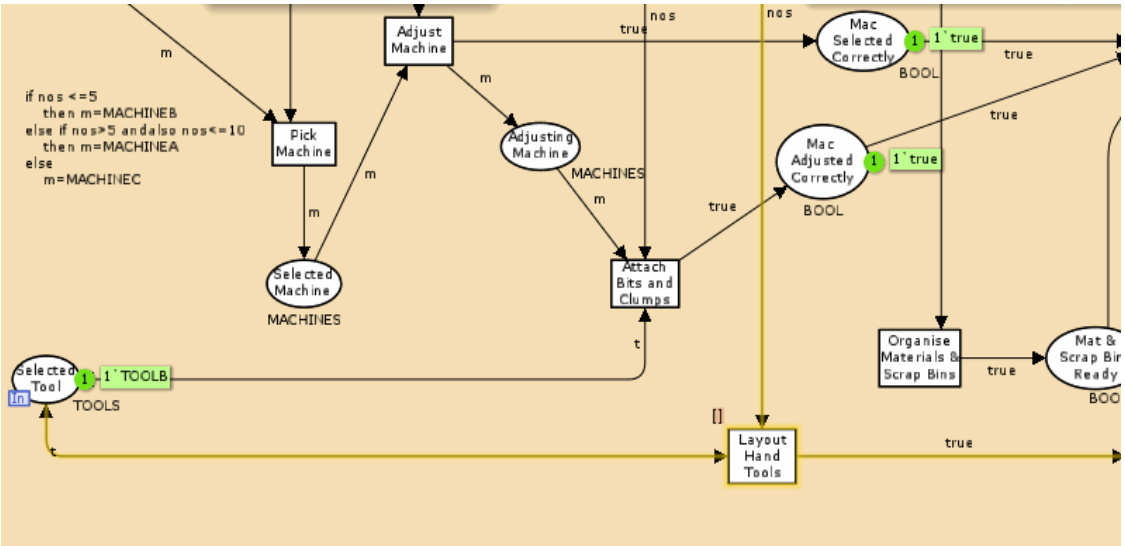
Εικόνα 22 - Βήμα 14°

Έπειτα, στο 14° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Ρύθμιση Μηχανής (Adjust Machine)*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη ρύθμιση της μηχανής βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep) και στην προκειμένη περίπτωση ρυθμίζεται κατάλληλα η μηχανή MACHINEA. Επίσης στέλνεται ένα κατάλληλο σήμα ελέγχου ότι η μηχανή ρυθμίστηκε επιτυχώς (true).



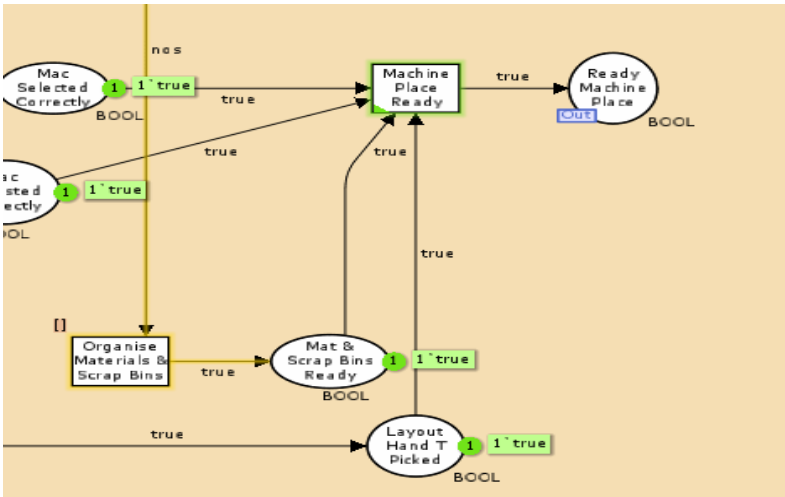
Εικόνα 23 - Βήμα 15°

Στη συνέχεια στο βήμα 15 της προσομοίωσης, αφού τοποθετηθούν και στη μηχανή MachineA τα κατάλληλα εργαλεία ενεργοποιείται η μετάβαση, και τελικά έχουν ολοκληρωθεί, όπως θα φανεί από τα δύο παρακάτω βήματα, όλες οι φάσεις ρύθμισης του χώρου εργασίας .



Εικόνα 24 - Βήμα 16°

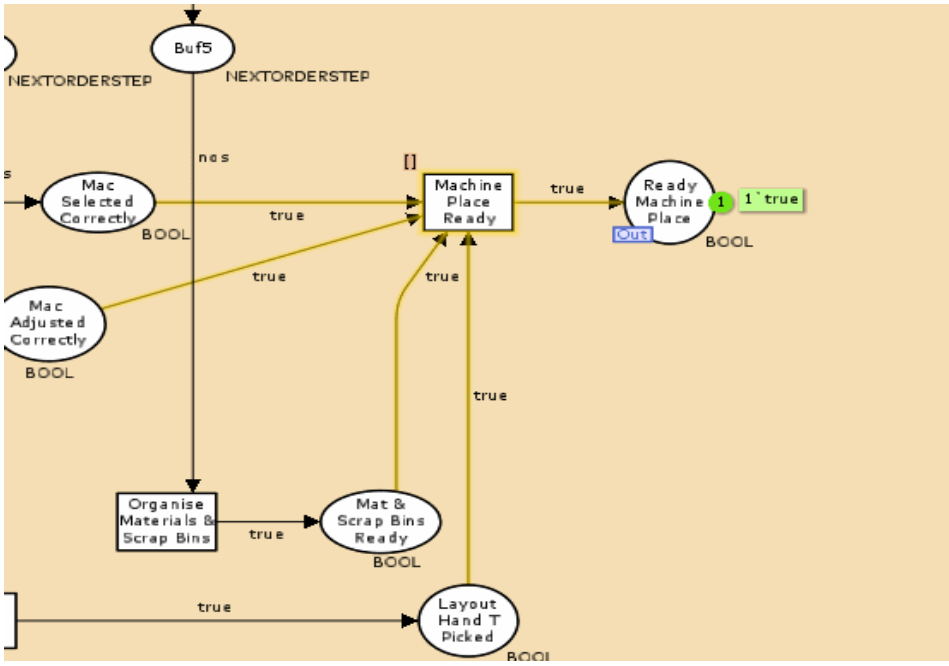
Έπειτα, στο 16° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείων Χειρός (Layout Hand Tools)*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή εργαλείων χειρός βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep).



Εικόνα 25 - Βήμα 17°

Έπειτα, στο 17° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Mat & ScrapB ins Ready*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή κουτιών για τις πρώτες ύλες βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep).

ΒΗΜΑ 18°



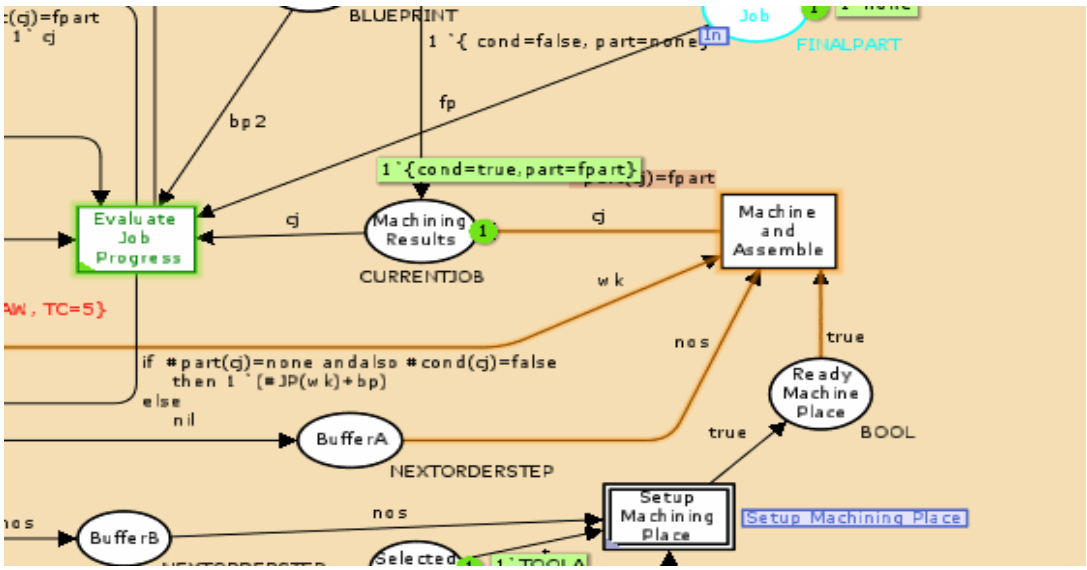
Εικόνα 26 - Βήμα 18°

Τέλος, στο 18° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Επιτυχής Προετοιμασία του Χώρου Εργασίας (Machine Place Ready)*** όπου ουσιαστικά επικυρώνει ότι έγιναν όλες οι διαδικασίες ρύθμισης του χώρου εργασίας. Πιο συγκεκριμένα η παραπάνω μετάβαση ενεργοποιήθηκε αφού πρώτα:

1. Επιλέχθηκε η κατάλληλη μηχανή (Μηχανή Β).
2. Ρυθμίστηκε αυτή η μηχανή.
3. Τοποθετήθηκαν τα κατάλληλα εργαλεία σε αυτή τη μηχανή.
4. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα εργαλεία χειρός για την κατασκευή.
5. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα κουτιά για τις πρώτες ύλες.

Στη συνέχεια, με αυτή τη μετάβαση δίνεται ένα σήμα ελέγχου (true) στο ψηλότερο επίπεδο της ***Εκτέλεσης Έργου*** ότι ο χώρος εργασίας, η μηχανή και τα εργαλεία είναι έτοιμα για να προχωρήσει η διαδικασία κατασκευής.

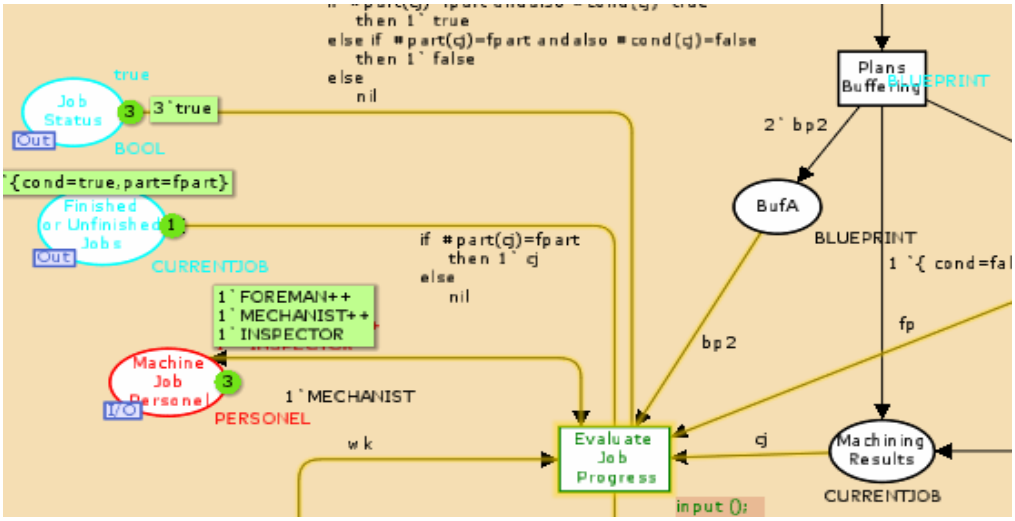
ΒΗΜΑΤΑ 19° - 20°



Εικόνα 27 - Βήμα 19°

Στο 19° βήμα της προσομοίωσης, επιστρέφουμε στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου***, όπου θα προχωρήσει η διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος. Με την βοήθεια

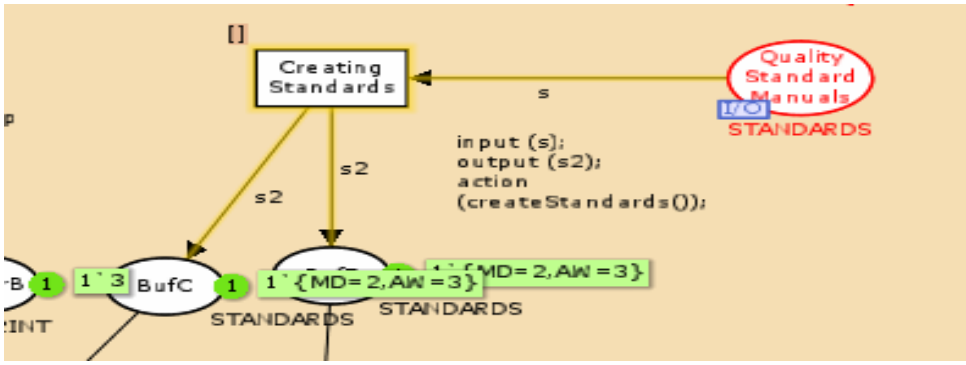
του nos και του πεδίου RAW (πρώτων υλών) τής εγγραφής Πακέτο Εργασίας, κατασκευάζεται τελικά το εξάρτημα και βγαίνει στην έξοδο σαν τρέχουσα εργασία (current job), μία εγγραφή που περιέχει το εξάρτημα αλλά και μία συνθήκη για το αν η εργασία είναι ολοκληρωμένη ή όχι. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η εργασία είναι ολοκληρωμένη (cond = true).



Εικόνα 28 - Βήμα 20°

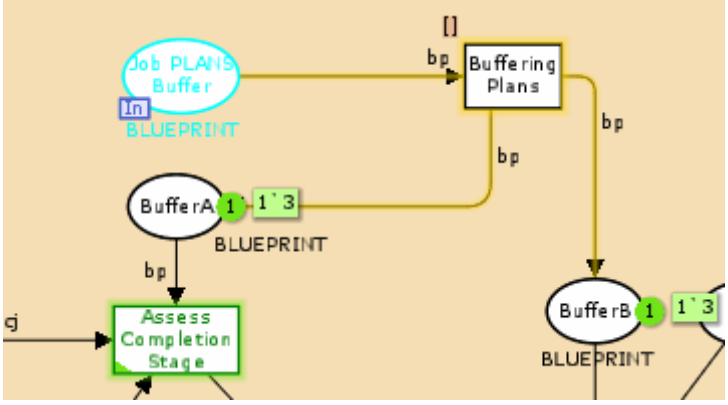
Στο 20° βήμα της προσομοίωσης, αφού έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή, ενεργοποιείται ξανά η μετάβαση ***Evaluate Job Progress*** που τελικά προωθεί το εξάρτημα προς το επόμενο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** (για έλεγχο) αλλά επίσης δίνει και μία πληροφορία για το αν η εργασία είναι ημιτελής ή όχι, σε αυτή την περίπτωση η δουλεία είναι πλήρης.

ΒΗΜΑΤΑ 21° - 26°



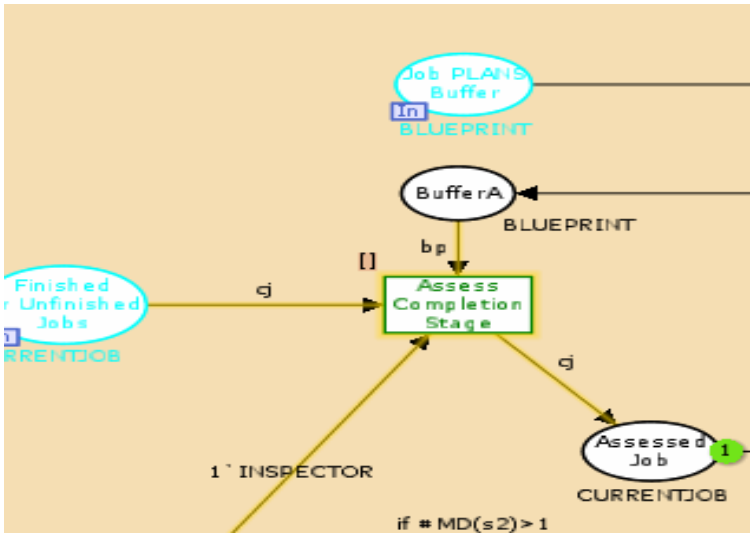
Εικόνα 29 - Βήμα 21°

Στο 21° βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου***, όπου θα γίνει αξιολόγηση και αποτίμηση του εξαρτήματος που κατασκευάστηκε. Πιο συγκεκριμένα στο 21° βήμα ενεργοποιούνται οι 2 buffers που προωθούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές παρακάτω, για να χρησιμοποιηθούν αυτά με τη σειρά τους για να επαληθευτεί η ορθότητα των κρίσιμων διαστάσεων του εξαρτήματος αλλά και η ποιότητα της κατασκευής (measure critical dimensions & appraise work). Οι τιμές των standards είναι για αυτή την προσομοίωση {MD=2 , AW = 3}.



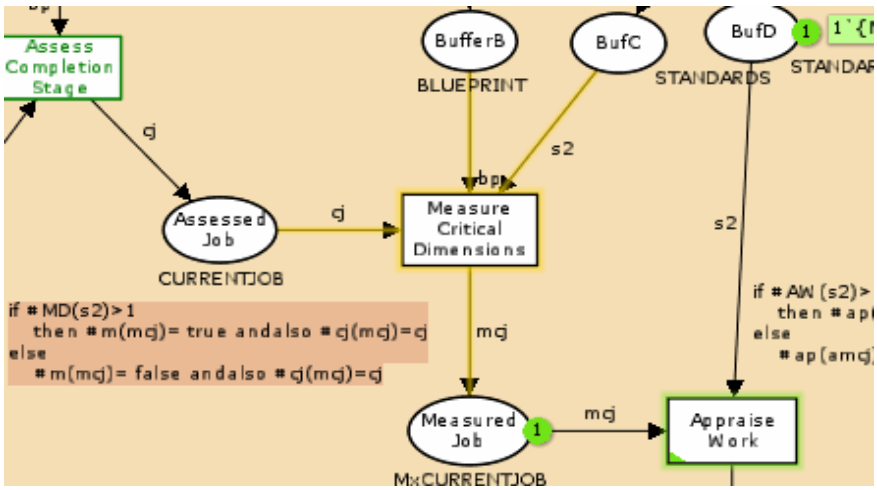
Εικόνα 30 - Βήμα 22°

Στο 22° βήμα της προσομοίωσης ενεργοποιούνται οι 2 buffers που προωθούν τα σχέδια παρακάτω, για να χρησιμοποιηθούν αυτά με τη σειρά τους για να επαληθευτεί η ορθότητα των κρίσιμων διαστάσεων του εξαρτήματος αλλά και η ποιότητα της κατασκευής (measure critical dimensions & appraise work). Οι τιμές των σχεδίων είναι για αυτή την προσομοίωση είναι bp = 3.



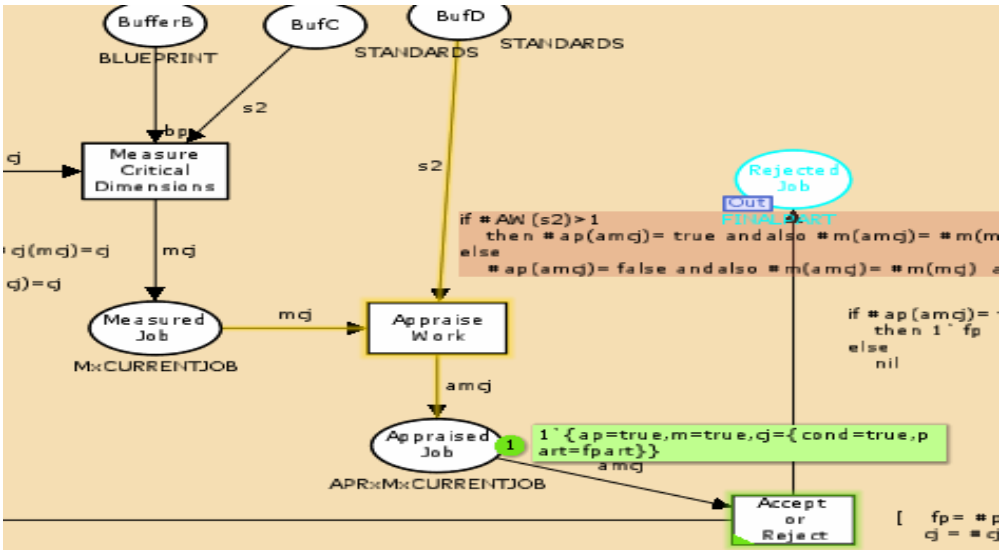
Εικόνα 31 - Βήμα 23°

Στο 23° βήμα της προσομοίωσης η finished job που έρχεται από το επίπεδο ***Εκτέλεση Έργου,*** όπως περιγράψαμε προηγουμένως, προσπελαύνεται και με τη βοήθεια του κατάλληλου προσωπικού είναι έτοιμη για έλεγχο.



Εικόνα 32 - Βήμα 24°

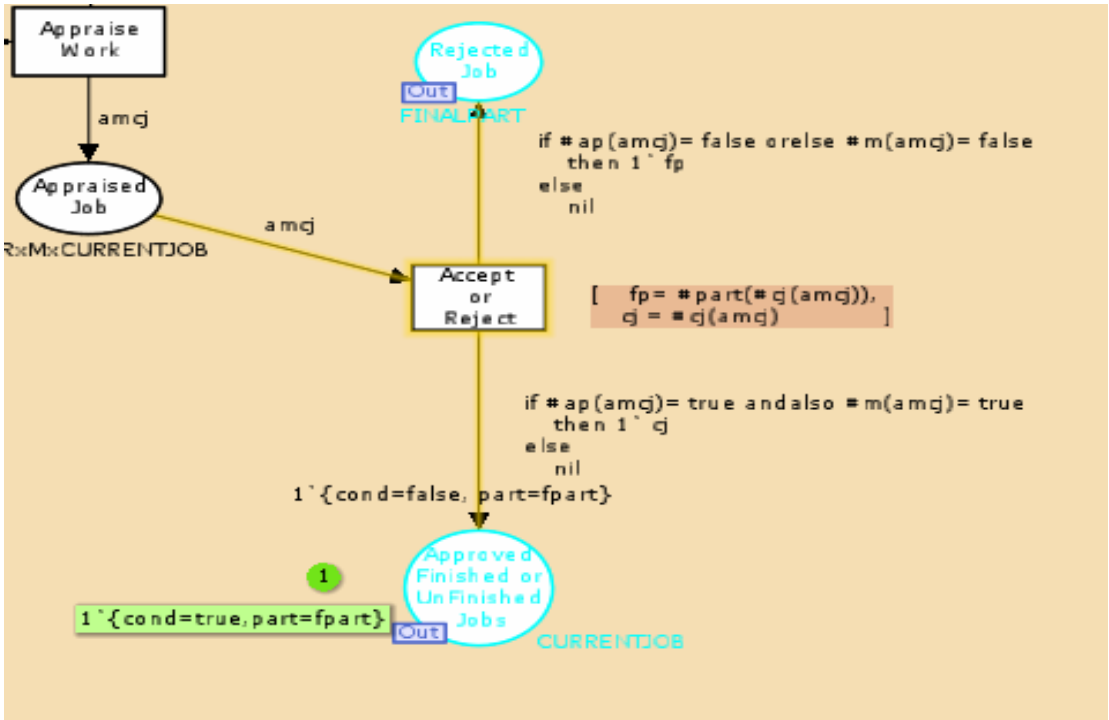
Στο 24° βήμα της προσομοίωσης η τρέχουσα εργασία (assessed job (cj)) ελέγχεται για τις διαστάσεις κατασκευής με την βοήθεια των προδιαγραφών (standards) και δημιουργείται στην έξοδο μία εγγραφή mcj που περιέχει τόσο την cj όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει εάν οι διαστάσεις του εξαρτήματος ήταν άρτιες (στην περίπτωση μας αυτή η συνθήκη είναι αληθής αφού con=true).



Εικόνα 33 - Βήμα 25°

Στο 25° βήμα της προσομοίωσης ενεργοποιείται η μετάβαση ***Αποτίμηση Εργασίας (Appraise Work)***, δηλαδή η mcj ελέγχεται για την ποιότητα κατασκευής με την βοήθεια των προδιαγραφών (standards) και δημιουργείται στην έξοδο ένα εγγραφή amcj που περιέχει τόσο την mcj όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει εάν

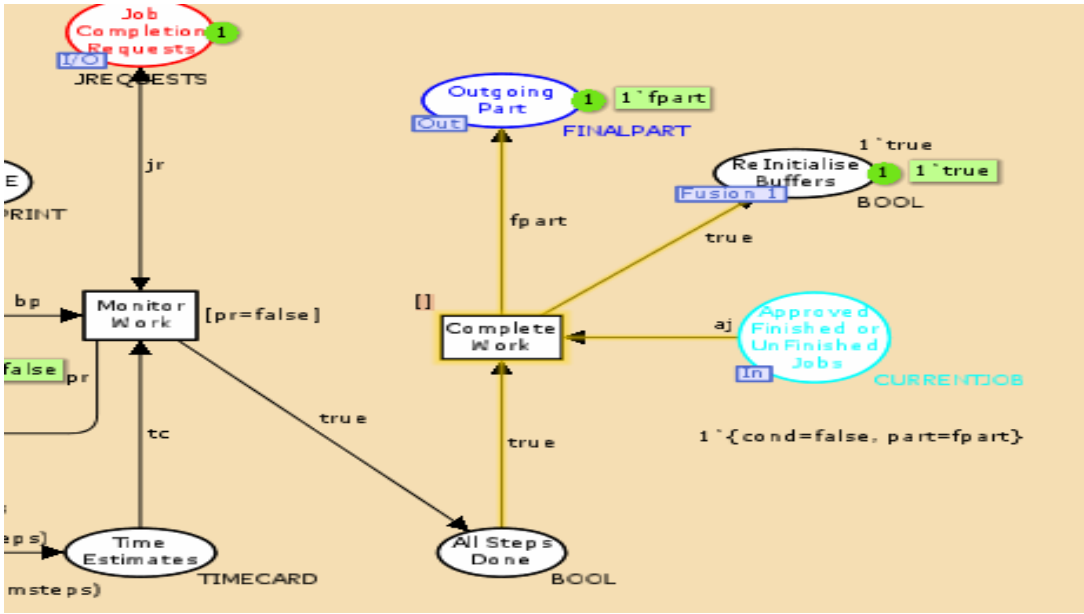
η ποιότητα κατασκευής είναι αποδεκτή (στην περίπτωση μας αυτή η συνθήκη είναι αληθής αφού con=true).



