

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**  
Διευθυντής : Καθηγητής Γεώργιος Χρυσολούρης

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ**  
**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Δρ. Δ. Μούρτζης  
Γ. Μίχαλος

Λέκτορας.  
Μηχανολόγος & Αεροναυπηγός Μηχ.

**ΠΑΤΡΑ 2009**

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (SIMULATION)

### ΓΕΝΙΚΑ

Η προσομοίωση αποτελεί μία πειραματική μέθοδο με τη χρήση της οποίας γίνεται προσπάθεια αναπαράστασης της λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής, χωρίς να είναι απαραίτητη η δημιουργία ή / και η λειτουργία του πραγματικού συστήματος. Η χρήση προσομοίωσης με στόχο την μελέτη *συστημάτων παραγωγής* αναφέρεται ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Ένα σύνολο πόρων (άνθρωποι, μηχανές κ.λ.π.) και διαδικασιών, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια κοινή ροή υλικών και πληροφορίας, ονομάζεται *σύστημα παραγωγής*. Στην συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων παραγωγής και είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με την χρήση προσομοίωσης:

#### ➤ Απαιτήσεις για εξοπλισμό ή εργατικό δυναμικό:

- Το πλήθος και ο τύπος των μηχανών για την επίτευξη ενός σκοπού.
- Το πλήθος, ο τύπος και η φυσική διαρρύθμιση μεταφορικών μέσων και άλλου εξοπλισμού.
- Η χωροθέτηση και το μέγεθος των αποθηκευτικών χώρων.
- Η αξιολόγηση της επίπτωσης των αλλαγών στην ποσότητα η οποία πρέπει να παραχθεί ή στο σχεδιασμό του προϊόντος.
- Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της εισαγωγής νέου εξοπλισμού σε ένα σύστημα παραγωγής.
- Η αξιολόγηση επενδυτικών προτάσεων.
- Ο καθορισμός απαιτήσεων σε προσωπικό.

#### ➤ Υπολογισμός επιδόσεων του συστήματος:

- Ανάλυση της ικανότητας διεκπεραίωσης (throughput analysis) του συστήματος.
- Αξιολόγηση πολιτικών χρονοπρογραμματισμού.
- Αξιολόγηση στρατηγικών ελέγχου εξοπλισμού (control strategies).
- Αξιολόγηση πολιτικών ελέγχου ποιότητας (quality control policies).
- Μέσος χρόνος αναμονής κομματιών στην ουρά μηχανών, μεταφορικών μέσων κ.λ.π.
- Αξιοποίηση εξοπλισμού και προσωπικού κ.α.

Για την προσομοίωση συστημάτων παραγωγής χρησιμοποιούνται συνήθως εμπορικά προϊόντα λογισμικού προσομοίωσης και λιγότερο γλώσσες γενικού σκοπού (π.χ. C++, Java). Ορισμένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή λογισμικού προσομοίωσης είναι: α) η *ευελιξία μοντελοποίησης* (η δυνατότητα να μοντελοποιούμε οποιοδήποτε σύστημα ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα ή την μοναδικότητα του) και β) η *ευκολία χρήσης*. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες λογισμικών για προσομοίωση συστημάτων παραγωγής. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις *γλώσσες προσομοίωσης (Simulation Languages)*. Η *γλώσσα προσομοίωσης* είναι ένα λογισμικό σύστημα αρκετά γενικό (όσο αφορά στις δυνατότητες και στις περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί) και στο οποίο η κατασκευή του μοντέλου πραγματοποιείται με "προγραμματισμό". Το βασικό πλεονέκτημα μιας καλής γλώσσας προσομοίωσης αποτελεί η ευελιξία μοντελοποίησης, ενώ το βασικό μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται εμπειρία και χρόνος σε "προγραμματισμό". Βέβαια στις γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες είναι εξειδικευμένες για την προσομοίωση συστημάτων παραγωγής υποστηρίζονται ειδικές δομές για την μοντελοποίηση των συστημάτων (όπως μηχανές, ιμάντες μεταφοράς κ.λ.π.), οι οποίες μειώνουν αρκετά τον απαιτούμενο χρόνο για τον "προγραμματισμό". Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους *προσομοιωτές συστημάτων παραγωγής (Simulators)*, οι οποίοι χρησιμοποιούν εικονίδια (icon-based). Χρησιμοποιώντας λογισμικά συστήματα αυτού του τύπου, το μοντέλο δομείται καθορίζοντας τις ιδιότητες των εικονιδίων, τα οποία αναπαριστούν εξαρτήματα, μηχανές ή άλλου είδους εξοπλισμό. Η γραφική αναπαράσταση απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την κωδικοποίηση και τον έλεγχο για λάθη του μοντέλου. Αρκετά συστήματα αυτής

της κατηγορίας, παρέχουν την δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης της κίνησης (Animation). Κάθε φορά, κατά την οποία η κατάσταση της προσομοίωσης αλλάζει, μια αντίστοιχη αλλαγή εμφανίζεται στην γραφική αναπαράσταση. Η γραφική προσομοίωση της κίνησης έχει γίνει ευρέως αποδεκτή διαδικασία στην προσομοίωση των συστημάτων παραγωγής εξ αιτίας της καλής επικοινωνίας του χρήστη με την δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου προσομοίωσης, γεγονός το οποίο αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος. Εκτός του γεγονότος, ότι η γραφική αναπαράσταση βοηθά την επικοινωνία του χρήστη με το μοντέλο, είναι επίσης χρήσιμη στον έλεγχο των λαθών, την επιβεβαίωση και την βελτίωση του μοντέλου.

