

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Θέμα: Προσομοίωση και Βελτιστοποίηση Γραμμής Παραγωγής
Κεραμοποιείου με Χρήση Λογισμικού Arena®

Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων: ΚΟΥΪΚΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
Μέλη Επιτροπής: ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
ΤΣΙΝΑΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΣΟΥΜΠΑΚΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλους τον επιβλέποντα καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Βασίλη Κουϊκόγλου, για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε τόσο κατά την ανάθεση της εργασίας, όσο και κατά την ομαλή διεξαγωγή της από την αρχή ως το τέλος. Τον ευχαριστώ επίσης θερμά, για τις γνώσεις που αποκόμισα από αυτόν, κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μαθημάτων του προπτυχιακού προγράμματος.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ευστράτιο Ιωαννίδη και τον Δρ. Γεώργιο Τσιναράκη για το χρόνο που διέθεσαν να διαβάσουν και να κάνουν παρατηρήσεις πάνω στην εργασία μου. Επιπλέον, τους ευχαριστώ για όσα διδάχτηκα στις αίθουσες του Πολυτεχνείου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ την αδερφή μου Μαίρη, τη φίλη μου Ελίνα και τον φίλο μου Γιώργο, για την πολύτιμη βοήθειά τους. Ευχαριστώ επίσης, την οικογένειά μου, που πάντα με στηρίζουν στη προσπάθειά μου να πετυχαίνω τους στόχους μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή.....	3
1.1	Περίληψη.....	3
1.2	Γενικά για την Arena	3
2.	Γραμμές Παραγωγής	4
2.1	Γενικά για τις γραμμές παραγωγής	4
2.2	Γραμμές παραγωγής με ενδιάμεσες πεπερασμένης χωρητικότητας αποθήκες	5
2.3	Μοντελοποίηση στο περιβάλλον του προγράμματος Arena®	6
2.3.1	Εργαλεία του προγράμματος	6
2.3.1.1	Basic Process.....	6
2.3.1.2	Advanced Process.....	7
2.3.1.3	Advanced Transfer	8
2.3.2	Μοντελοποίηση Γραμμής Παραγωγής στο λογισμικό Arena	9
3.	Μελέτη γραμμής παραγωγής Κεραμοποιείου	11
3.1	Γενικά για το Κεραμοποιείο ΠΛΙΝΘΟΚΕΡΑΜ Ε.Π.Ε.....	11
3.2	Διαδικασία Παραγωγής	11
3.3	Μελέτη Δεύτερης Φάσης Παραγωγής σε πραγματικό χρόνο.....	14
3.3.1	Χρόνοι επεξεργασίας, Πιθανότητες βλάβης, Χρόνοι αποκατάστασης και Χρόνοι μεταφοράς	14
4.	Προσομοίωση στο Arena 13.5 Student Edition®.....	16
4.1	Εισαγωγή.....	16
4.2	Παρουσίαση ολικού μοντέλου προσομοίωσης.....	16
4.2.1	Μοντελοποίηση σταθμού Πρέσας - Προκόφτη.....	17
4.2.2	Μοντελοποίηση του σταθμού Ψαλίδι.....	23
4.2.3	Μοντελοποίηση σταθμού Φτυάρι - Ωθητήρας.....	26
4.2.4	Μοντελοποίηση του Σταθμού Μπάρα 1.....	32
4.2.5	Μοντελοποίηση του σταθμού Πριν Φόρτωση Σχάρας.....	33
4.2.6	Μοντελοποίηση του σταθμού Φόρτωσης Σχάρας.....	35
4.2.7	Μοντελοποίηση σταθμού Πριν Μπάρα 2.....	38
4.2.8	Μοντελοποίηση Σταθμού Μπάρα 2	39
4.2.9	Μοντελοποίηση Σταθμού Πριν Ασανσέρ Φόρτωσης.....	40
4.2.10	Μοντελοποίηση Σταθμού Ασανσέρ Φόρτωσης	42
4.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με τα θεωρητικά δεδομένα	44
4.4	Στατιστική ανάλυση του πλήθους προσομοιώσεων - Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	48
5.	Προσδιορισμός Σημείων Συνωστισμού (Bottlenecks).....	52
5.1	Γενικά	52
5.2	Bottlenecks στη γραμμή παραγωγής του εργοστασίου	52
5.3	Βελτιστοποίηση Γραμμής Παραγωγής.....	53
5.4	Βελτιστοποίηση μοντέλου στο Arena 13.5 Student Edition®	54
5.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης του βελτιστοποιημένου μοντέλου.....	55
5.6	Στατιστική ανάλυση του πλήθους προσομοιώσεων - Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	57
6.	Σύνοψη	61
	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (Συμπληρωματικό Μοντέλο)	63
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (Κατανομές)	65
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 (Πίνακες Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης)	67

1. Εισαγωγή

1.1 Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την προσομοίωση της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου κεραμοποιίας ΠΛΙΝΘΟΚΕΡΑΜ Ε.Π.Ε., με την βοήθεια του προγράμματος Arena®. Η γραμμή παραγωγής είναι ένα σύνθετο σύστημα αναμονής το οποίο δεν είναι δυνατό να μελετηθεί με αναλυτικά μοντέλα ουρών αναμονής.

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι να περιγράψει τη χρήση της προσομοίωσης ως εργαλείο για την κατανόηση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου.

Συγκεκριμένα εξετάζονται τα εξής:

- ♦ Μελέτη γενικού μοντέλου των γραμμών παραγωγής με ενδιάμεσες αποθήκες πεπερασμένης χωρητικότητας και μοντελοποίηση στο περιβάλλον του προγράμματος Arena®.
- ♦ Μελέτη γραμμής παραγωγής του εργοστασίου σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας με σκοπό τη συλλογή δεδομένων και την κατανόηση λειτουργίας του.
- ♦ Προσομοίωση γραμμής παραγωγής και των συστημάτων αναμονής (queuing systems) του εργοστασίου, με την βοήθεια του λογισμικού Arena 13.5 Student Edition. Σύγκριση των αποτελεσμάτων (θεωρητικά και πρακτικά).
- ♦ Προσδιορισμός των σημείων συνωστισμού (bottlenecks) της γραμμής παραγωγής και προτάσεις για τη βελτίωσή της προς όφελος της εταιρείας.

1.2 Γενικά για την Arena

Η Arena είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης συστημάτων αναμονής. Τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν

- συστήματα παραγωγής, όπου παρατηρείται κίνηση, αποθήκευση και κατεργασία κομματιών
- συστήματα εξυπηρέτησης, στα οποία οι εξυπηρετούμενοι σχηματίζουν ουρές μπροστά από σημεία εξυπηρέτησης
- ή εν γένει συστήματα ροής τα οποία διαχειρίζονται τηλεφωνικά σήματα, εντολές εκτέλεσης στον υπολογιστή, κ.λπ..

Το λογισμικό Arena αναπτύχθηκε από την αμερικάνικη εταιρία *Systems Modeling Corporation*¹ και λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows. Τα μοντέλα (πρότυπα) στα οποία αναφέρεται η παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν στην ακαδημαϊκή έκδοση Arena® 13.5

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει συστήματα χωρίς να γράφει ο ίδιος κώδικα προγραμματισμού. Αντίθετα, καλείται να επιλέξει από έναν μεγάλο αριθμό μονάδων σχεδίασης (τα λεγόμενα **modules**, **elements** και **blocks**) τις κατάλληλες και να τις συνδέσει μεταξύ τους ώστε να αναπαραστήσουν το σύστημα. Καθώς ο χρήστης συνθέτει το μοντέλο του συστήματος, η Arena το μετατρέπει αυτόματα σε γλώσσα προσομοίωσης SIMAN.

¹ Η εταιρία έχει εξαγορασθεί από την *Rockwell Software* με διεύθυνση στο Internet <http://www.arenasimulation.com/>

Στο σημείο αυτό πρέπει να δηλωθεί ότι η παρούσα έκδοση, λόγω του ότι είναι ακαδημαϊκή, έχει περιορισμένες δυνατότητες ως προς τον αριθμό των εντολών. Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα εξαιτίας αυτής της έκδοσης(π.χ. Χωρισμός προγράμματος σε δύο υποπρογράμματα με κατάλληλες εισόδους δεδομένων).

2. Γραμμές Παραγωγής

2.1 Γενικά για τις γραμμές παραγωγής

Οι γραμμές παραγωγής (flow lines ή production lines) αποτελούν έναν τύπο βιομηχανικού συστήματος που συναντάται πολύ συχνά στην πράξη. Ουσιαστικά, μια γραμμή παραγωγής αποτελείται από ένα πλήθος μηχανών όπου υλοποιείται η επεξεργασία των προϊόντων.

Οι γραμμές παραγωγής ως μια σημαντική κατηγορία των βιομηχανικών συστημάτων αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών και για πολλά χρόνια. Στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να βρει πληθώρα άρθρων σχετικών με τη μοντελοποίηση των γραμμών παραγωγής είτε μέσω κάποιου μοντέλου προσομοίωσης είτε μέσω κάποιας αναλυτικής μεθόδου. Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των υπολογιστικών συστημάτων και η συνεχής βελτίωση των αποδόσεων των επεξεργαστών τους δίνει ώθηση σε ερευνητές που ασχολούνται με το θέμα της μοντελοποίησης ή ακόμα και της βελτιστοποίησης των γραμμών παραγωγής να πετυχαίνουν συνεχώς μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κριτήρια^[5] με βάση τα οποία διακρίνονται οι γραμμές παραγωγής σε κατηγορίες. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

- Διάταξη και τοπολογία μηχανών
- Τύπος παραγόμενων προϊόντων
- Αξιοπιστία μηχανών
- Συγχρονισμένη ή όχι κίνηση των προϊόντων από τη μια μηχανή στην άλλη.

Ανάλογα με τη διάταξη των μηχανών, οι γραμμές παραγωγής διακρίνονται σε σειριακές γραμμές παραγωγής (serial production lines) και μη σειριακές γραμμές παραγωγής (non-serial production lines). Υπάρχει επίσης μια ακόμα κατηγορία αυτή της γραμμής παραγωγής με σταθμούς εργασίας που αποτελούνται από πολλές παράλληλες μηχανές επεξεργασίας.

Όσον αφορά τον τύπο των παραγόμενων προϊόντων, οι γραμμές διακρίνονται σε γραμμές διακριτού τύπου προϊόντων και γραμμές συνεχούς τύπου προϊόντων.

Ανάλογα με την αξιοπιστία των μηχανών, οι γραμμές κατηγοριοποιούνται σε αξιόπιστες (reliable production lines) και μη αξιόπιστες γραμμές παραγωγής (unreliable production lines).

Τέλος, ανάλογα με την κίνηση των προϊόντων από τη μια μηχανή στην άλλη, οι γραμμές διακρίνονται σε συγχρονισμένες (synchronous production lines) και μη συγχρονισμένες (asynchronous production lines).

2.2 Γραμμές παραγωγής με ενδιάμεσες πεπερασμένης χωρητικότητας αποθήκες

Στην εργασία αυτή, εφόσον προσομοιώνεται εργοστάσιο παραγωγής οπτόπλινθων αναφερόμαστε για μια γραμμή που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- ⤴ Σειριακή γραμμή παραγωγής (serial production line)
- ⤴ Γραμμή διακριτού τύπου προϊόντων
- ⤴ Μη αξιόπιστη γραμμή παραγωγής (unreliable production lines)
- ⤴ Μη συγχρονισμένη γραμμή παραγωγής (asynchronous production lines).

Στην πράξη, στις βιομηχανικές γραμμές παραγωγής δεν είναι εφικτό να έχουμε πλήρως συγχρονισμένες γραμμές παραγωγής για πολλούς λόγους. Μερικοί από αυτούς είναι η διαφορετικότητα των μηχανών ως προς το χρόνο επεξεργασίας, οι διαφορετικοί χρόνοι εμφάνισης και επιδιόρθωσης βλαβών, η πρόκληση μπλοκαρίσματος της μηχανής κ.α.

Εφόσον οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των προϊόντων εμφανίζουν βλάβες που ακολουθούν κάποιο τύπο κατανομής (εκθετική, γεωμετρική κ.τ.λ.), χαρακτηρίζονται ως μη αξιόπιστες και κατ' επέκταση και η γραμμή παραγωγής θεωρείται μη αξιόπιστη.

Επί προσθέτως, η κατηγοριοποίηση σε γραμμή διακριτού και όχι συνεχούς τύπου βασίζεται στο γεγονός ότι το παραγόμενο προϊόν είναι οπτόπλινθοι (τούβλα), τα οποία είναι διακριτά. Σε αντίθετη περίπτωση, αν το παραγόμενο προϊόν ήταν κάποιο υγρό, η γραμμή παραγωγής θα χαρακτηριζόταν ως συνεχούς τύπου προϊόντων.

Τέλος, η γραμμή παραγωγής του εργοστασίου είναι σειριακή, γιατί η παραγωγή περιλαμβάνει M μηχανήματα διατεταγμένα σε σειρά και μάλιστα με $M-1$ αποθήκες πεπερασμένης χωρητικότητας.



Σχήμα 2.2.1: Σειριακή με M σταθμούς εργασίας και $M-1$ ενδιάμεσους αποθηκευτικούς χώρους

2.3 Μοντελοποίηση στο περιβάλλον του προγράμματος Arena®

2.3.1 Εργαλεία του προγράμματος

Για να γίνει εφικτή η κατανόηση της μοντελοποίησης παρουσιάζονται κάποια από τα πιο βασικά εργαλεία του προγράμματος. Οι ομάδες των εργαλείων είναι οι εξής:

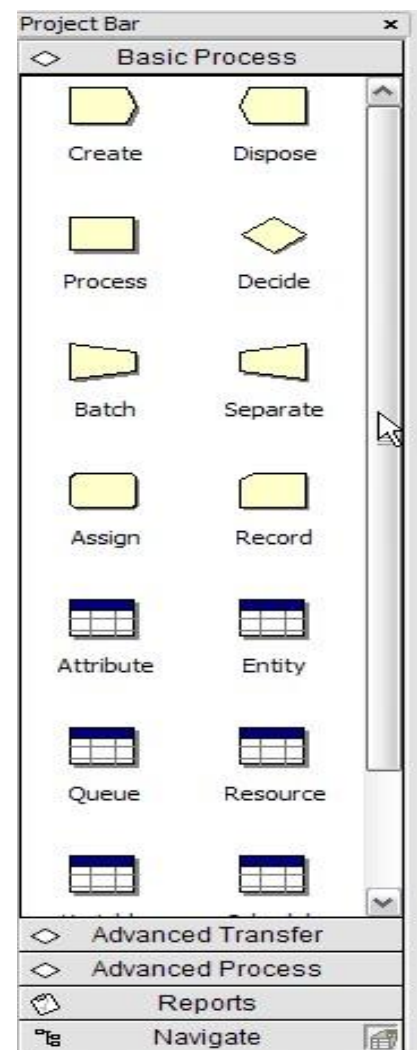
- Basic Process
- Advanced Process
- Advanced Transfer

2.3.1.1 Basic Process

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα βασικά εργαλεία για την προσομοίωση ενός μοντέλου.

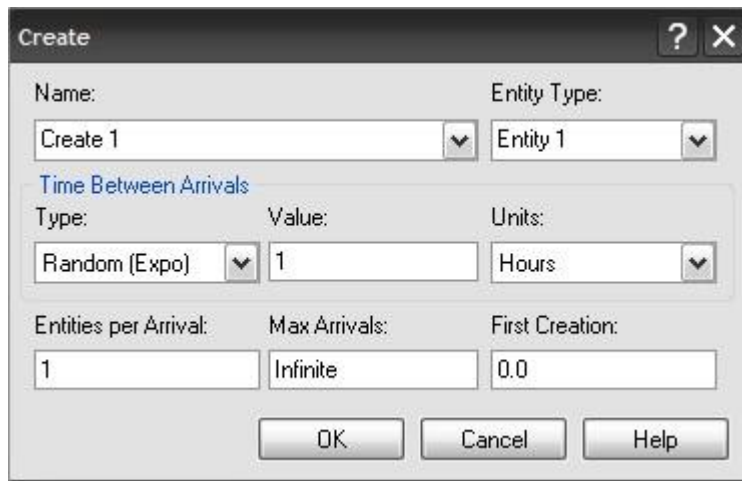
Τα έξι πρώτα εργαλεία όπως βλέπουμε στην εικόνα 2.3.1.1. είναι τα:

- Create Module, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των αφίξεων.
- Dispose Module για τις αναχωρήσεις.
- Process Module για τη διαδικασία εξυπηρέτησης ή αναμονής-εξυπηρέτησης όταν υπάρχει άλλη οντότητα δεσμευμένη.
- Decide Module το οποίο ελέγχει την ισχύ κάποιας συνθήκης.
- Batch Module για να ομαδοποιεί κάποιες οντότητες.
- Separate Module για να μετατρέπει μια οντότητα σε πολλές.