Εικόνα 34 - Βήμα 26°

Στο 26° βήμα της προσομοίωσης ολοκληρώνονται οι εργασίες στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου*** και αναλόγως με τα αποτελέσματα των ελέγχων οι δουλείες γίνονται αποδεκτές και στέλνονται στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** για να βγουν σαν τελική έξοδο συστήματος ή επιστρέφονται στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** για να γίνουν διορθώσεις. Στην περίπτωση μας, εφόσον οι διαστάσεις και η ποιότητα δουλείας είναι αποδεκτά, το κομμάτι στέλνεται στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου.***

ΒΗΜΑ 27ο



Εικόνα 35 - Βήμα 27ο

Στο 27ο βήμα της προσομοίωσης το οποίο είναι και το τελευταίο, επιστρέφουμε στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου***, όπου στέλνεται η αποπερατωμένη αποδεκτή δουλειά aj. Όπως είχαμε εξηγήσει στην αρχή της προσομοίωσης, όλα τα βήματα είχαν αποπερατωθεί για το ***Διαχείριση Έργου*** και έμενε να σταλεί το αποτέλεσμα του συστήματος ***Εκτέλεση Έργου*** αφού πρώτα είχε ελεγχθεί από το σύστημα ***Έλεγχος Έργου***. Έτσι τελικά το τελικό εξάρτημα (fpart) βγαίνει από την γενική έξοδο του συνολικού συστήματος.

5. Ενσωμάτωση Συστήματος Ελεγκτών Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών

Το αρχικό δίκτυο μοντελοποιούσε κανονικά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος χωρίς προβλήματα στο εργασιακό χώρο. Όμως σε ένα πραγματικό και δυναμικό περιβάλλον, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η αλληλεπίδραση των ανθρώπων που συμμετέχουν στη διαδικασία παραγωγής.

Σε ένα τέτοιο σύνθετο περιβάλλον είναι αναπόφευκτη η εμφάνιση διάφορων λαθών που οφείλονται σε εσφαλμένους ανθρώπινους χειρισμούς και παραλήψεις. Τέτοια λάθη μπορούν αφενός να καθυστερήσουν την παραγωγή, αφετέρου να οδηγήσουν σε ελαττωματικά τελικά εξαρτήματα. Αυτό συνεπάγεται επιπλέον σπατάλη πολύτιμων πόρων και χρόνου.

Στόχος μας δεν είναι η εξάλειψη αυτών των σφαλμάτων γιατί κάτι τέτοιο είναι ουτοπικό και πρακτικά αδύνατο να εφαρμοστεί στην πράξη αποτελεσματικά. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να οφείλονται σε ένα πλήθος αστάθμητων παραγόντων που δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν και να προβλεφθούν απόλυτα. Τέτοιοι παράγοντες είναι: η ιδιαιτερότητα του κάθε εργαζόμενου, η πιθανή κακή - εσφαλμένη χρήση κάποιων μηχανών ή εργαλείων, ανθρώπινη απροσεξία και «επιπολαιότητα».

Εφόσον λοιπόν δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν τα παραπάνω, κύριο μέλημα αποτελεί ο έγκαιρος εντοπισμός και η άμεση αντιμετώπιση των σφαλμάτων όταν αυτά λάβουν χώρα. Έτσι αυτό που θα επιχειρήσουμε, είναι να γίνονται πολλαπλοί έλεγχοι σε διάφορα καίρια σημεία της διαδικασίας παραγωγής ώστε να εντοπίζονται εγκαίρως τα ανθρώπινα σφάλματα πριν προχωρήσει η διαδικασία περισσότερο και υπάρξουν περισσότερες επιπτώσεις στη διαδικασία παραγωγής.

5.1 Σχεδιασμός Νέου Συστήματος

Για τη μοντελοποίηση όλων των παραπάνω που περιγράψαμε, χρειάστηκε να γίνουν κάποιες αλλαγές στο πρωτότυπο δίκτυο έτσι ώστε να συμπεριληφθεί ο παράγοντας του ανθρώπινου λάθους.

Στόχος: *Η σχεδίαση ενός πιο ρεαλιστικού συστήματος που ανταποκρίνεται με προσαρμοστικό τρόπο στα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος σε μηχανουργείο. Η ενσωμάτωση των ελεγκτών διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών έγινε στα εξής επίπεδα των υποσυστημάτων του συνολικού συστήματος:*

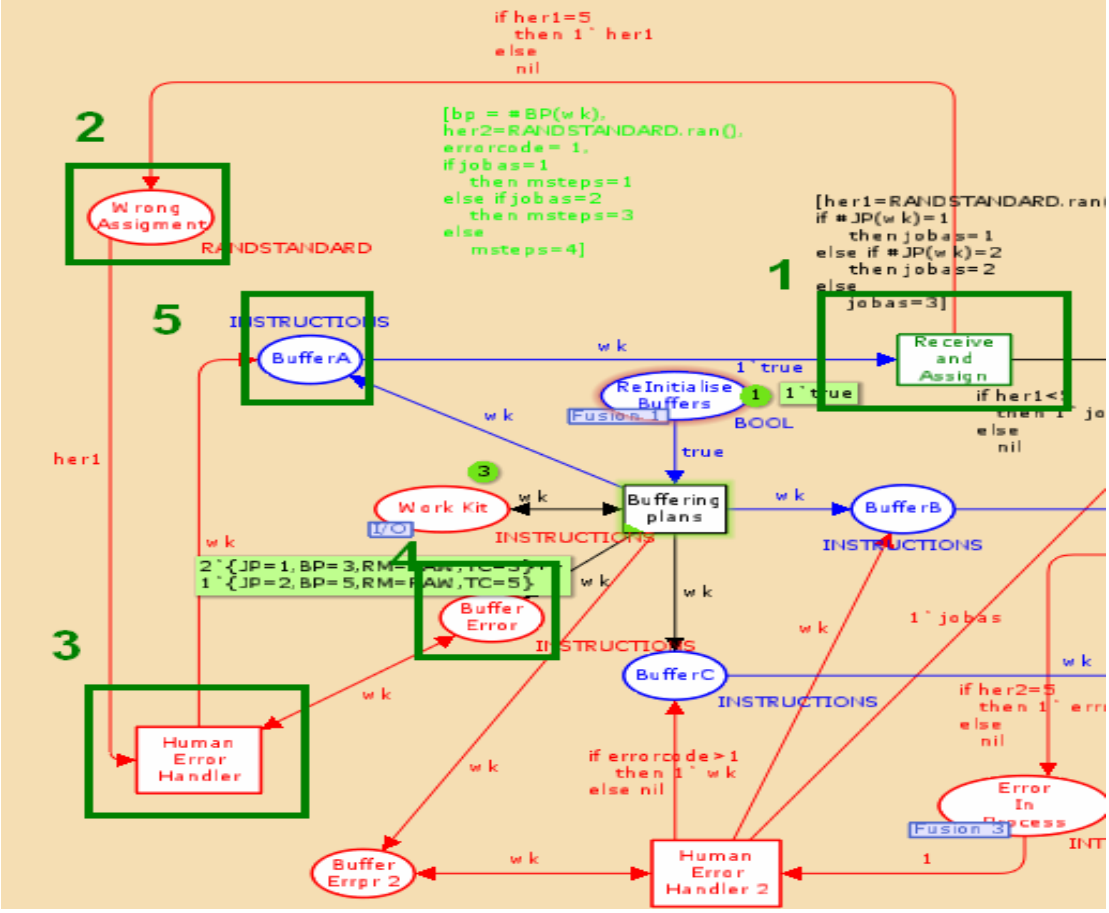
- Στο υποσύστημα ***Διαχείρισης Έργου*** όπου γίνεται η ανάθεση των εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή ενός εξαρτήματος,
- Στο υποσύστημα ***Εκτέλεσης Έργου*** όπου ουσιαστικά επιτελείται η κατασκευή του εξαρτήματος
- Στο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** όπου πραγματοποιείται ο τελικός έλεγχος για την ορθότητα και ποιότητα κατασκευής του τελικού εξαρτήματος που είναι έτοιμο να βγει από το σύστημα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι στο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου*** ουσιαστικά ο έλεγχος έχει εποπτικό χαρακτήρα και γίνεται για να πιστοποιήσει την ορθότητα και ποιότητα κατασκευής του τελικού εξαρτήματος. Αντίθετα στα επίπεδα ***Διαχείρισης Έργου*** & ***Εκτέλεσης Έργου***, ο έλεγχος διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών έχει προληπτικό χαρακτήρα και έχει ως στόχο την έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων στη διαδικασία παραγωγής, ώστε να διορθωθεί το εκάστοτε σφάλμα και έτσι να μην επαναληφθεί (ενδεχομένως) ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής αλλά μονάχα ένα τμήμα της. Στο επίπεδο ***Διαχείρισης Έργου*** για παράδειγμα, εάν υπάρξει κάποιο σφάλμα στην ανάθεση των επιμέρους εργασιών τότε αυτό θα οδηγήσει πιθανότατα σε προβληματική κατασκευή. Αντίθετα με την ενσωμάτωση του ελεγκτή ανθρώπινου λάθους απλά θα επαναληφθεί η διαδικασία ανάθεσης εργασιών.

5.2 Υποσύστημα Διαχείριση Έργου

Αναλυτικότερα, στο επίπεδο Διαχείρισης Έργου, έχουμε δύο κύρια συστήματα διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω: Το πρώτο σύστημα διαχείρισης έχει ως στόχο την διόρθωση σφαλμάτων που εντοπίζονται αποκλειστικά κατά την ανάθεση των εργασιών.

Έτσι όταν προκύψει κάποιο σφάλμα κατά την ανάθεση ο ελεγκτής αναλαμβάνει να δημιουργήσει μία ανάδραση που θα οδηγήσει σε μία επανάληψη της ανάθεσης των εργασιών. Αναλυτικότερα αυτό φαίνεται στην Εικόνα 36



Εικόνα 36 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Η παραπάνω εικόνα υποδεικνύει πως όταν λάβει χώρα κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία ανάθεσης, τότε η διαδικασία σταματάει (δεν προχωράει στη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων***) αλλά ενεργοποιείται η μετάβαση ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*** η οποία αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει εκ νέου την μετάβαση ***Ανάθεση Εργασιών*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** ώστε να επαναληφθεί η διαδικασία της ανάθεσης εργασιών.

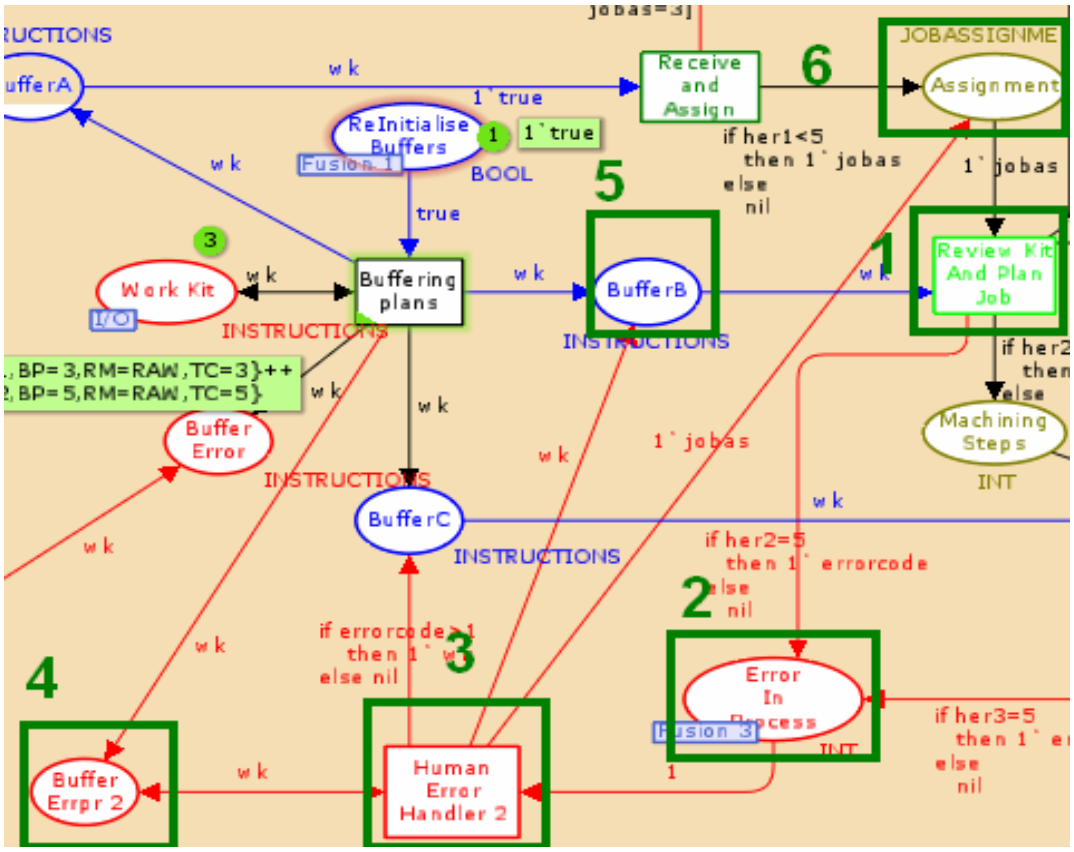
Εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς το προηγούμενο βήμα, τότε η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Διεξαγωγή Σχεδίων.*** Σε αυτό το σημείο εξάγονται τα σχέδια κατασκευής αλλά και υπολογίζονται τα βήματα που θα χρειαστούν για την κατασκευή του εξαρτήματος. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση το σύστημα διαχείρισης ανθρωπίνων λαθών (**Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2).**

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επεξηγηθεί ότι εφόσον έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς η διαδικασία ανάθεσης εργασιών δεν υπάρχει λόγος να επαναληφθεί και αυτό οδήγησε στη κατασκευή και ενσωμάτωση του 2^{ου} ελεγκτή. Έτσι εξοικονομούνται χρήσιμος χρόνο και πόροι, αποφεύγοντας να επαναληφθεί μία διαδικασία που έχει περατωθεί επιτυχώς.

Παρακάτω θα φανεί ότι αυτό δεν δύναται να επιτύχει για τις υπόλοιπες μεταβάσεις που ακολουθούν, καθώς ένας ενδεχόμενος εσφαλμένος υπολογισμός του αριθμού των βημάτων ή του χρόνου περάτωσης της κατασκευής θα οδηγήσει σε περαιτέρω λάθη στις επόμενες ενέργειες.

Έτσι όπως θα φανεί παρακάτω, για οποιοδήποτε σφάλμα συμβεί σε οποιαδήποτε από τις παρακάτω μεταβάσεις οδηγεί σε μία ανάδραση και επανάληψη της διαδικασίας από την μετάβαση Review Kit and Plan Job και μετά.

Αναλυτικότερα τώρα, μετά την ολοκλήρωση της ανάθεσης εργασιών, η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Διεξαγωγή Σχεδίων.*** Σε αυτό το σημείο εξάγονται τα σχέδια κατασκευής αλλά και υπολογίζονται τα βήματα που θα χρειαστούν για την κατασκευή του εξαρτήματος. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2.***

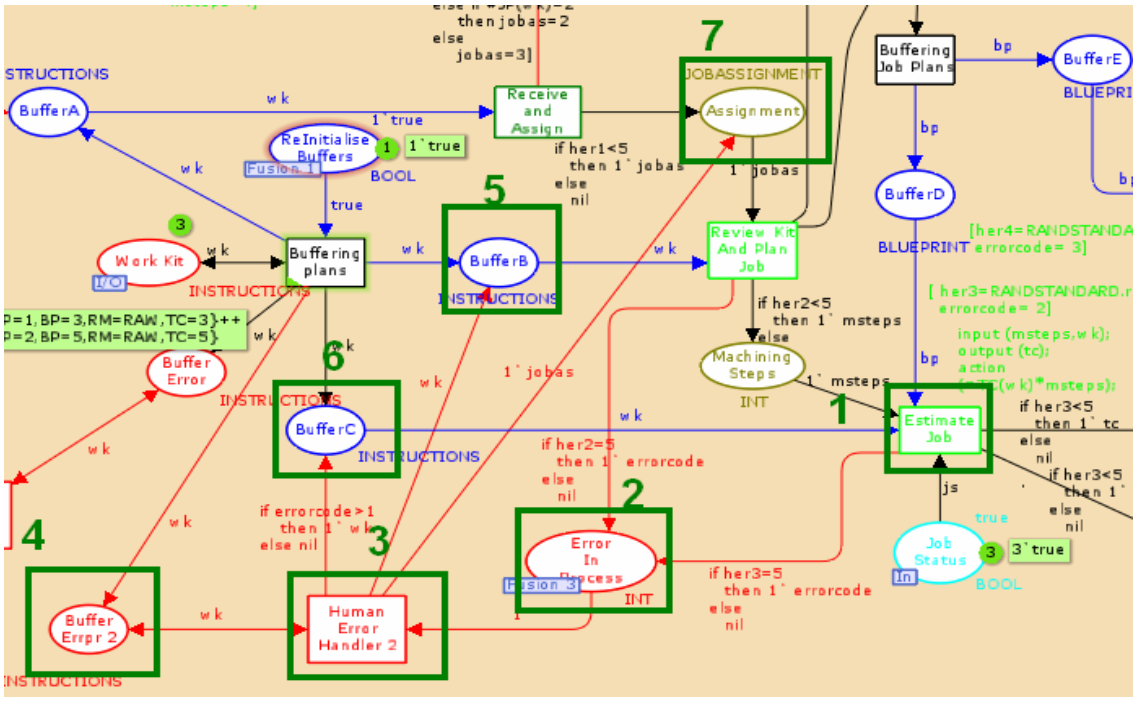


Εικόνα 37 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Συγκεκριμένα, όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** **(1)**, τότε ενεργοποιείται**(2)** ο ελεγκτής ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*** **(3)** ο οποίος έχει διπλό στόχο:

- Αφενός, να τροφοδοτήσει **(4)** τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** **(5)**
- Αφετέρου, να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με την ανάθεση των εργασιών ***(jobas)*** **(6)** όπως αυτή υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα

Εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς το προηγούμενο βήμα όπου εξάγονται τα σχέδια κατασκευής αλλά και υπολογίζονται τα βήματα που θα χρειαστούν για την κατασκευή του εξαρτήματος, τότε η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Εκτίμηση Έργου.*** Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται η εκτιμώμενη χρονική διάρκεια κατασκευής. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση και πάλι ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2.***

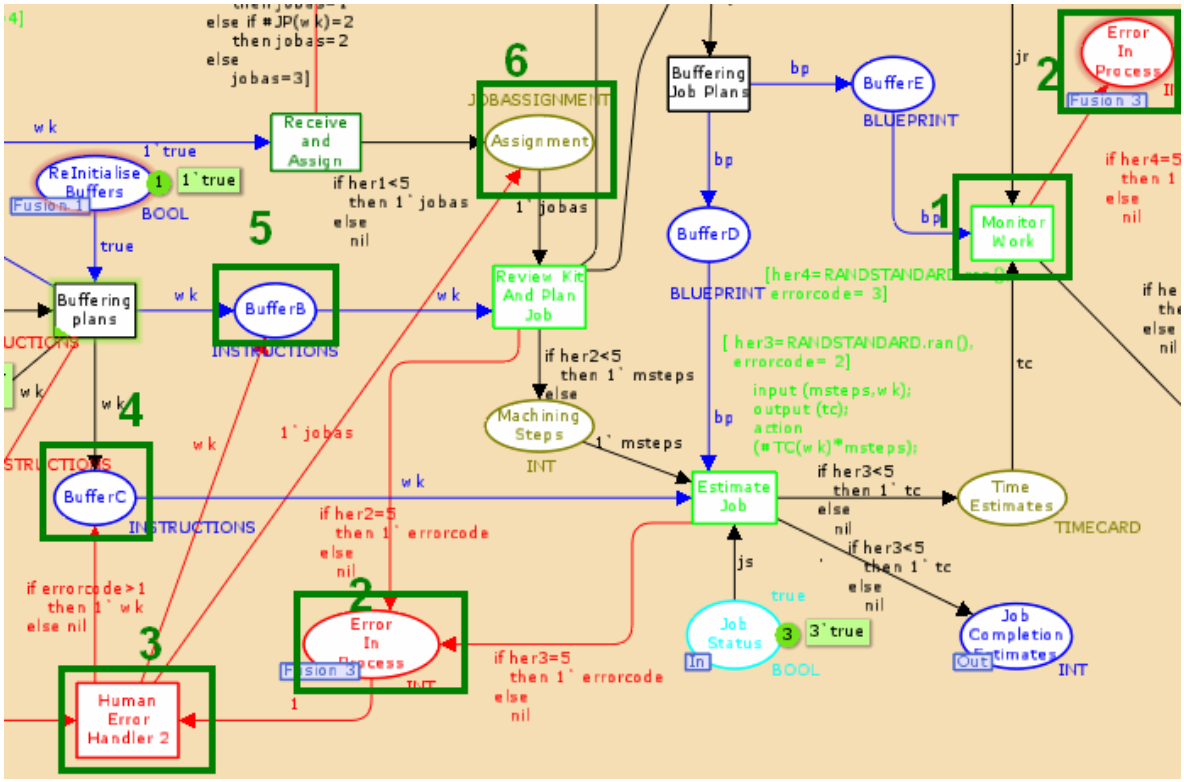


Εικόνα 38 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Συγκεκριμένα, όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου*** **(1)**, τότε ενεργοποιείται**(2)** ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*** **(3)** ο οποίος έχει τριπλό στόχο:

- Να τροφοδοτήσει **(4)** τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** **(5)**
- Να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** **(6)**
- Να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με την ανάθεση των εργασιών ***(jobas)*** **(7)** όπως αυτή υπολογίστηκε στη μετάβαση ***Ανάθεση Εργασιών***.

Στη συνέχεια περνάμε στο τελευταίο βήμα του επιπέδου Διαχείριση Έργου το Επόπτευση Έργου. Ουσιαστικά αυτό το βήμα ελέγχει αν όλα πήγαν καλά έτσι ώστε τελικά να περάσει ο έλεγχος στο επίπεδο Εκτέλεση Έργου και να αρχίσει η κατασκευή του εξαρτήματος. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση και πάλι ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2.***

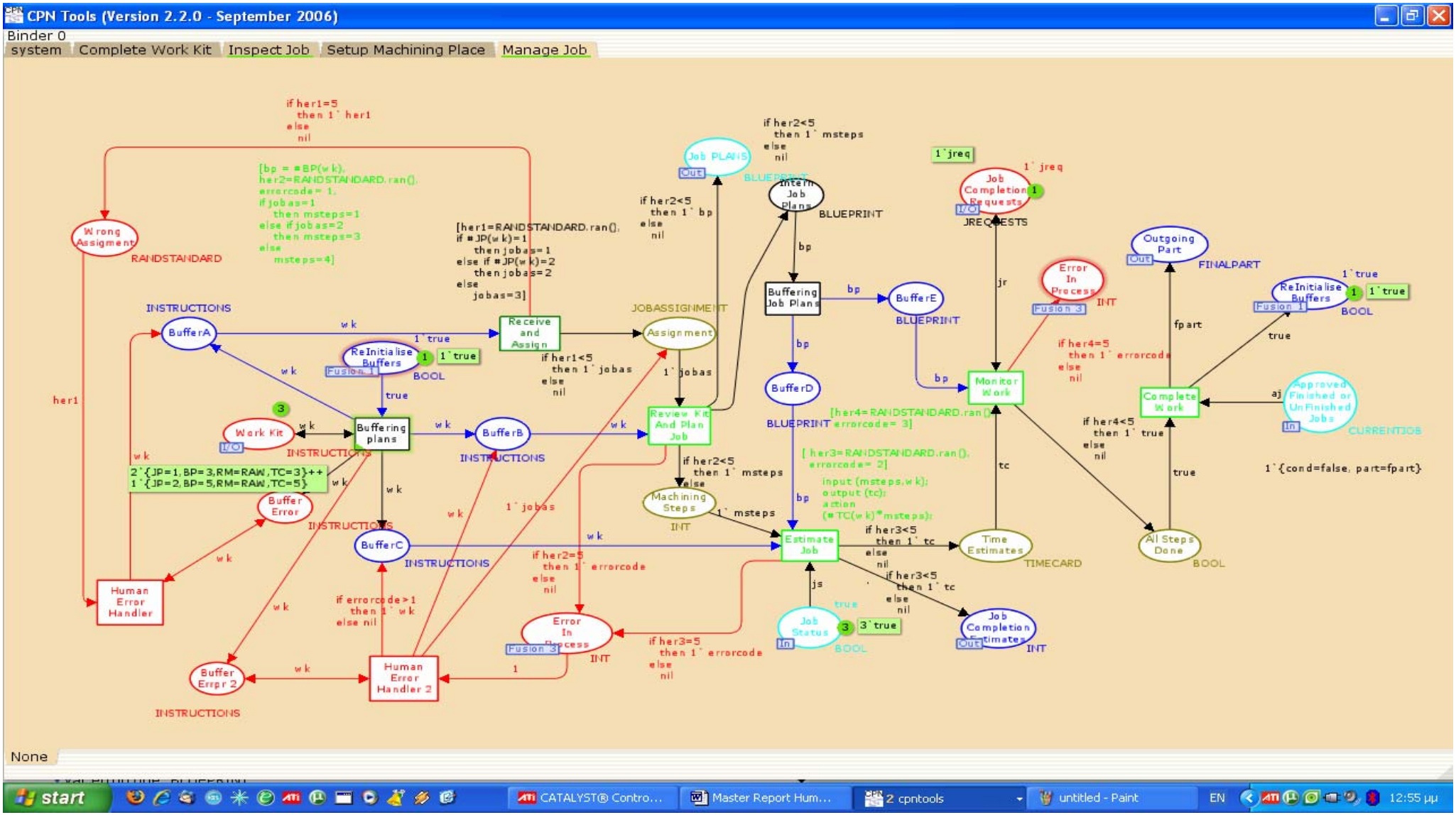


Εικόνα 39 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Επόπτευση Έργου*** **(1)**, τότε ενεργοποιείται **(2)** ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*** **(3)** ο οποίος έχει τριπλό στόχο:

- Να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** **(5)**
- Να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου*** με το ***αρχικό Πακέτο Εργασίας*** **(4)**
- Να τροφοδοτήσει τη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με την ανάθεση των εργασιών **(7)** όπως αυτή υπολογίστηκε στη μετάβαση ***Ανάθεση Εργασιών***.