Παραδείγματα λογισμικού προσομοίωσης είναι το Extend, ProModel, Enterprise Dynamics, Flexsim και το WITNESS. Σε ένα λογισμικό αυτού του τύπου, το μοντέλο της προσομοίωσης δημιουργείται με την χρήση γραφικού περιβάλλοντος (π.χ. με την χρήση drag & drop), επιλέγοντας αντικείμενα από μενού με το ποντίκι (mouse) και συμπληρώνοντας παράθυρα διαλόγου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα ενός προγράμματος προσομοίωσης αποτελεί η δυνατότητα θεαματικής μείωσης του χρόνου ο οποίος απαιτείται για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί η μειωμένη ευελιξία σε σχέση με τις γλώσσες προσομοίωσης, ώστε να μπορούν να μοντελοποιηθούν πολύπλοκες διαδικασίες. Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευαστές των μεγαλύτερων λογισμικών συστημάτων προσομοίωσης έχουν συμπεριλάβει και ορισμένες δυνατότητες προγραμματισμού στα λογισμικά συστήματα τα οποία διαθέτουν, όπως:

- Την χρήση *ψευδό-γλωσσών* προγραμματισμού ("programming-like constructs") σε συγκεκριμένα σημεία στην διαδικασία κατασκευής του μοντέλου. Τέτοιες *ψευδό-γλώσσες* επιτρέπουν την χρήση μεταβλητών, ορισμό συναρτήσεων, δομών IF-THEN-ELSE κ.λ.π.
- Την δυνατότητα κλήσεων εξωτερικών συναρτήσεων, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί με την χρήση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού γενικού σκοπού (π.χ. C, C++) σε συγκεκριμένα σημεία στην διαδικασία κατασκευής του μοντέλου.

```
class cl_Schedule
{
    ...
    for (CurrentEntry= each cl_ScheduleEntry in ScheduleEntries)
    {
        // advance to schedule entry's begin time.
        if (CurrentEntry->Start > TimeOfDay())
            advance (CurrentEntry->Start - TimeOfDay());

        DoSegmentStartActions( ModuleName, ScheduleName, Shift, SegmentType);

        // determine time of segment end
        Duration= CurrentEntry->Duration;

        fork
        {
            ACTIVE->priority++; // schedule segment end calls before start of new segment
            advance Duration;
            DoSegmentEndActions( ModuleName, ScheduleName, Shift, SegmentType);
            terminate;
        }
    }
    ...
}
```

**Εικόνα 1: Παράδειγμα γλώσσας προσομοίωσης**

Τα περισσότερα προγράμματα προσομοίωσης μοντελοποιούν ένα σύστημα παραγωγής, καθώς αυτό εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, μέσω μιας αναπαράστασης, στην οποία οι μεταβλητές, οι οποίες παρακολουθούν την κατάσταση του συστήματος (μεταβλητές κατάστασης – State Variables)), αλλάζουν τιμή στιγμιαία σε διακριτά σημεία στον χρόνο. Τα χρονικά σημεία στα οποία λαμβάνουν χώρα τα γεγονότα (Events) -όπου ως γεγονός ορίζεται ένα στιγμιαίο συμβάν ικανό να μεταβάλλει την κατάσταση του συστήματος. Ένα μοντέλο του τύπου αυτού, καλείται *μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (discrete event simulation model)*.

Εξ αιτίας της δυναμικής φύσης των μοντέλων προσομοίωσης διακριτών γεγονότων, η τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης (Simulation Time) πρέπει να καταγράφεται, καθώς η προσομοίωση

εξελίσσεται και επομένως, απαιτείται ένας μηχανισμός αύξησης του χρόνου προσομοίωσης από μια τιμή στην επόμενη. Η μεταβλητή σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, η οποία αναπαριστά την τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης, λέγεται *χρονοδείκτης –ωρολόγιο προσομοίωσης (simulation clock)*. Όσον αφορά στον μηχανισμό εξέλιξης του χρόνου προσομοίωσης, η *εκ των γεγονότων καθοδηγούμενη (event-driven)* προσέγγιση είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη.

Όλα τα μοντέλα προσομοίωσης διακριτών γεγονότων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- *Κατάσταση συστήματος (system state)*. Η συλλογή των απαραίτητων μεταβλητών κατάστασης για την περιγραφή του συστήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- *Χρονοδείκτης-ωρολόγιο συστήματος (system clock)*. Μεταβλητή, η οποία καταγράφει την τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης.
- *Κατάλογος γεγονότων (event list)*. Κατάλογος, ο οποίος περιέχει την επόμενη χρονική στιγμή εμφάνισης κάθε τύπου γεγονότος.
- *Στατιστικοί μετρητές (statistical counters)*. Μεταβλητές, οι οποίες καταγράφουν στατιστικές πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του συστήματος.
- *Ρουτίνα αρχικοποίησης (Initialisation routine)*. Υποπρόγραμμα, το οποίο αρχικοποιεί το μοντέλο προσομοίωσης στην χρονική στιγμή μηδέν.
- *Ρουτίνα χρόνου (timing routine)*. Υποπρόγραμμα το οποίο υπολογίζει το επόμενο γεγονός από το κατάλογο γεγονότων και δίδει στον χρονοδείκτη προσομοίωσης την χρονική τιμή, κατά την οποία θα συμβεί το επόμενο γεγονός.
- *Ρουτίνα γεγονότων (event routine)*. Υποπρόγραμμα, το οποίο ενημερώνει την κατάσταση του συστήματος, όταν ένας συγκεκριμένος τύπος γεγονότος εμφανισθεί (υπάρχει μια ρουτίνα για κάθε τύπο γεγονότος).
- *Βιβλιοθήκη Ρουτινών (Library routines)*. Υποπρογράμματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για να παράγουν δείγματα από κατανομές πιθανοτήτων οι οποίες περιλαμβάνονται στο μοντέλο προσομοίωσης.

Επιπλέον πληροφορίες για την προσομοίωση με την χρήση υπολογιστή υπάρχουν και στο βιβλίο του μαθήματος (Συστήματα Παραγωγής – Θεωρία και Πράξη Μέρος II, Κεφάλαιο 5).