Εικόνα 2.3.1.1: Μπάρα με τα βασικά εργαλεία της Basic Process στο περιβάλλον Arena

Ενδεικτικά, στην εικόνα 2.3.1.2. δίδεται το πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Create για την καλύτερη κατανόησή του. Στο πλαίσιο, θέτουμε το όνομα (είδος) της οντότητας που δημιουργείται, τον τύπο της, τον ενδοαφιξιακό χρόνο, τον αριθμό οντοτήτων που δημιουργούνται ταυτόχρονα, τον μέγιστο αριθμό οντοτήτων προς δημιουργία καθώς και το πότε θα γίνει η πρώτη δημιουργία της οντότητας.



Εικόνα 2.3.1.2: Πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Create στο περιβάλλον Arena

2.3.1.2 Advanced Process

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει modules τα οποία χρησιμοποιούνται για πιο σύνθετα προβλήματα προσομοίωσης, όπου απαιτείται πιο λεπτομερής σχεδίαση.

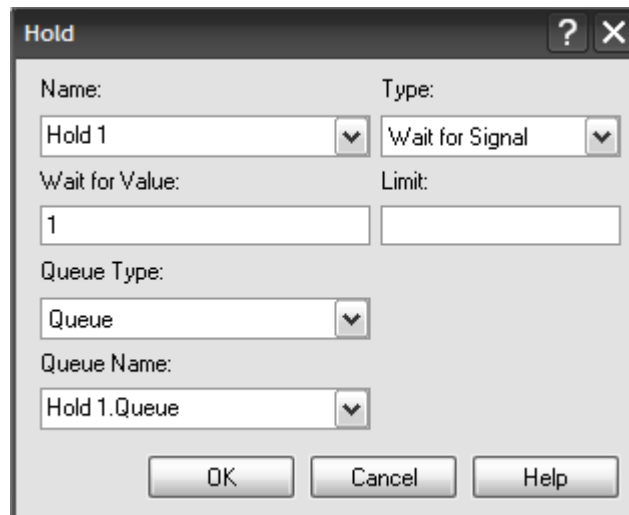
Παρακάτω αναφέρονται μερικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν στη προσομοίωση της παρούσας εργασίας:

- Delay Module, καθυστερεί μια οντότητα για ένα προκαθορισμένο χρόνο.
- Hold Module, δεσμεύει μια οντότητα σε μια ουρά αναμονής, περιμένοντας ένα σήμα ή να γίνει μια κατάσταση πραγματική (true).
- Seize Module, δεσμεύει το μέσο εξυπηρέτησης.
- Release Module, αποδεσμεύει το μέσο εξυπηρέτησης.
- Signal Module, στέλνει σήμα σε ένα Hold Module για να αποδεσμεύσει τη μέγιστη ποσότητα δεσμευμένων οντοτήτων.



Εικόνα 2.3.1.3: Μπάρα με τα βασικά εργαλεία της Advanced Process στο περιβάλλον Arena

Ενδεικτικά, στην εικόνα 2.3.1.4, δίδεται το πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Hold για καλύτερη κατανόηση. Στο πλαίσιο, θέτουμε το όνομα του εργαλείου, τον τύπο (αν αναμένει σήμα ή κάποιο περιορισμό), τον τύπο της ουράς αναμονής, και το όνομά της.



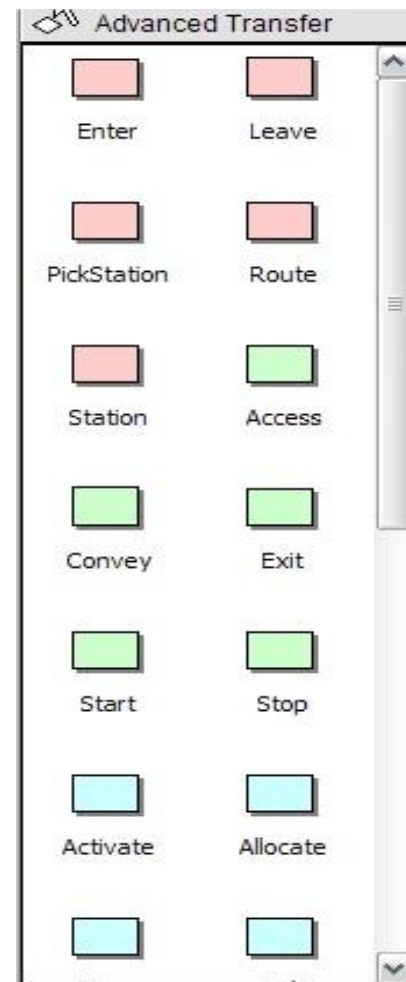
Εικόνα 2.3.1.4: Πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Hold στο περιβάλλον Arena

2.3.1.3 Advanced Transfer

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει modules τα οποία χρησιμοποιούνται για μεταφορές οντοτήτων μέσα σε ένα σύστημα. Είναι σύνηθες σε μια γραμμή παραγωγής να υπάρχουν μεταφορικές ταινίες, ράουλα και άλλα είδη μεταφορών.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν στη προσομοίωση της παρούσας εργασίας:

- Station Module, ορίζει ένα φυσικό σταθμό (ή ένα σύνολο σταθμών) που αντιστοιχεί σε μια θέση αναμονής ή μια θέση επεξεργασίας.
- Access Module, ελέγχει την πρόσβαση μιας οντότητας σε ένα μεταφορέα.
- Convey Module, κινεί μια οντότητα με ένα μεταφορέα από ένα σταθμό σε έναν άλλο.
- Exit Module, απελευθερώνει τη δεσμευμένη θέση του μεταφορέα από την οντότητα σε μια συγκεκριμένη ταινία.
- Start Module, αλλάζει την κατάσταση του μεταφορέα από ανενεργό σε ενεργό.
- Stop Module, αλλάζει την κατάσταση του μεταφορέα από ενεργό σε ανενεργό.



Εικόνα 2.3.1.5: Μπάρα με τα βασικά εργαλεία της Advanced Transfer στο περιβάλλον Arena

Ενδεικτικά, στην εικόνα 2.3.1.6. δίδεται το πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Convey για καλύτερη κατανόηση. Στο πλαίσιο, θέτουμε το όνομα του εργαλείου (όπως φαίνεται στο μοντέλο), έπειτα το όνομα (όπως εμφανίζεται στην αναφορά), τον τύπο του προορισμού, και το όνομά του.

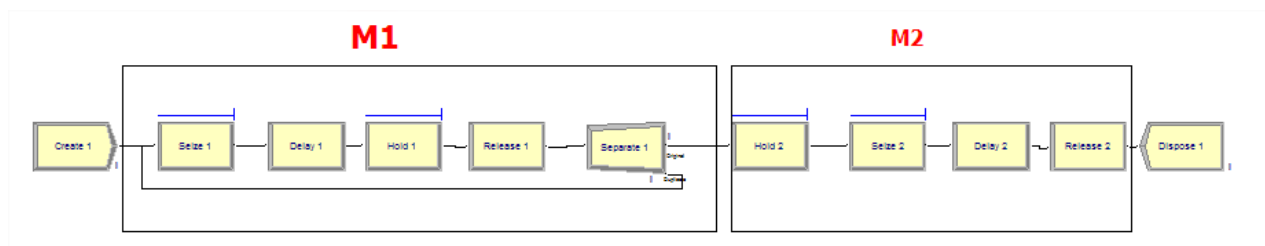
Εικόνα 2.3.1.6: Πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου Convey στο περιβάλλον Arena

2.3.2 Μοντελοποίηση Γραμμής Παραγωγής στο λογισμικό Arena

Έστω μία γραμμή παραγωγής N φάσεων, στην οποία εισέρχονται ακατέργαστα κομμάτια προς παραγωγή τελικού προϊόντος. Θεωρούμε ότι, πριν από κάθε μηχανή υπάρχει μία ενδιάμεση αποθήκη πεπερασμένης χωρητικότητας. Η πρώτη μηχανή θεωρείται ως διαδικασία αφίξεων των ακατέργαστων κομματιών από μία άπειρη αποθήκη. Η διάρκεια της επεξεργασίας σε κάθε φάση ακολουθεί συγκεκριμένη κατανομή (π.χ. την εκθετική κατανομή).

Μοντελοποίηση

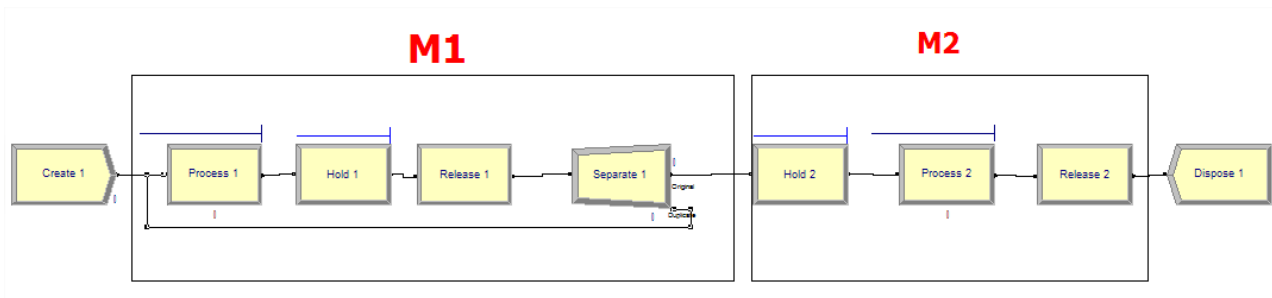
Στην Εικόνα 2.3.2.1. παρουσιάζεται το μοντέλο μιας γραμμής παραγωγής δύο φάσεων.



Εικόνα 2.3.2.1: Γραμμή παραγωγής 2 φάσεων στο Arena

Κάθε κομμάτι εισέρχεται στο σύστημα από ένα *Create Module*. Ακολουθεί το *Seize*, όπου δεσμεύεται η πρώτη μηχανή (M1). Ακολουθεί η επεξεργασία από την M1, η οποία μοντελοποιείται από ένα *Delay*. Κατόπιν, το *Hold 1* επιτρέπει στο κομμάτι να φύγει από την μηχανή M1 μόνο όταν η αποθήκη (*Hold 2*) μπορεί να το δεχτεί, δηλαδή όταν δεν είναι γεμάτη. Σε μια τέτοια περίπτωση, το κομμάτι προχωρά στο *Separate Module* που «παράγει» μία δεύτερη οντότητα, η οποία θα αποτελέσει την επόμενη άφιξη, αφού πρώτα αποδεσμεύσει την M1 περνώντας από το *Release*.

Η ίδια διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί αντικαθιστώντας τα *Seize* και *Delay* Modules με ένα *Process*. Βέβαια το *Process Module* πρέπει να είναι προγραμματισμένο κάνοντας την ίδια εργασία με τα δυο προηγούμενα εργαλεία. Συγκεκριμένα, το μοντέλο στην Arena θα άλλαζε ως εξής:

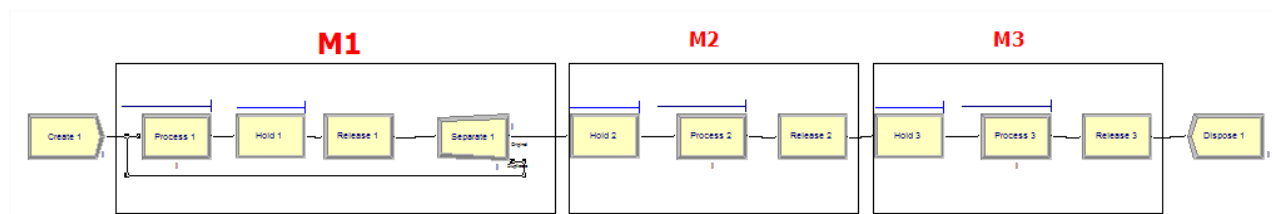


Εικόνα 2.3.2.2: Γραμμή παραγωγής 2 φάσεων στο Arena με το Process Module

Στην εικόνα 2.3.2.3 δίδεται το πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου *Process 1* για το μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω. Στο πλαίσιο, θέτουμε το όνομα του εργαλείου, τον τύπο, και για ενέργεια (Action) επιλέγουμε *Seize Delay* για να πετύχουμε την επιθυμητή αντικατάσταση. Έπειτα στο χωρίο *Resources* επιλέγουμε με το «Add...» την κατάλληλη πηγή. Τέλος, στα τελευταία χωρία επιλέγουμε τον τύπο της καθυστέρησης, την κατανομή του χρόνου καθυστέρησης κ.τ.λ.

Εικόνα 2.3.2.3: πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου *Process* στο περιβάλλον Arena

Το παραπάνω μοντέλο είναι εύκολο να εξελιχθεί σε μοντέλο τριών ή και παραπάνω αριθμών φάσεων. Συγκεκριμένα, στην επόμενη εικόνα βλέπουμε ένα μοντέλο τριών φάσεων.



Εικόνα 2.3.2.2: Γραμμή παραγωγής 3 φάσεων στο περιβάλλον Arena

Με αυτή τη λογική θα πραγματοποιηθεί και η προσομοίωση της βασικής γραμμής παραγωγής του εργοστασίου.

3. Μελέτη γραμμής παραγωγής Κεραμοποιείου

3.1 Γενικά για το Κεραμοποιείο ΠΛΙΝΘΟΚΕΡΑΜ Ε.Π.Ε.

Το κεραμοποιείο ΠΛΙΝΘΟΚΕΡΑΜ Ε.Π.Ε., που μελετάται στην εργασία αυτή, εδρεύει στο Μαλακώνα Ευβοίας στο 17^ο χλμ Χαλκίδας-Ερέτριας και είναι ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής οπτόπλινθων σε όλη την Ελλάδα. Ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1991 και από τότε έχει συντελέσει σημαντικά στη βελτίωση της παραγωγής οπτόπλινθων προς όφελος ολόκληρης της ελληνικής βιομηχανίας. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι, εκπρόσωποι πολλών εταιρειών (κυρίως κατασκευαστικές εταιρείες που εγκαθιστούν τέτοιου είδους εργοστάσια στο εξωτερικό) το επισκέπτονται κατά καιρούς για να μελετήσουν τις καινοτομίες που πραγματοποιούν οι μηχανικοί της εταιρείας πάνω στη γραμμή παραγωγής.

3.2 Διαδικασία Παραγωγής

Η περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής θα πραγματοποιηθεί για το πιο σύνηθες προϊόν, το οποίο έχει ονομαστική επιφάνεια: Τούβλο διαστάσεων 9*12*19cm. Η διαδικασία παραγωγής είναι ίδια και για τα υπόλοιπα προϊόντα, αλλά παρατηρούνται αλλαγές κατά τις ποσότητες των οπτοπλινθών στα διάφορα πακέτα τα οποία μια μηχανή δέχεται προς επεξεργασία.

Σε **πρώτη φάση** γίνεται η επεξεργασία των πρώτων υλών με ειδικά μηχανήματα επεξεργασίας χώματος. Φορτωτές ανακατεύουν συνήθως 3-4 είδη χώματος και έπειτα τα αδειάζουν σε μεγάλα σιλό. Το χώμα μεταφέρεται από το σιλό σε ειδικό μηχάνημα αφαίρεσης πέτρας και άλλων στοιχείων (κλαδιά, πλαστικά αντικείμενα, κτλ) με ταινίες μεταφοράς. Στο επόμενο στάδιο γίνεται η μεταφορά του χώματος σε ειδικά μηχανήματα ανάδευσης (ζυμωτήρια). Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται η προσθήκη νερού με αποτέλεσμα να έχουμε την πρώτη μορφή πηλού. Στη συνέχεια το χώμα μεταφέρεται με ταινίες μεταφοράς σε κατάλληλα μηχανήματα (λειαντικές) και γίνεται η προσθήκη αλεσμένου pet coke για το καλύτερο ψήσιμο του τούβλου. Τέλος, το χώμα φτάνει στο ειδικό μηχάνημα της πρέσας, όπου και περνάμε στη δεύτερη και κύρια φάση τη παραγωγή.



Εικόνα 3.2.1: Πρώτη ύλη για την παραγωγή οπτόπλινθων.