Εικόνα 40 -Υποδίκτυο Διαχείριση Έργου



5.3 Υποσύστημα Εκτέλεση Έργου

Στο επίπεδο ***Εκτέλεση Έργου***, όπως γνωρίζουμε, ρυθμίζονται κατάλληλα οι μηχανές, επιλέγονται τα κατάλληλα εργαλεία και στη συνέχεια κατασκευάζεται το επιθυμητό εξάρτημα. Πρόκειται για ένα σημαντικό υπό-δίκτυο που ουσιαστικά επιτελείται η κατασκευή και έτσι εδώ ελλοχεύει ο κίνδυνος να υπάρξει ανθρώπινο σφάλμα.

Όπως έχουμε εξηγήσει , προκείμενου να κατασκευαστεί ένα εξάρτημα πρέπει πρώτα να ρυθμιστεί κατάλληλα ο χώρο εργασίας (***Adjust Working space***), διαδικασία η οποία περιλαμβάνει 2 κύριες λειτουργίες:

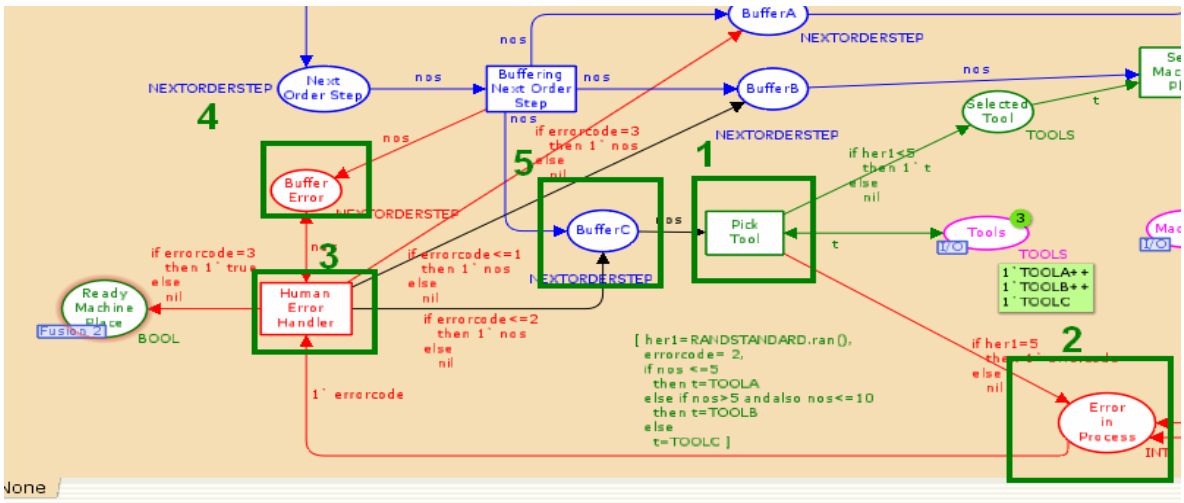
- Την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων που απαιτούνται.
- Την επιλογή και ρύθμιση της κατάλληλης εργαλείο-μηχανής.

Στη συνέχεια, αφού έχει ρυθμιστεί κατάλληλα ο χώρος εργασίας (έχει ενεργοποιηθεί η μετάβαση ***Adjust Working space***), είναι δυνατό να προχωρήσει η διαδικασία στη φάση κατασκευής του εξαρτήματος (μετάβαση Συναρμολόγηση).

Πάνω ακριβώς σε αυτό το μοτίβο των τριών κύριων εργασιών αυτού του υπό-δικτύου λειτουργεί και ο αρμόδιος ελεγκτής ανθρωπίνων λαθών. Στο αρχικό δίκτυο έχει ενσωματωθεί ένας ελεγκτής ανθρωπίνων λαθών παρεμφερής με αυτούς που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υπό-επίπεδο. Το σύστημα διαχείρισης επιτελεί τριπλό έλεγχο προκείμενου να εντοπίσει ενδεχόμενα σφάλματα:

- Ελέγχεται αν ρυθμίστηκε σωστά ο χώρος εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή
    - Ελέγχεται αν επιλέχθηκαν σωστά τα κατάλληλα εργαλεία που απαιτούνται
    - Ελέγχεται αν επιλέχθηκε και ρυθμίστηκε σωστά η κατάλληλη εργαλείο-μηχανή που απαιτείται
- Ελέγχεται αν κατασκευάστηκε κατάλληλα το επιθυμητό εξάρτημα

Παρατηρούμε ότι οι 3 παραπάνω έλεγχοι ομαδοποιούνται σε δύο κύριες ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι έλεγχοι που είναι σχετικοί με την κατάλληλη επιλογή εργαλείων και μηχανών. Αυτοί οι δύο έλεγχοι είναι αλληλένδετοι και αν προκύψει κάποιο σφάλμα σε οποιοδήποτε από τους δύο, η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί καθώς θεωρούμε ότι ο χώρος εργασίας δεν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα. Αντίθετα ο έλεγχος κατασκευής έπεται και προϋποθέτει την ορθή ρύθμιση του χώρου εργασίας, οπότε αν αυτή έχει πραγματοποιηθεί δεν υπάρχει λόγος να επαναληφθεί. Παρακάτω το σύστημα διαχείρισης ανθρωπίνων λαθών παρουσιάζεται αναλυτικότερα: Όταν προκύψει κάποιο σφάλμα κατά την επιλογή εργαλείου ο ελεγκτής αναλαμβάνει να δημιουργήσει μία ανάδραση που θα οδηγήσει σε μία επανάληψη της επιλογής. Αναλυτικότερα αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

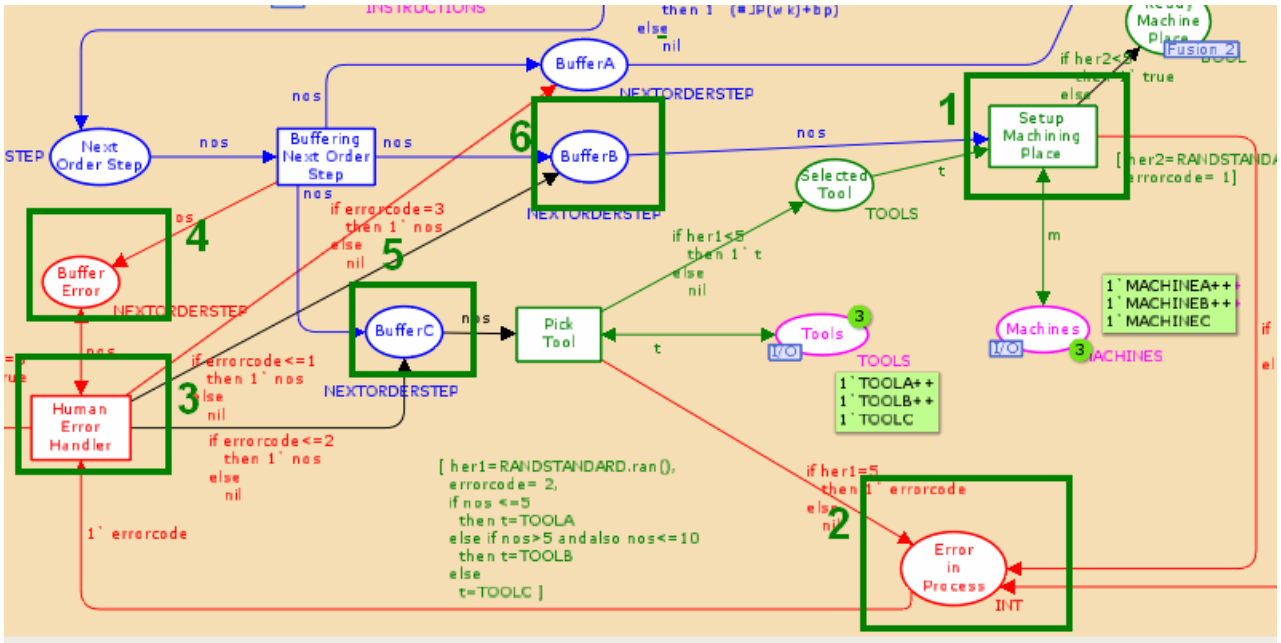


Εικόνα 41 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείου*** **(1)**, τότε ενεργοποιείται **(2)** ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*** **(3)** ο οποίος έχει ως στόχους:

- Να μην κάνει αποδεκτή την εσφαλμένη επιλογή εργαλείου
- Να μπλοκάρει τη διαδικασία και να μην περάσει ο έλεγχος στην επόμενη μετάβαση
- Να δημιουργήσει μια ανάδραση ώστε να τροφοδοτηθεί **(4)** εκ νέου η μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείου*** με το αρχικό ***nos(nest order step)*** **(5)** και να επαναληφθεί η επιλογή εργαλείου.

Εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς το προηγούμενο βήμα της κατάλληλης επιλογής εργαλείου, τότε η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Προετοιμασία Χώρου Εργασίας.*** Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση και πάλι ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών.***

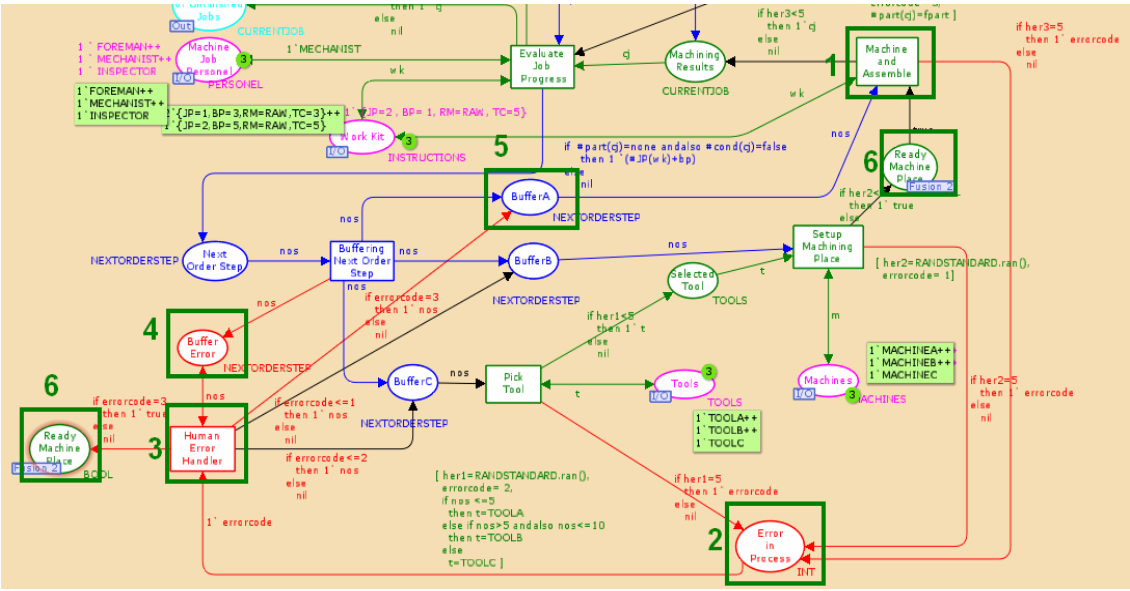


Εικόνα 42 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Προετοιμασία Χώρου Εργασίας*****(1)**, τότε ενεργοποιείται **(2)** ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*** **(3)** ο οποίος έχει στόχο:

- Να μην κάνει αποδεκτή την εσφαλμένη επιλογή μηχανής.
- Να μπλοκάρει τη διαδικασία και να μην περάσει ο έλεγχος στην επόμενη μετάβαση
- Να δημιουργήσει μια ανάδραση ώστε να τροφοδοτηθεί **(4)** εκ νέου η μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείου*** με το αρχικό ***nos(nest order step)*** **(5)** και να επαναληφθεί η επιλογή εργαλείου.
- Να δημιουργήσει μια ανάδραση ώστε να τροφοδοτηθεί **(4)** εκ νέου η μετάβαση ***Προετοιμασία Χώρου Εργασίας Ι*** με το αρχικό ***nos(nest order step)*** **(5)** και να επαναληφθεί η επιλογή μηχανής

Τέλος, εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς το προηγούμενο βήμα της κατάλληλης ρύθμισης του χώρου εργασίας, τότε η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Συναρμολόγηση*** (***Machine and Assemble***). Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα τότε αναλαμβάνει δράση και πάλι ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών.***

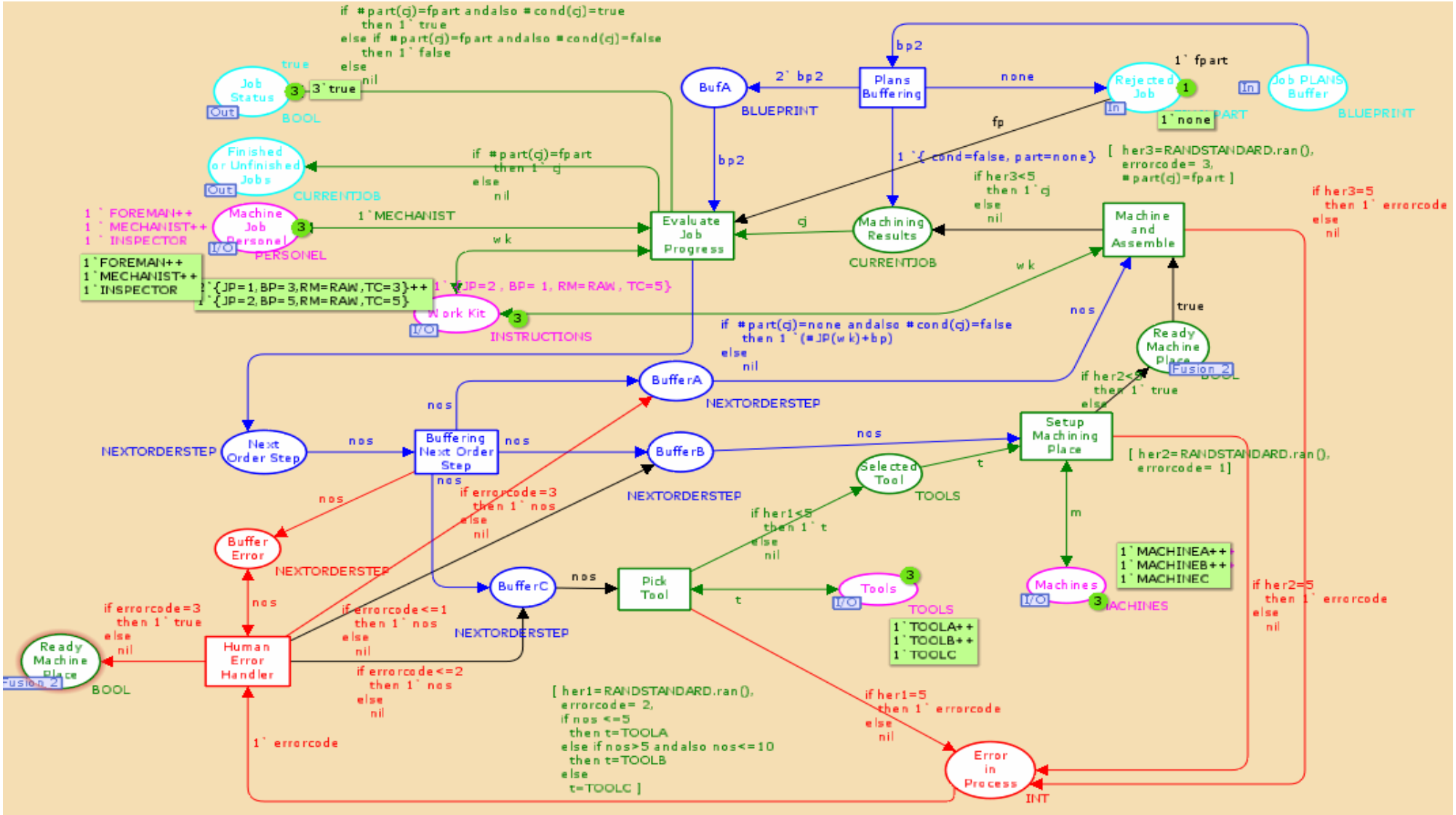


Εικόνα 43 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι όταν ανιχνευτεί ανθρώπινο λάθος στη μετάβαση ***Συναρμολόγηση*** **(1)**, τότε ενεργοποιείται **(2)** ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών,*** **(3)** ο οποίος έχει στόχο:

- Να μην κάνει αποδεκτή την εσφαλμένη κατασκευή του εξαρτήματος.
- Να μπλοκάρει τη διαδικασία και να μην περάσει ο έλεγχος στην επόμενη μετάβαση
- Να δημιουργήσει μια ανάδραση ώστε να τροφοδοτηθεί **(4)** εκ νέου η μετάβαση ***Συναρμολόγηση*** με το αρχικό ***nos(nest order step)*** **(5)** και να επαναληφθεί η επιλογή εργαλείου.
- Να δημιουργήσει μια ανάδραση ώστε να τροφοδοτηθεί **(6)** εκ νέου η μετάβαση ***Συναρμολόγηση*** και να ενημερωθεί ότι ο χώρος εργασίας έχει ρυθμιστεί κατάλληλα για την κατασκευή (εξηγήσαμε παραπάνω ότι δεν χρειάζεται επαναρύθμιση).

Εικόνα 44 - Υποδίκτυο Εκτέλεση Έργου με ενσωματωμένο Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών



5.4 Υποσύστημα Έλεγχος Έργου

Ο τελευταίος εποπτικός και γενικός έλεγχος ολόκληρης της διαδικασίας κατασκευής επιτελείται στο υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου***, το οποίο έχει ως σκοπό τον έλεγχο των ολοκληρωμένων ή ημιτελών εργασιών, με βάση μία σειρά από απαιτούμενες προδιαγραφές και αποτίμηση τους αν είναι έτοιμα ή πρέπει να σταλούν πίσω στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** για διόρθωση. Η σειρά εκτέλεσης των ελέγχων παρουσιάζεται παρακάτω:

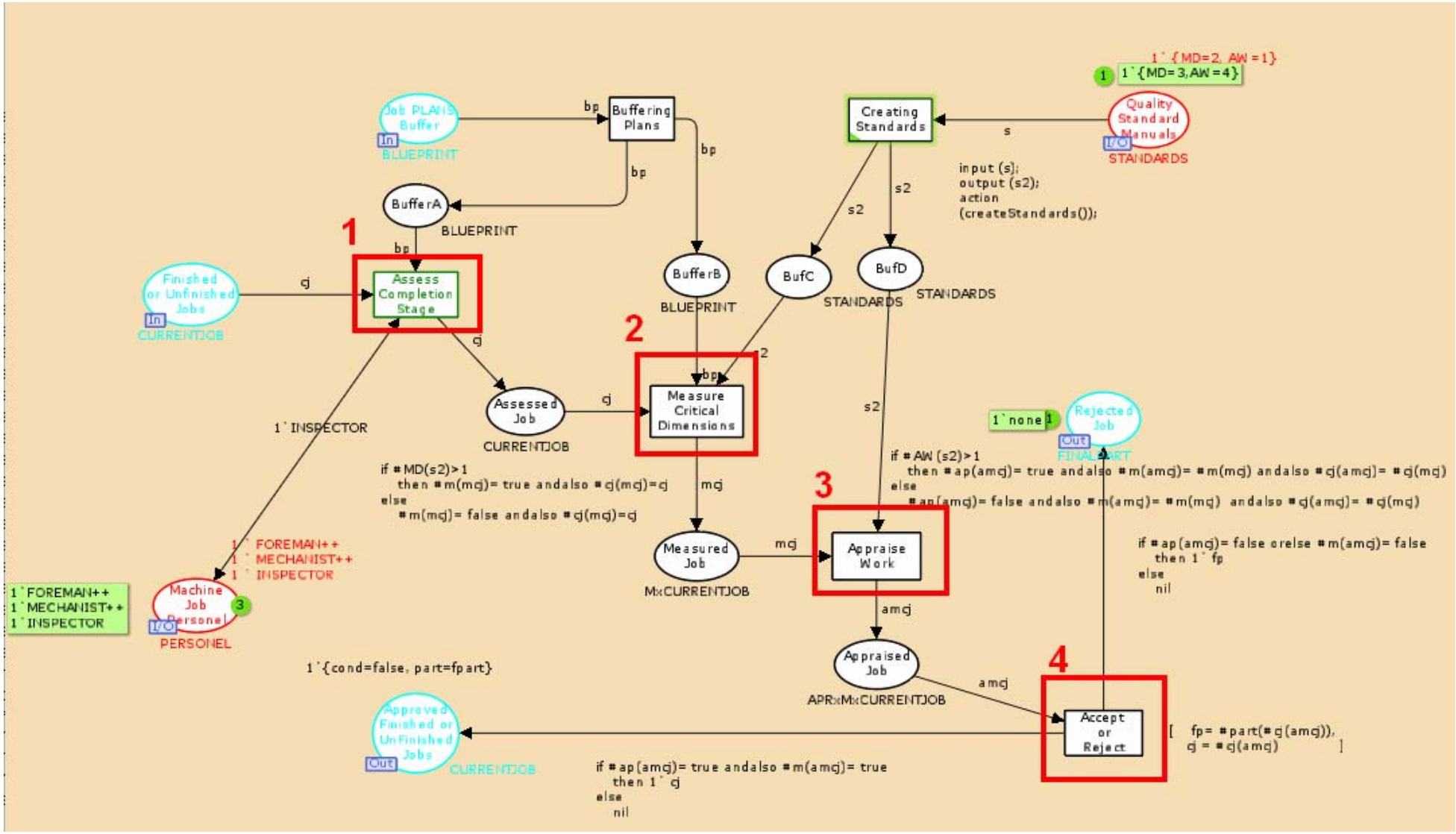
- **1ον:** Αξιολόγηση του βαθμού ολοκλήρωσης (*Assess Completion Stage*), όπου λαμβάνεται το εξάρτημα που κατασκευάστηκε στην ***Εκτέλεση Έργου***, τα σχέδια εργασίας (job plans) από τη ***Διαχείριση Έργου*** και γίνεται μία αποτίμηση της αποπεράτωσης της εργασίας (assessed job), για να μπορέσουν να ακολουθήσουν οι επόμενοι έλεγχοι του εξαρτήματος, ώστε να φανεί αν είναι έτοιμο ή όχι.

- **2ον:** Ο επόμενος έλεγχος και εργασία του υποσυστήματος ***Έλεγχος Έργου*** είναι ο έλεγχος των διαστάσεων του εξαρτήματος (*Measure Critical Dimensions*). Σε αυτή την εργασία λαμβάνονται οι προδιαγραφές ποιότητας, ανοχών και διαστάσεων του εξαρτήματος, όπως αυτά προκύπτουν από το εγχειρίδιο ποιότητας, τα σχέδια που δημιουργήθηκαν από το υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** και το εξάρτημα που κατασκευάστηκε από την ***Εκτέλεση Έργου*** και ελέγχεται αν το έτοιμο εξάρτημα είναι κατασκευασμένο με βάση τις προδιαγραφές που απαιτούνται.

- **3ον:** Στην συνέχεια ακολουθεί η αξιολόγηση της εργασίας (*appraise work*). Αυτή η εργασία δέχεται το εξάρτημα, του οποίου έχουν ελεγχθεί οι διαστάσεις (measured job) από το *Measure Critical Dimensions*, καθώς και τα απαιτούμενα standards που επιβάλλονται από το εγχειρίδιο ποιότητας και γίνεται μία εκτίμηση της εργασίας .

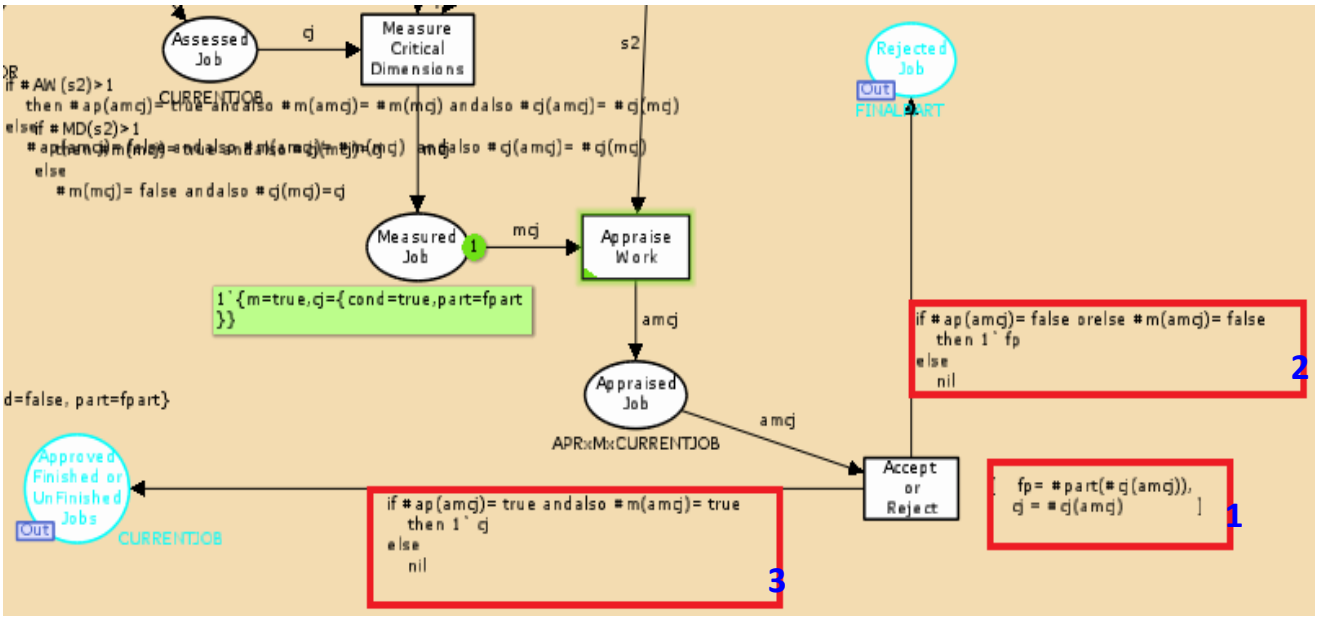
- **4ον:** Τέλος ακολουθεί η έγκριση ή απόρριψη του εξαρτήματος (accept or reject), όπου λαμβάνεται η εκτίμηση της εργασίας (appraised job), η οποία συλλέχθηκε από την προηγουμένη εξέταση (appraise work) μαζί με τις προδιαγραφές αποδοχής και αποφασίζεται αν το κομμάτι θα γίνει αποδεκτό και θα σταλεί στη ***Διαχείριση Έργου*** ή μη αποδεκτό και θα σταλεί στην ***Εκτέλεση Έργου***.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι αναλυτικά οι έλεγχοι που προαναφέραμε



Τελικά σε αυτό το υποσύστημα αποφασίζεται αν το εξάρτημα που φτιάχτηκε είναι αποδεκτό, δηλαδή έτοιμο και σύμφωνα με τις προδιαγραφές που επιβάλει το εγχειρίδιο ποιότητας ή όχι. Το εξάρτημα μπορεί να θεωρηθεί είτε ότι είναι κατασκευασμένο με βάση τα standards (Approved Finished or Unfinished Job), είτε ότι δεν είναι κατασκευασμένο με βάση τα standards (Rejected Job).