## **ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

Στην εργαστηριακή άσκηση προσομοίωσης με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή θα πραγματοποιηθούν: θεωρητική εισαγωγή στο θέμα, πρακτική εξάσκηση στο λογισμικό πακέτο προσομοίωσης, το WITNESS, καθώς και η εκτέλεση μιας άσκησης από τους φοιτητές. Το εργαστήριο αυτό πραγματοποιείται με την συμμετοχή δύο ομάδων φοιτητών σε κάθε άσκηση. Η κάθε εργαστηριακή άσκηση διαρκεί 2,5 ώρες και περιλαμβάνει δύο μέρη:

- i. *Εισαγωγή:* Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται παρουσίαση των βασικών δυνατοτήτων και εντολών του χρησιμοποιούμενου λογισμικού προσομοίωσης (WITNESS). Οι φοιτητές εξοικειώνονται στην χρήση του λογισμικού, μοντελοποιώντας και προσομοιώνοντας ένα απλό σύστημα παραγωγής.
- ii. *Εκτέλεση εργαστηρίου:* Στη δεύτερη φάση του εργαστηρίου γίνεται εκτέλεση της εργαστηριακής άσκησης από τους φοιτητές στο WITNESS. Οι λεπτομέρειες για την εκτέλεση της άσκησης δίνονται στις επόμενες παραγράφους ενώ στο τέλος παρουσιάζονται οι εντολές οι οποίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επιτυχή εκτέλεση της άσκησης.

**Ο σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι να πραγματοποιηθεί με την χρήση προσομοίωσης, αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων σχεδιασμού ενός συστήματος παραγωγής και να προταθεί ο κατάλληλος σχεδιασμός από την ομάδα η οποία εκτελεί την άσκηση.** Θα προσομοιωθεί ένα "υποτιθέμενο" εργοστάσιο το οποίο κατασκευάζει το προϊόν (ηλεκκατευθυνόμενο όχημα) που έχει σχεδιαστεί και μελετηθεί κατά τις προηγούμενες φάσεις του εργαστηρίου.

### **Δεδομένα εισόδου**

Τα δεδομένα για την δημιουργία του μοντέλου του συστήματος παραγωγής και της προσομοίωσης του χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

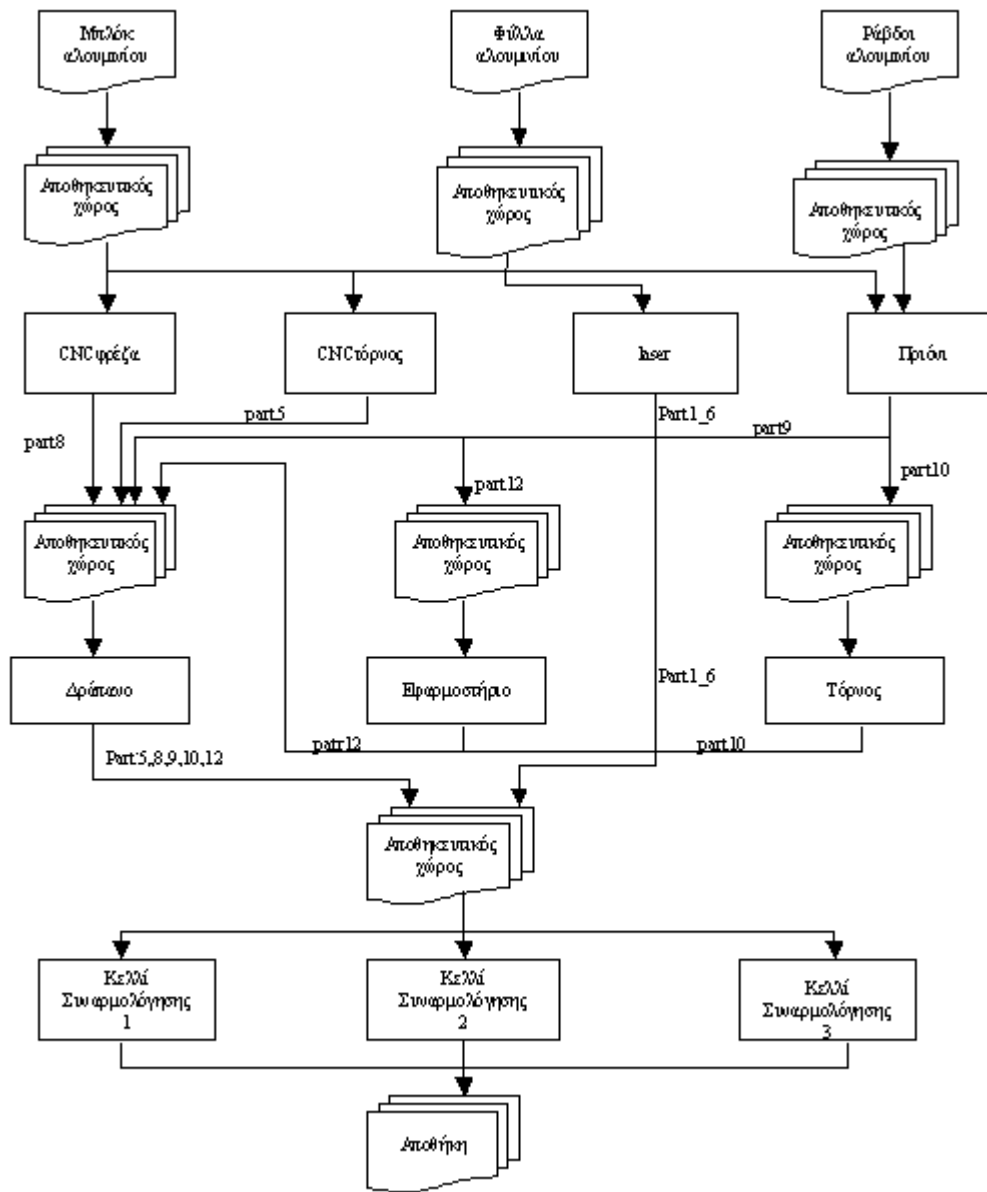
- 1 *Βασικό τεχνολογικό πρόγραμμα (process plan):* Το διάγραμμα του τεχνολογικού προγράμματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, ενώ οι αντίστοιχοι χρόνοι επεξεργασίας των εξαρτημάτων σε κάθε μηχανή, στον Πίνακα 1. Από τα 21 συνολικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ο μηχανισμός έντεκα (10) κατασκευάζονται στο σύστημα ενώ τα υπόλοιπα προέρχονται από προμηθευτές και συναρμολογούνται στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας παραγωγής. Αναλυτικά η διαδικασία παραγωγής έχει ως εξής: Αρχικά οι πρώτες ύλες, ράβδοι, μπλοκ και φύλλα αλουμινίου εισέρχονται στις μηχανές κατεργασίας. Οι ράβδοι αλουμινίου τροφοδοτούνται στο πριόνι, με μπλοκ αλουμινίου τροφοδοτείται η CNC φρέζα, ο CNC τόρνος καθώς και το πριόνι, ενώ με φύλλα αλουμινίου τροφοδοτείται η μηχανή κοπής με Laser. Η μηχανή κοπής με Laser κόβει τα **εξαρτήματα (parts) 1,2,3,4 και 6**, τα οποία θεωρούνται σαν ένα κομμάτι (**εξάρτημα 1\_6**) στην προσομοίωση, και στην συνέχεια μεταφέρονται στον αποθηκευτικό χώρο πριν την συναρμολόγηση. Στον CNC τόρνο κατασκευάζεται το **εξάρτημα 5**, στην συνέχεια μετά από κατεργασία στο δράπανο μεταφέρεται στον αποθηκευτικό χώρο πριν την συναρμολόγηση. Στην CNC φρέζα πραγματοποιείται η κατεργασία του **εξαρτήματος 8** το οποίο στην συνέχεια αποθηκεύεται στον χώρο πριν την συναρμολόγηση. Στο πριόνι κόβονται τα μπλοκ και η ράβδος αλουμινίου τα οποία στην συνέχεια θα διαμορφωθούν στα **εξαρτήματα 9, 10 και 12** αντίστοιχα. Το **εξάρτημα 9** μεταφέρεται στο δράπανο και στη συνέχεια στον αποθηκευτικό χώρο πριν την συναρμολόγηση. Το **εξάρτημα 12** μεταφέρεται στο εφαρμοστήριο και στη συνέχεια στον αποθηκευτικό χώρο πριν την συναρμολόγηση. Το **εξάρτημα 10** μεταφέρεται στον απλό τόρνο και στη συνέχεια στον αποθηκευτικό χώρο πριν την συναρμολόγηση. Στην συνέχεια τα εξαρτήματα συναρμολογούνται στα κελιά συναρμολόγησης στο ηλεκκατευθυνόμενο αυτοκίνητο και αποθηκεύονται στην αποθήκη. *Εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις:* Με βάση το βασικό τεχνολογικό πρόγραμμα το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 πραγματοποιείται ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος. Όμως, με βάση αυτόν τον αρχικό σχεδιασμό, παρέχεται η