Στη **δεύτερη και κύρια φάση**, με την οποία και θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή, ο πηλός ύστερα από ανάδευση και υπό πίεση εξωθείται από την πρέσα με ειδικούς κοχλίες περνώντας από ειδικά διαμορφωμένα καλούπια («φυλιέρες»). Στο σημείο αυτό σχηματίζεται το τούβλο με τις οπές και με συνεχή εξώθηση εξέρχονται πέντε κομμάτια («Μακαρόνια») που εν συνεχεία κόβονται από τον «Προκόφτη». Το κομμένο κομμάτι μεταφέρεται με ταινία μεταφοράς και ράουλα στο ψαλίδι κοπής. Σε αυτό το σημείο το καθένα από τα πέντε κομμάτια κόβονται σε εφτά επιμέρους κομμάτια σχηματίζοντας συνολικά 35 οπτόπλινθους, αφαιρώντας βέβαια τα μπροστινά και οπίσθια περίσσια κομμάτια τα



Εικόνα 3.2.2: Εξώθηση του πηλού από τη πρέσα σε σχήμα τούβλου.

οποία ξαναμεταφέρονται στο μηχάνημα της πρέσας. Εφόσον δεν υπάρχει σχάρα προς εφοδιασμό, από την αρχή της πρέσας μέχρι και το ψαλίδι, υπάρχει χωρητικότητα για δύο πακέτα των 35 οπτοπλίνθων (ένα πακέτο στο χώρο του ψαλιδιού κοπής και ένα πριν, πάνω στη ταινία μεταφοράς).

Μετά από το στάδιο αυτό τα νωπά τούβλα είναι έτοιμα να φορτωθούν σε σχάρες χωρητικότητας 105 τούβλων, δηλαδή τριών τέτοιων παραγόμενων πακέτων. Φτάνοντας μια σχάρα μεταφοράς μπροστά στο ψαλίδι κοπής και έχοντας γίνει η κοπή, τα τούβλα μεταφέρονται με ράουλα επάνω στη σχάρα μεταφοράς δεσμεύοντας μια από τις τρεις διαθέσιμες θέσεις της σχάρας. Η σχάρα μεταφέρεται στη δεύτερη προς φόρτωση θέση και έπειτα στη τρίτη. Έχοντας φορτωθεί (και οι τρεις θέσεις είναι δεσμευμένες), η σχάρα φεύγει και μεταφέρεται προς τον «Ανελκυστήρα φόρτωσης». Καθώς φεύγει η φορτωμένη σχάρα, μια άλλη (εφόσον υπάρχει διαθέσιμη) παίρνει τη θέση της.



Εικόνα 3.2.3: Κόψιμο των τούβλων και φόρτωμα σε σχάρα μεταφοράς.

Ο ανελκυστήρας φόρτωσης ή αλλιώς και ασανσέρ φόρτωσης έχει χωρητικότητα δύο σχαρών. Εφόσον φτάσει η μία σχάρα περιμένει να έρθει και η επόμενη και έπειτα “φορτώνει” το τελάρο ξηραντηρίων. Το τελάρο αυτό έχει χωρητικότητα δώδεκα σκαρών και χρησιμεύει στη μεταφορά των νωπών οπτοπλίνθων στα ξηραντήρια, όπου πραγματοποιείται η ομαλή ξήρανση τους μέσα στο θάλαμο για περίπου δύο ημέρες στη θερμοκρασία των 80° C.

Καθώς ένα τελάρο εισέρχεται στα ξηραντήρια, ένα άλλο τελάρο, έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία ξήρανσης (δύο ημέρες), εξέρχεται και μεταφέρεται στον ανελκυστήρα εκφόρτωσης. Σε αυτό το σημείο, οι σχάρες «ξεφορτώνονται» με τον «Ανελκυστήρα εκφόρτωσης» (ή αλλιώς και «Ασανσέρ εκφόρτωσης») και εισέρχονται σε ένα ειδικό μηχάνημα «Φτυάρι-Ωθητήρας» το οποίο σπρώχνει τα 105 ξηρά πλέον τούβλα προς τις καδένες μεταφοράς. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η κάθε σχάρα να αδειάζει και να είναι έτοιμη προς μεταφορά και έπειτα προς φόρτωση από το ψαλίδι κοπής που αναφέραμε παραπάνω. Η μεταφορά προς το ψαλίδι γίνεται πάνω σε καδένες (αλυσίδες) μεταφοράς. Από το μηχάνημα εκφόρτωσης των τούβλων (φτυάρι) έως την πρώτη θέση εφοδιασμού της σχάρας, υπάρχει χωρητικότητα άλλης μίας σχάρας, δηλαδή τρεις σχάρες στο σύνολο μαζί με τις προαναφερθείσες. Επίσης, από το μηχάνημα εκφόρτωσης των τούβλων «Φτυάρι-Ωθητήρας» έως τη δεύτερη θέση εφοδιασμού της σχάρας από το ψαλίδι, υπάρχει χωρητικότητα άλλων δύο σχαρών, δηλαδή τέσσερις σχάρες στο σύνολο μαζί με τις σχάρες φόρτωσης - εκφόρτωσης.



Εικόνα 3.2.4: Ασανσέρ εκφόρτωσης σκαρών από τελάρο.

Η **τρίτη φάση** συνεχίζεται από το σημείο που ξεφορτώνονται τα ξηρά πλέον τούβλα από τις σχάρες μέσω του φτυαριού, μέχρι το πακετάρισμα των τούβλων σε ειδικά βαγόνια με σκοπό την έψηση τους. Πιο αναλυτικά, τα τούβλα ξεφορτώνονται πάνω σε καδένες μεταφοράς, έπειτα λόγω αλλαγής κατεύθυνσης από οριζόντιας σε κάθετης κατεύθυνσης περνάνε σε ράουλα και στη συνέχεια σε ταινία μεταφοράς. Καθ’ όλη τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής γίνεται διαλογή των μη ποιοτικά αποδεκτών τούβλων. Αυτή η διαδικασία πολλές φορές είναι χρονοβόρα, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση όλης της γραμμής παραγωγής.

Στο τελευταίο μέρος της ταινίας μεταφοράς γίνεται ο διαχωρισμός των τούβλων από 105 τούβλα (7 σειρές X 15 στήλες) σε 75 τούβλα (5 σειρές X 15 στήλες τούβλων). Με αυτό τον τρόπο τα τούβλα εξέρχονται (από την ταινία μεταφοράς προς τις καδένες μεταφοράς) πάντα ως ένα πακέτο των 75 τούβλων. Τα υπόλοιπα τούβλα παραμένουν πάνω στην ταινία μεταφοράς για το επόμενο πακέτο των 105 τούβλων, για να γίνει και πάλι ο διαχωρισμός σε πακέτα των 75. Έχοντας πάντα 2 πακέτα των 75 τούβλων, γίνεται η αποδέσμευση των δύο αυτών πακέτων από το μηχάνημα. Στη συνέχεια, οδηγούνται και πάλι σε ένα άλλο μηχάνημα διαχωρισμού το οποίο επιτρέπει στα δύο πακέτα να συνεχίσουν με τις 10 στήλες τούβλων. Έτσι, το μηχάνημα δεσμεύει τις υπόλοιπες πέντε στήλες και περιμένει τα επόμενα πακέτα ούτως ώστε να γίνει συμψηφισμός και ξανά ο διαχωρισμός. Με αυτό τον τρόπο τελικά, το μηχάνημα αυτό ομαδοποιεί τους οπτόπλινθους σε πενήντάδες, δηλαδή σε πακέτα των πέντε γραμμών και δέκα στηλών.



Εικόνα 3.2.5: Μηχάνημα διαχωρισμού ποσότητας τούβλων.

Τα τελικά πακέτα των 50 τούβλων περνάνε στο μηχάνημα του πακεταδόρου. Το μηχάνημα αυτό δεσμεύει τέσσερα πακέτα των 50 τούβλων με τέσσερις «πένσες» που διαθέτει και τα μεταφέρει στο βαγόνι για το τελικό ψήσιμο των τούβλων. Το βαγόνι αυτό, διαμορφώνεται με τέσσερις στήλες των 700 τούβλων, δηλαδή η κάθε στήλη έχει 14 πακέτα των 50 τούβλων. Ο συνολικός αριθμός των οπτόπλινθων στο βαγόνι διαμορφώνεται στα 2.800 τεμάχια (4 X 700).

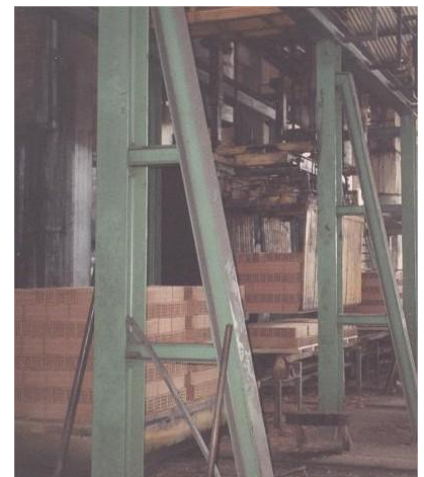
Το βαγόνι, εφόσον έχει όλες τις σειρές πακέτων, είναι έτοιμο να εισέρθει στο κλίβανο έψησης (φούρνο), δηλαδή να περάσει στη τέταρτη φάση παραγωγής.



Εικόνα 3.2.6: Πακεταδόρος και βαγόνι

Στη **τέταρτη και τελευταία φάση** παραγωγής, αρχικά τα βαγόνια τοποθετούνται δίπλα στον κλίβανο (βλέπε Εικόνα 3.2.7) . Ανά μισή έως μιάμιση ώρα, ένα βαγόνι εισέρχεται στον κλίβανο (ανάλογα με τον αριθμό των παραγόμενων βαγονιών των δύο προηγούμενων ημερών). Το βαγόνι παραμένει στο φούρνο για άλλες δύο ημέρες στους 800° C, ούτως ώστε να ολοκληρωθεί το ψήσιμο. Μετά τις δύο μέρες, το βαγόνι βγαίνει από το κλίβανο και περνάει στο μηχάνημα του ξεπακεταδόρου. Σε αυτό το σημείο, το μηχάνημα πακετάρει τα τούβλα σε παλέτες. Η κάθε παλέτα διαμορφώνεται στα 440 τεμάχια.

Συνεχίζοντας από το σημείο του ξεπακεταδόρου, η παλέτα τυλίγεται με νάilon, εισερχόμενη στο μηχάνημα πακεταρίσματος. Εφόσον η παλέτα πακεταριστεί, τοποθετείται στο μηχάνημα κατάβρεξης νερού («βούτα») για να αποφευχθούν τυχόν σκασίματα και σκισίματα των τούβλων. Τέλος, οι παλέτες μεταφέρονται στις αποθήκες της εταιρείας ή στα φορτηγά ώστε να είναι έτοιμες για τη διανομή τους.



Εικόνα 3.2.7: Μηχάνημα ξεπακεταδόρου

3.3 Μελέτη Δεύτερης Φάσης Παραγωγής σε πραγματικό χρόνο

3.3.1 Χρόνοι επεξεργασίας, Πιθανότητες βλάβης, Χρόνοι αποκατάστασης και Χρόνοι μεταφοράς

Στην παράγραφο αυτή, γίνεται η καταγραφή των χρόνων επεξεργασίας των μηχανημάτων, των πιθανοτήτων βλάβης και των χρόνων αποκατάστασης των βλαβών, της δεύτερης και κύριας φάσης, η οποία θα προσομοιωθεί, θα αναλυθεί και θα βελτιστοποιηθεί. Αυτά τα στοιχεία έχουν συλλεχθεί κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο.

Ξεκινώντας τη δεύτερη φάση της παραγωγής συναντάμε το μηχάνημα της πρέσας και του ψαλιδιού. Ο χρόνος παραγωγής ενός πακέτου των 35 τεμαχίων ολοκληρώνεται στα 9 sec, δηλαδή από τη στιγμή που θα γίνει η κοπή του πρώτου πακέτου από τον προκόφτη μέχρι τη στιγμή του δεύτερου πακέτου καταγράφεται ο χρόνος αυτός. Επίσης, ο χρόνος μεταφοράς από τον προκόφτη μέχρι το ψαλίδι κοπής (μέχρι να κόψει το ψαλίδι το πακέτο) προσδιορίζεται στα 2 sec.

Ο επόμενος χρόνος που μας ενδιαφέρει να καταγραφεί είναι αυτός που αφορά τη διαδικασία της κοπής στο ψαλίδι. Ο χρόνος αυτός είναι σταθερός και παρατηρείται στα 3 sec. Στο σημείο αυτό όμως παρατηρείται συχνή βλάβη του μηχανήματος λόγω κοπής των ειδικών συρμάτων του ψαλιδιού. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να απαιτείται ένας χρόνος αποκατάστασης βλάβης. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την τριγωνική κατανομή Triangular (1, 1.5, 2), δηλαδή ένα και δύο λεπτά είναι οι ελάχιστη και μέγιστη τιμή αποκατάστασης αντίστοιχα, με συχνότερη τιμή να διαμορφώνεται στο 1.5 λεπτό. Η πιθανότητα να κοπεί ένα σύρμα είναι P (Να κοπεί ένα σύρμα) = 0.005 ή, ισοδύναμα, 0.5 % , δηλαδή στα χίλια πακέτα που θα περάσουν από το ψαλίδι, το σύρμα θα κοπεί μόνο πέντε φορές.

Στο επόμενο στάδιο, εφόσον υπάρχει σχάρα προς φόρτωση, ο χρόνος μεταφοράς του πακέτου των 35 τεμαχίων προσδιορίζεται στα 3 sec. Αν, πάλι, δεν υπάρχει σχάρα μεταφοράς το πακέτο περιμένει στο μηχάνημα του ψαλιδιού, έως ότου να φθάσει μία κενή σχάρα. Έχοντας γεμίσει με τρία πακέτα, η σχάρα αποχωρεί από το σταθμό της φόρτωσης και κινείται προς τον ανελκυστήρα φόρτωσης.

Ο χρόνος, ο οποίος απαιτείται για να φτάσει η σκάρα από το σταθμό εφοδιασμού της μέχρι την μπάρα αλλαγής κατεύθυνσης είναι 4.6 sec. Επιπλέον, από τη προηγούμενη μπάρα μέχρι το σημείο πριν το ανελκυστήρα φόρτωσης απαιτούνται 2.4 sec, ενώ από το προηγούμενο σημείο μέχρι το φόρτωμα της σκάρας στον ανελκυστήρα απαιτούνται 1.2 sec.

Τέλος, η διάρκεια του φορτώματος των δύο σχαρών στο τελάρο ξηραντηρίων μπορεί να προσεγγιστεί με την τριγωνική κατανομή. Αυτό συμβαίνει λόγω της φύσης του τελάρου. Πιο αναλυτικά, το ασανσέρ φόρτωσης κάνει μικρότερο χρόνο εναπόθεσης όταν φορτώνει το τελάρο στις κατώτερες θέσεις σε σύγκριση με τις ανώτερες θέσεις, με ελάχιστο χρόνο να παρατηρείται στη θέση του ύψους του ασανσέρ κατά τον εφοδιασμό του με σχάρες. Η κατανομή λοιπόν που διαμορφώνεται είναι η Triangular (3, 5, 8), δηλαδή στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή έχουμε τα 3 και 8 sec αντίστοιχα και στην περισσότερη επιθυμητή τα 5 sec.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι, πολλές φορές παρατηρείται μη προβλεπόμενη λειτουργία του ανελκυστήρα φόρτωσης κατά τον εφοδιασμό του τελάρου με σχάρες. Αυτό συμβαίνει γιατί, ειδικά στις υψηλές θέσεις εφοδιασμού, το τελάρο δεν είναι αρκετά σταθερό και έτσι δεν πραγματοποιείται η σωστή τοποθέτηση των σχαρών. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού, είναι οι σχάρες να μπλοκάρουν κατά την τοποθέτηση, αλλά και να πέφτουν από το τελάρο, καθυστερώντας σημαντικά τη γραμμή παραγωγής. Ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης υπολογίζεται προσεγγιστικά στα 2 min, ως γενικός μέσος χρόνος αποκατάστασης της βλάβης. Τέλος, η πιθανότητα να γίνει μια τέτοια βλάβη προσδιορίζεται ως P (να πάθει ζημιά το Ασανσέρ) = 4.5 %.