Η επιλογή της κατάστασης του εξαρτήματος γίνεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Πιο συγκεκριμένα, εάν το εξάρτημα έχει άρτιες διαστάσεις και ικανοποιητική κατασκευή στέλνεται στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** σαν αποδεκτή ολοκληρωμένη ή ημιτελής δουλεία, ενώ εάν κάποιο από τα δύο κριτήρια δεν ικανοποιείται τότε το εξάρτημα στέλνεται σαν rejected job στο υποσύστημα ***Εκτέλεση Έργου***.



Εικόνα 45 - Σύστημα Διαχείρισης Λαθών

5.5 Σύνοψη

Σε αυτό το σημείο αξίζει να υπογραμμιστεί η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους ελέγχους που πραγματοποιούνται στα επίπεδα: ***Διαχείριση Έργου*** & ***Εκτέλεση Έργου*** σε σχέση με τους ελέγχους που μόλις περιγράψαμε στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου***.

Στα επίπεδα *Διαχείριση Έργου & Εκτέλεση Έργου* :

- ✓ Επιτελείται έλεγχος διαχείρισης των ανθρωπίνων λαθών.
- ✓ Έχει προληπτικό χαρακτήρα.
- ✓ Κύριος στόχος είναι η ανίχνευση ανθρωπίνων σφαλμάτων σε διάφορα σημεία στη διαδικασία παραγωγής
- ✓ Με τη βοήθεια κατάλληλων αναδράσεων και ρουτινών επιλύεται το εκάστοτε πρόβλημα-σφάλμα.
- ✓ Επαναλαμβάνεται μονάχα ένα τμήμα της διαδικασίας παραγωγής και όχι ολόκληρη η διαδικασία.
- ✓ Στοχεύει στην εξοικονόμηση πόρων και πολύτιμου χρόνου.

Στο επίπεδο *Έλεγχος Έργου* :

- ✓ Επιτελείται γενικός – τελικός έλεγχος ολόκληρης της εργασίας .
- ✓ Έχει εποπτικό χαρακτήρα.
- ✓ Κύριος στόχος είναι να πιστοποιήσει την ορθότητα και ποιότητα κατασκευής του τελικού εξαρτήματος.
- ✓ Ελέγχει αν το κατασκευαζόμενο εξάρτημα πληροί μία σειρά από απαιτούμενες προδιαγραφές (standards).
- ✓ Ελέγχει αν το εξάρτημα τηρεί τις προδιαγραφές και το στέλνει στη ***Διαχείριση Έργου***.
- ✓ Αν το εξάρτημα δεν τηρεί τις προδιαγραφές στέλνεται πίσω στην ***Εκτέλεση Έργου*** για να υποστεί περαιτέρω διορθώσεις

6. Προσομοίωση Συστήματος με Διαχείριση των ανθρωπίνων λαθών

6.1 Γενικά

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνουν κάποιες διευκρινήσεις σχετικές με τον τρόπο λειτουργίας του νέου συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος με τον οποίο ορίζεται η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το υποσύστημα που βρίσκεται η διαδικασία κατασκευής.

Το παραπάνω συμβαίνει γιατί υπάρχει ένα πλήθος αστάθμητων παραγόντων, που όπως προαναφέραμε, δεν μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια. Αυτό μεταφράζεται σε αδυναμία του συστήματος μας να ενσωματώσει αυτούς τους παράγοντες αποτελεσματικά.

Όμως, σε κάθε σενάριο κατασκευής ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος, μπορούμε να καθορίσουμε στο δίκτυο, πόσο πιθανό ή απίθανο είναι να συμβεί κάποιο ανθρώπινο λάθος.

Παρακάτω, θα δημιουργήσουμε ένα συγκεκριμένο σενάριο κατασκευής ενός εξαρτήματος και θα οριστούν σε όλα τα σημεία **αυθαίρετα** οι πιθανότητες εμφάνισης λαθών.

Αυτό το σενάριο θα καταστήσει ακόμα πιο κατανοητή τη λειτουργία του συστήματος και κυρίως τη χρησιμότητα και αναγκαιότητα των ελεγκτών ανθρωπίνων λαθών.

6.2 Δημιουργία πρότυπου Σεναρίου και Καθορισμός πιθανοτήτων εμφάνισης ανθρωπίνων σφαλμάτων

Όλες οι παρακάτω πιθανότητες δεν ανταποκρίνονται σε πραγματικές τιμές και δεν έχουν σκοπό να προσδιορίσουν πότε θα συμβεί ένα σφάλμα. Στόχος της παρούσας μοντελοποίησης, όπως προαναφέρθηκε, δεν αποτελεί ο καθορισμός των πιθανοτήτων εμφάνισης σφάλματος σε κάθε φάση, αλλά ο έγκαιρος εντοπισμός των ανθρωπίνων σφαλμάτων και η ενδεχόμενη αντιμετώπιση τους. Οι παρακάτω *αυθαίρετες τιμές* εξυπηρετούν απλά τη διαδικασία προσομοίωσης που θα παρουσιαστεί, προκειμένου να γίνει κατανοητή η χρήση του συστήματος ελεγκτών.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ:

- **Πιθανότητα λάθους στην *Ανάθεση εργασιών*: 5%**. (Μικρή πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς οι εργασίες που απαιτούνται είναι λίγες και η ανάθεση τους δεν έχει υψηλό κίνδυνο λάθους.)

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Διεξαγωγή Σχεδίων*: 5%** (Μικρή πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς οι εργασίες που απαιτούνται είναι λίγες και ο σχεδιασμός τους δεν έχει υψηλό κίνδυνο λάθους.)

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Εκτίμηση Έργου*: 5%**(Μικρή πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς η εκτίμηση της εργασίας είναι αλληλένδετη των δύο προηγούμενων μεταβάσεων.)

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Επόπτευση Έργου*: 10%**(Η πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους εδώ αυξάνεται καθώς η επίβλεψη της εργασίας που επιτελείται σε αυτή τη μετάβαση είναι πιο σύνθετη εργασία και πολύ πιο ευαίσθητη σε πιθανούς εσφαλμένους ανθρώπινους χειρισμούς.)

Εκτέλεση Έργου:

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Επιλογή Εργαλείου*: 5%**. (Μικρή πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς η επιλογή των κατάλληλων εργαλείων είναι σχετικά απλή διαδικασία και δεν ελλοχεύει υψηλό κίνδυνο λάθους.)

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Προετοιμασία Χώρου Εργασίας*: 10%.** (Εδώ έχουμε σχετικά μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς είναι αρκετά σύνθετη διαδικασία η κατάλληλη προετοιμασία του χώρου εργασίας.)

- **Πιθανότητα λάθους στην μετάβαση *Συναρμολόγηση*: 15%.** (Εδώ έχουμε σχετικά μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης ανθρώπινου λάθους καθώς η διαδικασία κατασκευής ενός τόσου μικρού εξαρτήματος (βίδα) απαιτεί λεπτεπίλεπτους χειρισμούς και εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο ανθρώπινου λάθους.)

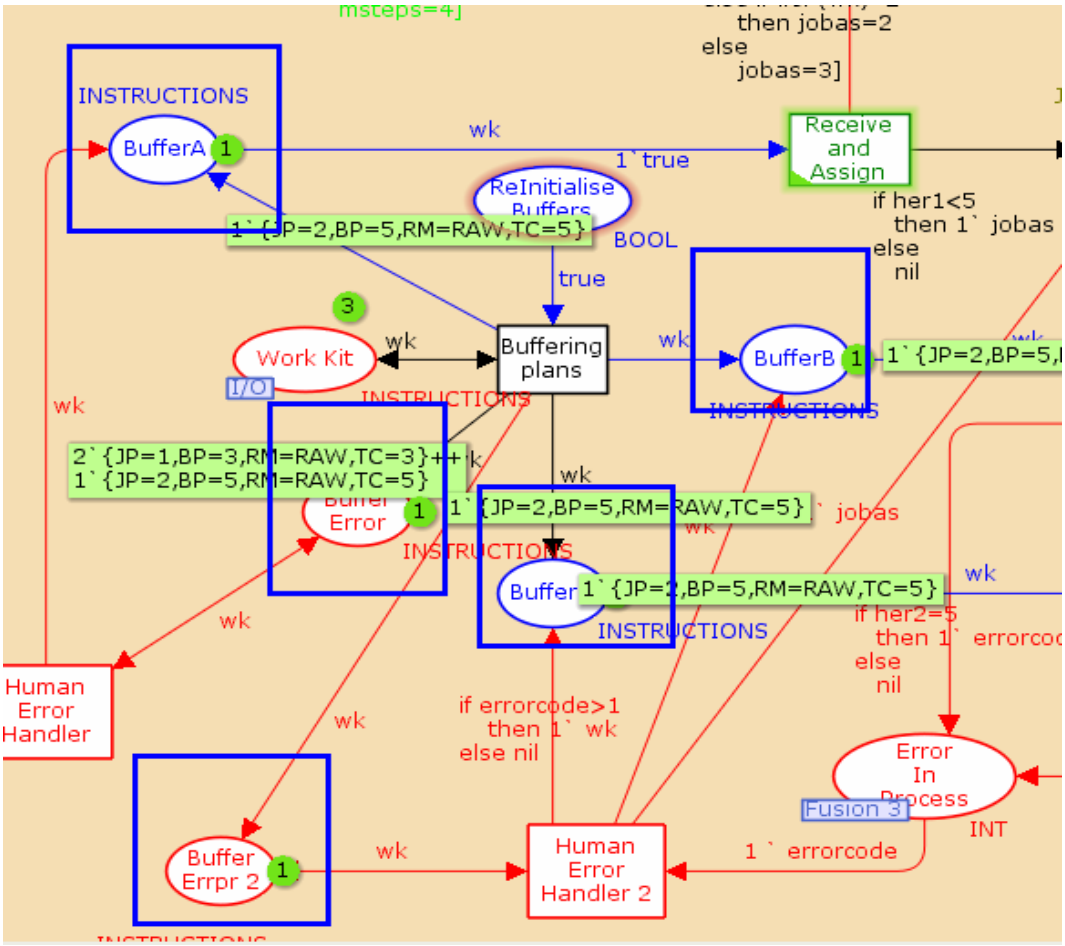
Στη συνέχεια ακολουθεί η προσομοίωση του παραπάνω σεναρίου ώστε να δούμε τα αποτελέσματα σε ενδεχόμενη εμφάνιση αυτών των σφαλμάτων και πως αντιμετωπίζονται με τη βοήθεια των κατάλληλων αναδράσεων.

Αντίθετα θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο σενάριο (ίδιο Πακέτο Εργασίας) και θα εστιάσουμε στα σημεία εμφάνισης λαθών που παρεμβάλλονται οι ελεγκτές που ενσωματώθηκαν.

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος μας για την κατασκευή ενός εξαρτήματος μηχανουργείου. Πιο συγκεκριμένα, όπως θα δούμε και στο παρακάτω σχήμα, με τυχαίο τρόπο επιλέγεται μία μάρκα από το ***Πακέτο Εργασίας*** (Η οποία βεβαίως καθορίζει το ποιο εξάρτημα θα κατασκευαστεί.)

6.3 Βήματα Προσομοίωσης

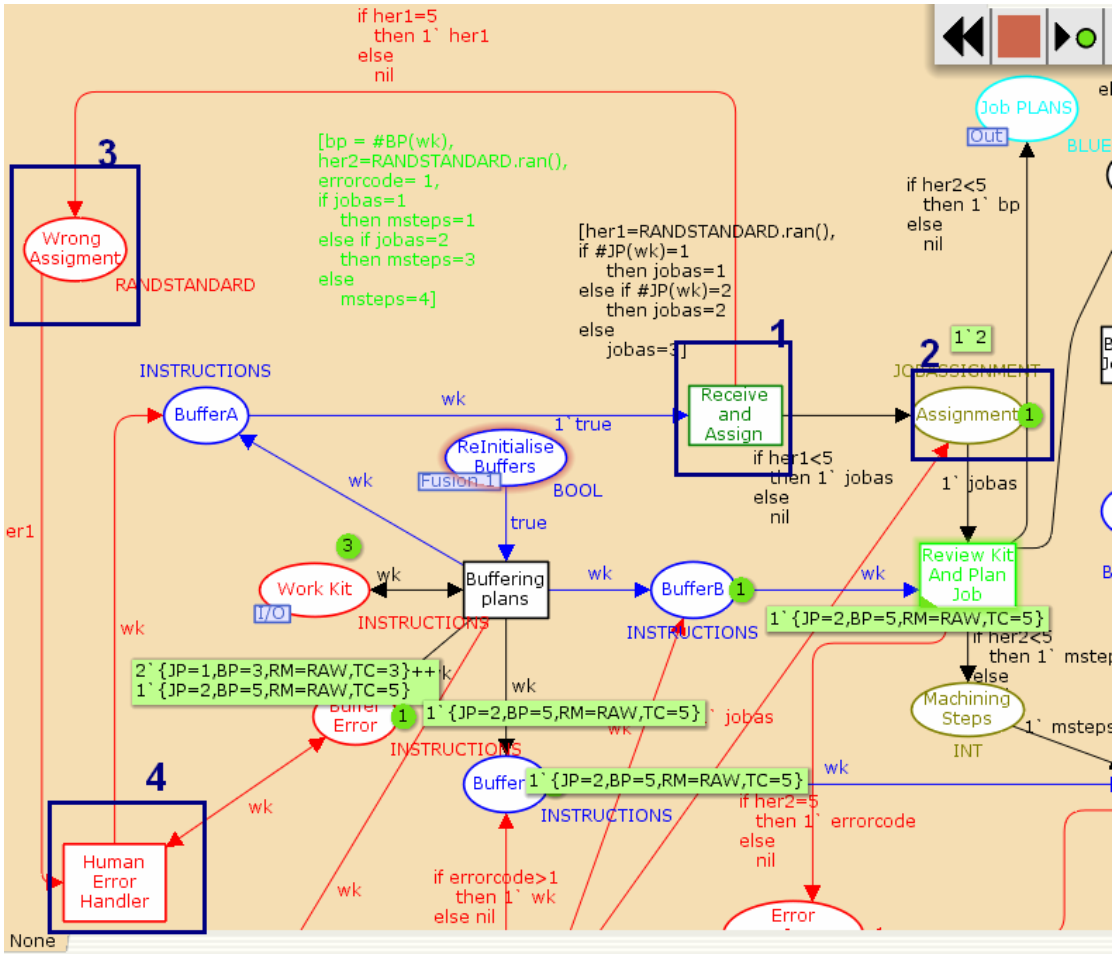
ΒΗΜΑ 1ο



Εικόνα 46 - Βήμα 1ο

Στο 1ο βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου***, και επιλέγεται τυχαία η μάρκα με το Πακέτο Εργασίας. Επειδή το Πακέτο Εργασίας θα χρησιμοποιηθεί σε πολλά σημεία σε αυτό το επίπεδο, ενεργοποιούνται οι πέντε buffers που δημιουργούν πέντε μάρκες με το αρχικό work set. Όπως θα δούμε παρακάτω ο 1ος buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Ανάθεση Εργασιών,*** ο 2ος buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** , ενώ ο 3ος για την μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου.*** Επίσης υπάρχουν δύο buffers που θα χρησιμοποιήσουν το αρχικό work set για το σύστημα ελεγκτών αυτού του επιπέδου.

ΒΗΜΑ 2ο

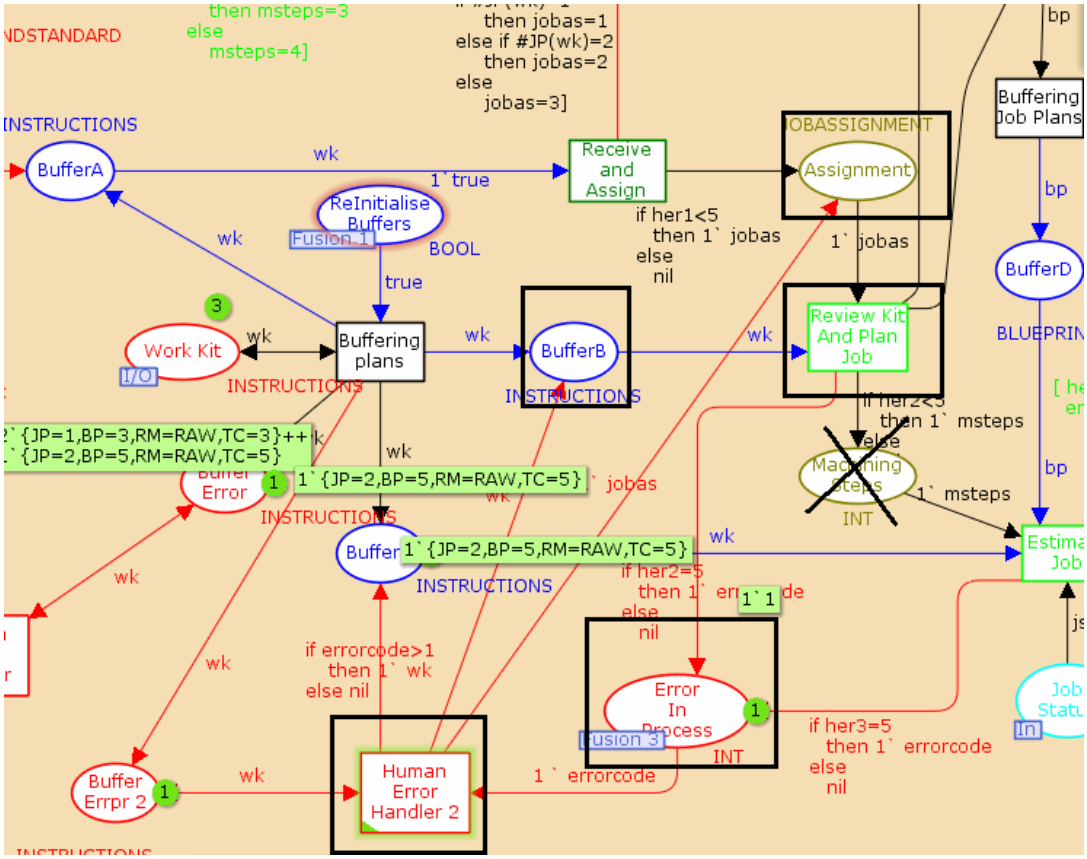


Εικόνα 47 - Βήμα 2ο

Στο 2ο βήμα της προσομοίωσης, δημιουργείται η μάρκα jobas, η οποία σχετίζεται με την ανάθεση εργασιών **(1)** και με την εξαγωγή των σχεδίων που θα πάρουν τα άλλα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα η μάρκα παίρνει τη τιμή 2, αφού όπως φαίνεται από τον κώδικα στα guards, αυτό έπρεπε να συμβεί βάσει της αρχικής τιμής του πεδίου JP της εγγραφής Πακέτο Εργασίας.

Σε αυτό το σημείο έχουμε για πρώτη φορά παρέμβαση του *Συστήματος Ελεγκτών* (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*)(4). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν εντοπίστηκε κάποιο ανθρώπινο σφάλμα ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάδραση και να επαναληφθεί η μετάβαση της *Ανάθεσης Εργασιών*. Αντίθετα ο έλεγχος περνάει στην επόμενη μετάβαση που είναι η *Διεξαγωγή Σχεδίων*.

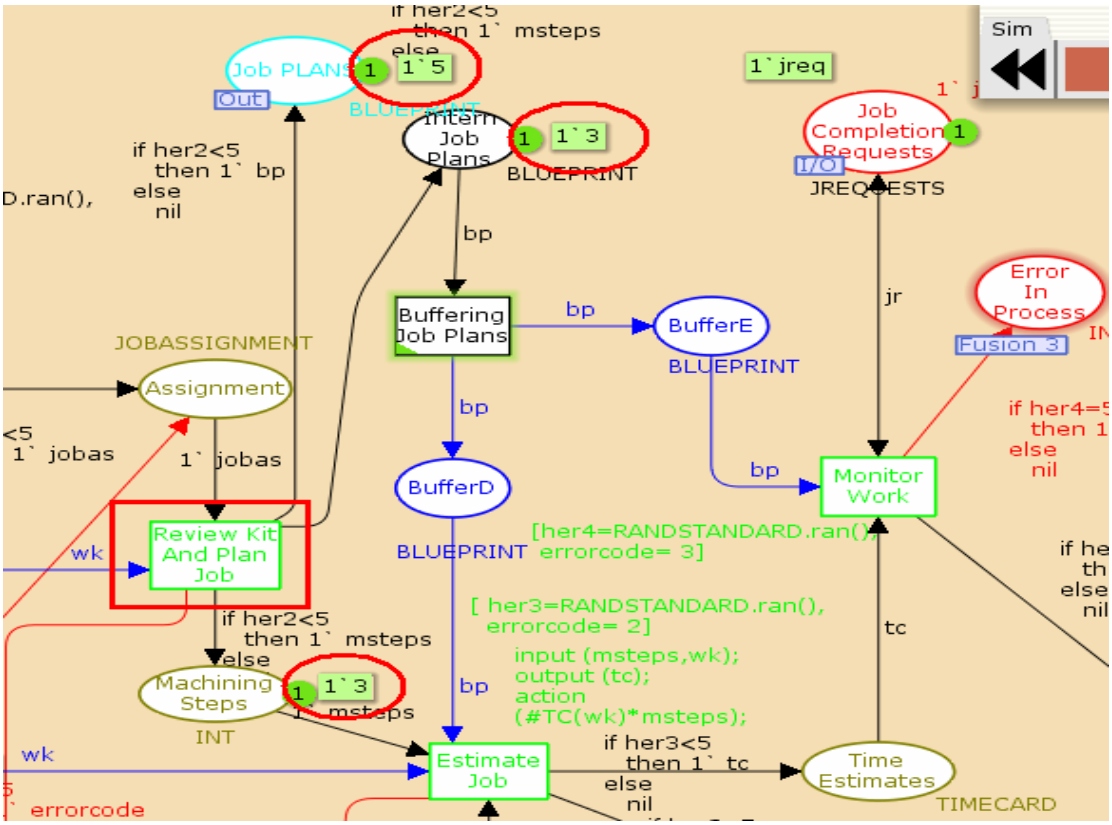
ΒΗΜΑ 3ο



Εικόνα 48 - Βήμα 3ο

Σε αυτό το σημείο έχουμε για πρώτη φορά παρέμβαση των ελεγκτών ανθρωπίνων λαθών και ενεργοποίηση για πρώτη φορά της ανάδρασης που θα αντιμετωπίσει το σφάλμα που παρουσιάστηκε. Πιο συγκεκριμένα ο ***Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*** θα τροφοδοτήσει την μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** με τις μάρκες: αρχικό Πακέτο Εργασίας & jobas που παράχθηκε πριν. Έτσι η μετάβαση θα επανενεργοποιηθεί.