δυνατότητα υλοποίησης επιπλέον σχεδιαστικών λύσεων. Οι επιπλέον λύσεις μπορούν να προκύψουν στην συγκεκριμένη περίπτωση με τους ακόλουθους τρόπους:

- i. Προσθήκη επιπλέον εξοπλισμού στο σύστημα παραγωγής. Ο επιπλέον εξοπλισμός μπορεί να είναι ο εξής:
  - Προσθήκη δεύτερου δρόπανου.
  - Προσθήκη δεύτερης μηχανής κατεργασίας με δέσμη laser.
  - Προσθήκη τέταρτου ή και πέμπτου κυττάρου συναρμολόγησης.
- ii. Υπάρχει η δυνατότητα, οι μηχανές του συστήματος παραγωγής να λειτουργούν σε μία ή δύο βάρδιες. Στον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος όλες οι μηχανές λειτουργούν σε μία βάρδια.

Επομένως, οι εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις για το σύστημα παραγωγής, προκύπτουν επιλέγοντας και συνδυάζοντας μία ή περισσότερες από τις προτάσεις οι οποίες δίνονται παραπάνω (εξοπλισμός / βάρδιες).

- 2 *Φορτίο εργασίας (workload)*: Το σύστημα παραγωγής θα εξεταστεί για τρία διαφορετικά φορτία εργασίας. Μεγάλο φορτίο εργασίας, μεσαίο φορτίο εργασίας και μικρό φορτίο εργασίας. Το φορτίο εργασίας αφορά στον αριθμό των τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων τα οποία πρέπει να κατασκευαστούν σε διάρκεια **5 εργάσιμων ημερών** από το σύστημα παραγωγής. Το φορτίο εργασίας δίνεται κατά την διάρκεια του εργαστηρίου και είναι διαφορετικό για κάθε ομάδα.



Σχήμα 1: Λιάγραμμα τεχνολογικού προγράμματος

Μηχανή	Μπλοκ Αλουμινίου	Φύλλα Αλουμινίου	Κύλινδροι Αλουμινίου	Εξάρτημα-1_6	Εξάρτημα-5	Εξάρτημα-8	Εξάρτημα-9	Εξάρτημα-10	Εξάρτημα-12	Προϊόν
Πρίονι							10	15	5	
Τόρνος								15		
CNC Τόρνος					30					
CNC Φρέζα						30				
Laser				60						
Δράπανο					5	5	10	10	10	
Εφαρμοστήριο									15	
Κελί συναρμολόγησης1										195
Κελί συναρμολόγησης2										200
Κελί συναρμολόγησης3										205

Πίνακας 1: Χρόνοι επεξεργασίας (σε min) σε κάθε μηχανή

## Εκτέλεση της προσομοίωσης

Σε κάθε ομάδα θα δοθεί ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος, μοντελοποιημένος στο περιβάλλον του λογισμικού προσομοίωσης. Δε χρειάζεται να κατασκευαστεί το μοντέλο της προσομοίωσης από την αρχή. Η ομάδα θα πρέπει να εκτελέσει έναν αριθμό από προσομοιώσεις για τρία διαφορετικά φορτία εργασίας και για έναν αριθμό διαφορετικών σχεδιασμών του συστήματος παραγωγής που η κάθε ομάδα θα κρίνει απαραίτητο. Εκτελώντας την προσομοίωση για τα διαφορετικά φορτία εργασίας παρατηρούμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις το σύστημα δεν έχει την δυνατότητα να ολοκληρώσει όλες τις εργασίες μέσα στο δεδομένο χρονικό διάστημα (5 εργάσιμες ημέρες). **Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να αλλάξει ο αρχικός σχεδιασμός και επομένως το μοντέλο της προσομοίωσης (προσθήκη μηχανών, βάρδιες, κλπ).** Σε κάθε μια από τις εκτελέσεις θα καταγραφούν οι τιμές των ακόλουθων παραμέτρων :