Από το σημείο αυτό και έπειτα, δηλαδή, έχοντας εφοδιαστεί το τελάρο, έως τη στιγμή της εκφόρτωσης των σχαρών του τελάρου, θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν καθυστερήσεις και βλάβες στα

μηχανήματα. Αυτή η παραδοχή γίνεται σκοπίμως, εφόσον παρατηρήθηκε ότι σπανίως υπήρχε κάποιο πρόβλημα σε αυτό το κομμάτι της διαδικασίας παραγωγής. Επομένως, ο χρονικός προσδιορισμός και ο προσδιορισμός των βλαβών συνεχίζεται από το κομμάτι της γραμμής παραγωγής όπου πραγματοποιείται η εκφόρτωση των σχαρών από τον ανελκυστήρα εκφόρτωσης έως ότου να γίνει η φόρτωση των άδειων πλέον σχαρών με νωπά τούβλα.

Σύμφωνα με την προηγούμενη παραδοχή, η ανάλυση συνεχίζεται από το σημείο όπου πραγματοποιείται η εκφόρτωση των σχαρών. Η σχάρα εισέρχεται μέσα στο ειδικό μηχάνημα του φτυαριού χωρίς καμία βλάβη. Όπως παρατηρήθηκε στο ασανσέρ φόρτωσης, αντίστοιχα και το ασανσέρ εκφόρτωσης κάνει μικρότερο χρόνο εναπόθεσης όταν ξεφορτώνει το τελάρο στις κατώτερες θέσεις σε σύγκριση με τις ανώτερες θέσεις. Και σε αυτή την περίπτωση, ελάχιστος χρόνος παρατηρείται στη θέση του ύψους του ασανσέρ. Η κατανομή λοιπόν που διαμορφώνεται είναι η Triangular (1.5, 2.5, 4), δηλαδή στη μέγιστη και στην ελάχιστη τιμή έχουμε τα 1.5 και 4 sec αντίστοιχα και στην περισσότερη επιθυμητή τα 4 sec.

Εφόσον δεν υπάρχει κανένα πακέτο τούβλων μπροστά από το φτυάρι προς διαλογή, το μηχάνημα είναι ελεύθερο να αδειάσει την δεσμευμένη σχάρα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε σταθερό χρόνο και η διάρκεια του είναι 4 sec.

Η διαδικασία της **διαλογής**, που περιγράφεται στην **Τρίτη φάση** της διαδικασίας παραγωγής, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάλυσή της. Πιο αναλυτικά, εφόσον υπάρχει συμφόρηση από σχάρες που δεν έχουν υποστεί διαλογή και αυτές βρίσκονται μπροστά από το μηχάνημα του φτυαριού (το φτυάρι θεωρείται μπλοκαρισμένο), δεν καθίσταται εφικτό να γίνει το άδειασμα της σχάρας. Η διαδικασία της διαλογής περιγράφεται από τη τριγωνική κατανομή Triangular (5, 25, 200) δηλαδή στη μέγιστη και στην ελάχιστη τιμή έχουμε τα 5 και 25 sec αντίστοιχα και στην περισσότερη επιθυμητή τα 200 sec. Η πιθανότητα κάποιο πακέτο να θέλει έστω και την ελάχιστη τιμή του χρόνου διαλογής δεν είναι σταθερή, γιατί πολλοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο προς τη διαμόρφωση της. Επί παραδείγματι, ένας τυχαίος παράγοντας είναι η υγρασία της ατμόσφαιρας. Εφόσον υπάρχει υψηλή υγρασία στην ατμόσφαιρα, η λειτουργία των ξηραντηρίων επηρεάζεται αρνητικά, δημιουργώντας ρωγμές και σπασίματα στα τούβλα. Επομένως μια μεγάλη ποσότητα τούβλων, και κατά συνέπεια ένα μεγάλο ποσοστό τους, θα υποστεί έστω και την παραμικρή διαδικασία διαλογής. Κάποια άλλα παραδείγματα είναι οι βροχές τη χειμερινή περίοδο (υπάρχει περισσότερη ποσότητα νερού στο νωπό τούβλο από την κανονική), η κατάσταση του καλουπιού (φυλίστρας) κ.α.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, η πιθανότητα κάποιο πακέτο να θέλει έστω και την ελάχιστη τιμή του χρόνου διαλογής διαμορφώνεται από 10% έως και 50% δηλαδή $P(\text{να θέλει διαλογή}) = 10\% - 50\%$. Θα μπορούσαμε να πούμε και πάλι ότι, η πιθανότητα ακολουθεί την τριγωνική κατανομή Triangular (10, 30, 50), αλλά θα ήταν λάθος εφόσον, καθημερινά μπορεί να πάρει οποιαδήποτε ξεχωριστή τιμή, ανάλογα με το πώς διαμορφώνονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα. Έτσι, είναι προτιμότερο να γίνουν διαφορετικές προσομοιώσεις με κάποιες ενδεικτικές τιμές της πιθανότητας αυτής.

Συνεχίζοντας, εφόσον η σχάρα αδειάσει, είναι έτοιμη να αποδεσμευτεί από το μηχάνημα του φτυαριού και να περάσει στη μπάρα αλλαγής κατεύθυνσης, μέσω καδενών μεταφοράς. Ο χρόνος αυτός προσδιορίζεται στα 3 sec και είναι σταθερός. Έπειτα, η σχάρα μεταφέρεται προς το σταθμό φόρτωσης, μπροστά από το μηχάνημα του ψαλιδιού. Ο χρόνος μεταφοράς από τη μπάρα αλλαγής κατεύθυνσης μέχρι το σταθμό φόρτωσης υπολογίζεται στα 6 sec.

Κατ' αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται η καταγραφή των χρόνων επεξεργασίας των μηχανημάτων, των χρόνων μεταφοράς των οντοτήτων, των πιθανοτήτων βλάβης και των χρόνων αποκατάστασης των βλαβών, της δεύτερης και κύριας φάσης της διαδικασίας παραγωγής.

4. Προσομοίωση στο Arena 13.5 Student Edition®

4.1 Εισαγωγή

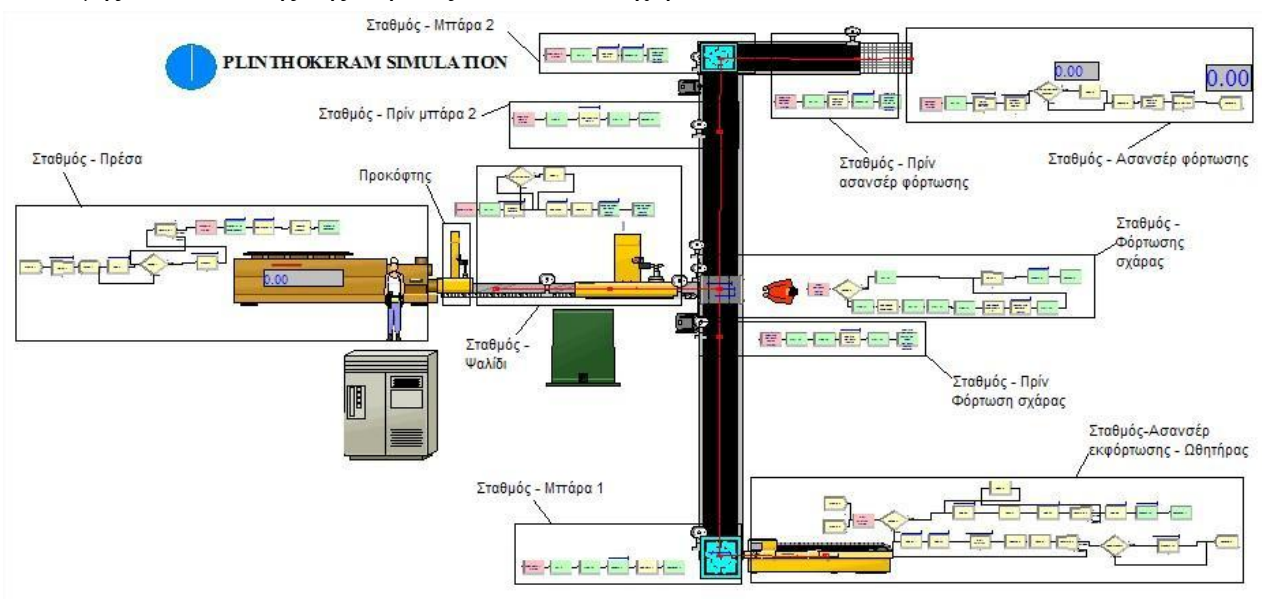
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί κάθε βήμα της προσομοίωσης, της δεύτερης φάσης της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου, που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3 στην παράγραφο 3.3. Η μοντελοποίηση θα πραγματοποιηθεί για τον πιο βασικό τύπο προϊόντος (οπτόπλινθος δωδεκάπορος με ονομαστική επιφάνεια: Τούβλο διαστάσεων 9*12*19cm). Θα γίνει καταγραφή όλων των εργαλείων του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και τα πλαίσια διαμόρφωσής τους καθώς και η λογική της αλληλουχίας των εργαλείων, προκειμένου να γίνει προσπάθεια για μια πιο αναλυτική και κατανοητή προσέγγιση για τον αναγνώστη. Επίσης, θα καταγραφούν τα αποτελέσματα και θα γίνει η σύγκριση πραγματικών και θεωρητικών τιμών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι η διάρκεια της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής είναι 8 ώρες / ημέρα. Αυτό φυσικά καταχωρείται και στα δεδομένα του προγράμματος.

4.2 Παρουσίαση ολικού μοντέλου προσομοίωσης

Στην εικόνα 4.2.1 παρουσιάζεται το ολικό μοντέλο της προσομοίωσης. Η εικόνα έχει παρθεί από το περιβάλλον του λογισμικού και έχουν προστεθεί επεξηγηματικά σχόλια για τους σταθμούς των μηχανημάτων.

Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από το κατώτερο μέρος της εικόνας και κοιτάζοντας δεξιά από το κέντρο, βλέπουμε το σταθμός του «Ανελκυστήρα εκφόρτωσης» και τον «Ωθητήρα – Φτυάρι». Τα δυο μηχανήματα έχουν ενσωματωθεί σε ένα για τις ανάγκες της προσομοίωσης.

Αριστερά του προηγούμενου σταθμού συναντάμε τον σταθμό της «Μπάρας 1». Ο σταθμός αυτός είναι απαραίτητος εφόσον το σημείο αυτό είναι σημείο αναμονής σχαρών, αλλά είναι και σημείο αλλαγής κατεύθυνσης της πορείας των άδειων σχαρών.



Εικόνα 4.2.1 : Ολικό μοντέλο Προσομοίωσης

Πάνω από το σταθμό της «Μπάρας 1» βρίσκεται ο σταθμός της θέσης «Πριν τη φόρτωση σχάρας». Ο σταθμός αυτός είναι απαραίτητος για τον ακριβώς προηγούμενο λόγο.

Πάνω από τον προηγούμενο σταθμό, και πάντα αναφορικά με την εικόνα τοποθετείται ο σταθμός «Φόρτωση σχάρας». Στο σταθμό αυτό η άδεια σχάρα φορτώνεται με πακέτα τούβλων τα οποία φτάνουν στο σημείο αυτό από τον σταθμό του ψαλιδιού.

Αριστερά του σταθμού «Φόρτωση σχάρας» βρίσκεται ο Σταθμός του «Ψαλιδιού», που εφοδιάζει τη σχάρα.

Αριστερά του σταθμού του «Ψαλιδιού» βρίσκεται ο προκόφτης και ο σταθμός της «Πρέσας», όπου γίνεται και η «γένεση» των οντοτήτων (οπτόπλινθοι).

Πιο πάνω συναντούμε το σταθμό της θέσης «Πριν Μπάρα 2». Η θέση αυτή είναι σημείο αναμονής γεμάτων σχαρών.

Συνεχίζοντας προς τα πάνω υπάρχει ο σταθμός «Μπάρα 2». Στο σταθμό αυτό γίνεται αλλαγή κατεύθυνσης της γεμάτης σχάρας, αλλά χρησιμοποιείται και ως σημείο αναμονής για τις σχάρες που κατευθύνονται προς το «Ασανσέρ Φόρτωσης».

Δεξιά του προηγούμενου σταθμού βρίσκεται ο σταθμός αναμονής σχαρών «Πριν Ασανσέρ φόρτωσης».

Τέλος, πάνω δεξιά συναντάται ο σταθμός «Ασανσέρ φόρτωσης», όπου γίνεται η εναπόθεση των σχαρών στο τελάρο ξηρατηρίων.

Στην εικόνα φαίνονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ένα σταθμό. Η ανάλυση τους θα γίνει διεξοδικά στις επόμενες παραγράφους, με αναλυτικές εικόνες και πλήρης περιγραφή των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν.

4.2.1 Μοντελοποίηση σταθμού Πρέσας - Προκόφτη

Η μοντελοποίηση του σταθμού «Πρέσα – Προκόφτης» ίσως είναι μια από τις δυσκολότερες μοντελοποιήσεις που έγιναν. Αυτό είναι απόρροια του γεγονότος ότι, υπάρχουν κάποιες ιδιαιτερότητες στη γραμμή παραγωγής. Πιο αναλυτικά, ισχύει ότι, η πρέσα για να ξεκινήσει τη λειτουργία της πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Ο αριθμός των οντοτήτων στο μηχάνημα «Προκόφτης» (δηλαδή στην ουρά αναμονής του προκόφτη) να είναι μηδέν.
2. Ο αριθμός των οντοτήτων στο μηχάνημα «Ψαλίδι» (δηλαδή στην ουρά αναμονής του ψαλιδιού) να είναι μηδέν.
3. Να υπάρχει μια σχάρα στον σταθμό «Φόρτωσης σχάρας» ανεξαρτήτως θέσης 1,2,3 (Η σχάρα μεταφέρεται στη πρώτη προς φόρτωση θέση, έπειτα στη δεύτερη και τέλος στη τρίτη).
4. Να υπάρχει μια σχάρα στον σταθμό «Μπάρα 1».

Ο λόγος που υπάρχουν αυτές οι προϋποθέσεις, είναι γιατί με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε το σταμάτημα της πρέσας. Γενικά, το σταμάτημα και ξεκίνημα της πρέσας είναι πολύ ζημιογόνο για την επιχείρηση. Το ξεκίνημά της απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια από την κανονική της λειτουργία, επομένως έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Ένας άλλος λόγος είναι ότι οι πιέσεις που δημιουργούνται στο εσωτερικό της κατά την εκκίνηση είναι, και πάλι, πολύ μεγαλύτερες από εκείνες στην κανονική της λειτουργία, με αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά της.

Ακολουθώντας τις παραπάνω συνθήκες, γεμίζουμε τον χώρο από την «Μπάρα 1» μέχρι και τον σταθμό «Φόρτωση σχάρας» με σχάρες και αποτρέπουμε το αλληπάλληλο σταμάτημά της.

Μία ακόμα ιδιαιτερότητα της γραμμής παραγωγής είναι ότι, όταν η σχάρα βρίσκεται στο σταθμό «Φόρτωση σχάρας» στη θέση 1, η επόμενη άδεια σχάρα που έρχεται να εφοδιαστεί δεν μπορεί να προχωρήσει πέρα από το σταθμό «Μπάρας 1». Καθώς, η σχάρα φορτωθεί με το πρώτο πακέτο και περάσει στη δεύτερη θέση αναμονής, τότε υπάρχει κίνηση των καδενών μεταφοράς και επομένως η επόμενη άδεια σχάρα έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί προς τον σταθμό «Πριν Φόρτωση σχάρας».

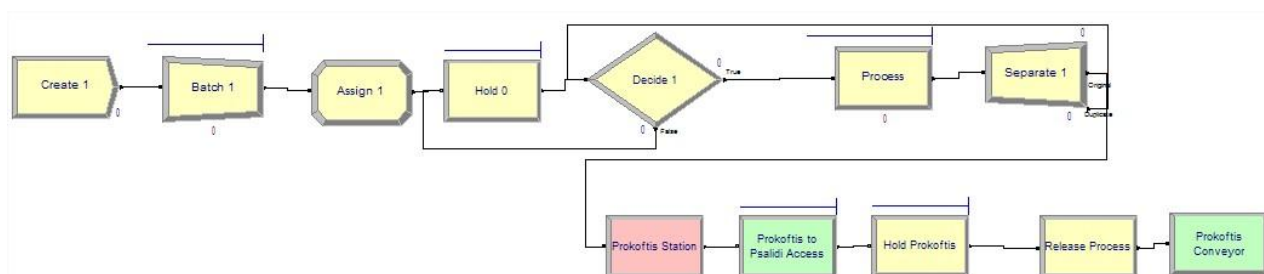
Πρέπει να διευκρινίσουμε ακόμα τα σενάρια που υπάρχουν, τόσο στην έναρξη της λειτουργίας της παραγωγής (πχ. το πρωί), όσο και στο ενδιαμέσο του χρόνου λειτουργίας του εργοστασίου, πριν την κάθε έναρξη της πρέσας:

1ο σενάριο: Το πρωί, στο ξεκίνημα της παραγωγικής διαδικασίας, το σύστημα είναι άδαιο από σχάρες και πακέτα τούβλων (στον προκόφτη και στο ψαλίδι). Έτσι λοιπόν, η πρέσα περιμένει να γεμίσει πρώτα ο σταθμός «Φόρτωση σχάρας» και έπειτα η «Μπάρα 1» με κενές σχάρες, για να γίνει η εκκίνησή της. Καθαυτό τον τρόπο, η πρέσα κάνει εκκίνηση της λειτουργίας της έχοντας δύο κενές σχάρες προς εφοδιασμό στην αναμονή.