ΒΗΜΑ 4ο



Εικόνα 49 - Βήμα 4ο

Στο 4ο βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων*** αφού ήταν έτοιμη η μεταβλητή jobas και η μεταβλητή με το αρχικό Πακέτο Εργασίας (από τον bufferb). Σε αυτή τη μετάβαση, μεταφέρονται τα σχέδια (Blueprints) προς τα άλλα επίπεδα (***Εκτέλεση Έργου*** & ***Έλεγχος Έργου***) και επίσης υπολογίζονται ο αριθμός των βημάτων που απαιτούνται για τη διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος, βάσει του κώδικα που υπάρχει στα guards της συγκεκριμένης μετάβασης. Έτσι οι τιμές που παίρνουν τελικά οι έξοδοι της μετάβασης (μάρκες) είναι:

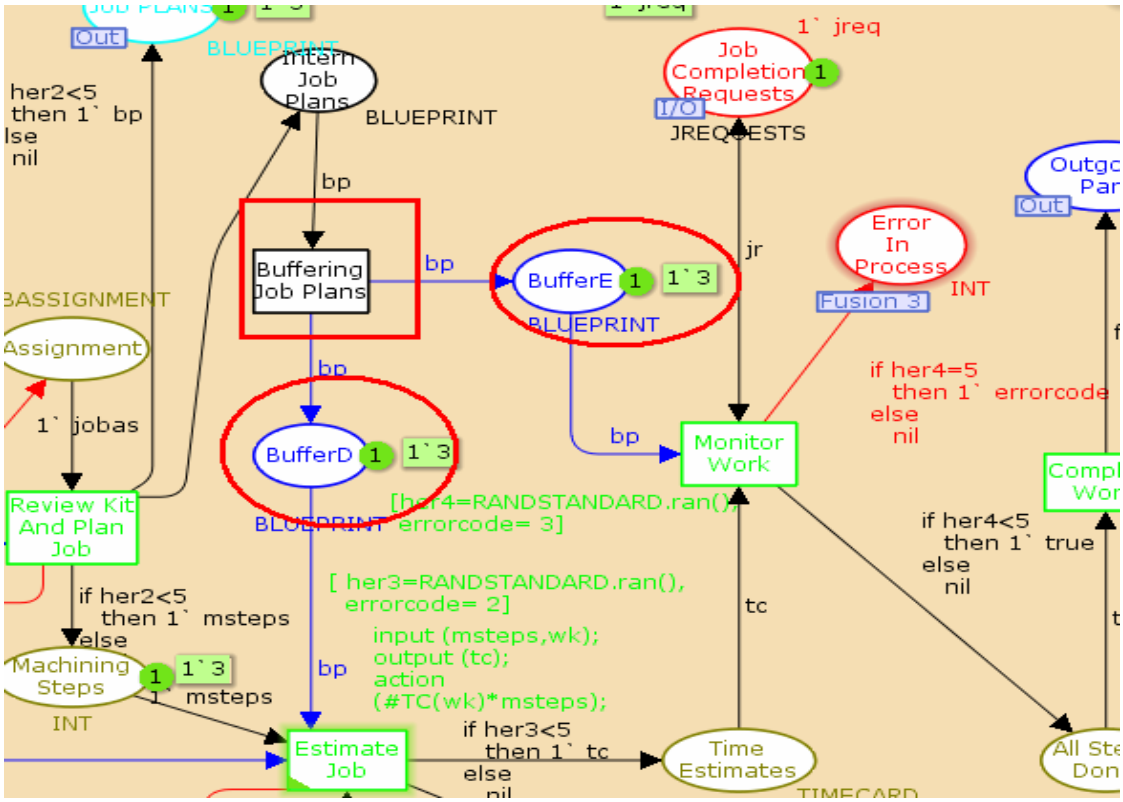
- **Αριθμός Βημάτων (Msteps)** = 3
- **Σχέδια (Blueprint)** = 5

Στη συνέχεια στο 4° βήμα της προσομοίωσης, τα σχέδια που ακριβώς πριν δημιουργήθηκαν σε αυτή τη μετάβαση θα φυλαχτούν με τη βοήθεια 2 buffers για να χρησιμοποιηθούν παρακάτω στις μεταβάσεις

- ***Εκτίμηση Έργου***
- ***Επόπτευση Έργου***

Σε αυτό το σημείο έχουμε παρέμβαση του συστήματος ελεγκτών (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*). Μετά την ενεργοποίηση της ανάδρασης του προηγούμενου βήματος δεν εντοπίστηκε κάποιο σφάλμα ξανά. Έτσι ο έλεγχος περνάει στην επόμενη μετάβαση που είναι η: *Buffering Job Plans*.

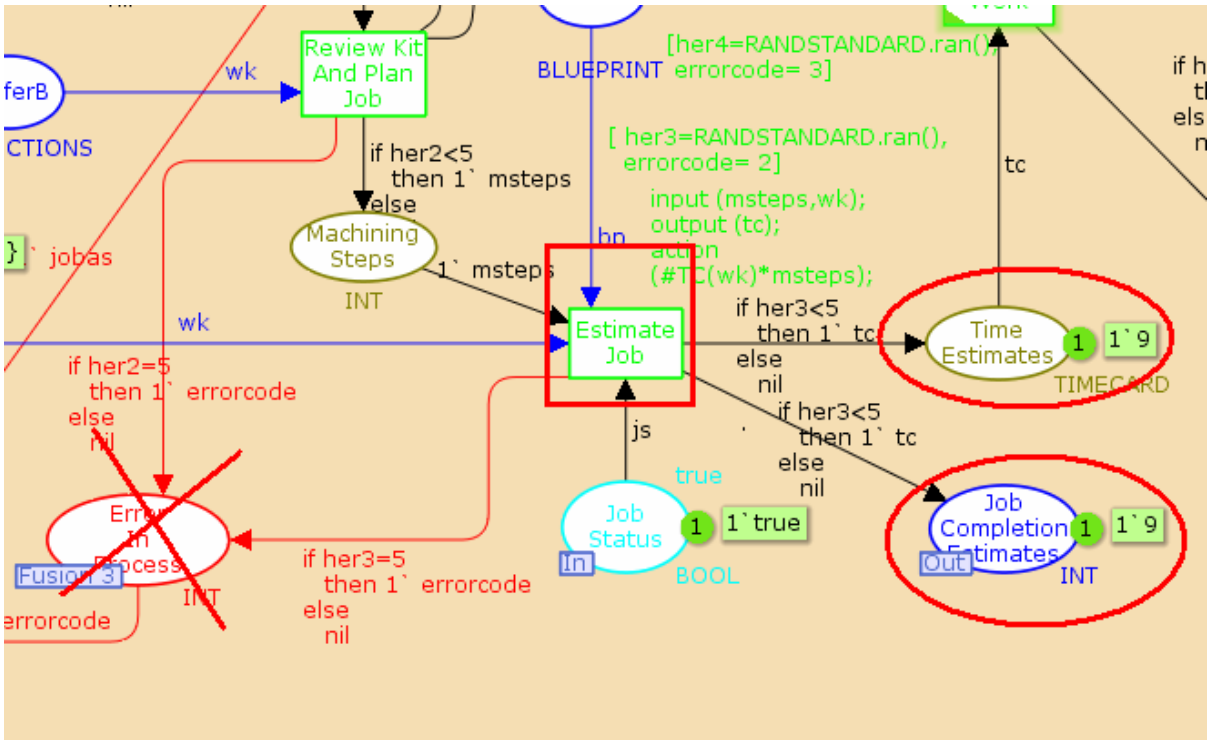
ΒΗΜΑ 5°



Εικόνα 50 - Βήμα 5°

Στο 5° βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Buffering Job Plans.*** Έτσι τα σχέδια που δημιουργήθηκαν ακριβώς πριν, με αυτή τη μετάβαση θα φυλάχτηκαν με τη βοήθεια 2 buffers για να χρησιμοποιηθούν παρακάτω στις μεταβάσεις ***Εκτίμηση Έργου & Επόπτευση Έργου.***

ΒΗΜΑ 6ο

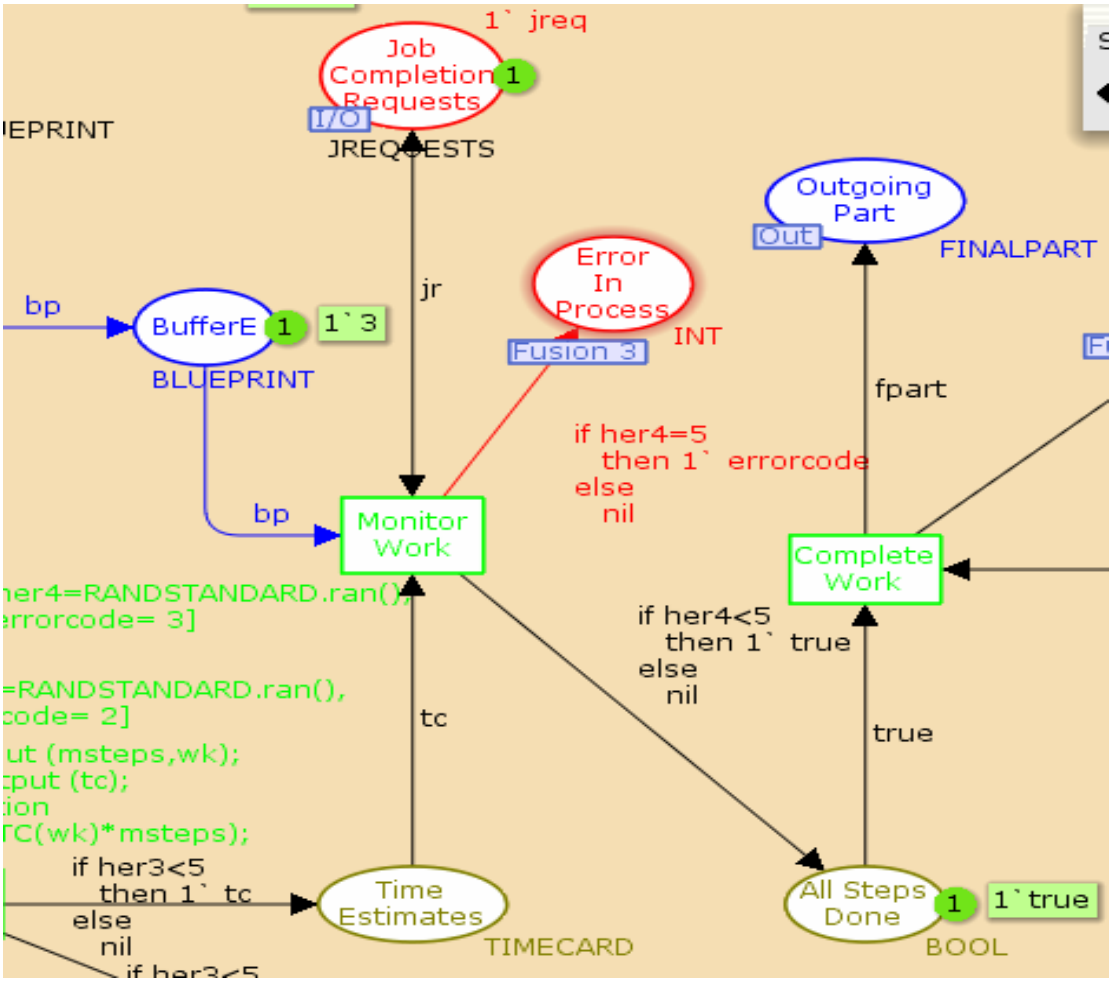


Εικόνα 51 - Βήμα 6ο

Στο 6ο βήμα της προσομοίωσης, έγινε η μετάβαση ***Εκτίμηση Έργου Plans.*** Εδώ με τη βοήθεια των εισόδων: (βήματα) msteps & (σχέδια) bp υπολογίζεται η εκτιμώμενη χρονική διάρκεια της κατασκευής (με τη βοήθεια του κώδικα της μετάβασης) η οποία είναι και η πρώτη τελική έξοδος του συστήματος και εδώ λαμβάνει την τιμή 9.

Σε αυτό το σημείο έχουμε παρέμβαση του συστήματος ελεγκτών (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν εντοπίστηκε κάποιο ανθρώπινο σφάλμα ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάδραση και να επαναληφθούν οι μεταβάσεις *Ανάθεση Εργασιών* & *Review Kit and Paln Job*. Αντίθετα ο έλεγχος περνάει στην επόμενη μετάβαση που είναι η *Επόπτευση Έργου*.

ΒΗΜΑ 7ο & 8ο



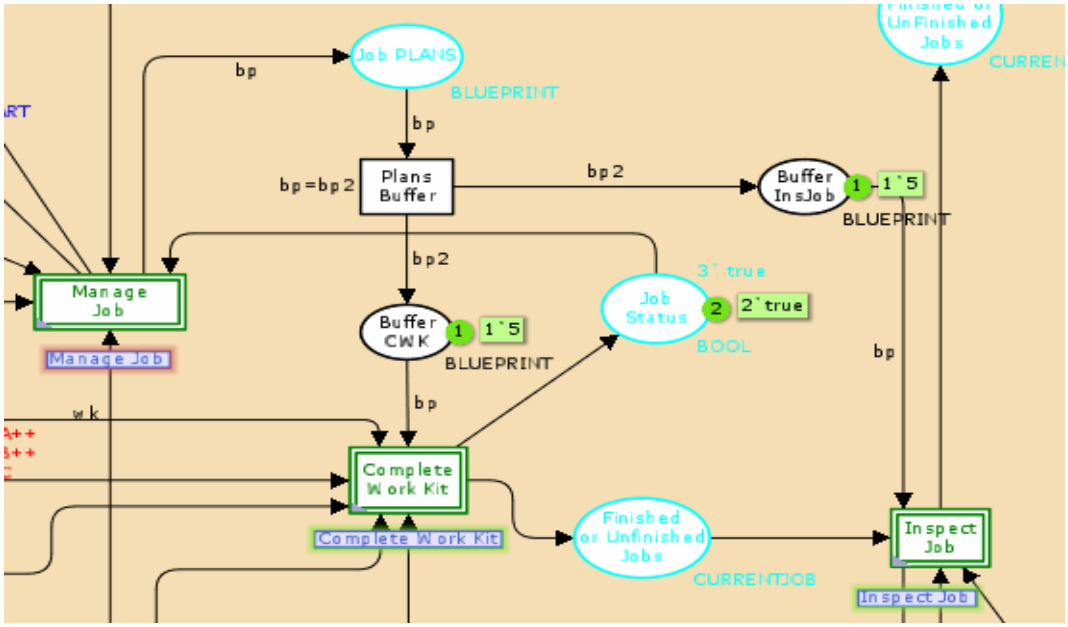
Εικόνα 52 - Βήμα 7ο

Στο 7ο βήμα της προσομοίωσης, ολοκληρώνεται προσωρινά η λειτουργία του επιπέδου ***Διαχείριση Έργου***, αφού έχουν πια ολοκληρωθεί όλα τα βήματα που αφορούν στα εξής:

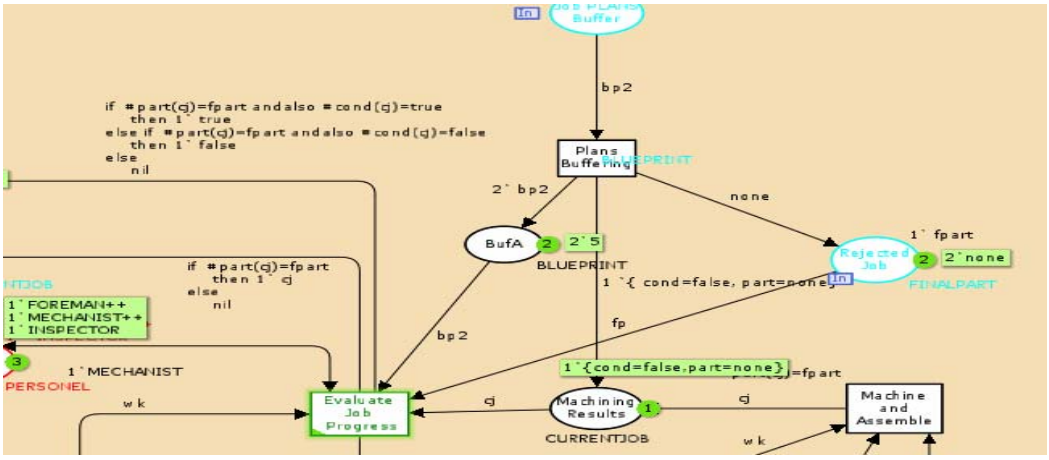
4. *Ανάθεση Εργασιών*
5. *Εξαγωγή Σχεδίων*
6. *Υπολογισμός εκτιμώμενης χρονική διάρκειας της εργασίας*

Σε αυτό το σημείο έχουμε παρέμβαση του συστήματος ελεγκτών (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών 2*). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν εντοπίστηκε κάποιο ανθρώπινο σφάλμα ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάδραση και να επαναληφθούν οι μεταβάσεις *Ανάθεση Εργασιών* & *Reiview Kit and Paln Job* και *Εκτίμηση Έργου*.

Στη συνέχεια θα μεταφερθούμε στο κεντρικό σύστημα όπου και «σώθηκαν» τα σχέδια που δημιουργήθηκαν εδώ, για να μεταβούμε ακριβώς παρακάτω στο σύστημα ***Εκτέλεση Έργου*** όπου θα κατασκευαστεί το εξάρτημα.

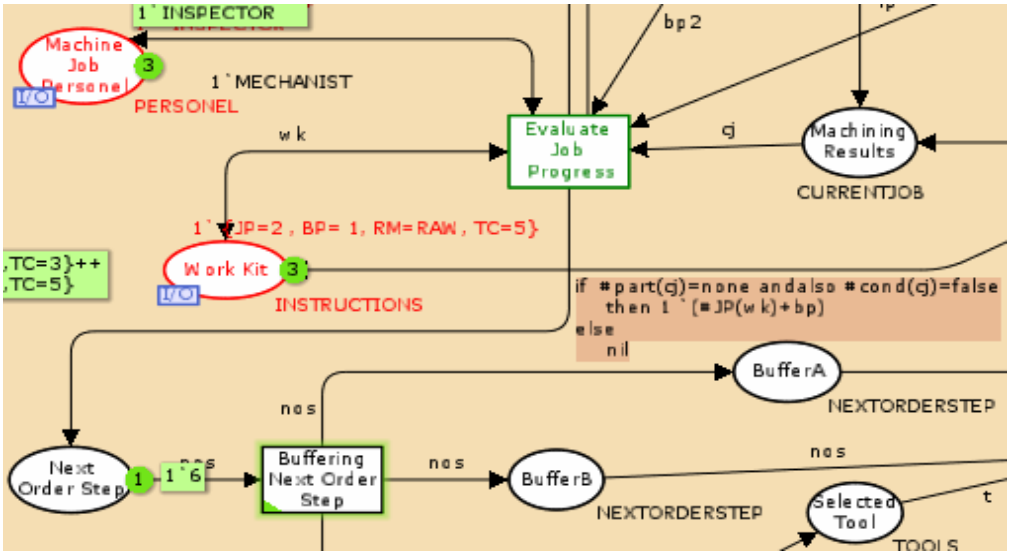


ΒΗΜΑ 9ο & 10ο



Εικόνα 53 - Βήμα 9ο

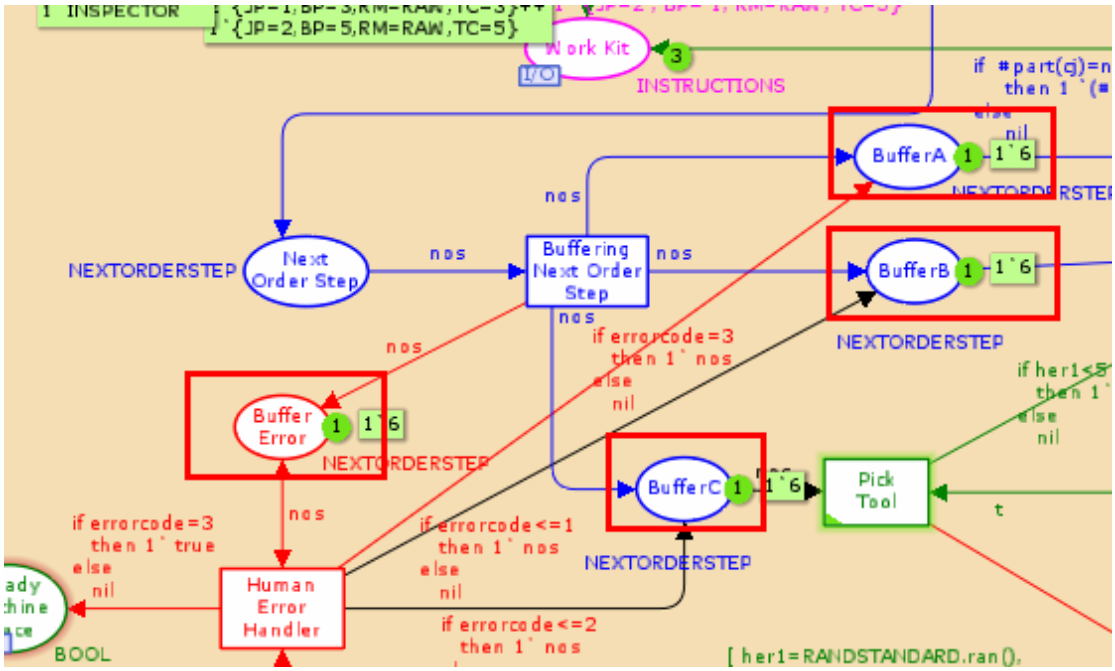
Στο 9ο βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στην ***Εκτέλεση Έργου***, και επειδή τα σχέδια (bp2) θα χρησιμοποιηθούν σε πολλά σημεία σε αυτό το επίπεδο, ενεργοποιείται ο bufA που δημιουργεί 2 μάρκες με τα αρχικά σχέδια. Όπως θα δούμε παρακάτω ο buffer έχει τη μάρκα για την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Αξιολόγηση της Εργασίας.***



Εικόνα 54 - Βήμα 10ο

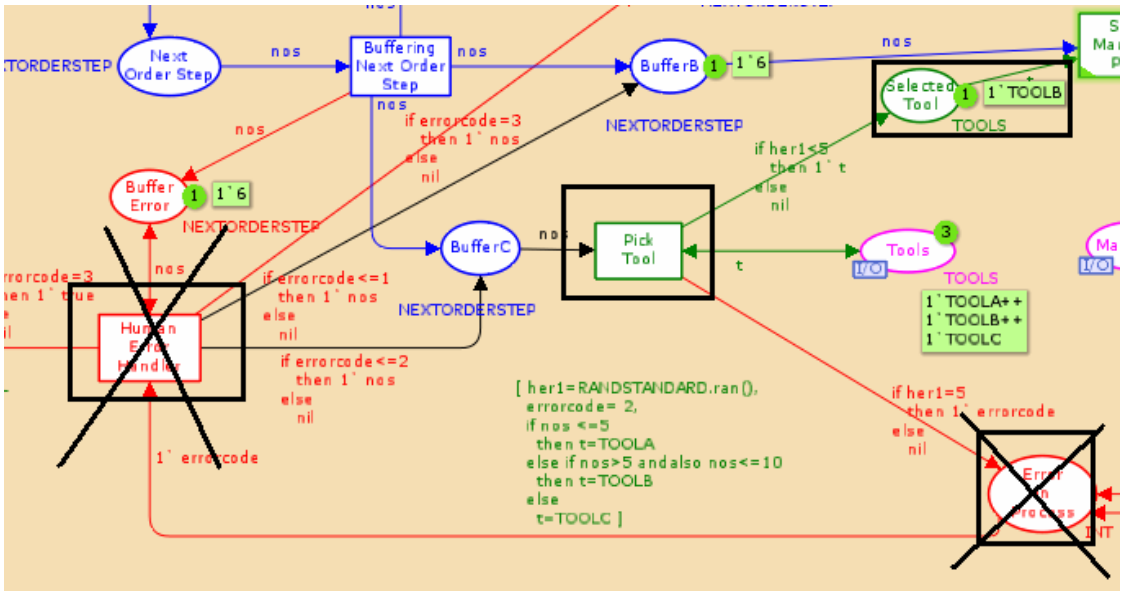
Στη συνέχεια, στο 10ο βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Αξιολόγηση της Εργασίας*** όπου σε αυτή τη φάση καθορίζει πιο θα είναι το επόμενο βήμα της διεργασίας (βάσει της γενικής εισόδου: ***Πακέτο Εργασίας,*** και της εισόδου συστήματος***: bp2***) και σε αυτή την προσομοίωση παίρνει την τιμή 6.

ΒΗΜΑΤΑ 11ο & 12ο



Εικόνα 55 - Βήμα 11ο

Στη συνέχεια, στο 11° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Buffering Next Order Step*** όπου ουσιαστικά μεταφέρεται η εντολή (μάρκα) ***nos*** (***nextorderstep***) στις τέσσερις θέσεις προκειμένου να φυλαχτεί προσωρινά και να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

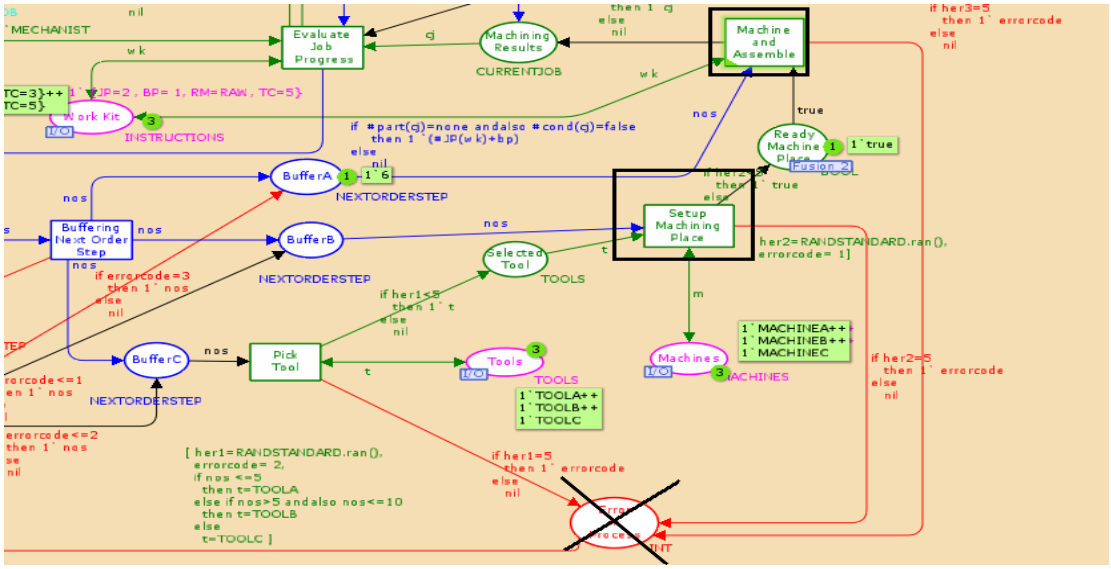


Εικόνα 56 - Βήμα 12°

Έπειτα, στο 12° βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Επιλογή Εργαλείου*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή εργαλείου βάσει της εντολής (μάρκα) ***nos*** (***nextorderstep***) και στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται το εργαλείο TOOLB.

Σε αυτό το σημείο έχουμε για πρώτη φορά παρέμβαση του συστήματος ελεγκτών (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*)(4). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν εντοπίστηκε κάποιο ανθρώπινο σφάλμα ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάδραση και να επαναληφθούν οι προηγούμενες μεταβάσεις. Αντίθετα ο έλεγχος περνάει στην επόμενη μετάβαση που είναι η *Setup Machine Place*.