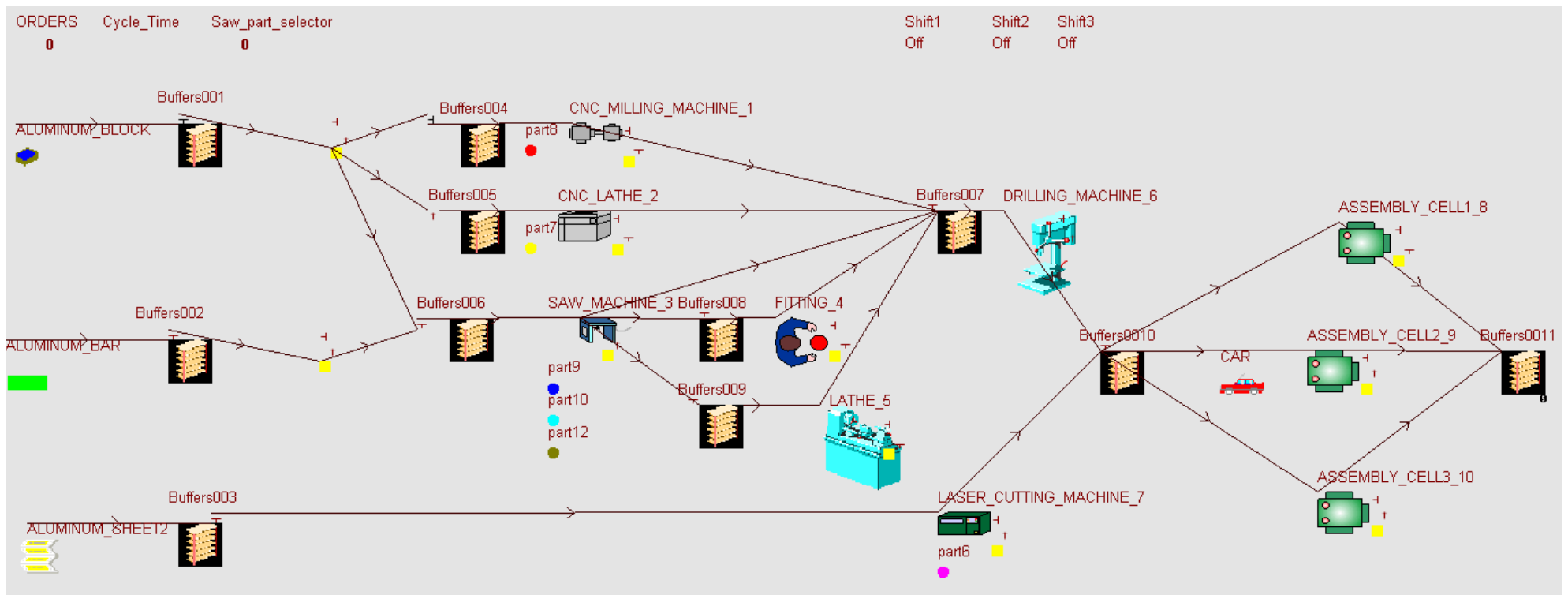
- Αριθμός των προϊόντων τα οποία έχουν κατασκευαστεί στην διάρκεια των 5 ημερών.
- Χρησιμοποίηση (utilization) όλων των μηχανών.
- Συνολικός χρόνος για την ολοκλήρωση του φορτίου εργασίας.
- Καθυστέρηση (tardiness) για την ολοκλήρωση του φορτίου εργασίας.
- Μέσος χρόνος αναμονής των κομματιών στους αποθηκευτικούς χώρους.

Σε κάθε σύνολο μετρήσεων πρέπει να αναφέρεται η παραγγελία και ο σχεδιασμός (αρχικός, προσθήκη μηχανής κλπ) για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση. Οδηγίες σχετικά με την καταγραφή των μετρήσεων δίνονται στο πρώτο μέρος του εργαστηρίου.

### Μοντέλο προσομοίωσης

Το μοντέλο που προσομοιώνει το παραπάνω σύστημα και που δίδεται στους φοιτητές κατά την εκτέλεση του εργαστηρίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα βέλη στο μοντέλο δείχνουν την ροή των κομματιών μέσα στο σύστημα.






Εικόνα 2: Το μοντέλο του συστήματος σε γραφικό περιβάλλον του WITNESS

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για την δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά στοιχεία που παρέχει το λογισμικό WITNESS και τα οποία παρουσιάστηκαν παραπάνω. Αυτά είναι τα Buffers, Machines και

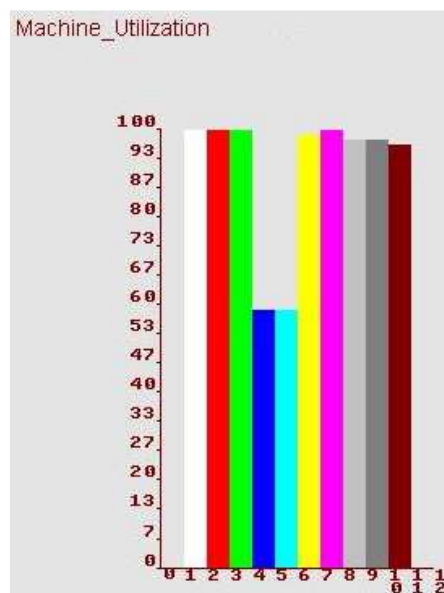
Parts, Τα buffers εμφανίζονται με το εικονίδιο  ενώ οι μηχανές παρουσιάζονται με διαφορετικό εικονίδιο ανάλογα με τη λειτουργία που επιτελούν ώστε το μοντέλο να αναπαριστά όσο το δυνατόν περισσότερο το πραγματικό σύστημα.