2ο σενάριο: Ένας λόγος που σταματάει η πρέσα τη λειτουργία της, μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή εκτός του σεναρίου 1, είναι γιατί δεν υπάρχει σχάρα προς φόρτωση. Έτσι, γεμίζει το ψαλίδι με ένα πακέτο, το ίδιο ισχύει και στον προκόφτη, επομένως η πρέσα διακόπτει τη λειτουργία της. Έχοντας, μία σχάρα, πάρει τη θέση της για εφοδιασμό στη θέση 1, το πρώτο πακέτο φεύγει από το ψαλίδι και φορτώνεται στη σχάρα. Η σχάρα, περνάει στη θέση 2 του εφοδιασμού με αποτέλεσμα οι καδένες μεταφοράς να ξεκινούν και να μεταφέρουν (εφόσον υπάρχει) τη σχάρα που βρίσκεται στο σταθμό «Μπάρα 1», προς το σταθμό «Πριν Φόρτωση σχάρας». Έπειτα, φεύγει το δεύτερο πακέτο από τον προκόφτη και περνάει στο ψαλίδι και με τη σειρά του καταλήγει στη σχάρα. Κατ' αυτό τον τρόπο η πρέσα κάνει εκκίνηση έχοντας δύο ολόκληρες σχάρες κενές και τη μία θέση από τις τρεις στην παρούσα σχάρα εφοδιασμού.

Η διαφορά μεταξύ των σεναρίων (όσον αφορά τις κενές σχάρες πριν την εκκίνηση) μπορεί να φαίνεται μηδαμινή, αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι. Η μία σχάρα που υπερисχύει στο δεύτερο σενάριο μειώνει, κατά ένα σεβαστό βαθμό, το σταμάτημα της πρέσας. Περαιτέρω, ανάλυση θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο που πραγματεύεται τα σημεία συνωστισμού.

Έχοντας διευκρινίσει τις παραπάνω ιδιαιτερότητες προχωρούμε προς τη μοντελοποίηση του σταθμού. Η εικόνα 4.2.1.1. μας δείχνει τα εργαλεία (modules) που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 4.2.1.1. : Μοντέλο προσομοίωσης του σταθμού Ψαλίδι

Όπως περιγράφεται και στην παραπάνω εικόνα, αφετηρία του μηχανισμού είναι ένα *Create Module* (*Create 1*). Με αυτό τον τρόπο, «γεννιούνται» στο σύστημα 35 οντότητες, οι οποίες με ένα *Batch Module* (*Batch 1*) ομαδοποιούνται ως ένα πακέτο.

Στην εικόνα 4.2.1.2. παρουσιάζονται τα πλαίσια διαμόρφωσης των δύο αυτών modules.

Εικόνα 4.2.1.2. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Create 1 & Batch 1

Αμέσως μετά από τα παραπάνω modules, έπεται το *Assign Module*, το οποίο χρησιμοποιείται στην ανάθεση νέων τιμών στις μεταβλητές, στις ιδιότητες, στους τύπους οντοτήτων, στις εικόνες κ.α. Κατόπιν, ακολουθεί το *Hold 0 Module* με το οποίο πραγματοποιείται η τήρηση των προϋποθέσεων που περιγράφηκαν στην αρχή της παρούσας παραγράφου. Το πλαίσιο διαμόρφωσής του, ακολουθεί στην εικόνα 4.2.1.3.

Εικόνα 4.2.1.3. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 0

Στο παραπάνω πλαίσιο διαμόρφωσης φαίνεται ότι, ο τύπος της αναμονής είναι μια συνθήκη. Η συνθήκη που περιγράφεται είναι η εξής:

```
nq(Hold Prokofitis.Queue)==0&nq(Hold Psalidi.Queue)==0&&(NR(Process 1 Resource)==0)&&(NR(Process 2 Resource)==0)&&(nq(Hold Raoula Psalidi Thesi.Queue)==1.or.nq(Hold Raoula Psalidi Thesi 2 3.Queue)==1)&&nq(Hold Bara 1.Queue)==1
```

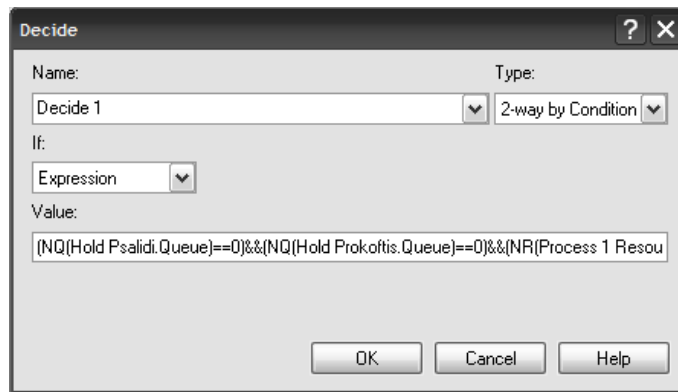
Επεξήγηση συμβόλων και εντολών:

`nq(name.Queue)` : Επιστρέφει τον αριθμό των οντοτήτων στην ουρά αναμονής

`&&` : AND

`.or.` : OR

Δεξιά του *Hold 0 Module* βρίσκεται το *Decide 1* το οποίο ελέγχει, αν υπάρχουν οντότητες στον σταθμό του προκόφτη και στο ψαλίδι. Το πλαίσιο διαμόρφωσής του, ακολουθεί στην εικόνα 4.2.1.4.

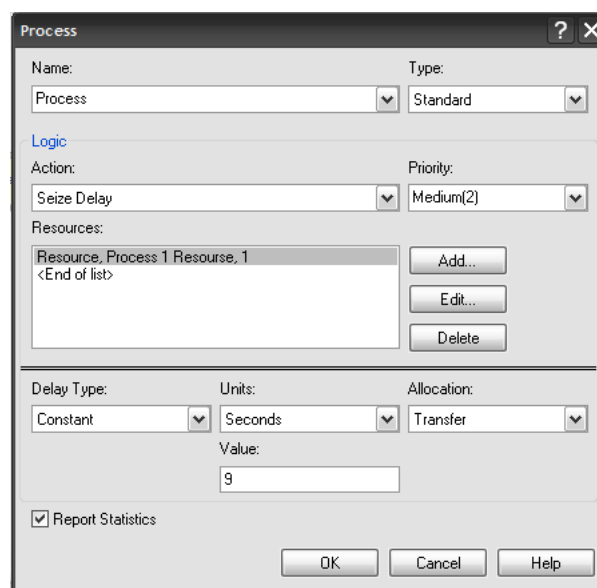


Εικόνα 4.2.1.4. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 0

Στο παραπάνω πλαίσιο διαμόρφωσης, αλλά και στην εικόνα 4.2.1.1 φαίνεται ότι, ο τύπος της απόφασης είναι μια διμερής συνθήκη. Η συνθήκη που περιγράφεται είναι η εξής:

(NQ(Hold Psalidi.Queue)==0)&&(NQ(Hold Prokoftis.Queue)==0)&&(NR(Process 1 Resource)==0)&&(NR(Process 2 Resource)==0)

Εφόσον η συνθήκη είναι αληθής, η οντότητα περνάει στο *Process Module* δεξιά του *Decide 1*, και έτσι προσομοιώνεται η παραγωγή της οντότητας. Στην αντίθετη περίπτωση, η οντότητα επιστρέφει στο *Hold 0* για να συνεχίσει την αναμονή. Το εργαλείο *Decide 1*, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το *Separate Module* που ακολουθεί (δεν είναι χρήσιμο κατά την εκκίνηση της πρέσας αλλά μόνο κατά τη διάρκεια λειτουργίας της).

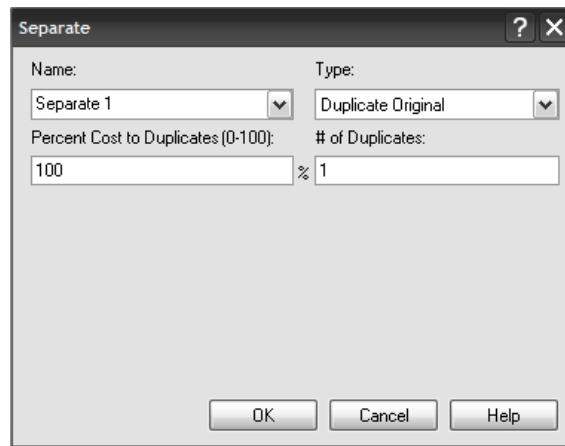


Εικόνα 4.2.1.5. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Process Module

Η παραπάνω εικόνα, παρουσιάζει το πλαίσιο διαμόρφωσης του *Process*. Έχοντας θέσει στο πεδίο *Resources* τους κατάλληλους πόρους και έχοντας επιλέξει τον τύπο της ενέργειας (*Seize Delay*), επιτυγχάνεται η παραγωγή και η μεταφορά του πακέτου με τα 35 τούβλα προς το ψαλίδι κοπής.

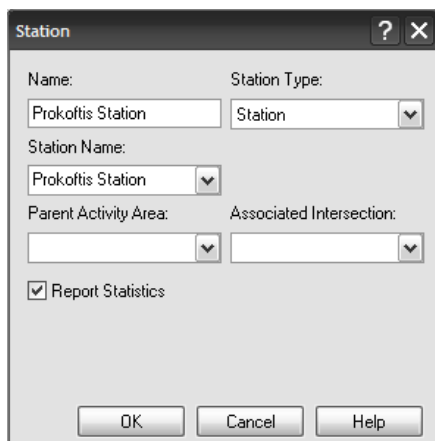
Πράγματι, αν παρατηρήσουμε την εικόνα 4.2.1.1., βλέπουμε ότι, στο αμέσως επόμενο βήμα, η οντότητα περνάει μέσα από το *Separate 1 Module*, όπου διπλασιάζεται, με την αρχική οντότητα να συνεχίζει προς τον σταθμό του «*Προκόφτη*» *Prokoftis Station* και την παραγόμενη οντότητα από το *Separate 1*, να μεταφέρεται πριν το *Decide 1*, ώστε να ξεκινήσει και πάλι η διαδικασία που περιγράφηκε μέχρι τώρα στη παράγραφο αυτή.

Στο *Separate 1 Module*, γίνεται ο διπλασιασμός της οντότητας θέτοντας στο πεδίο του *type* την πρώτη επιλογή (*Duplicate original*) και για # διπλασιασμών, θέτουμε τον αριθμό 1. Στην εικόνα 4.2.1.5. παρατίθεται το πλαίσιο διαμόρφωσης του συγκεκριμένου module.

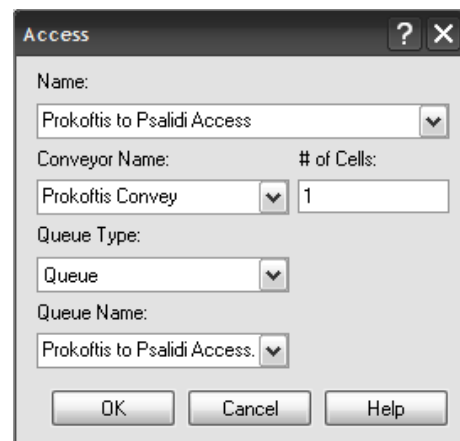


Εικόνα 4.2.1.6. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Separate 1 Module

Φεύγοντας από το *Separate 1 Module* η οντότητα περνάει στο Σταθμό του προκόφτη. Εκεί συναντάει ένα *Access Module (Prokoftis to Psalidi Access)*. Στην ουσία, το *Access Module* ελέγχει αν ο μεταφορέας είναι κενός (στην προκειμένη περίπτωση ο μεταφορέας είναι ταινία μεταφοράς). Αν δεν είναι κενός, η οντότητα εναποτίθεται στην ουρά αναμονής του εργαλείου, περιμένοντας να αδειάσει ο μεταφορέας.

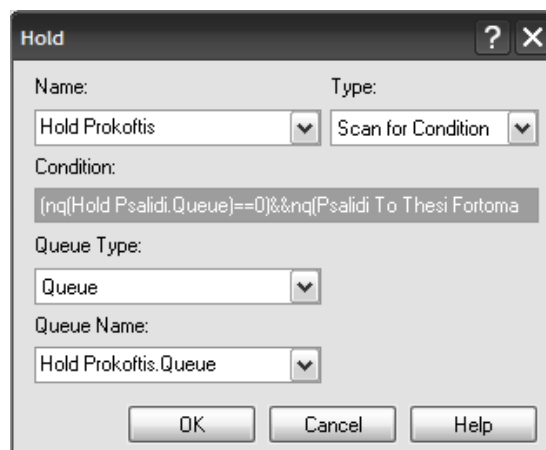


Εικόνα 4.2.1.7. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Prokoftis Station



Εικόνα 4.2.1.8. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Prokoftis to Psalidi Access

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει σε μια ουρά αναμονής, το *Hold Prokoftis*, όπου γίνεται έλεγχος για το αν ο σταθμός του ψαλιδιού είναι άδειος. Το πλαίσιο διαμόρφωσης παρατίθενται στην επόμενη εικόνα.



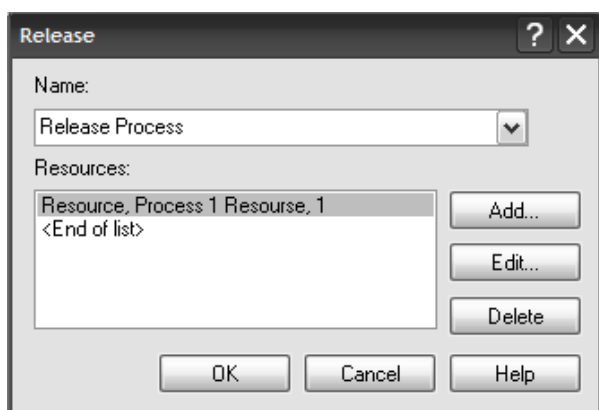
Εικόνα 4.2.1.9. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold Prokoftis

Στο παραπάνω πλαίσιο διαμόρφωσης φαίνεται ότι, ο τύπος της αναμονής είναι μια συνθήκη. Η συνθήκη που περιγράφεται είναι η εξής:

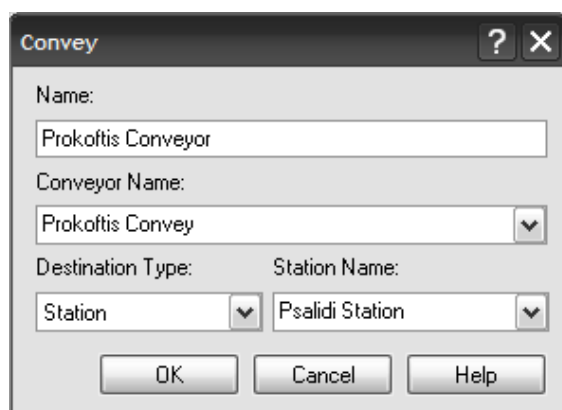
$(nq(Hold\ Psalidi.Queue)=0) \& nq(Psalidi\ To\ Thesi\ Fortoma\ Skaras\ Access.Queue)=0 \& nr(Process\ 2\ Resource)=0$

Η σημασία της συνθήκης είναι ότι, το ψαλίδι θα πρέπει να είναι κενό από πακέτα, δηλαδή, ο αριθμός της ουράς αναμονής *Hold Psalidi.Queue*, ο αριθμός της ουράς αναμονής *Psalidi To Thesi Fortoma Skaras Access.Queue*, αλλά και ο δεσμευμένος πόρος στο *Process 2* να είναι 0. Αυτές οι ουρές αναμονής υπάρχουν στον σταθμό του ψαλιδιού, ο οποίος είναι ο επόμενος σταθμός προς περιγραφή.

Τέλος, η οντότητα, πριν φύγει ολοκληρωτικά από το σταθμό που περιγράφηκε στην ενότητα αυτή, αποδεσμεύει το *Process Module* με ένα *Release Module* και μεταφέρεται με το *Prokoftis Conveyor*.