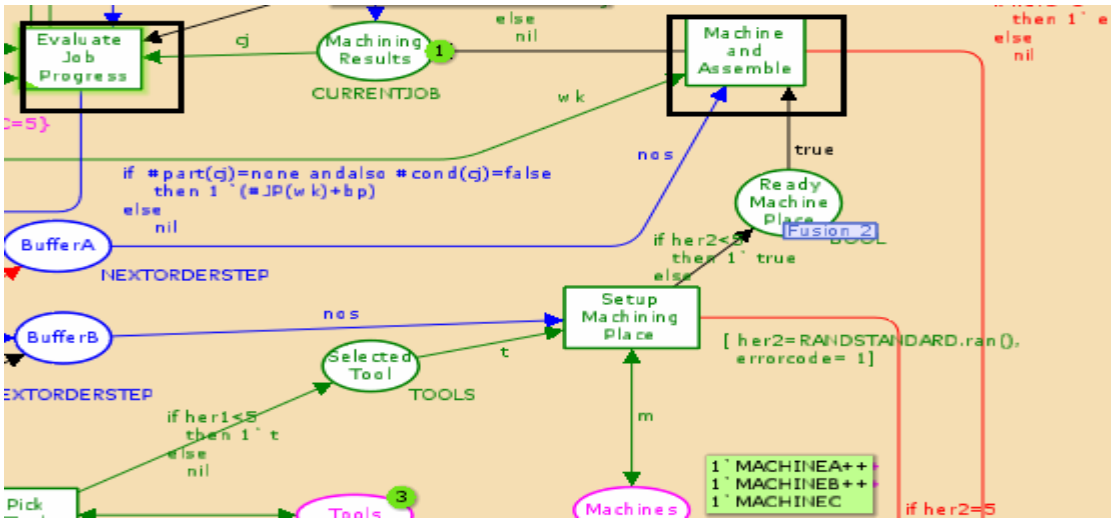
ΒΗΜΑ 13ο



Εικόνα 57 - Βήμα 13ο

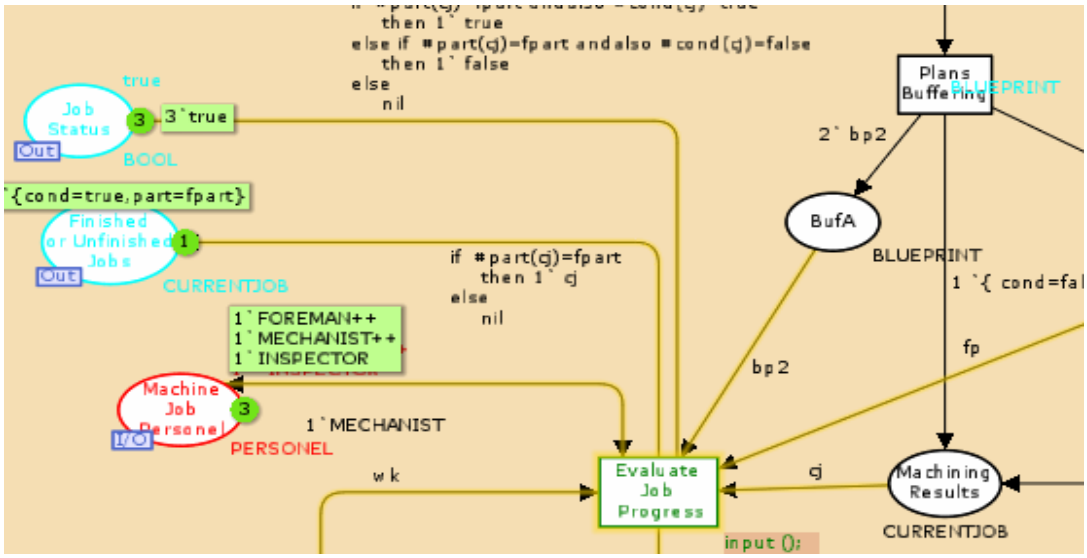
Στο 13ο βήμα της προσομοίωσης, πραγματοποιείται η μετάβαση ***Setup Machine Placel*** όπου ουσιαστικά γίνεται η κατάλληλη επιλογή εργαλείου βάσει της εντολής (μάρκα) nos (nextorderstep) και στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται το εργαλείο TOOLB. Σε αυτό το σημείο έχουμε παρέμβαση του συστήματος ελεγκτών (*Ελεγκτής Ανθρώπινων Λαθών*). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν εντοπίστηκε κάποιο ανθρώπινο σφάλμα ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάδραση και να επαναληφθούν οι προηγούμενες μεταβάσεις. Αντίθετα ο έλεγχος περνάει στην επόμενη μετάβαση που είναι η *Συναρμολόγηση*.

ΒΗΜΑΤΑ 14ο - 15ο



Εικόνα 58 – Βήμα 14ο

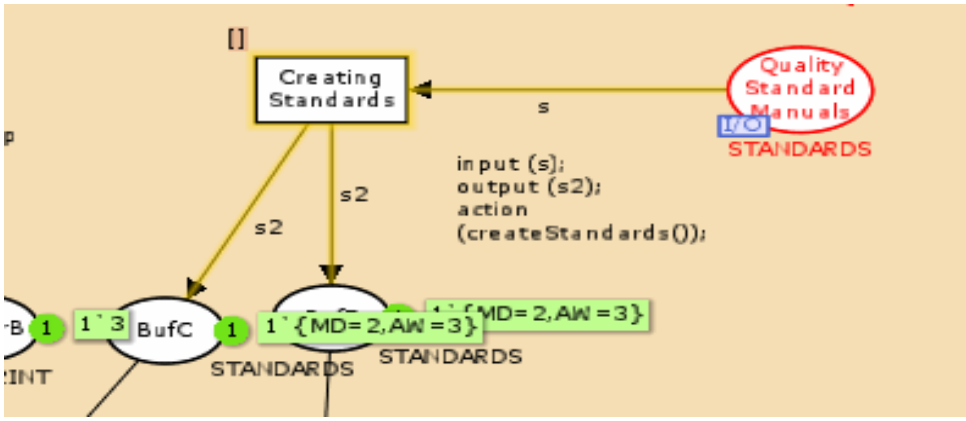
Στο 14° βήμα της προσομοίωσης, επιστρέφουμε στην ***Εκτέλεση Έργου***, όπου θα προχωρήσει η διαδικασία κατασκευής του εξαρτήματος. Με την βοήθεια του nos και του πεδίου RAW (πρώτων υλών) της εγγραφής Πακέτο Εργασίας, κατασκευάζεται τελικά το εξάρτημα και βγαίνει στην έξοδο σαν current job, μια εγγραφή που περιέχει το εξάρτημα αλλά και μία συνθήκη για το αν η δουλειά είναι ολοκληρωμένη ή όχι. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η δουλεία είναι τελειωμένη (cond = true).



Εικόνα 59 - Βήμα 15°

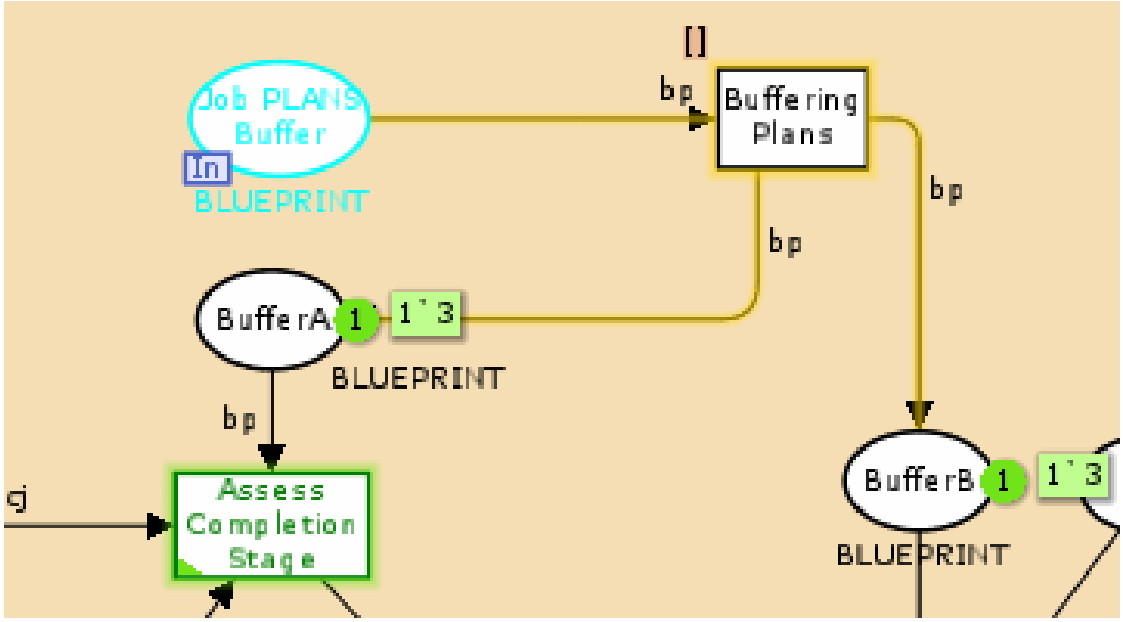
Στο 15° βήμα της προσομοίωσης, αφού έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή, ενεργοποιείται ξανά η μετάβαση ***Evaluate Job Progress*** που τελικά προωθεί το εξάρτημα προς το επόμενο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου*** (για έλεγχο) αλλά επίσης δίνει και μία πληροφορία για το αν η δουλεία είναι ημιτελής ή όχι. Σε αυτή την περίπτωση η δουλεία είναι πλήρης.

ΒΗΜΑΤΑ 16° - 21°



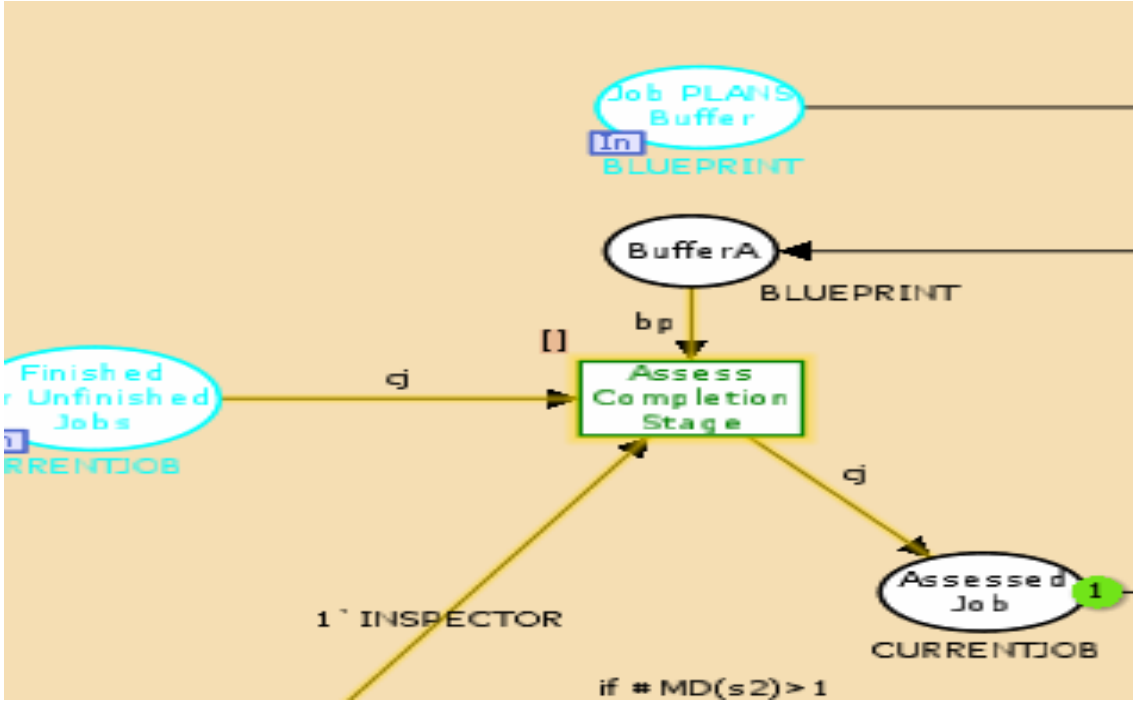
Εικόνα 60 - Βήμα 16ο

Στο 16ο βήμα της προσομοίωσης, βρισκόμαστε στον ***Έλεγχο Έργου***, όπου θα γίνει αξιολόγηση και αποτίμηση του εξαρτήματος που κατασκευάστηκε. Πιο συγκεκριμένα στο 16ο βήμα ενεργοποιούνται οι 2 buffers που προωθούν τα standards παρακάτω, για να χρησιμοποιηθούν με τη σειρά τους στην επαλήθευση της ορθότητας των κρίσιμων διαστάσεων του εξαρτήματος αλλά και στην ποιότητα της κατασκευής (measure critical dimensions & appraise work). Οι τιμές των standards είναι για αυτή την προσομοίωση {MD=2 , AW = 3}.



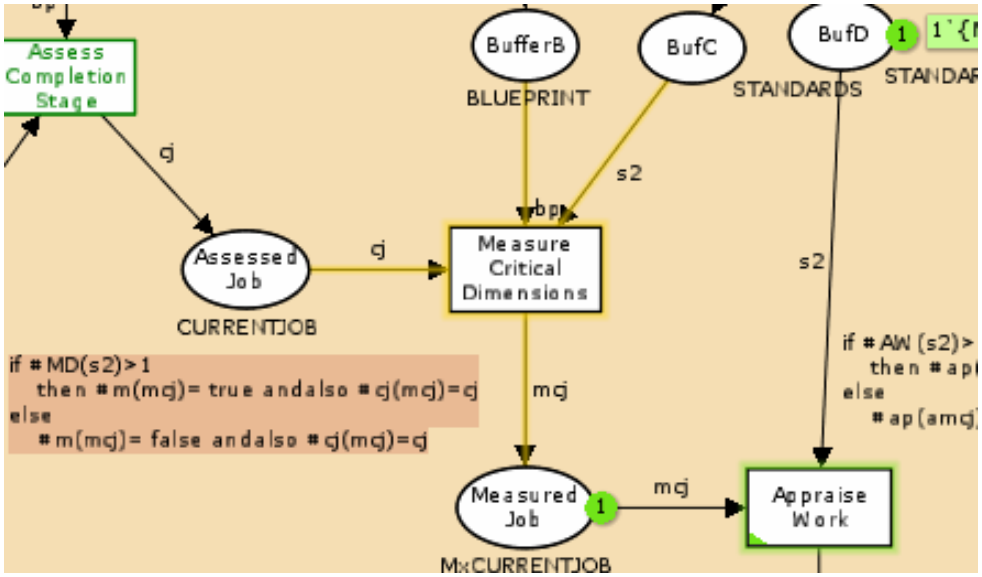
Εικόνα 61 - Βήμα 17ο

Στο 17ο βήμα της προσομοίωσης ενεργοποιούνται οι 2 buffers που προωθούν τα σχέδια παρακάτω, για να χρησιμοποιηθούν και αυτά προκείμενου να επαληθευτεί η ορθότητα των κρίσιμων διαστάσεων του εξαρτήματος αλλά και η ποιότητα της κατασκευής (measure critical dimensions & appraise work). Οι τιμές των σχεδίων είναι για αυτή την προσομοίωση είναι bp = 3.



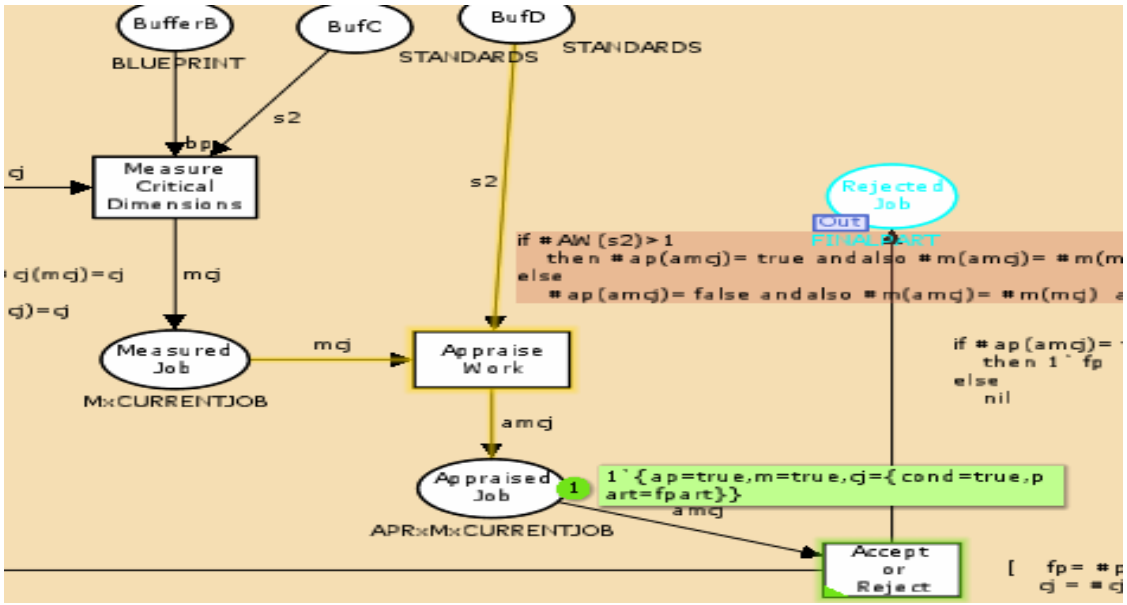
Εικόνα 62 - Βήμα 18°

Στο 18° βήμα της προσομοίωσης η finished job που έρχεται από το επίπεδο ***Εκτέλεση Έργου***, όπως περιγράψαμε προηγουμένως, προσπελαύνεται και με τη βοήθεια του κατάλληλου προσωπικού είναι έτοιμη για έλεγχο.



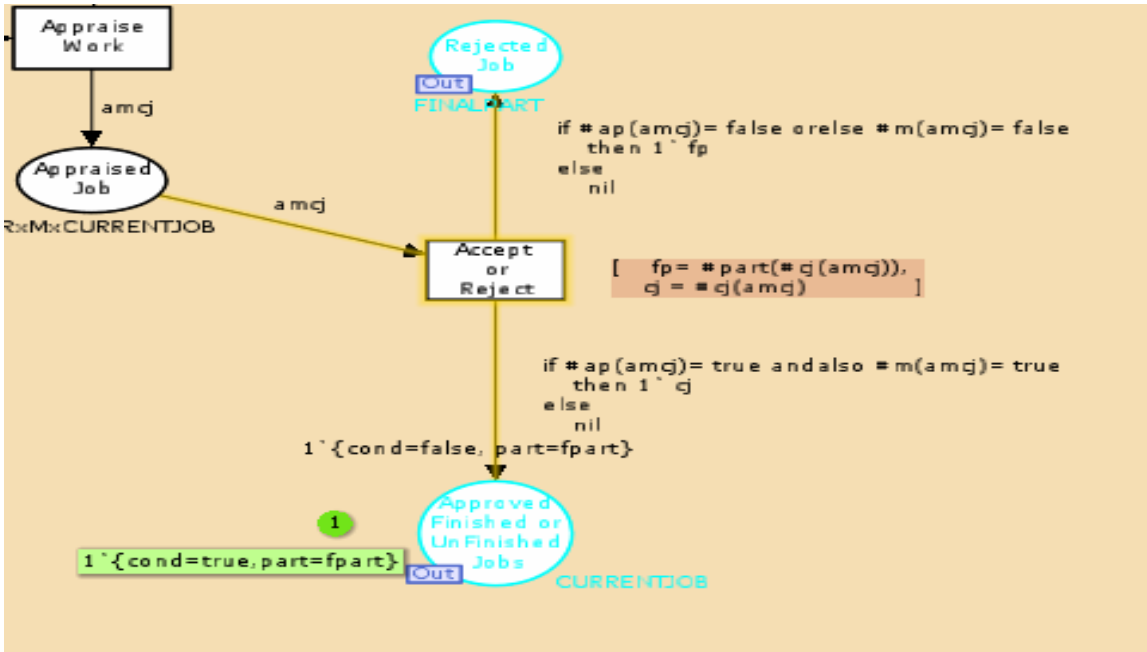
Εικόνα 63 - Βήμα 19°

Στο 19° βήμα της προσομοίωσης η assessed job (cj) ελέγχεται για τις διαστάσεις κατασκευής με την βοήθεια των προδιαγραφών (standards) και δημιουργείται στην έξοδο μία εγγραφή mcj που περιέχει τόσο την cj όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει εάν οι διαστάσεις του εξαρτήματος ήταν άρτιες (στην περίπτωση μας αυτή η συνθήκη είναι αληθής αφού con=true).



Εικόνα 64 - Βήμα 20°

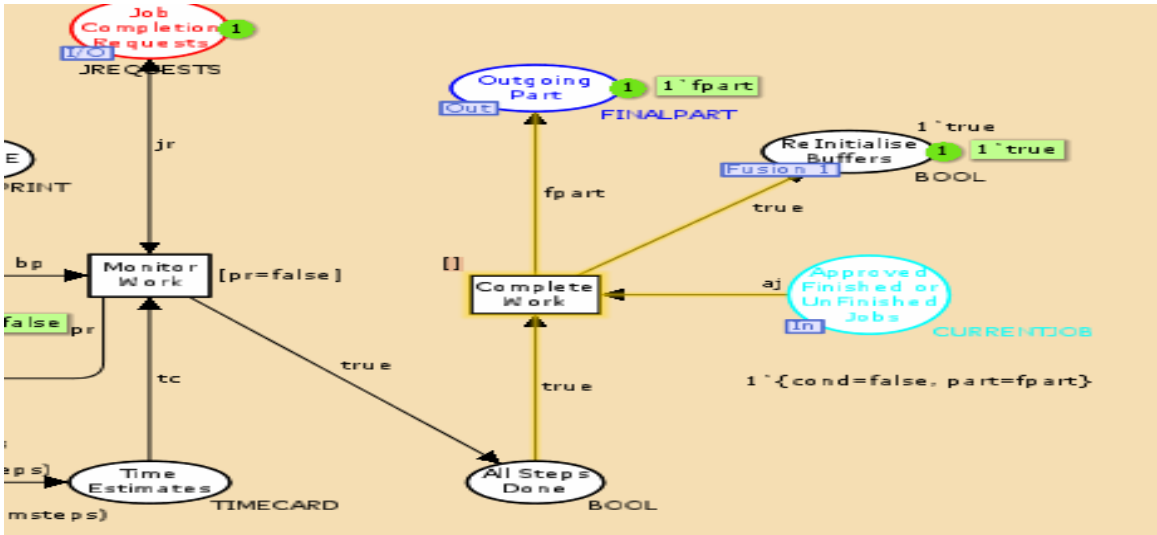
Στο 20° βήμα της προσομοίωσης ενεργοποιείται η μετάβαση ***Appraise Work***, δηλαδή η mcj ελέγχεται για την ποιότητα κατασκευής με την βοήθεια των προδιαγραφών (standards) και δημιουργείται στην έξοδο μια εγγραφή amcj που περιέχει τόσο την mcj όσο και μία συνθήκη που υποδηλώνει εάν η ποιότητα κατασκευής είναι αποδεκτή (στην περίπτωση μας αυτή η συνθήκη είναι αληθής αφού con=true).



Εικόνα 65 - Βήμα 21°

Στο 21° βήμα της προσομοίωσης ολοκληρώνονται οι εργασίες στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου*** και αναλόγως με τα αποτελέσματα των ελέγχων οι δουλείες γίνονται αποδεκτές και στέλνονται στη ***Διαχείριση Έργου*** για να βγουν σαν τελική έξοδος συστήματος ή επιστρέφονται στην ***Εκτέλεση Έργου*** για να γίνουν διορθώσεις. Στην περίπτωση μας, εφόσον οι διαστάσεις και η ποιότητα δουλείας είναι αποδεκτά, το κομμάτι στέλνεται στη ***Διαχείριση Έργου.***

ΒΗΜΑ 22°



Εικόνα 66 - Βήμα 22°

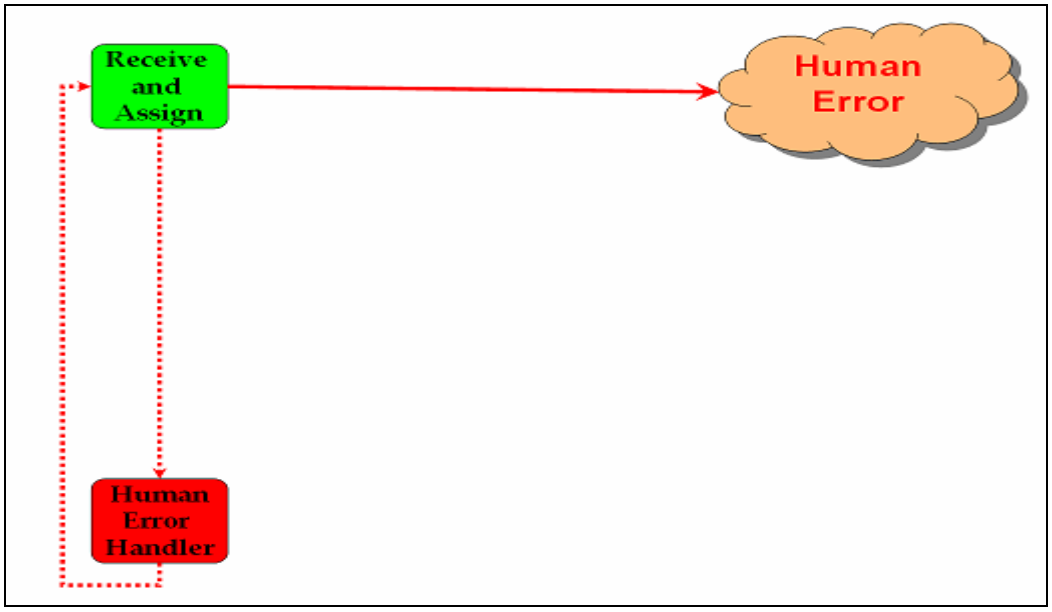
Στο 22° βήμα της προσομοίωσης, το οποίο είναι και το τελευταίο, επιστρέφουμε στο υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου***, όπου στέλνεται η αποπερατωμένη αποδεκτή δουλειά aj. Όπως είχαμε εξηγήσει στην αρχή της προσομοίωσης, όλα τα βήματα είχαν αποπερατωθεί για το υποσύστημα ***Διαχείριση Έργου*** και έμενε να σταλεί το αποτέλεσμα του υποσυστήματος ***Εκτέλεση Έργου,*** αφού πρώτα είχε ελεγχθεί από το υποσύστημα ***Έλεγχος Έργου***. Έτσι, το τελικό εξάρτημα (fpart) βγαίνει από τη γενική έξοδο του συνολικού συστήματος.