Στο στοιχείο που προσομοιώνει το Πριόνι θεωρείται ότι αυτό παράγει κυκλικά τα εξαρτήματα 9, 10 και 12. Για να επιτευχτεί αυτή η λειτουργία στο πεδίο εντολών Actions on start χρησιμοποιείται ο κώδικας:

```
IF Saw_part_selector = 3
  CHANGE ALL to part9
  Saw_part_selector = 1
ELSEIF Saw_part_selector = 1
  CHANGE ALL to part12
  Saw_part_selector = 2
ELSEIF Saw_part_selector = 2
  CHANGE ALL to part10
  Saw_part_selector = 3
ENDIF
```

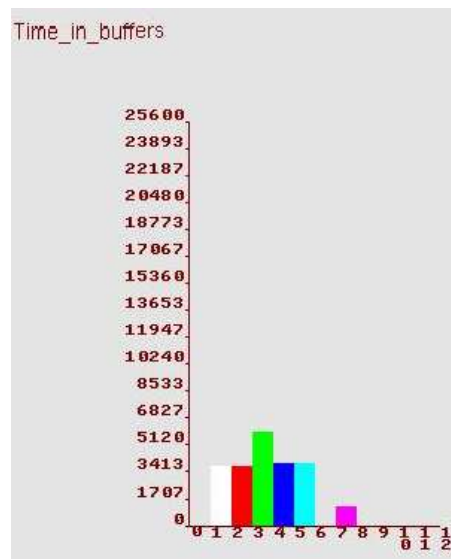
Ο κώδικας αυτός κάνει χρήση της μεταβλητής Saw\_Part\_Selector και ανάλογα με τις τιμές αυτής παράγει τα αντίστοιχα εξαρτήματα. Όπως είναι φανερό όταν η μεταβλητή αυτή πάρει τις τιμές 1, 2 και 3, η μηχανή παράγει τα κομμάτια 12, 10 και 9 αντίστοιχα.

Σε κάθε μηχανή στο πεδίο Actions on Finish βρίσκεται η εντολή DRAWBAR Machine\_Utilization 3, PUTIL (MACHINE (1),2), 3. Η εντολή αυτή υπολογίζει την χρησιμοποίηση της μηχανής μέχρι τη δεδομένη χρονική στιγμή και κατόπιν δημιουργεί μια μπάρα στο γράφημα που απεικονίζει την χρησιμοποίηση των μηχανών. Οι μπάρες που δημιουργούνται τοποθετούνται στο γράφημα ακολουθώντας την αρίθμηση που υπάρχει στο όνομα κάθε μηχανής. Έτσι η μηχανή που στο τέλος του ονόματος της έχει τον αριθμό 1 αντιστοιχεί στην πρώτη μπάρα κ.ο.κ.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα χρησιμοποίησης μηχανών

Με την ίδια λογική η εντολή DRAWBAR Time\_in\_buffers 10, ASTIME (Buffers001 καταγράφει τον χρόνο που περνάνε τα κομμάτια στους αποθηκευτικούς χώρους στο αντίστοιχο γράφημα. Οι δύο αριθμοί "10" αναφέρονται στον αριθμό της στήλης στο γράφημα και στο χρώμα της στήλης.



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα χρόνων αναμονής σε αποθηκευτικούς χώρους

### Τεχνική έκθεση

Η τεχνική έκθεση η οποία αφορά στο εργαστήριο της προσομοίωσης παραδίδεται στο τέλος του εξαμήνου και θα πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα:

- i. Όλες τις μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την ομάδα κατά την εκτέλεση του εργαστηρίου.
- ii. Επιπλέον παρατηρήσεις οι οποίες έγιναν κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων (π.χ. πολύ μεγάλη ή καθόλου παραμονή υλικών στους αποθηκευτικούς χώρους, πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή χρησιμοποίηση μηχανών κα).
- iii. **Θα πρέπει να προταθεί ένα σχέδιο του συστήματος παραγωγής από την ομάδα με βάση το μεσαίο φορτίο εργασίας. Η επιλογή θα πρέπει να τεκμηριωθεί με βάση τις μετρήσεις οι οποίες κατεγράφησαν (πλεονεκτήματα/ μειονεκτήματα κλπ).**
- iv. Για το σύστημα παραγωγής το οποίο έχει προταθεί (ερώτημα iii) να αναφερθεί ο μέγιστος αριθμός κομματιών τα οποία έχει δυνατότητα να παράγει σε διάστημα 5 ημερών.

# WITNESS

## Επισκόπηση του WITNESS

Το WITNESS είναι ένα εμπορικό λογισμικό σύστημα προσομοίωσης, της εταιρείας Lanner. Στο WITNESS απαιτείται καθόλου ή ελάχιστος προγραμματισμός, γεγονός το οποίο καθιστά την εκμάθηση της προσομοίωσης εύκολη, για χρήστες οι οποίοι δεν έχουν εμπειρία στον προγραμματισμό. Τα βασικά βήματα στην κατασκευή ενός μοντέλου στο WITNESS είναι η δημιουργία των στοιχείων του μοντέλου και η μεταξύ τους διασύνδεση με την χρήση ορισμένων εντολών. Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα στοιχεία είναι τα **εξαρτήματα (parts)**, οι **μηχανές (machines)** και οι **αποθηκευτικοί χώροι (buffers)**. Τα **"parts"** χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση βιομηχανικών προϊόντων, εξαρτημάτων, πρώτων υλών κ.λ.π., τα οποία μετακινούνται σε ένα σύστημα παραγωγής. Οι **"buffers"** χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν **"parts"**. Τα **"machines"** χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν ό,τι μπορεί να πάρει εξαρτήματα από οπουδήποτε, να τα επεξεργαστεί και να τα μεταφέρει σε κάποιο προορισμό. Με τα **"machines"** προφανώς μοντελοποιούνται οι μηχανές σε ένα μοντέλου εργοστασίου. Εκτός από τα παραπάνω βασικά στοιχεία, υπάρχουν και επιπλέον στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για έλεγχο και αναπαράσταση πληροφορίας. Σε αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνονται οι **μεταβλητές (variables)**, οι **ιδιότητες (attributes)**, οι **συναρτήσεις (functions)** και οι **κατανομές (distributions)**. Το λογισμικό παρέχει μια βιβλιοθήκη με εικονίδια τα οποία αντιπροσωπεύουν τα στοιχεία τα οποία μπορεί να επιλέξει ο χρήστης και να εισάγει στο μοντέλο (**drag & drop**). Μετά από τον καθορισμό των στοιχείων του μοντέλου προσομοίωσης, το μοντέλο μπορεί να **"τρέξει - Run"** και να γίνουν οι απαιτούμενοι έλεγχοι. Το μοντέλο μπορεί να τρέξει είτε **βηματικά (step-by-step)** είτε **"κατευθείαν"** μέχρι ένα χρονικό σημείο.