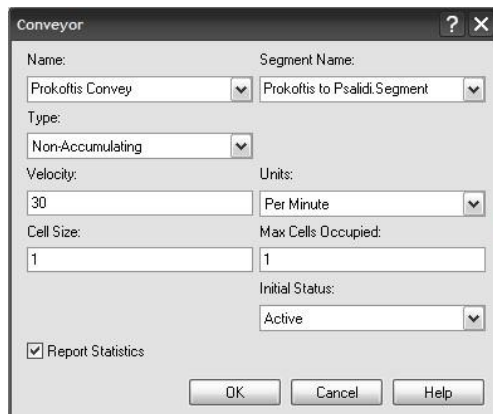
Εικόνα 4.2.1.10. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Release Process



Εικόνα 4.2.1.11. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Prokoftis Conveyor

Στην πραγματικότητα, στο σημείο αυτό, το πακέτο κόβεται από το μηχανισμό του προκόφτη. Ξεκινάει να λειτουργεί η ταινία μεταφοράς, με σκοπό τη μεταφορά του πακέτου στο σταθμό του ψαλιδιού, ενώ ένα καινούργιο πακέτο έχει ήδη ξεκινήσει να παράγεται από τη πρέσα.

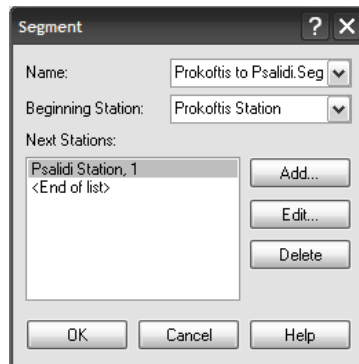
Για τη μεταφορά, περισσότερες πληροφορίες εισάγουμε σε ένα δεύτερο πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου *Convey*. Συγκεκριμένα, στην επόμενη εικόνα, βλέπουμε το αναλυτικότερο πλαίσιο διαμόρφωσης του μεταφορέα.



Εικόνα 4.2.1.12. : Αναλυτικό πλαίσιο διαμόρφωσης του Prokoftis Conveyor

Η εικόνα 4.2.1.12. δείχνει το αναλυτικό πλαίσιο διαμόρφωσης, όπου γίνεται η επιλογή της ταχύτητας του μεταφορέα (30 μονάδες/λεπτό) , δηλώνεται ο χώρος που καταλαμβάνει μια οντότητα πάνω του (cell size) και ο μέγιστος αριθμός οντοτήτων που μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα (Max Cells Occupied). Επίσης, ορίζεται και το *Segment Name*, δηλαδή το όνομα της

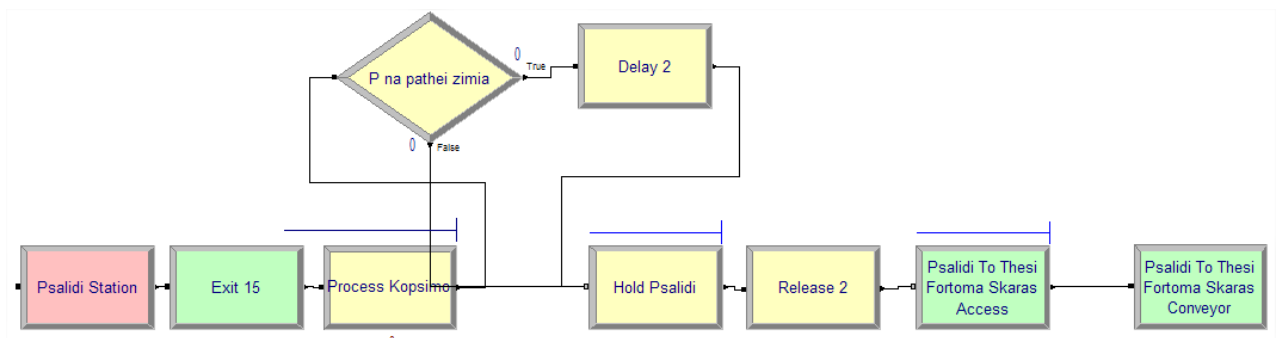
διαδρομής που ακολουθεί η οντότητα κατά τη μεταφορά (*Prokoftis to Psalidi.Segment*). Το *Segment* είναι η κόκκινη γραμμή που φαίνεται στην Εικόνα 4.2.1. και δείχνει την πορεία της οντότητας. Ορίζεται με το επόμενο πλαίσιο διαμόρφωσης στο εργαλείο *Conveyor* στη κατηγορία *Advanced Transfer*.



Εικόνα 4.2.1.13. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Prokoftis to Psalidi. Segment

4.2.2 Μοντελοποίηση του σταθμού Ψαλίδι

Στο σταθμό του ψαλιδιού εισέρχεται η οντότητα για να γίνει η διαδικασία κοπής. Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3, στο σημείο αυτό, έχουμε μία πιθανότητα βλάβης και τον χρόνο αποκατάστασής της. Αυτά τα στοιχεία θα ενσωματωθούν στο σύστημα με ένα *Decide* και ένα *Delay Module*. Παρακάτω, αναπτύσσεται αναλυτικά η μοντελοποίηση του σταθμού.



Εικόνα 4.2.2.1. : Μοντέλο προσομοίωσης του σταθμού Ψαλίδι

Καθώς η οντότητα εισέρχεται στο σταθμό, αποβιβάζεται από τη ταινία μεταφοράς του προκόφτη. Ο σταθμός αυτός περιγράφεται με ένα *Station Module*, ενώ η έξοδος από τη ταινία μεταφοράς με ένα *Exit Module*. Τα πλαίσια διαμόρφωσης των δύο προηγούμενων εργαλείων παρουσιάζονται στις δύο παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 4.2.2.2. : Πλαίσιο διαμόρφωσης σταθμού Ψαλίδι

Εικόνα 4.2.2.3. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Exit 15

Έπειτα, η οντότητα περνάει μέσα από ένα *Process Module*, το οποίο προσομοιώνει τη διαδικασία της κοπής. Ο χρόνος της διαδικασίας, όπως έχει προαναφερθεί είναι σταθερός και υπολογίζεται στα 3 δευτερόλεπτα. Το πλαίσιο διαμόρφωσης παρατίθεται στην επόμενη εικόνα.

Εικόνα 4.2.2.4. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Process Kopsimo

Στο επόμενο στάδιο, εισάγεται στο σύστημα το ενδεχόμενο βλάβης του μηχανήματος. Αυτό πετυχαίνεται, όπως προαναφέρθηκε, με ένα *Decide Module* (*P na pathei zimia*) με πιθανότητα βλάβης στα 0.5%.

Εικόνα 4.2.2.5. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Decide (*P na pathei zimia*)

Η αποκατάσταση της βλάβης μοντελοποιείται με ένα *Delay Module*, με χρόνο αποκατάστασης να ακολουθεί την τριγωνική κατανομή $TRIA(1,1.5,2)$, με μονάδα μέτρησης τα λεπτά.

Εικόνα 4.2.2.6. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Delay 2, για το χρόνο αποκατάστασης βλάβης

Στο επόμενο βήμα πραγματοποιείται έλεγχος εξόδου του πακέτου από τη μηχανή του ψαλιδιού. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός *Hold Module*, το οποίο δεσμεύει το πακέτο έως ότου να βρεθεί μια σχάρα στη θέση φόρτωσης.

Εικόνα 4.2.2.7. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold Psalidi για τον έλεγχο εξόδου του πακέτου

Στο παραπάνω πλαίσιο διαμόρφωσης φαίνεται ότι, ο τύπος της αναμονής είναι μια συνθήκη. Η συνθήκη που περιγράφεται είναι η εξής:

$(nq(Hold\ Raoula\ Psalidi\ Thesi.Queue)==1).or.nq(Hold\ Raoula\ Psalidi\ Thesi\ 2\ 3.Queue)==1$

Δηλαδή, να υπάρχει μια σχάρα στη θέση 1 ή 2-3, ώστε το πακέτο τούβλων να μπορέσει να συνεχίσει από το «Ψαλίδι» στη σχάρα

Εφόσον, το πακέτο συνεχίσει προς τη σχάρα, γίνεται η αποδέσμευση του ψαλιδιού από την οντότητα με ένα *Release*.

Εικόνα 4.2.2.8. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Release για την αποδέσμευση του ψαλιδιού.

Η διαδικασία της κοπής των τούβλων έχει τελειώσει και στο σημείο αυτό πραγματοποιείται η πρόσβαση των τούβλων πάνω στον μεταφορέα (ράουλα). Το βήμα αυτό, προσομοιώνεται με το *Access Module*. Έπειτα, τα τούβλα μεταφέρονται πάνω στη σχάρα με το *Convey Module*.

Εικόνα 4.2.2.9. : Πλαίσιο διαμόρφωσης Psalidi to Thesi Fortoma Skaras Access

Εικόνα 4.2.2.10. : Πλαίσιο διαμόρφωσης Psalidi to Thesi Fortoma Skaras Conveyor

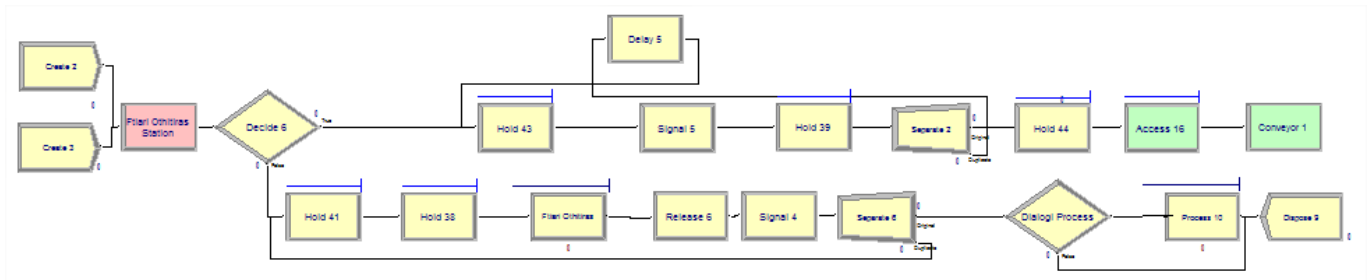
Για τη μεταφορά, περισσότερες πληροφορίες εισάγουμε στο δεύτερο πλαίσιο διαμόρφωσης του εργαλείου *Convey*. Συγκεκριμένα, στην επόμενη εικόνα, βλέπουμε το αναλυτικότερο πλαίσιο διαμόρφωσης του μεταφορέα, όπου γίνεται η επιλογή της ταχύτητας του μεταφορέα (20 μονάδες/λεπτό), άρα η κάθε μονάδα μεταφέρεται σε 3 sec. Επίσης, ορίζεται και το *Segment Name* από το «Ψαλίδι» μέχρι το σταθμό «Φόρτωση σχάρας» (*Psalidi To Thesi Fortoma Skaras.Segment*).

Εικόνα 4.2.2.11. : Αναλυτικό πλαίσιο διαμόρφωσης του Psalidi To Thesi Fortoma Skaras Conveyor

Εικόνα 4.2.2.12. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Psalidi To Thesi Fortoma Skaras. Segment

4.2.3 Μοντελοποίηση σταθμού Φτυάρι - Ωθητήρας

Η προσομοίωση του σταθμού «Φτυάρι-Ωθητήρας» περιλαμβάνει πολλές ιδιαιτερότητες. Ο λόγος είναι ότι, στο συγκεκριμένο σταθμό εμπεριέχονται δύο διαφορετικές οντότητες (Σχάρες και πακέτα τούβλων), που πρέπει να συνδυαστούν. Πιο αναλυτικά, οι σχάρες φτάνουν στο σταθμό από το «Ασανσέρ εκφόρτωσης» όπου και γίνεται το άδειασμα της σχάρας, με σκοπό η άδεια σχάρα να συνεχίσει τη διαδρομή της και να εφοδιαστεί πάλι με πακέτα τούβλων, από το ψαλίδι. Αυτός ο συνδυασμός οντοτήτων, καθιστά τη μοντελοποίηση δυσκολότερη σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς. Προηγούμενος σταθμός από τον εν λόγω σταθμό «Φτυάρι-Ωθητήρας» δεν υφίσταται κατά τη μοντελοποίηση, ενώ επόμενος είναι ο σταθμός «Μπάρα 1» (*Thesi Bara 1 Station*), δηλαδή μια θέση αναμονής της άδειας πλέον σχάρας.

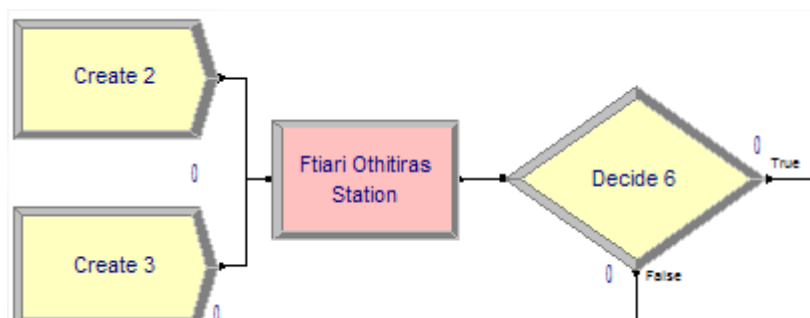


Εικόνα 4.2.3.1. : Μοντελοποίηση σταθμού Φτυάρι - Ωθητήρας

Αρχίζουμε τη μοντελοποίηση με δύο *Create Modules*:

Create 2: Εισάγει την οντότητα της σχάρας στο σύστημα.

Create 3: Εισάγει το πακέτο των 105 τεμαχίων (105 τούβλα ξηρά) που βρίσκονται πάνω στη σχάρα.



Εικόνα 4.2.3.2. : Αρχικά εργαλεία μοντελοποίησης

Εικόνα 4.2.3.3. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Create 2

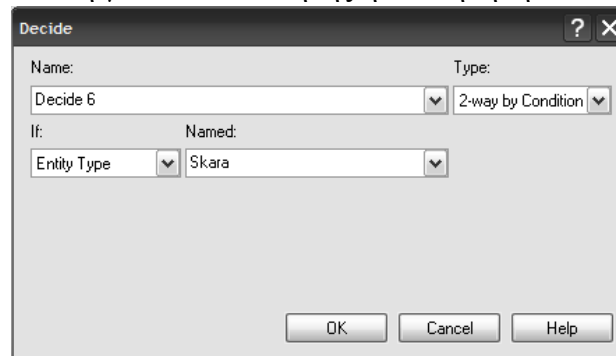
Εικόνα 4.2.3.4. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Create 3

Στο *Create 2 Module*, παρατηρείται ότι, η «γένεση» πραγματοποιείται στο πέμπτο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης. Ο προγραμματισμός αυτός έγινε για να εισαχθεί πρώτα η οντότητα του πακέτου τούβλων. Θα μπορούσε να γίνει το αντίθετο, αλλά ο προγραμματισμός των Modules θα ήταν διαφορετικός.

Στο επόμενο βήμα, η οντότητα *Toubla ksera* (Τούβλα ξηρά) περνάει στον σταθμό του «Ωθητήρα» (*Ftari Othitiras Station*, εικόνα 4.2.3.5.) . Σε αυτό το σημείο, διευκρινίζεται ότι, η διαδικασία της εναπόθεσης των σχαρών, από το «Ασανσέρ φόρτωσης» στο μηχάνημα του «Ωθητήρα», προσομοιάζεται στον εν λόγω σταθμό.

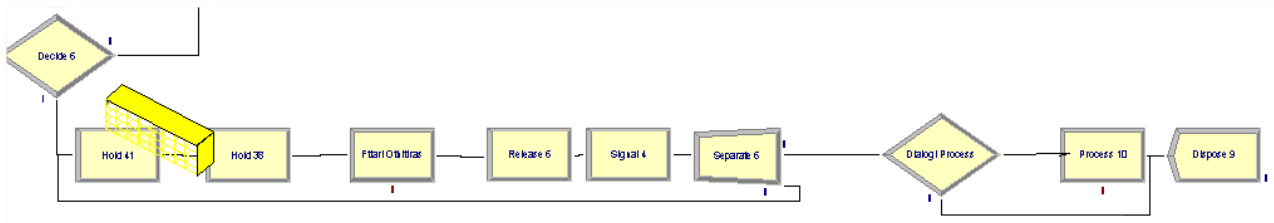
Εικόνα 4.2.3.5. : Πλαίσιο διαμόρφωσης Ftari Othitiras Station

Έπειτα, η οντότητα περνάει μέσα από ένα *Decide Module* το οποίο είναι προγραμματισμένο να διαχωρίζει τις οντότητες και να τους δίνει την κατεύθυνση που πρέπει, ώστε να περάσουν από τα κατάλληλα *Modules*. Η εικόνα 4.2.3.6. δείχνει ότι η απόφαση στηρίζεται στον τύπο την οντότητας, και στη προκειμένη περίπτωση για να είναι αληθής η συνθήκη, η οντότητα πρέπει να είναι Σχάρα.