6.4 Συμπεράσματα Προσομοίωσης

Η παραπάνω προσομοίωση στοχεύει στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των συστήματος διαχείρισης ανθρώπινων λαθών. Το σύστημα αυτό παρεμβαίνει σε συγκεκριμένα σημεία των υπό-δικτύων Petri προκειμένου να περιορίσει εγκαίρως τον αντίκτυπο ενδεχόμενων ανθρώπινων σφαλμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση κατάλληλων αναδράσεων που προκαλούν επανάληψη τμήματος των εργασιών και όχι του συνόλου της διαδικασίας.

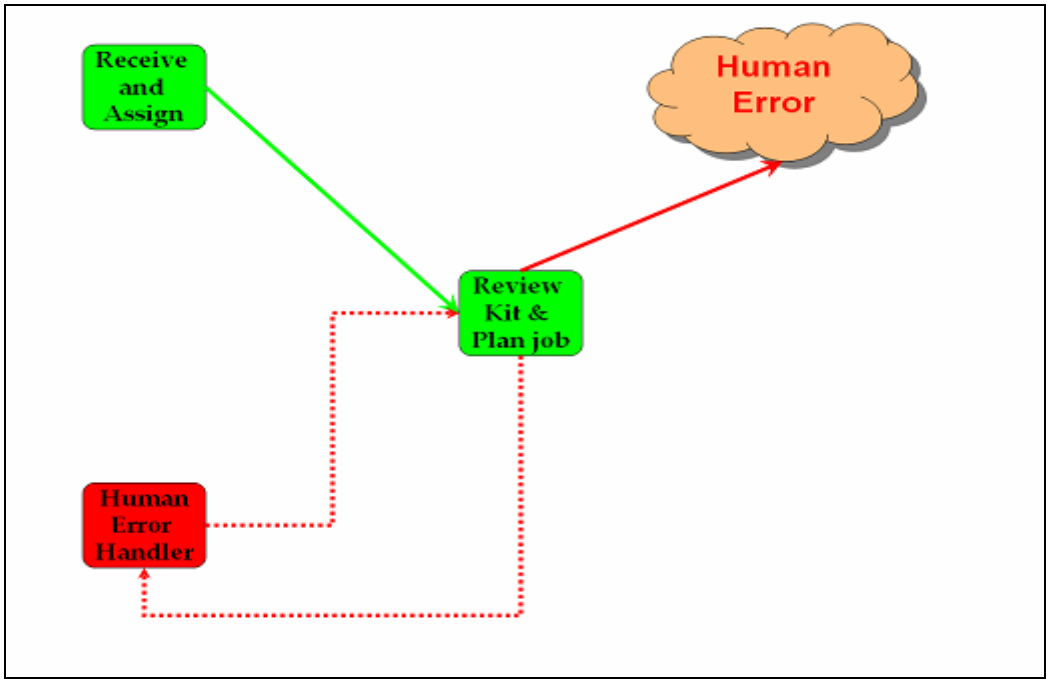
Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, σε κάποιες περιπτώσεις επαναλαμβάνεται μόνο η μετάβαση που προέκυψε το ανθρώπινο σφάλμα. Σε κάποιες άλλες όμως, αναγκαστικά επαναλαμβάνεται ένα μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας που περιλαμβάνει και κάποιες προηγούμενες μεταβάσεις εκτός από αυτή που έλαβε χώρα το ανθρώπινο σφάλμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι εν λόγω μεταβάσεις θεωρούνται αλληλένδετες με τη μετάβαση που εμφανίστηκε το ανθρώπινο σφάλμα και επιβάλλεται να επαναληφθούν.

Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω, θα ακολουθήσει σχηματική απεικόνιση των περιπτώσεων που επεμβαίνει το σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων λαθών και θα φανεί ποιες μεταβάσεις επαναλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση.



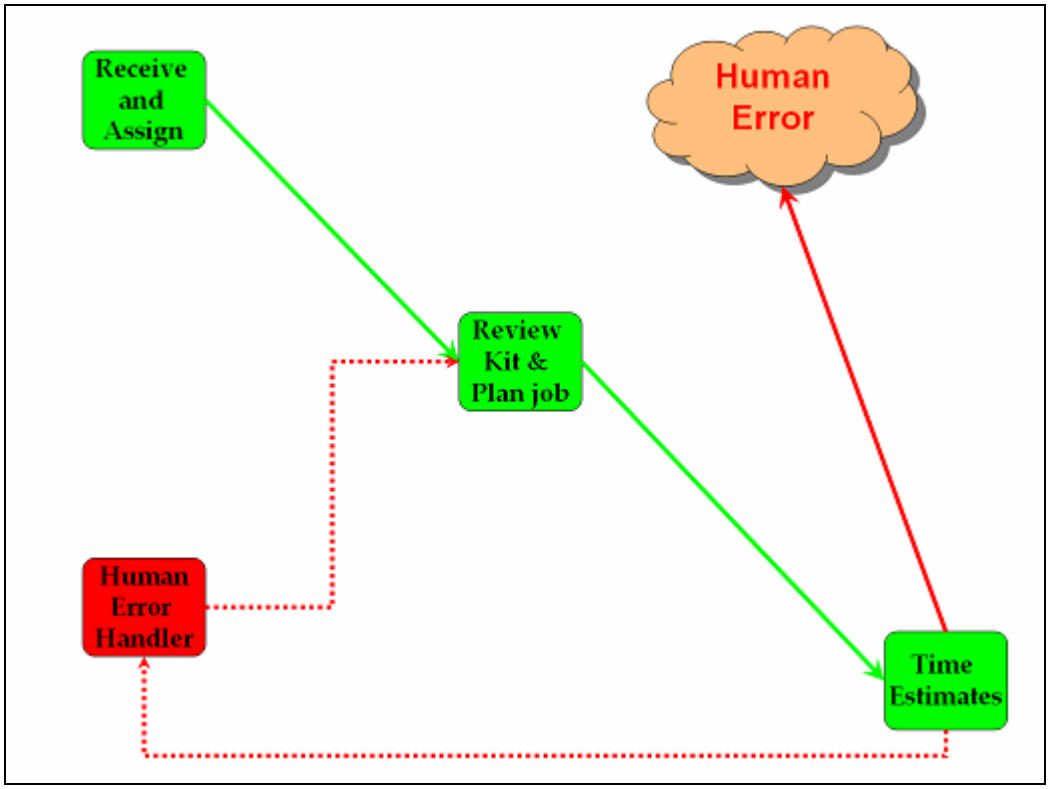
Εικόνα 67 - Ανθρώπινο Σφάλμα στην Ανάθεση Εργασιών

Η Εικόνα 67 υποδεικνύει πως όταν λάβει χώρα κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία ανάθεσης, τότε η διαδικασία σταματάει (δεν προχωράει στη μετάβαση ***Διεξαγωγή Σχεδίων***) αλλά ενεργοποιείται το ***Σύστημα Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών*** που αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει εκ νέου την μετάβαση ***Ανάθεση Εργασιών*** με το αρχικό ***Πακέτο Εργασίας*** ώστε να επαναληφθεί η μετάβαση της ανάθεσης εργασιών.



Εικόνα 68 - Ανθρώπινο Σφάλμα στην Εξαγωγή Σχεδίων

Εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς το προηγούμενο βήμα, τότε η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά με την ενεργοποίηση της μετάβασης ***Διεξαγωγή Σχεδίων.*** Σε αυτό το σημείο εξάγονται τα σχέδια κατασκευής αλλά και υπολογίζονται τα βήματα που θα χρειαστούν για την κατασκευή του εξαρτήματος. Η Εικόνα 68 υποδεικνύει πως όταν λάβει χώρα κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία ***Διεξαγωγή Σχεδίων***, τότε η διαδικασία σταματάει και ενεργοποιείται το ***Σύστημα Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών*** που αναλαμβάνει με την κατάλληλη ανάδραση να επαναληφθεί η μετάβαση της ***Διεξαγωγής Σχεδίων***.



Εικόνα 69 - Ανθρώπινο Σφάλμα στον Υπολογισμό της Χρονικής Διάρκειας

Η Εικόνα 69 υποδεικνύει πως όταν λάβει χώρα κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία ***Υπολογισμού της Χρονικής Διάρκειας***, τότε η διαδικασία σταματάει (αλλά ενεργοποιείται το ***Σύστημα Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών*** που αναλαμβάνει με την κατάλληλη ανάδραση να επαναληφθεί η μετάβαση της ***Διεξαγωγής Σχεδίων,*** *και στη συνέχεια η μετάβαση* ***Υπολογισμού της Χρονικής Διάρκειας***. Αυτό συμβαίνει γιατί (όπως εξηγήθηκε παραπάνω στο σχεδιασμό) οι δύο μεταβάσεις είναι αλληλένδετες και θα πρέπει να επαναληφθούν αμφότερες.

Συμπερασματικά, από τις προσομοιώσεις που παραθέσαμε αναδεικνύεται η σημαντικότητα και η σπουδαιότητα του συστήματος διαχείρισης και εντοπισμού ανθρωπίνων λαθών. Το σύστημα, όχι μόνο ανιχνεύει τα λάθη κατά τη στιγμή εμφάνισης τους, αλλά επιπλέον ενεργοποιεί ένα πλήθος αναδράσεων για την αντιμετώπιση τους.

Από την προηγούμενη προσομοίωση γίνεται κατανοητό ότι χωρίς το μηχανισμό εντοπισμού ανθρωπίνων λαθών, θα είχαμε λάβει ένα ελαττωματικό εξάρτημα το οποίο θα γινόταν αντιληπτό κατά τον εποπτικό έλεγχο στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου***. Σε μία τέτοια περίπτωση θα είχε δαπανηθεί πολύτιμος χρόνος και πόροι για την εξαρχής εσφαλμένη κατασκευή.

Με τον παραπάνω μηχανισμό όμως, το ανθρώπινο σφάλμα ανιχνεύθηκε εγκαίρως και με την πυροδότηση της κατάλληλης ανάδρασης επαναλήφθηκε μόνο ένα τμήμα της διαδικασίας ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Έτσι στη συνέχεια η διαδικασία κύλησε ομαλά (χωρίς άλλα ανθρώπινα λάθη) και τελικά παράχθηκε ένα άρτιο εξάρτημα.

Τελικά η χρήση του παραπάνω μηχανισμού κρίνεται απαραίτητη εφόσον επιθυμούμε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα μας σε ένα δυναμικό περιβάλλον που ο παράγων άνθρωπος παίζει σημαντικό ρόλο.

7. Σύγκριση Συστημάτων και Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

7.1 Προσδιορισμός Χρονικής Διάρκειας

Σε αυτό το σημείο θα επιχειρήσουμε να κάνουμε μία σύγκριση των δύο συστημάτων, του αρχικού και του νέου που έχει ενσωματώσει το Σύστημα Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών. Η σύγκριση θα αφορά τον χρόνο κατασκευής που απαιτεί η συνολική διαδικασία κατασκευής σε κάθε ένα από τα δύο συστήματα.

Πρωταρχικό βήμα για να γίνει η παραπάνω σύγκριση είναι να προσδιοριστεί η χρονική διάρκεια της κάθε μετάβασης των συστημάτων. Αυτή η χρονική διάρκεια προσδιορίζεται σε Χρονικές Μονάδες. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν απαιτεί η κάθε εργασία τον ίδιο χρόνο για να περατωθεί. Αντιθέτως, ο χρόνος της κάθε εργασίας ποικίλει και ουσιαστικά καθορίζεται από την πολυπλοκότητα της.

Αναλυτικότερα, έχουμε τέσσερις κύριες κατηγορίες μεταβάσεων που περιγράφονται παρακάτω:

1) **Μεταβάσεις Μηδενικής Χρονικής Διάρκειας:** Η χρονική διάρκεια των μεταβάσεων αυτών θεωρείται 0, δηλαδή δεν απαιτείται χρόνος για την ολοκλήρωση τους ή καλύτερα η χρονική διάρκεια περάτωσης τους είναι (σχεδόν) μηδενική. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μεταβάσεις σαν αυτές που φορτώνουν πληροφορίες σε buffers ή αναλαμβάνουν τη μεταφορά του εξαρτήματος από το ένα υποδίκτυο στο άλλο. Για απλοποίηση της διαδικασίας δεν θα ληφθούν υπόψη παρακάτω στον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας (ουσιαστικά απαλείφονται).

2) **Μεταβάσεις Μικρής Χρονικής Διάρκειας:** Η χρονική διάρκεια των μεταβάσεων αυτών θεωρείται 1 ή 2, δηλαδή η χρονική διάρκεια περάτωσης τους είναι ίση με μία Χρονική Μονάδα ή με δύο. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μεταβάσεις που επιτελούν πολύ σύντομες εργασίες, μικρού ή μηδαμινού υπολογιστικού φόρτου και είναι κυρίως εργασίες συντονισμού.

3) **Μεταβάσεις Μεσαίας Χρονικής Διάρκειας:** Η χρονική διάρκεια των μεταβάσεων αυτών θεωρείται 3 ως 5, δηλαδή η χρονική διάρκεια περάτωσης τους είναι ίση με τρεις ως πέντε Χρονικές Μονάδες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μεταβάσεις που επιτελούν πιο σύνθετες εργασίες από την προηγούμενη κατηγορία. Αυτές οι εργασίες είναι μεσαίου υπολογιστικού φόρτου και είναι κυρίως εργασίες υπολογισμού μεταβλητών ή εργασίες ελέγχου.

4) **Μεταβάσεις Υψηλής Χρονικής Διάρκειας:** Η χρονική διάρκεια των μεταβάσεων αυτών θεωρείται 8 ως 10, δηλαδή η χρονική διάρκεια περάτωσης τους είναι ίση με οκτώ ως δέκα Χρονικές Μονάδες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μεταβάσεις που επιτελούν τις πιο σύνθετες εργασίες του συστήματος. Αυτές είναι εργασίες υψηλού υπολογιστικού φόρτου και αυτό αντικατοπτρίζεται από την υψηλή τιμή της χρονικής διάρκειας τους. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι εργασίες της Συναρμολόγησης και της Κατάλληλης Ρύθμισης του Χώρου Εργασίας.

Στον παρακάτω πίνακα θα παρατεθούν οι χρονικές διάρκειες των μεταβάσεων αναλυτικά και θα προσδιοριστεί η συνολική χρονική διάρκεια της κατασκευής ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος σε χρονικές μονάδες.

Παρατηρούμε ότι οι μεταβάσεις παρατίθενται με τη σειρά που απαντώνται κατά την διαδικασία κατασκευής και επίσης παραλείπονται (για απλούστευση) οι περισσότερες μεταβάσεις της πρώτης κατηγορίας (μηδενικής χρονικής διάρκειας).

ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ	ΧΡΟΝΟΣ
Ανάθεση Εργασιών	1 ως 2
Παραγωγή Σχεδίων και Βημάτων Κατασκευής	3 ως 5
Υπολογισμός Χρονικής Διάρκειας Κατασκευής	3 ως 5
Επόπτευση Έργου	0
Επιλογή Εργαλείων	3 ως 5
Ρύθμιση Χώρου Εργασίας	8 ως 10
Συναρμολόγηση	8 ως 10
Έλεγχος Κρίσιμων Διαστάσεων	3 ως 5
Έλεγχος Απαιτούμενων Προδιαγραφών	3 ως 5
Αποδοχή - Απόρριψη Εξαρτήματος	3 ως 5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	**35 ως 52**

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε, ότι ο χρόνος κατασκευής ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος είναι από **35 ως 52 χρονικές μονάδες**. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που δεν εμφανιστεί κανένα σφάλμα κατά τη διαδικασία παραγωγής και εφόσον η ολοκλήρωση αυτής περατωθεί ομαλά.

Στην περίπτωση αυτή δεν πυροδοτείται καμία ανάδραση και η διαδικασία παραγωγής διεξάγεται κανονικά ενώ στο τέλος λαμβάνεται ένα άρτιο εξάρτημα για το οποίο δεν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία. Στην περίπτωση όμως που υπάρξει κάποιο σφάλμα η χρονική διάρκεια της κατασκευής επιμηκύνεται.

Όπως θα επεξηγηθεί παρακάτω, στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινου λάθους κάθε ένα από τα δύο συστήματα συμπεριφέρεται διαφορετικά και έτσι έχουμε διαφορετική επιμήκυνση της χρονικής διάρκειας κατασκευής.

7.2 Επιμήκυνση Χρονικής Διάρκειας Κατασκευής 1ου Συστήματος

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να επεξηγηθεί ότι στο αρχικό σύστημα η εμφάνιση ενός ενδεχόμενου ανθρώπινου σφάλματος θα οδηγήσει σε ένα ελαττωματικό εξάρτημα το οποίο θα γίνει αντιληπτό κατά τον εποπτικό έλεγχο στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου.***

Έτσι η χρονική διάρκεια του έργου θα επιμηκυνθεί κατά 28 ως 40 χρονικές μονάδες όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα, αφού θα επαναληφθεί όλη η διαδικασία *Εκτέλεσης Έργου* και *Ελέγχου έργου*.

ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ	ΧΡΟΝΟΣ	
Ανάθεση Εργασιών	1 ως 2	
Παραγωγή Σχεδίων και Βημάτων Κατασκευής	3 ως 5	
Υπολογισμός Χρονικής Διάρκειας Κατασκευής	3 ως 5	
Επόπτευση Έργου	0	
Επιλογή Εργαλείων	3 ως 5	3 ως 5
Ρύθμιση Χώρου Εργασίας	8 ως 10	8 ως 10
Συναρμολόγηση	8 ως 10	8 ως 10
Έλεγχος Κρίσιμων Διαστάσεων	3 ως 5	3 ως 5
Έλεγχος Απαιτούμενων Προδιαγραφών	3 ως 5	3 ως 5
Αποδοχή - Απόρριψη Εξαρτήματος	3 ως 5	3 ως 5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΡΓΟΥ	**35 ως 52**	28 ως 40

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα δεν δρα με καθόλου προσαρμοστικό τρόπο αφού σε κάθε περίπτωση ανθρώπινου σφάλματος το εντοπίζει πολύ αργά στο υποδίκτυο Έλεγχος Έργου. Έτσι επαναλαμβάνονται όλες οι εργασίες των ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου. Αυτό συμβαίνει γιατί το αρχικό σύστημα δεν διαθέτει κατάλληλους μηχανισμούς ελέγχου λαθών σε καίρια σημεία της διαδικασίας όπως το νέο σύστημα.***

7.3 Επιμήκυνση Χρονικής Διάρκειας Κατασκευής 2ου Συστήματος

Αντιθέτως, στο νέο σύστημα με τον μηχανισμό διαχείρισης ανθρώπινων λαθών, το ανθρώπινο σφάλμα ανιχνεύεται εγκαίρως και με την πυροδότηση της κατάλληλης ανάδρασης επαναλαμβάνεται μόνο ένα τμήμα της διαδικασίας ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Έτσι στη συνέχεια η διαδικασία κυλάει ομαλά (χωρίς άλλα ανθρώπινα λάθη) και τελικά παράγεται ένα άρτιο εξάρτημα.

Αναλόγως με το τμήμα της διαδικασίας που επαναλαμβάνεται έχουμε μεταβλητή επιμήκυνση του χρόνου κατασκευής αλλά που σε καμία περίπτωση δεν εξισώνεται με τις 28 ως 40 χρονικές μονάδες που απαιτεί η επανάληψη ολόκληρης της διαδικασίας ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου.***

Πιο συγκεκριμένα, η επιπλέον αύξηση της συνολικής χρονικής διάρκειας κατασκευής του νέου συστήματος (στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινου σφάλματος) ισούται με το άθροισμα των χρονικών διαρκειών των μεταβάσεων που επαναλαμβάνονται.

Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα έχει τη δυνατότητα να δρα με προσαρμοστικό τρόπο στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινου λάθους και να περιορίζει τον αντίκτυπο του στη διαδικασία παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη ενσωμάτωση του συστήματος διαχείρισης ανθρώπινων λαθών στο αρχικό δίκτυο. Το σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων λαθών επιτελεί πολλαπλούς ελέγχους σε πολλά σημεία της διαδικασίας και έτσι εντοπίζει άμεσα, ενδεχόμενα ανθρώπινα σφάλματα. Έτσι **ΔΕΝ** επαναλαμβάνονται όλες οι εργασίες των ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου*** όπως την προηγούμενη περίπτωση του αρχικού συστήματος.

7.4 Πρότυπα Σενάρια Κατασκευής

Σε αυτό το σημείο θα παραθέσουμε τα 100 πρότυπα σενάρια που κατασκευάσαμε προκείμενου να προβούμε σε σύγκριση των δύο συστημάτων. Οι προσομοιώσεις έγιναν και στα 2 συστήματα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Από τα παρακάτω 100 σενάρια, τα 10 δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος ενώ τα υπόλοιπα 90 είχαν ποικίλα ανθρώπινα σφάλματα. Αναλυτικότερα :

ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΛΑΘΟΥΣ				
Αριθμός Δειγμάτων	**Receive and Assign**	**Time Estimates**	**Setup Machine Place**	**Machine and Assemble**
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Στη συνέχεια έτρεξαν 100 προσομοιώσεις στο κάθε ένα από τα δύο συστήματα και παρακάτω θα παρατεθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι στο πρώτο σύστημα, οποιοδήποτε ανθρώπινο σφάλμα θα γίνει αντιληπτό κατά τον εποπτικό έλεγχο στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου.*** Έτσι, **σε κάθε περίπτωση** η χρονική διάρκεια του έργου θα **επιμηκυνθεί κατά 28 εως 40 χρονικές μονάδες** όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα, αφού θα επαναληφθεί όλη η διαδικασία ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου.***

7.5 Αναμενόμενα Αποτελέσματα Προσομοιώσεων 1ου Συστήματος

Στον παρακάτω πίνακα θα επεξηγηθεί ποιες θα είναι οι τιμές των αναμενόμενων αποτελεσμάτων ή καλύτερα σε πιο εύρος τιμών θα κινούνται τα αποτελέσματα.

ΑΡΧΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ					
	ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΛΑΘΟΣ				
Αριθμός Δειγμάτων	Receive and Assign	Review Kit and Plan Job	Setup Machine Place	Machine and Assemble	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	35 εως 52
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	63 εως 92
10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	63 εως 92
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	63 εως 92
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	63 εως 92
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	63 εως 92
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	63 εως 92
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	63 εως 92
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	63 εως 92
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	63 εως 92

Σχετικά με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του 1ου Συστήματος (που θα ακολουθήσουν) αναμένουμε τα παρακάτω: Στο δείγμα των 10 περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια αναμένεται να βρίσκεται μεταξύ των **35 ως 52 χρονικών μονάδων.** Στην τιμή δηλαδή που ανταποκρίνεται στην ιδανική περίπτωση κατασκευής εξαρτήματος σε ιδανικό περιβάλλον χωρίς ανθρώπινα σφάλματα. Σε κάθε άλλη περίπτωση η χρονική διάρκεια του έργου αναμένεται να **επιμηκυνθεί κατά 28 ως 40 χρονικές μονάδες**, αφού θα επαναληφθεί όλη η διαδικασία ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου.*** Ακριβώς παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του 1ου Συστήματος που επιβεβαιώνουν τις αρχικές υποθέσεις.

7.6 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων 1ου Συστήματος

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για το πρώτο σύστημα παρουσιάζονται ακριβώς παρακάτω.

ΑΡΧΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ							
	ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΛΑΘΟΣ				ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		
Αριθμός Δειγμάτων	Receive and Assign	Review Kit and Plan Job	Setup Machine Place	Machine and Assemble	MEAN	MAX	MIN
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	44	48	41
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	76	80	73
10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	78	81	72
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	78	81	75
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	76	80	74
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	77	79	71
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	78	83	72
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	78	80	72
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	78	81	75
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	77	81	72
ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ					**74**	**83**	**41**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω προσομοιώσεων παρατηρούμε τα εξής:

- Το πρώτο κύριο συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε είναι το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του 1ου Συστήματος συμφωνούν απόλυτα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα που προηγήθηκαν.

- Από τις μέγιστες **(MAX)** και ελάχιστες **(MIN)** τιμές που παραθέτουμε διαπιστώνουμε ότι όντως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κινούνται στο εύρος τιμών που είχαμε περιγράψει.

- Στο δείγμα των 10 περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια της κατασκευής έχει **μέση τιμή (MEAN) 44**, μέγιστη τιμή **(MAX) 48** και ελάχιστη τιμή **(MIN) 41**. Τα παραπάνω νούμερα συμφωνούν με αυτά που είχαμε περιγράψει στην ιδανική περίπτωση κατασκευής εξαρτήματος σε ιδανικό περιβάλλον χωρίς ανθρώπινα σφάλματα, την αρχική τιμή των **35 ως 52 χρονικών μονάδων.**

- Σε κάθε άλλη περίπτωση η χρονική διάρκεια του έργου θα **επιμηκυνθεί κατά 28 ως 40 χρονικές μονάδες**, αφού θα επαναληφθεί όλη η διαδικασία ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου*.**

- Παρατηρούμε ότι, (με εξαίρεση την πρώτη κατηγορία που δεν έχουμε ανθρώπινο λάθος) σε όλες τις κατηγορίες οι τιμές των στατιστικών μεγεθών **(MEAN, MAX, MIN)** είναι **παραπλήσιες**. Αυτό επιβεβαιώνει την παραπάνω υπόθεση ότι η χρονική διάρκεια του έργου επιμηκύνεται **κατά 28 ως 40 χρονικές μονάδες.** Αυτό συμβαίνει γιατί όπως εξηγήθηκε το αρχικό σύστημα δεν έχει μηχανισμό διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών. Έτσι οποιοδήποτε σφάλμα προκύψει γίνεται αντιληπτό στο υποδίκτυο ***Έλεγχος Έργου*** και οδηγεί σε επανάληψη όλων των εργασιών που συμπεριλαμβάνονται στα υποσυστήματα ***Εκτέλεση Έργου*** και ***Έλεγχος Έργου***

- Ουσιαστικά αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι το αρχικό σύστημα δεν δρα με καθόλου προσαρμοστικό τρόπο στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινων σφαλμάτων. Αντίθετα τα αντιμετωπίζει όλα με τον ίδιο τρόπο και αυτό αντικατοπτρίζεται στις παραπλήσιες τιμές των παραπάνω στατιστικών μεγεθών.