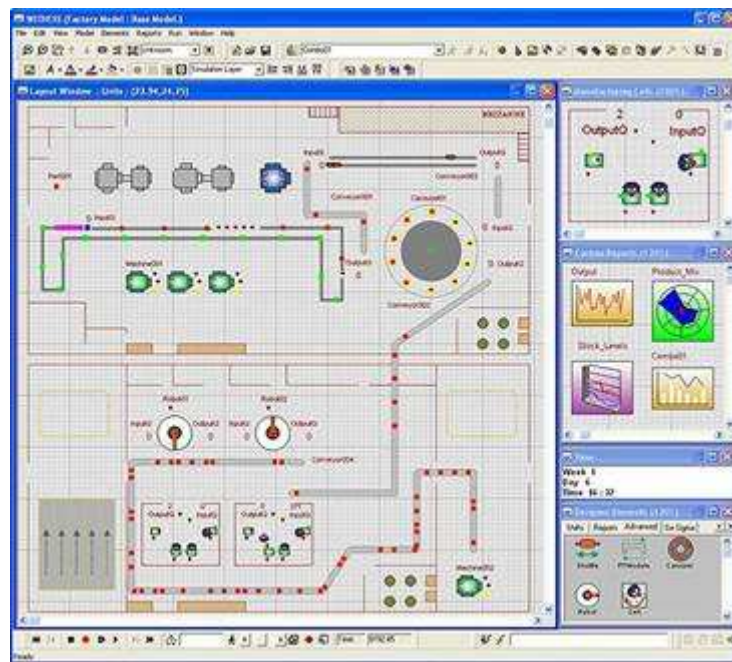


Figure 1: Περιβάλλον εργασίας Witness

## Εντολές Witness

Στην συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες από τις βασικές εντολές του WITNESS οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης. Η επεξήγηση η οποία δίνεται για την κάθε μια εντολή δεν είναι πλήρης, αλλά αρκετή για την κατανόηση της χρήσης της στο μοντέλο προσομοίωσης της άσκησης. Για λεπτομερή περιγραφή των εντολών παραπέμπουμε στο εγχειρίδιο χρήσης του WITNESS.

#### [PULL]

Η εντολή PULL χρησιμοποιείται για να "τραβάει" κομμάτια σε ένα στοιχείο του συστήματος παραγωγής (π.χ. μηχανή) από ένα άλλο (π.χ. αποθηκευτικός χώρος). Στην περίπτωση που οριστούν περισσότεροι του ενός στοιχεία από όπου μπορεί να τραβήξει ένα κομμάτι, το WITNESS προσπαθεί να σπρώξει το κομμάτι από καθένα από τα στοιχεία κατά σειρά, μέχρι έως ότου το κομμάτι να μεταφερθεί ή να έχουν ελεγχθεί όλοι τα στοιχεία στην λίστα. Για παράδειγμα η εντολή 'PULL from LaserBuffers' μετακινεί το κομμάτι στον αποθηκευτικό χώρο LaserBuffers. Η εντολή PULL μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στα Input rules ορισμένων στοιχείων.

#### [PUSH]

Η εντολή PUSH χρησιμοποιείται για να "σπρώχνει" κομμάτια από ένα στοιχείο του συστήματος παραγωγής (π.χ. μηχανή) σε ένα άλλο (π.χ. αποθηκευτικός χώρος). Στην περίπτωση που οριστούν περισσότεροι του ενός προορισμοί για ένα κομμάτι, το WITNESS προσπαθεί να σπρώξει το κομμάτι σε καθένα από τους προορισμούς κατά σειρά, μέχρι έως ότου το κομμάτι να μεταφερθεί στον προορισμό ή να έχουν ελεγχθεί όλοι οι προορισμοί. Για παράδειγμα η εντολή 'PUSH to LaserBuffers' μετακινεί το κομμάτι στον αποθηκευτικό χώρο LaserBuffers.

#### [SEQUENCE]

Η εντολή SEQUENCE χρησιμοποιείται για την είσοδο ή την έξοδο κομματιών προς ή από έναν αριθμό στοιχείων σε κυκλική σειρά. Το WITNESS επιλέγει το πρώτο στοιχείο στην λίστα μέχρι να μεταφερθεί ένας αριθμός κομματιών. Στην συνέχεια επιλέγει το δεύτερο στοιχείο κ.ο.κ. μέχρι όλα τα κομμάτια να μεταφερθούν. Όταν φτάσει στο τέλος της λίστας επιλέγει ξανά το πρώτο στοιχείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται κυκλικά. Η πιο συνηθισμένη χρήση της εντολής SEQUENCE είναι στην μοντελοποίηση διαδικασιών συναρμολόγησης. Για να μοντελοποιήσουμε την περίπτωση που μια λίστα από κομμάτια πρέπει να συγκεντρωθούν και να συναρμολογηθούν σε ένα νέο κομμάτι, ορίζουμε μια μηχανή συναρμολόγησης και χρησιμοποιούμε την εντολή SEQUENCE /WAIT. Για παράδειγμα η εντολή

```
'SEQUENCE /Wait Accessories out of AssemblyBuffers#(51),  
Parts1_2 out of AssemblyBuffers#(6),  
Part3 out of AssemblyBuffers#(2),  
Part4 out of AssemblyBuffers#(2),  
Part5 out of AssemblyBuffers#(2),  
Part6 out of AssemblyBuffers#(1)'
```

Συγκεντρώνει στην είσοδο μιας μηχανής συναρμολόγησης 51 κομμάτια από τον αποθηκευτικό χώρο *AssemblyBuffers*, 6 από τον *AssemblyBuffers* κ.ο.κ. τα οποία στην συνέχεια θα συναρμολογηθούν σε ένα κομμάτι.

#### [CHANGE]

Η εντολή CHANGE χρησιμοποιείται για να μετατρέψει ένα κομμάτι σε ένα άλλο. Χρησιμοποιείται κυρίως στις εντολές εξόδου μιας μηχανής για να δηλώσει ότι η επεξεργασία άλλαξε ένα κομμάτι με κάποιο τρόπο. Για παράδειγμα η εντολή 'CHANGE *old\_part\_type*, *new\_part\_type*' αλλάζει το κομμάτι *old\_part\_type* σε *new\_part\_type*.