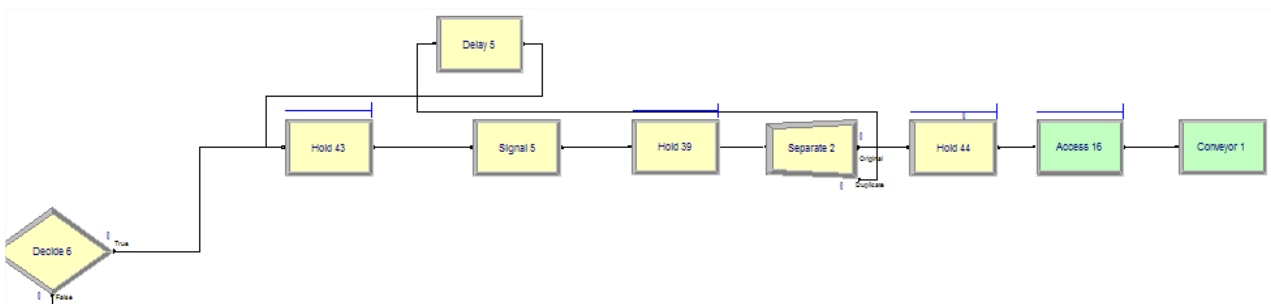


Εικόνα 4.2.3.6. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Decide 6, για το διαχωρισμό οντοτήτων

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει σε ένα *Hold Module* (*Hold 41*), περιμένοντας να πάρει σήμα από ένα *Signal Module*, που θα το δώσει η οντότητα της σχάρας.



Εικόνα 4.2.3.7. : Μοντελοποίηση για την οντότητα του πακέτου 105 οπτόπλινθων



Εικόνα 4.2.3.8. : Μοντελοποίηση για την οντότητα της Σχάρας μεταφοράς

Η οντότητα της σχάρας, με τη σειρά της, «γεννιέται» από το *Create 2* και περνάει στον σταθμό του «Ωθητήρα» (*Ftari Othitiras Station*, εικόνα 4.2.3.5.) . Έπειτα, η οντότητα περνάει μέσα από *Decide 6* (εικόνα 4.2.3.6.), όπως έκανε και η οντότητα του πακέτου των 105 οπτόπλινθων. Στη προκειμένη περίπτωση η συνθήκη είναι αληθής, άρα η οντότητα της σχάρας ακολουθεί τη πορεία που περιγράφεται από την εικόνα 4.2.3.8. .

Περνώντας από το *Decide 6*, η οντότητα συναντά το *Hold 43*. Αυτό το εργαλείο, ελέγχει αν οι καδένες μεταφοράς του μηχανήματος «Ωθητήρας-Φτυάρι» είναι κενές, δηλαδή αν το μηχάνημα μπορεί να δεχτεί τη σχάρα.

Έπειτα, δίνει σήμα στο *Hold 41*, που κρατάει την οντότητα του πακέτου , με το *Signal 5*. Έτσι η οντότητα του πακέτου αποδεσμεύεται και δεσμεύεται η οντότητα της σχάρας στο *Hold 39 Module*, περιμένοντας να πάρει σήμα από το *Signal 4 Module*.

Εικόνα 4.2.3.9. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 41

Εικόνα 4.2.3.10. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 39

Εικόνα 4.2.3.11. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Signal 5, που δίνει σήμα στο Hold 41

Εικόνα 4.2.3.12. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Signal 4, που δίνει σήμα στο Hold 39

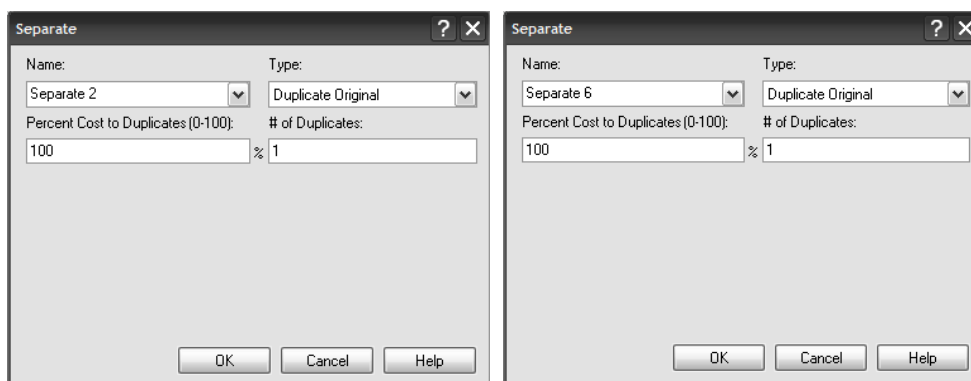
Η οντότητα του πακέτου με τα 105 τούβλα περνάει στο *Hold 38*, όπου γίνεται έλεγχος αν η διαδικασία της προηγούμενης ώθησης έχει τελειώσει (Condition: $Nr(Process\ Ftiri) == 0$). Έπειτα, εισέρχεται στο εργαλείο *Ftiri Othitiras Process*, όπου γίνεται η προσομοίωση της ώθησης.

Εικόνα 4.2.3.13. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 3

Εικόνα 4.2.3.14. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Ftiri Othitiras Process

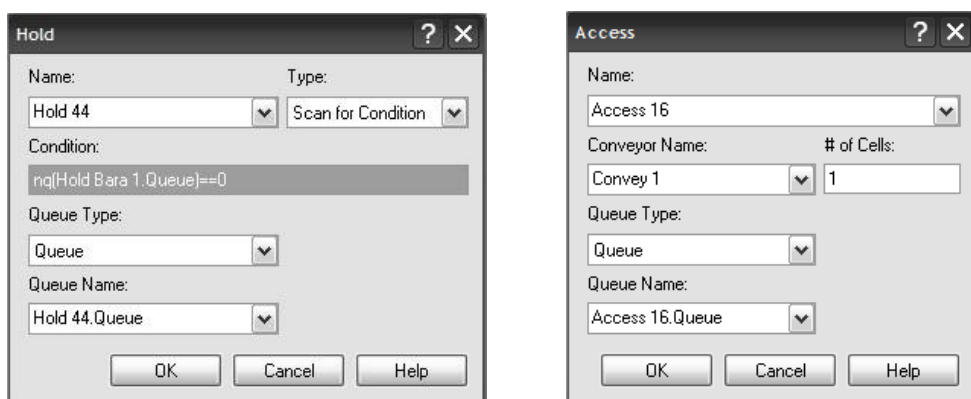
Η οντότητα δεσμεύεται για 4 sec, έπειτα περνάει από το *Release 6 Module*, για να αποδεσμεύσει το *Ftiri Othitiras Process Module*. Τέλος, περνάει από το *Signal 4 Module*, δίνοντας σήμα στο *Hold 39*, ώστε να αποδεσμεύσει την οντότητα της σχάρας.

Στο σημείο αυτό, οι οντότητες διπλασιάζονται μέσω των *Separate 2* και *Separate 6*, για να ξεκινήσουν ξανά την ίδια, προαναφερθείσα διαδικασία.

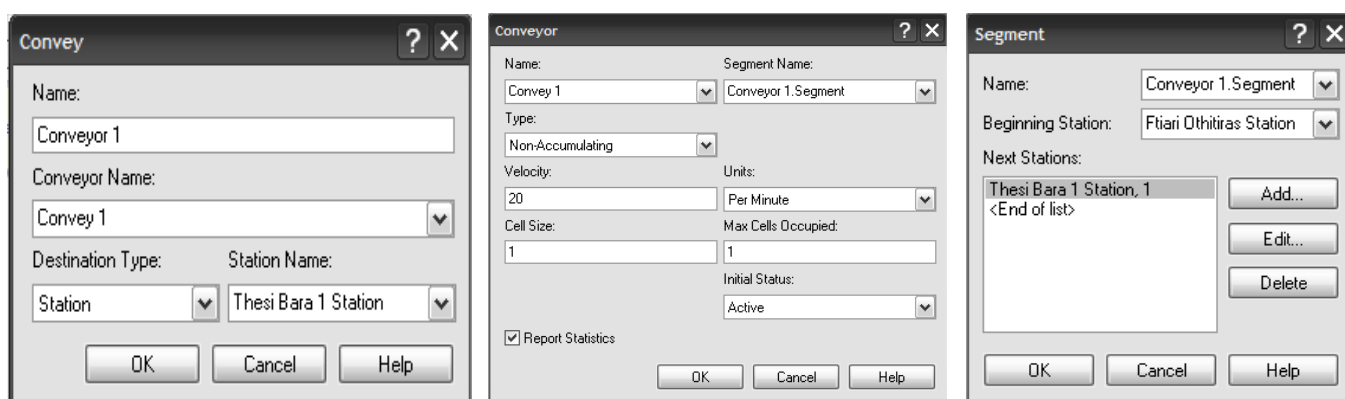


Εικόνα 4.2.3.15. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Separate 2 και Separate 6

Αναφερόμενοι στην οντότητα της σχάρας, η αρχική οντότητα συνεχίζει στο *Hold 44 Module*, το οποίο χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί αν είναι κενό το επόμενο μηχάνημα στη διάταξη της παραγωγής (σταθμός *Thesi Bara 1 Station*). Εφόσον είναι κενό, περνάει στο *Access 16 Module*, όπου γίνεται η πρόσβασή του στον μεταφορέα και τέλος στο *Conveyor 1*, όπου προσομοιώνεται η μεταφοράς της άδειας σχάρας στον επόμενο σταθμό με ταχύτητα 3 sec.

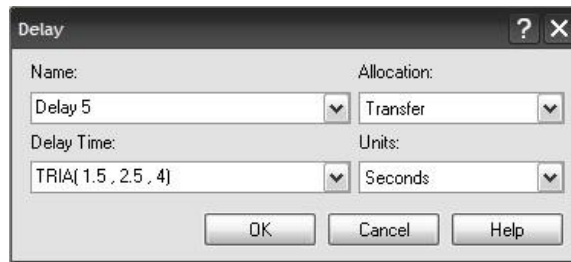


Εικόνα 4.2.3.16. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Hold 44 και Access 16



Εικόνα 4.2.3.17. : Πλαίσια διαμόρφωσης του Conveyor 1

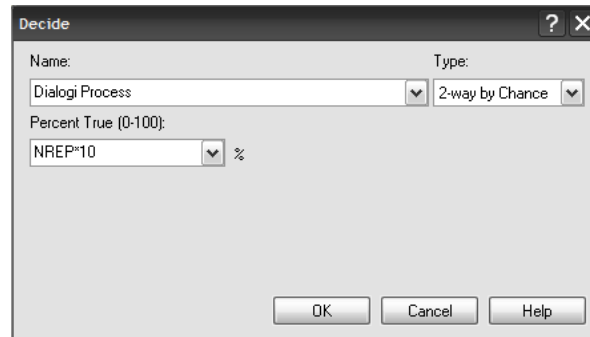
Η δεύτερη οντότητα της σχάρας που δημιουργήθηκε από το *Separate 6*, πριν οδηγηθεί στο *Hold 43*, για να ξεκινήσει και πάλι την ίδια διαδικασία, περνάει από το *Delay 5*. Το εργαλείο αυτό μοντελοποιεί τον χρόνο καθυστέρησης του «*Ασανσέρ εκφόρτωσης*», ώστε να φέρει τις σχάρες στο μηχάνημα «*Φτυάρι-Ωθητήρας*». Ο χρόνος αυτός, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3 είναι μια τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί τη τριγωνική κατανομή με ελάχιστο και μέγιστο χρόνο 1.5 και 4 sec αντίστοιχα, ενώ η συνήθης τιμή καταγράφεται στα 2.5 sec. Το πλαίσιο διαμόρφωσής του ακολουθείται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.3.18. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Delay 5

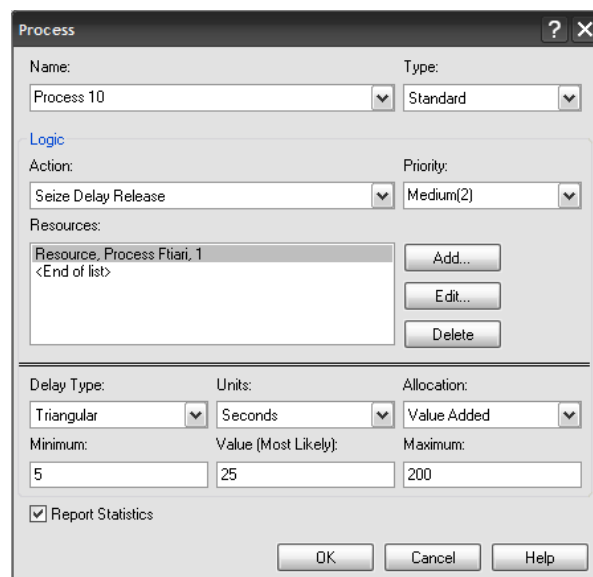
Αναφερόμενοι στην οντότητα του πακέτου των 105 οπτόπλινθων, η αρχική οντότητα συνεχίζει στο *Dialogi Process Module*, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλωθεί η πιθανότητα του κατά πόσο το συγκεκριμένο πακέτο θα υποστεί έστω και την ελάχιστη ποιοτική διαλογή.

Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3, το ποσοστό το πακέτων που υπόκεινται σε επεξεργασία διαλογής δεν είναι σταθερό. Στη μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε η είσοδος $NREP \cdot 10$ ($NREP$: μεταβλητή η οποία επιστρέφει τον ακέραιο αριθμό της εκάστοτε προσομοίωσης), δηλαδή για 5 προσομοιώσεις έχουμε 10%, 20%, 30%, 40% και 50%, αντίστοιχα στη κάθε προσομοίωση.



Εικόνα 4.2.3.18. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Decide Module (Dialogi Process)

Εφόσον η συνθήκη είναι αληθής, η οντότητα περνάει στο *Process 10* το οποίο προσομοιώνει τη διαδικασία της διαλογής. Ο χρόνος διαλογής ακολουθεί την τριγωνική κατανομή με μέγιστη και ελάχιστη τιμή να διαμορφώνεται στα 5 και 200 sec αντίστοιχα, ενώ η συχνότερη τιμή να παρατηρείται στα 25 sec.

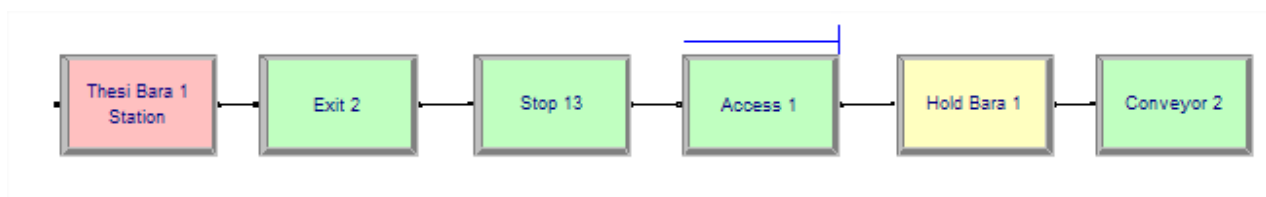


Εικόνα 4.2.3.19. : Πλαίσιο διαμόρφωσης του Process 10 Module

Εν συνεχεία, η οντότητα εξέρχεται από το σύστημα με ένα *Dispose Module* (*Dispose 9*). Στην πραγματικότητα, το πακέτο τούβλων συνεχίζει τη Τρίτη Φάση της παραγωγικής διαδικασίας. Η δεύτερη οντότητα, επιστρέφει στο *Hold 41*, ξεκινώντας και πάλι την ίδια πορεία της μοντελοποίησης (βλέπε Εικόνα 4.2.3.7.).