7.7 Αναμενόμενα Αποτελέσματα Προσομοιώσεων 2ου Συστήματος

Στη συνέχεια έγιναν 100 προσομοιώσεις και για το δεύτερο σύστημα και παρακάτω θα παρατεθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα και στη συνέχεια τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Στο δεύτερο σύστημα, σε αντίθεση με το αρχικό σύστημα, τα ανθρώπινα σφάλματα έγιναν αντιληπτά στο σημείο που δημιουργήθηκαν και όχι στο τέλος, στο υποδίκτυο Έλεγχος Έργου. Αναλόγως με το τμήμα της διαδικασίας που επαναλαμβάνεται έχουμε μεταβλητή επιμήκυνση του χρόνου κατασκευής. Αυτή η επιμήκυνση όμως σε καμία περίπτωση δεν εξισώνεται με τις επιπλέον 28 ως 40 χρονικές μονάδες που απαιτεί η επανάληψη ολόκληρης της διαδικασίας ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου*** που παρατηρήσαμε παραπάνω στο 1ο σύστημα**.**

Πιο συγκεκριμένα η επιπλέον αύξηση της συνολικής χρονικής διάρκειας κατασκευής του νέου συστήματος (στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινου σφάλματος) ισούται με το άθροισμα των χρονικών διαρκειών των μεταβάσεων που επαναλαμβάνονται.

Αναλυτικότερα, η **αύξηση** σε χρονικές μονάδες ανάλογα με την μετάβαση που λαμβάνει χώρα το ανθρώπινο σφάλμα είναι τα παρακάτω:

- Ανθρώπινο Λάθος στην **Ανάθεση Εργασιών (Receive and Assign)**
    - Επιπλέον αύξηση = κόστος μετάβασης **Ανάθεσης Εργασιών (1 - 2) = 1 ως 2 χρονικές μονάδα.**
- Ανθρώπινο Λάθος στον **Υπολογισμό Σχεδίων και Βημάτων Εκτέλεσης (Review Kit And Plan Job)**
    - Επιπλέον αύξηση = κόστος μετάβασης **Ανάθεσης Εργασιών** (1 - 2) + κόστος μετάβασης **Υπολογισμός Σχεδίων και Βημάτων Εκτέλεσης (3 - 5) = 4 - 7 χρονικές μονάδες.**

- Ανθρώπινο Λάθος στην **Ρύθμιση Χώρου Εργασίας (Setup Machine Place)**
    - Επιπλέον αύξηση = κόστος μετάβασης **Επιλογής Εργαλείων (3 - 5)** + κόστος μετάβασης **Κατάλληλη Ρύθμισης Χώρου Εργασίας (8 - 10) = 11 ως 15 χρονικές μονάδες.**

- Ανθρώπινο Λάθος στην **Συναρμολόγηση Εξαρτήματος (Machine And Assemble)**
    - Επιπλέον αύξηση = κόστος μετάβασης **Συναρμολόγησης Εξαρτήματος = 8 ως 10 χρονικές μονάδες.**

Στον παρακάτω πίνακα θα επεξηγηθεί ποιες θα είναι οι τιμές των αναμενόμενων αποτελεσμάτων ή καλύτερα σε πιο εύρος τιμών θα κινούνται τα αποτελέσματα.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΑΘΩΝ					
	ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΛΑΘΟΣ				
Αριθμός Δειγμάτων	**Receive and Assign**	**Review Kit and Plan Job**	**Setup Machine Place**	**Machine and Assemble**	**ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ**
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	35 έως 52
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	36 έως 54
10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	38 έως 57
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	39 έως 59
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	45 έως 67
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	43 έως 62
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	53 έως 77
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	54 έως 79
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	44 έως 64
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	57 έως 87

Σχετικά με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του 2^{ου} Συστήματος (που θα ακολουθήσουν) αναμένουμε τα παρακάτω:

- Στο δείγμα των 10 περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια της κατασκευής θα παραμείνει σταθερή στο αρχικό εύρος: **35 ως 52 χρονικών μονάδων.** Στο εύρος τιμών δηλαδή που ανταποκρίνεται στην ιδανική περίπτωση κατασκευής εξαρτήματος σε ιδανικό περιβάλλον χωρίς ανθρώπινα σφάλματα.

- Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, αναλόγως με το τμήμα της διαδικασίας που επαναλαμβάνεται αναμένεται να έχουμε μεταβλητή επιμήκυνση του χρόνου κατασκευής. Αυτή η επιμήκυνση αναμένεται να αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό των λαθών που εμφανίζονται στο σύστημα. Σε καμία περίπτωση όμως, δεν εξισώνεται με τις χρονικές μονάδες που απαιτεί η επανάληψη ολόκληρης της διαδικασίας ***Εκτέλεσης Έργου*** και ***Ελέγχου έργου.***

- Ακόμα και σε ακραία σενάρια εμφάνισης πολλών ανθρώπινων λαθών σε όλη τη διαδικασία το δεύτερο σύστημα αναμένεται να συμπεριφέρεται καλύτερα και αποφέρει μικρότερη αύξηση από το πρώτο σύστημα. Η μεγαλύτερη τιμή της χρονικής διάρκειας στο αρχικό σύστημα (στην περίπτωση ανθρώπινου λάθους) ανήκε στο εύρος **63 ως 92 χρονικές μονάδες**. Αντίθετα, στο δεύτερο σύστημα, η μέγιστη τιμή της χρονικής διάρκειας λαμβάνεται στο ακραίο σενάριο εμφάνισης όλων των πιθανών ανθρώπινων λαθών και ανήκει στο διάστημα **57 ως 87 χρονικών μονάδων**. Αναμένεται δηλαδή και πάλι μικρότερη από την αντίστοιχη του αρχικού συστήματος.

7.8 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων 2ου Συστήματος

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για το δεύτερο σύστημα παρουσιάζονται ακριβώς παρακάτω.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΑΘΩΝ							
	ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΛΑΘΟΣ				ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		
Αριθμός Δειγμάτων	**Receive and Assign**	**Review Kit and Plan Job**	**Setup Machine Place**	**Machine and Assemble**	**MEAN**	**MAX**	**MIN**
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	43	46	37
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	47	49	44
10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	55	58	52
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	56	60	53
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	53	56	49
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	48	52	45
10	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	56	60	51
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	60	64	56
10	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	51	57	46
10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	78	84	75
ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ					**55**	**84**	**37**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω προσομοιώσεων παρατηρούμε τα εξής:

- Το πρώτο κύριο συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε είναι το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του 2ου Συστήματος συμφωνούν απόλυτα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα που προηγήθηκαν.

- Από τις μέγιστες **(MAX)** και ελάχιστες **(MIN)** τιμές που παραθέτουμε διαπιστώνουμε ότι όντως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κινούνται στο εύρος τιμών που είχαμε περιγράψει.

- Στο δείγμα των 10 περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια της κατασκευής έχει **μέση τιμή (MEAN) 43**, μέγιστη τιμή **(MAX) 46** και ελάχιστη τιμή **(MIN) 37**. Τα παραπάνω νούμερα συμφωνούν με αυτά που είχαμε περιγράψει στην ιδανική περίπτωση κατασκευής εξαρτήματος σε ιδανικό περιβάλλον χωρίς ανθρώπινα σφάλματα, την αρχική τιμή των **35 ως 52 χρονικών μονάδων.**

- Σε κάθε άλλη περίπτωση η χρονική διάρκεια του έργου επιμηκύνεται ανάλογα με τις μεταβάσεις που επαναλαμβάνονται, όπως εξηγήθηκε παραπάνω.

- Επίσης παρατηρούμε ότι η αύξηση της χρονικής διάρκειας εξαρτάται άμεσα από το είδος της μετάβασης που επαναλαμβάνεται (Μικρής – Μεσαίας – Μεγάλης Χρονικής Διάρκειας)

- Παρατηρούμε ότι, (με εξαίρεση την πρώτη κατηγορία που δεν έχουμε ανθρώπινο λάθος) σε όλες τις κατηγορίες οι αυξήσεις στις τιμές των στατιστικών μεγεθών **(MEAN, MAX, MIN)** είναι σχεδόν ανάλογες με τον αριθμό των ανθρώπινων σφαλμάτων που λαμβάνουν χώρα. Αυτό επιβεβαιώνει την παραπάνω υπόθεση ότι η επιμήκυνση αναμένεται να αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό των λαθών που εμφανίζονται στο σύστημα**.** Αυτό συμβαίνει γιατί το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται με πιο προσαρμοστικό τρόπο και αυτό φαίνεται από τα πιο μικρές αυξήσεις σε χρονικές μονάδες.

- Ουσιαστικά αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι το νέο σύστημα δρα με προσαρμοστικό τρόπο στην περίπτωση εμφάνισης ανθρώπινων σφαλμάτων, και τα αντιμετωπίζει διαφορετικά σε κάθε περίπτωση. Αυτό αντικατοπτρίζει στις χαμηλότερες τιμές των στατιστικών μεγεθών συγκριτικά με το πρώτο σύστημα.

7.9 Συγκριτικά Αποτελέσματα Προσομοιώσεων των δύο Συστημάτων

Σε αυτό το σημείο θα παρατεθεί ένας συγκριτικός πίνακας των προσομοιώσεων των δύο συστημάτων προκειμένου να μπορέσουμε να κάνουμε μία άμεση σύγκριση αυτών.

Συγκριτικός Πίνακας Συστημάτων									
		Αρχικό Σύστημα				Σύστημα Διαχείρισης Ανθρώπινων Λαθών			
Κατηγορία Δειγμάτων	**Αριθμός Δειγμάτων**	**MEAN**	**MAX**	**MIN**	**DEV**	**MEAN**	**MAX**	**MIN**	**DEV**
1η	10	44	48	41	2,06	43	46	37	2,68
2η	10	76	80	73	1,94	47	49	44	1,62
3η	10	78	81	72	2,75	55	58	52	2,01
4η	10	78	81	75	1,77	56	60	53	2,22
5η	10	76	80	74	1,71	53	56	49	2,32
6η	10	77	79	71	2,51	48	52	45	2,41
7η	10	78	83	72	3,58	56	60	51	2,39
8η	10	78	80	72	2,26	60	64	56	2,39
9η	10	78	81	75	2,11	51	57	46	3,41
10η	10	77	81	72	2,74	75	82	71	2,67

Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των δύο συστημάτων παρατηρούμε τα παρακάτω:

Στο δείγμα των 10 περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια της κατασκευής παραμένει σταθερή στην αρχική τιμή των **35 ως 51 χρονικών μονάδων. Αυτό διακρίνεται και από τις κοντινές μέσες τιμές των δύο συστημάτων (44 και 43). Σε αυτή την περίπτωση τα δύο συστήματα συμπεριφέρονται πανομοιότυπα και οι χρονικές διάρκειες της κατασκευής είναι ταυτόσημες σε αυτά.** Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο αφού πρόκειται για ιδανικές περιπτώσεις όπου δεν λαμβάνουν χώρα ανθρώπινα σφάλματα.

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται με πιο προσαρμοστικό τρόπο και αυτό φαίνεται από τα πιο μικρές αυξήσεις σε χρονικές μονάδες, όπως φαίνεται και από τον παραπάνω συγκριτικό πίνακα.

Ένα τελευταίο συμπέρασμα που μπορούμε εύκολα να εξάγουμε από τον παραπάνω συγκριτικό πίνακα είναι το γεγονός ότι ακόμα και σε ακραία σενάρια εμφάνισης πολλών ανθρώπινων λαθών το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται καλύτερα και αποφέρει μικρότερα κόστη από το πρώτο. Αυτό είναι λογικό αφού στο πρώτο σύστημα, ένα ενδεχόμενο σφάλμα γίνεται αντιληπτό πολύ αργά στο τελευταίο υπό-δίκτυο **Έλεγχος Έργου** και υπάρχει αντίκτυπος στην όλη διαδικασία παραγωγής. Έτσι ουσιαστικά επαναλαμβάνονται όλες οι εργασίες των υπό-δικτύων **Εκτέλεση Έργου** και **Έλεγχος Έργου.**

Αντίθετα στο δεύτερο σύστημα κάθε ανθρώπινο σφάλμα αντιμετωπίζεται άμεσα περιορίζοντας τον αντίκτυπο του στη διαδικασία παραγωγής κάτι που αντικατοπτρίζεται από τα εμφανώς μικρότερα κόστη σε σχέση με το αρχικό σύστημα.

Παραπλανητικό (και μάλλον πλασματικό) είναι το γεγονός ότι στην τελευταία κατηγορία το 2^{ο} Σύστημα δείχνει να παρουσιάζει υψηλότερη **μέγιστη τιμή (MAX=82)** από το 1^{ο} Σύστημα **(MAX=81)** και μάλλον οφείλεται στο ότι το δείγμα ήταν περιορισμένο (100 δείγματα). Επιπλέον, η χαμηλότερη μέση τιμή του 2^{ου} Συστήματος (στην τελευταία κατηγορία **MEAN2=75 < MEAN1=77**) επιβεβαιώνει ότι το σύστημα αποδίδει καλύτερα από το αρχικό, ακόμα και στο ακραίο σενάριο των πολλών λαθών.

Κλείνοντας τη σύγκριση των δύο συστημάτων θα παρατεθεί ο γενικός συγκριτικός πίνακας με τα στατιστικά μεγέθη εφ' όλου του δείγματος και όχι ανά κατηγορίες λαθών.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ)				
	MEAN	**MAX**	**MIN**	**DEV**
ΑΡΧΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	74	83	41	10,2088
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΛΑΘΩΝ	55	82	37	9,61218

Ο παραπάνω πίνακας επιβεβαιώνει τις αρχικές υποθέσεις και τα προηγούμενα συγκριτικά αποτελέσματα των 2 συστημάτων. Από τις χαμηλότερες τιμές των στατιστικών μεγεθών του δεύτερου συστήματος σε σχέση με το πρώτο, επαληθεύεται ότι το νέο σύστημα αποφέρει μικρότερες αυξήσεις σε χρονικές μονάδες κατά τη εμφάνιση ανθρώπινων λαθών και έτσι θεωρείται καλύτερο.

Τέλος, ένα έμμεσο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από τις παραπάνω προσομοιώσεις στα δύο συστήματα είναι η εμφανής εξοικονόμηση πόρων – πρώτων υλών που επιτυγχάνει το δεύτερο σύστημα. Στο πρώτο σύστημα υπάρχει, εκτός από μεγαλύτερη χρονική διάρκεια στην κατασκευή, και μεγαλύτερη σπατάλη πρώτων υλών που δαπανούνται για μια κατασκευή που είναι ενδεχομένως εξαρχής εσφαλμένη. Αντίθετα το δεύτερο σύστημα δεν σπαταλάει πολύτιμες πρώτες ύλες για την κατασκευή παρά μόνο όταν πιστοποιήσει πρώτα ότι δεν έχει προκύψει ανθρώπινο σφάλμα.

8. Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

8.1 Ανακεφαλαίωση

Στην παρούσα εργασία έγινε μοντελοποίηση και ανάλυση των εργασιών ενός μηχανουργείου. Αναλυτικότερα, επετεύχθη η προσομοίωση της λειτουργίας ενός μηχανουργείου για την κατασκευή ενός εξαρτήματος, με τη βοήθεια των μεθόδων IDEF0 και Δικτύων Petri. Με τη βοήθεια των δικτύων Petri προχωρήσαμε σε περαιτέρω μοντελοποίηση ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση και η ανάλυση ιδιοτήτων των λειτουργιών του μηχανουργείου.

Για την μοντελοποίηση των εργασιών στο μηχανουργείο ακολουθήθηκε η μέθοδος IDEF0 σε συνδυασμό με το μοντέλο κανόνων plan-do-check από τον έλεγχο ποιότητας. Για την μετατροπή των διαγραμμάτων σε Δίκτυα Petri, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά γενικών κανόνων αντιστοίχισης (mapping rules) μεταξύ των στοιχείων των δικτύων Petri και διαγραμμάτων IDEF0.

Το δεύτερο σκέλος της εργασίας ήταν η διερεύνηση των πιθανών ανθρωπίνων λαθών και ο αντίκτυπός τους στην παραγωγική διαδικασία. Το αρχικό δίκτυο μοντελοποιούσε ιδανικά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος. Όμως σε ένα ρεαλιστικό και δυναμικό περιβάλλον πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η αλληλεπίδραση των ανθρώπων που μετέχουν στη διαδικασία παραγωγής. Σε ένα τέτοιο σύνθετο περιβάλλον είναι αναπόφευκτη η εμφάνιση διάφορων λαθών που οφείλονται σε εσφαλμένους ανθρώπινους χειρισμούς. Τέτοια λάθη μπορούν να καθυστερήσουν την παραγωγή και να οδηγήσουν σε ελαττωματικά τελικά εξαρτήματα. Αυτό συνεπάγεται σε επιπλέον σπατάλη πολύτιμων πόρων και χρόνου.

Σκοπός της εργασίας ήταν η σχεδίαση ενός πιο ρεαλιστικού συστήματος που ανταποκρίνεται καλύτερα στα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος σε μηχανουργείο, με τη βοήθεια των ελεγκτών διαχείρισης των ανθρώπινων λαθών που ενσωματώθηκαν στο αρχικό δίκτυο.

8.2 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που παραθέσαμε καθίσταται σαφές ότι ο παραπάνω μηχανισμός εντοπισμού ανθρωπίνων λαθών είναι απαραίτητος και σημαντικός για τη διαδικασία παραγωγής. Ο μηχανισμός αυτός όχι μόνο ανιχνεύει τα λάθη κατά τη στιγμή εμφάνισης τους, αλλά επιπλέον ενεργοποιεί ένα πλήθος αναδράσεων για την αντιμετώπιση τους. Συμπερασματικά, από την προηγούμενη προσομοίωση μπορούμε να κατανοήσουμε ότι χωρίς το μηχανισμό εντοπισμού ανθρωπίνων λαθών, θα είχαμε λάβει ένα ελαττωματικό εξάρτημα το οποίο θα γινόταν αντιληπτό κατά τον εποπτικό έλεγχο στο επίπεδο ***Έλεγχος Έργου***. Σε μία τέτοια περίπτωση θα είχε δαπανηθεί πολύτιμος χρόνος και πόροι για την εξαρχής εσφαλμένη κατασκευή. Με τον παραπάνω μηχανισμό όμως, το ανθρώπινο σφάλμα ανιχνεύθηκε εγκαίρως και με την πυροδότηση της κατάλληλης ανάδρασης επαναλήφθηκε μόνο ένα τμήμα της διαδικασίας ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Έτσι στη συνέχεια η διαδικασία κύλησε ομαλά (χωρίς άλλα ανθρώπινα λάθη) και τελικά παράχθηκε ένα άρτιο εξάρτημα. **Τελικά η χρήση του παραπάνω μηχανισμού κρίνεται απαραίτητη εφόσον επιθυμούμε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα μας σε ένα δυναμικό περιβάλλον που ο παράγων άνθρωπος παίζει σημαντικό ρόλο.**

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από όλα τα παραπάνω είναι ότι ο βασικός στόχος της μοντελοποίησης που αφορούσε τον εντοπισμό των ανθρωπίνων σφαλμάτων, την διαχείριση και αντιμετώπιση τους, επετεύχθη.

Στόχος της εργασίας δεν ήταν να προσδιορίσει τα ανθρώπινα σφάλματα με ποσοτικό τρόπο αλλά να τα εντοπίσει έγκαιρα και να περιορίσει τον αντίκτυπο τους στην συνολική διαδικασία, με τη χρήση κατάλληλων αναδράσεων.

Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των δύο συστημάτων παρατηρούμε ότι: Στο δείγμα των περιπτώσεων που δεν περιείχαν την εμφάνιση κάποιου ανθρώπινου σφάλματος η χρονική διάρκεια της κατασκευής παραμένει σταθερή.

Σε αυτή την περίπτωση τα δύο συστήματα συμπεριφέρονται πανομοιότυπα και οι χρονικές διάρκειες της κατασκευής είναι ταυτόσημες σε αυτά. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο αφού πρόκειται για ιδανικές περιπτώσεις όπου δεν λαμβάνουν χώρα ανθρώπινα σφάλματα.

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται με πιο προσαρμοστικό τρόπο και αυτό φαίνεται από τα πιο μικρά κόστη, σε χρονικές μονάδες, όπως φαίνεται και από τον παρακάτω συγκριτικό πίνακα (τα κόστη αναγράφονται σε Χρονικές Μονάδες.)

Ένα τελευταίο συμπέρασμα που μπορούμε εύκολα να εξάγουμε από τις προηγούμενες προσομοιώσεις είναι το γεγονός ότι ακόμα και σε ακραία σενάρια εμφάνισης πολλών ανθρώπινων λαθών το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται καλύτερα και αποφέρει μικρότερα κόστη από το πρώτο.

Αυτό είναι λογικό αφού στο πρώτο σύστημα, ένα ενδεχόμενο σφάλμα γίνεται αντιληπτό πολύ αργά στο τελευταίο υπό-δίκτυο **Έλεγχος Έργου** και υπάρχει αντίκτυπος στην όλη διαδικασία παραγωγής. Έτσι ουσιαστικά επαναλαμβάνονται όλες οι εργασίες των υπό-δικτύων **Εκτέλεση Έργου** και **Έλεγχος Έργου.**

Αντίθετα στο δεύτερο σύστημα κάθε ανθρώπινο σφάλμα αντιμετωπίζεται άμεσα περιορίζοντας τον αντίκτυπο του στη διαδικασία παραγωγής κάτι που αντικατοπτρίζεται από τα εμφανώς μικρότερα κόστη σε σχέση με το αρχικό σύστημα.

Τέλος, ένα έμμεσο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από τις παραπάνω προσομοιώσεις στα δύο συστήματα είναι οι εμφανής εξοικονόμηση πόρων – πρώτων υλών που επιτυγχάνει το δεύτερο σύστημα. Στο πρώτο σύστημα, υπάρχει ,εκτός από μεγαλύτερη χρονική διάρκεια στην κατασκευή, και μεγαλύτερη σπατάλη πρώτων υλών που δαπανούνται για μια κατασκευή που είναι ενδεχομένως εξαρχής εσφαλμένη. Αντίθετα το δεύτερο σύστημα δεν σπαταλάει πολύτιμους πρώτες ύλες για την κατασκευή εφόσον δεν πιστοποιήσει πρώτα ότι δεν έχει προκύψει ανθρώπινο σφάλμα.

8.3 Μελλοντικές επεκτάσεις

8.3.1 Μοντέλο υποστήριξης γραμμής παραγωγής εξαρτημάτων

Στην παρούσα μορφή το μοντέλο μας δεν υποστηρίζει μία γραμμή παραγωγής εξαρτημάτων. Δηλαδή όλα τα υποσυστήματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός μοναδικού εξαρτήματος και όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί τότε ξεκινάει η παραγωγή ενός νέου (ενδεχομένως) εξαρτήματος. Θα ήταν πολύ χρήσιμο, αλλά και αρκετά πιο περίπλοκο να υποστηρίζεται μία γραμμή παραγωγής που θα επιτρέπει την πολλαπλή και ταυτόχρονη κατασκευή πολλών εξαρτημάτων.

8.3.2 Μοντέλο υποστήριξης κατασκευής σύνθετων εξαρτημάτων

Το μοντέλο μας, στην παρούσα μορφή του δεν υποστηρίζει την κατασκευή σύνθετων εξαρτημάτων. Εξαρτημάτων δηλαδή που αποτελούνται από πολλά επιμέρους εξαρτήματα. Σε μία τέτοια περίπτωση το μοντέλο θα κράταγε ενδεχομένως σε κάποια «αποθήκη» κάποια εξαρτήματα και στη συνέχεια αφού θα είχε κατασκευάσει ένα σύνολο από απαραίτητα εξαρτήματα θα γινόταν η σύνθεση το τελικού σύνθετου εξαρτήματος. Στην ουσία, η παρούσα πρόταση αποτελεί επέκταση της προηγούμενης και είναι ακόμα πιο πολύπλοκη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Marca, D. A. and McGowan, C. L. 1987 SADT: Structured Analysis and Design Technique. McGraw-Hill, Inc

[2] Bosil, J., Giaglis, G., & Hlupic, V. (2000). IDEF diagrams and petri nets for business process modelling

[3] Genzos, A. (2007). Αξιολόγηση και βελτίωση της γλώσσας μοντελοποίησης επιχειρησιακών διαδικασιών IDEF0 (Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης)

[4] Professional Engineering Publishing, (2001), An integrated use of IDEFO, IDEF3 and Petri net methods in support of business process modelling

[5] Theodorakis G., Papadaki S., (2009) Προσομοίωση της λειτουργίας ενός μηχανουργείου για την κατασκευή ενός εξαρτήματος με τη χρήση των δικτύων Petri

[6] M. C. Zhou, F. DiCesare, and D. Rudolph, "Control of a flexible manufacturing system using Petri nets," in Proc. 1990 IFAC World Congress (Tallinn, Estonia), vol. 9, pp. 43-48, Aug. 1990.

[7] M. Hack, Analysis of Production Schemata by Petri Nets, Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, Feb. 1972.

[8] I. Suzuki and T. Murata, "Stepwise refinements of transitions and places," in Application and Theory of Petri Nets (C. Gixault and W. Reisig, eds.). vol. 52, pp. 136-141, New York: Springer-Verlag, 1982.

[9] E. Kasturia. F. DiCesare, and A. Desrochers, "Real time control of multilevel manufacturing systems using colored Petri nets." in Proc. 1988 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Philadelphia, PA), pp. 1114-1119, Apr. 1988.