[IF condition THEN action ENDIF] ή

[IF condition THEN action ELSE action ENDIF] ή

[IF condition THEN action ELSEIF condition THEN action ENDIF]

Η εντολή διακλάδωσης IF χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας εντολής αν πραγματοποιείται μια συνθήκη.

[*NPARTS (element\_name)*]

Η συνάρτηση *NPARTS* χρησιμοποιείται για να μετρήσει πόσα κομμάτια υπάρχουν σε ένα στοιχείο. Για παράδειγμα η εντολή '*NPARTS(LaserBuffers)*' μας δίνει τον αριθμό των κομματιών που υπάρχουν στον αποθηκευτικό χώρο *LaserBuffers*.

[*PRINT*]

Η εντολή *PRINT* τυπώνει στο παράθυρο διαλόγου ένα μήνυμα. Για παράδειγμα η εντολή '*PRINT "The buffer LaserBuffers has this number of parts:"*, *NPARTS(LaserBuffers)* ' θα τυπώσει το μήνυμα "*The buffer LaserBuffers has this number of parts:*" και στην συνέχεια θα εισάγει τον αριθμό των κομματιών που είναι στον αποθηκευτικό χώρο *LaserBuffers*. Αυτή η εντολή είναι αρκετά χρήσιμη για να μπορούμε να παρακολουθούμε τις τιμές διάφορων μεταβλητών και παραμέτρων του μοντέλου προσομοίωσης.

[*TIME*]

Η μεταβλητή συστήματος *TIME* χρησιμοποιείται για να κρατάει την τρέχον χρόνο του ρολογιού της προσομοίωσης.

[*TYPE*]

Η μεταβλητή συστήματος *TYPE* περιέχει το όνομα ενός κομματιού. Για παράδειγμα στην εντολή

```
'IF TYPE = Part3
```

```
    PUSH to AssemblyBuffers
```

```
ELSE
```

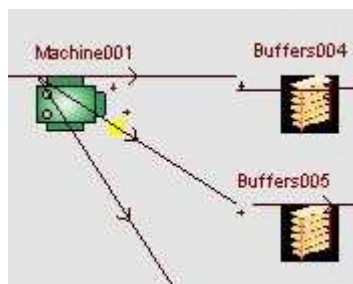
```
    PUSH to DrillingBuffers
```

```
ENDIF'
```

Αν το κομμάτι είναι τύπου *Part3* τότε το μετακινεί στο *AssemblyBuffers* ενώ διαφορετικά το μετακινεί στο *DrillingBuffers*.

### Προγραμματισμός Μοντέλου

Στο μοντέλο που δίδεται στους φοιτητές οι κυριότερες εντολές που ρυθμίζουν την ροή των κομματιών είναι οι *Pull*, *Push* και *Sequence*. Κάθε μηχανή λαμβάνει κομμάτια μέσω των εντολών *Pull* και *Sequence* και αφού τα επεξεργαστεί τα προωθεί στην επόμενη μηχανή ή αποθηκευτικό χώρο με χρήση της εντολής *Push*. Για την κατανόηση της λειτουργίας του μοντέλου αλλά και του προγραμματισμού που διέπει την λειτουργία του, κάποια στοιχεία έχουν επιλεγεί και παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.



Εικόνα 3: Πολλαπλασιασμός κομματιών με χρήση του στοιχείου *Machine001*

Η μεταβλητή *ORDERS* χρησιμοποιείται για να καθορίσει το φορτίο εργασίας που πρέπει να επεξεργαστεί το σύστημα. Αρχικοποιώντας την τιμή της μεταβλητής αυτής καθορίζεται και ο αριθμός των κομματιών που θα εισέλθουν στο σύστημα την χρονική στιγμή μηδέν.

Η συνάρτηση *Cycle\_time* χρησιμοποιείται για να διαφοροποιεί τον χρόνο επεξεργασίας των κομματιών στο δράπανο και το πρίονι ανάλογα με τον τύπο του κομματιού που πρέπει να περάσει από

την αντίστοιχη μηχανή σύμφωνα με τον πίνακα 1. Για τον λόγο αυτό δέχεται ως ορίσματα το όνομα της μηχανής και τον τύπο του κομματιού. Η κλήση της γίνεται στο πεδίο που ορίζεται ο χρόνος επεξεργασίας κάθε μηχανής.

### ***Αναφορές***

- [1] Chryssolouris, G., Manufacturing Systems: Theory and Practice, 2nd Edition, Springer-Verlag, New York, New York, (2006).
- [2] Χρυσολούρης Γ., Συστήματα παραγωγής θεωρία και πράξη, Τόμος II, Πάτρα 2002, σελ 348-360.
- [3] Χρυσολούρης Γ., Μούρτζης Δ. , Παράδειγμα προσομοίωσης συστημάτων παραγωγής, Πανεπιστήμια Πατρών- Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πάτρα 2001.
- [4] Mourtzis, D., G. Michalos, S. Makris, K. Georgoulis and G. Chryssolouris, "Flexibility quantification in complex assembly systems", Proceedings of the IFAC Workshop on Manufacturing Modelling, Management and Control, Budapest, Hungary, (November 2007), pp. 193-198.
- [5] Law A.M., McComas M.G., Simulation of manufacturing systems, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson
- [6] Lalas, C., D. Mourtzis, N. Papakostas and G. Chryssolouris, "A Simulation-Based Hybrid Backwards Scheduling Framework for Manufacturing Systems", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, (Vol. 19, No. 8, 2006), pp. 762-774.
- [7] Chryssolouris, G., D. Mavrikios, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Michalos and K. Georgoulis, "Digital Manufacturing: History, Perspectives and Outlook", Keynote Paper, Proceedings of the 4th International Conference on Digital Enterprise Technology (DET2007), Bath, U.K., (September 2007), pp. 1-12.
- [8] Patel V., Ashby J. and Ma J., 2002, "Discrete event simulation in automotive final process system", Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, eds.
- [9] Lanner Group, [www.lanner.com](http://www.lanner.com)
- [10] <http://www.emplant.com/>