4.2.4 Μοντελοποίηση του Σταθμού Μπάρα 1

Ο σταθμός αυτός (*Thesi Bara 1 Station*) είναι μια θέση αναμονής της άδειας πλέον σχάρας προς τον σταθμό «Φόρτωση σχάρας» (*Thesi Fortoma Skaras Station*). Προηγούμενος σταθμός είναι εκείνος που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.3, ενώ επόμενος είναι ο σταθμός «Πριν Φόρτωση σχάρας» (*Thesi Prin Fortoma Skaras Station*). Η μοντελοποίησή του περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.4.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Μπάρα 1

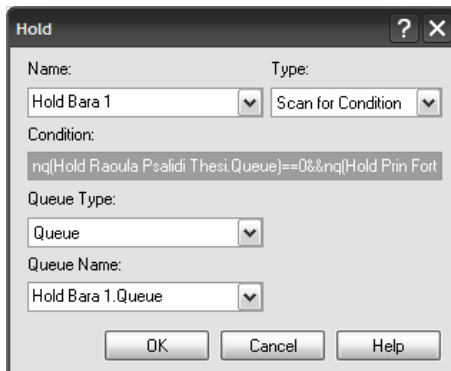
Η οντότητα της σχάρας εισερχόμενη στο σταθμό συναντά το *Thesi Bara 1 Station Module*. Αμέσως επόμενο βήμα είναι να περάσει από το *Exit 2 Module* με το οποίο γίνεται η έξοδος από τον μεταφορέα *Conveyor 1* που περιγράφηκε στον προηγούμενο σταθμό.

Εικόνα 4.2.4.2. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Thesi Bara 1 Station και Exit 2

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει σε ένα *Stop Module*. Με αυτό το εργαλείο σταματάει την κίνηση του μεταφορέα *Conveyor 1* (περιγράφηκε στον προηγούμενο σταθμό). Έπειτα περνάει στο *Access 1* προκειμένου να γίνει η εισαγωγή της στο μεταφορέα (στην προκειμένη περίπτωση είναι καδένες μεταφοράς).

Εικόνα 4.2.4.3. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Stop 13 και Access 1

Στο επόμενο βήμα, συνεχίζει στο εργαλείο *Hold Bara 1*. Εκεί πραγματοποιείται ο έλεγχος για το αν πρέπει να αποδεσμευτεί από τον σταθμό για να κατευθυνθεί προς τον επόμενο. Στην ουσία, το εργαλείο αυτό δεσμεύει την οντότητα όταν υπάρχει σχάρα στη θέση 1 του σταθμού «Φόρτωση Σχάρας» (*Thesi Fortoma Skaras Station*), ή όταν υπάρχει σχάρα στον επόμενο σταθμό.

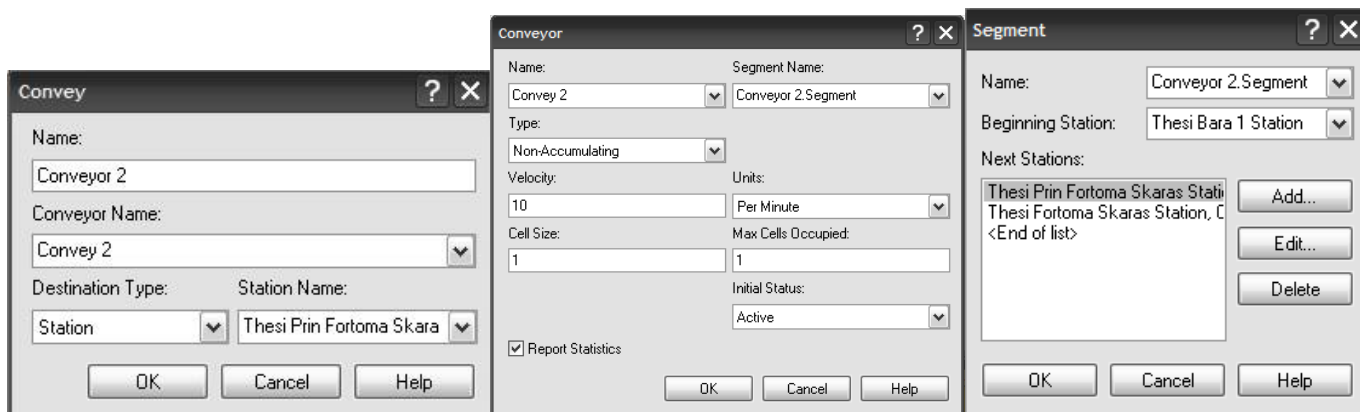


Εικόνα 4.2.4.4. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Hold Bara 1

Στο παραπάνω πλαίσιο διαμόρφωσης φαίνεται ότι, ο τύπος της αναμονής είναι μια συνθήκη. Η συνθήκη που περιγράφει τον τύπο αναμονής είναι η εξής:

`nq(Hold Raoula Psalidi Thesi.Queue)==0&nq(Hold Prin Fortoma Skaras.Queue)==0`

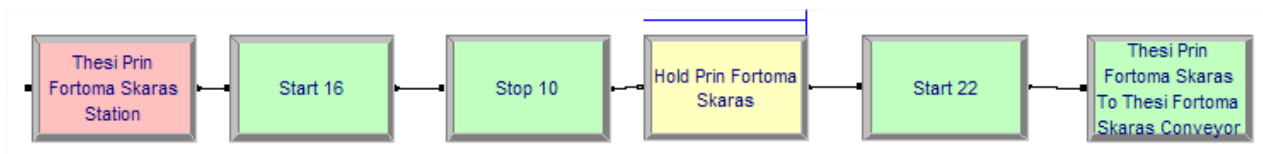
Τέλος, η οντότητα της σχάρας εισέρχεται στο *Conveyor 2 Module*, όπου προσομοιώνεται η μεταφοράς της άδειας σχάρας στον επόμενο σταθμό. Τα πλαίσια διαμόρφωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.2.4.5..



Εικόνα 4.2.4.5. : Πλαίσια διαμόρφωσης του Conveyor 2 Module

4.2.5 Μοντελοποίηση του σταθμού Πριν Φόρτωση Σχάρας

Ο σταθμός «Πριν Φόρτωση σχάρας» (*Thesi Prin Fortoma Skaras Station*) είναι μια θέση αναμονής της σχάρας πριν τον σταθμό «Φόρτωση σχάρας» (*Thesi Fortoma Skaras Station*). Προηγούμενος σταθμός είναι ο σταθμός που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.4. Η μοντελοποίησή του περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.5.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Πριν Φόρτωση Σχάρας

Η οντότητα της σχάρας εισερχόμενη στο σταθμό συναντά το *Thesi Prin Fortoma Skaras Station Module*. Αμέσως επόμενο βήμα, είναι να περάσει από το *Start 16 Module* με το οποίο γίνεται η έναρξη των καδενών του μεταφορέα *Conveyor 1* που περιγράφηκε στον σταθμό «*Ωθητήρας-Φτυάρι*».

Εικόνα 4.2.5.2. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Thesi Prin Fortoma Skaras Station και Start 16

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει σε ένα *Stop Module*. Με αυτό το εργαλείο σταματάει την κίνηση του μεταφορέα *Conveyor 2*. Έπειτα, περνάει στο *Hold Prin Fortoma Skaras*, όπου πραγματοποιείται έλεγχος, μέσω συνθηκών, για το αν ο επόμενος σταθμός είναι κενός. Η συνθήκες και το πλαίσιο διαμόρφωσης του *Hold Module* παρατίθενται παρακάτω.

Εικόνα 4.2.5.3. : Πλαίσια διαμόρφωσης του Stop 10 Module

Εικόνα 4.2.5.4. : Πλαίσια διαμόρφωσης του Hold Prin Fortoma Skaras

Η συνθήκη που περιγράφεται είναι η εξής:

`nq(Hold Raoula Psalidi Thesi.Queue)==0&nq(Elenxos Gia dioksimo Skaras.Queue)==0&nq(Access 8.Queue)==0&nq(Hold Raoula Psalidi Thesi 2 3.Queue)==0&nq(Batch 2.Queue)==0`

Στην ουσία, η συνθήκη ελέγχει, αν ο αριθμός των οντοτήτων που βρίσκονται στις ουρές του επόμενου σταθμού είναι μηδενικός. Αν ισχύσει λοιπόν η συνθήκη, τότε η οντότητα αποδεσμεύεται από το *Hold Module* και περνάει στο *Start 22 Module* με το οποίο δίνεται εντολή για την έναρξη κίνησης των καδενών. Τέλος, η οντότητα εισέρχεται στο *Thesi Prin Fortoma Skaras To Thesi Fortoma Skaras Conveyor Module (Convey 2)*, όπου πραγματοποιείται η μεταφορά της οντότητας στον επόμενο σταθμό (*Thesi Fortoma Skaras Station*). Αξίζει να σημειωθεί πως, δεν γίνεται χρησιμοποίηση του εργαλείου *Access*, γιατί η οντότητα δεν αλλάζει μεταφορέα αλλά κινείται πάνω στον *Convey 2*.

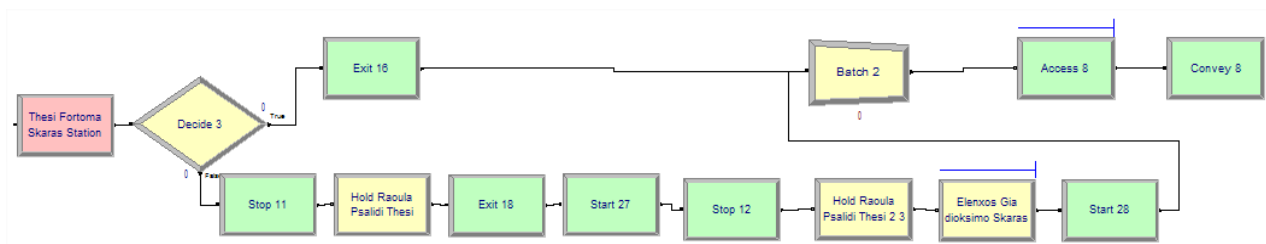
Εικόνα 4.2.5.5. : Πλαίσια διαμόρφωσης Start 22 Module

Εικόνα 4.2.5.6. : Πλαίσια διαμόρφωσης του Thesi Prin Fortoma Skaras To Thesi Fortoma Skaras Conveyor Module

4.2.6 Μοντελοποίηση του σταθμού Φόρτωσης Σχάρας

Στον συγκεκριμένο σταθμό (*Thesi Fortoma Skaras Station*), γίνεται η εναπόθεση των τριών πακέτων οπτόπλινθων (35 τεμάχια/πακέτο) στη σχάρα. Προηγούμενος σταθμός είναι ο σταθμός που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.5., ενώ επόμενος σταθμός είναι ο *Thesi Prin Bara 2 Station*. Η μοντελοποίηση του περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.

Η δυσκολία μοντελοποίησης στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ανάλογη του σταθμού «Φτυάρι-Ωθητήρας». Ο λόγος είναι ότι, στο συγκεκριμένο σταθμό εμπεριέχονται δύο διαφορετικές οντότητες (Σχάρες και πακέτα τούβλων), που πρέπει να συνδυαστούν.



Εικόνα 4.2.6.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Φόρτωσης Σχάρας

Πιο αναλυτικά, η σχάρα εισέρχεται στο σταθμό και περνάει από ένα *Decide Module*. Στο εργαλείο αυτό γίνεται διαχωρισμός των οντοτήτων για να επιτευχθεί η κατάλληλη κατεύθυνσή τους στις προβλεπόμενες πορείες τους. Στη συνέχεια, παίρνοντας την κατεύθυνση προς τα κάτω, η οντότητα της σχάρας περνάει από ένα *Stop Module* για τη διακοπή κίνησης των καδενών(εφόσον η σχάρα έφτασε στη 1^η θέση εφοδιασμού, οι καδένες μεταφοράς σταματάνε) και συνεχίζει στο *Hold Raoula Psalidi Thesi* όπου γίνεται η δέσμευσή της, έως ότου ολοκληρωθεί ο εφοδιασμός του πρώτου πακέτου νωπών τούβλων πάνω στη σχάρα. Τα Modules που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι το σημείο αυτό περιγράφονται στις επόμενες εικόνες.

Εικόνα 4.2.6.2. : Πλαίσια Διαμόρφωσης των Thesi Fortoma Skaras Station, Decide 3 και Stop 11

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

`na(Batch 2.Queue)==1`

Δηλαδή, ο αριθμός των οντοτήτων στο *Batch Module* (θα περιγραφεί αργότερα στην ενότητα αυτή) πρέπει να είναι ίσος με 1. Στην ουσία, θα πρέπει να έχει δεσμευτεί ένα πακέτο νωπών τούβλων.



Εικόνα 4.2.6.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Hold Raoula Psalidi Thesi

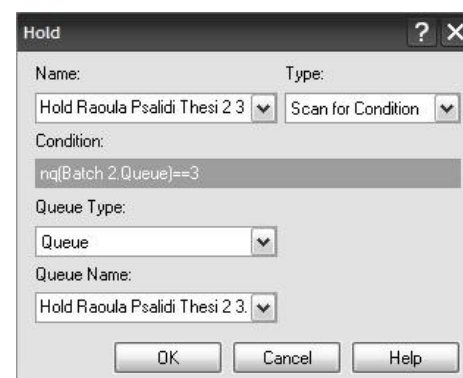
Στο σημείο αυτό, η οντότητα των νωπών τούβλων αποδεσμεύεται από το «Ψαλίδι» και εισέρχεται στο σταθμό της «Φόρτωσης σχάρας». Περνάει από το *Decide Module* (περιγράφηκε παραπάνω) και εξέρχεται από το μεταφορέα του Ψαλιδιού μέσω ενός *Exit Module*. Έπειτα, δεσμεύεται στο *Batch 2 Module*.

Η οντότητα της σχάρας, εφόσον η συνθήκη είναι αληθής, προχωράει στο *Exit 18*, όπου κατεβαίνει από τον μεταφορέα *Convey 2* και έπειτα περνάει στο *Start 27* όπου δίνεται εντολή να ξεκινήσουν οι καδένες του επόμενου μεταφορέα *Convey 2*. Έχοντας ανεβεί στις καδένες του μεταφορέα *Convey 3*, η οντότητα περνάει στο *Stop 12* όπου γίνεται η διακοπή των καδενών, για να πάρει η σχάρα τη θέση εφοδιασμού 2 και 3 στο εργαλείο *Hold Raoula Psalidi Thesi 2 3*. Για τα *Modules* των *Start*, *Stop* και *Exit*, δεν παρουσιάζονται πλέον πλαίσια διαμόρφωσης, εφόσον, νοείται ότι ο αναγνώστης της εργασίας είναι πλέον σε θέση να κατανοήσει.

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

`na(Batch 2.Queue)==3`

Δηλαδή, ο αριθμός των οντοτήτων στο *Batch Module* πρέπει να είναι ίσος με 1. Στην ουσία, μέχρι ο συνολικός αριθμός δεσμευμένων οντοτήτων (νωπών τούβλων) να γίνει 3.



Εικόνα 4.2.6.4. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Hold Raoula Psalidi Thesi 2 3

Φεύγοντας από το *Hold Raoula Psalidi Thesi 2 3*, η οντότητα της σχάρας περνάει σε ένα άλλο *Hold (Elenxos Gia dioksimo Skaras)* που ελέγχει αν είναι κενός ο επόμενος σταθμός, ώστε να μπορέσει να συνεχίσει σε αυτόν.

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

`nq(Hold Thesi Prin Bara 2.Queue)==0`

Δηλαδή, ο αριθμός των οντοτήτων στην ουρά του επόμενου σταθμού να είναι ίσος με το μηδέν.



Εικόνα 4.2.6.5. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Hold Elenxos Gia dioksimo Skaras

Η οντότητα εξερχόμενη από το προηγούμενο εργαλείο, εισέρχεται στο *Start 28* όπου γίνεται η εκκίνηση των καδενών μεταφοράς, ενώ στο επόμενο στάδιο περνάει και εκείνη από το *Batch Module*, όπου δίνεται πλέον η εντολή να εξέρθουν όλες οι οντότητες από το εργαλείο αυτό.

Στην ουσία, το εργαλείο *Batch 2* δεσμεύει τις οντότητες μέχρι ο συνολικός αριθμός δεσμευμένων οντοτήτων να γίνει 4(τρεις οντότητες νωπών τούβλων και μία οντότητα σχάρας).

The screenshot shows the 'Batch' configuration window. It has fields for Name (Batch 2), Type (Permanent), Batch Size (4), Save Criterion (Last), Rule (Any Entity), and Representative Entity Type (empty). There are OK, Cancel, and Help buttons at the bottom.

Εικόνα 4.2.6.6. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Batch 2

Συνεχίζοντας, η οντότητα της φορτωμένης πλέον σχάρας, περνάει μέσα από ένα *Access* και ένα *Convey Module* για να επιτευχθεί η μεταφορά της προς τον επόμενο σταθμό. Τα πλαίσια διαμόρφωσής τους παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.

The image shows two configuration windows side-by-side. The 'Access' window on the left has fields for Name (Access 8), Conveyor Name (Convey 3), # of Cells (1), Queue Type (Queue), Queue Name (Access 8.Queue), and buttons OK, Cancel, Help. The 'Convey' window on the right has fields for Name (Convey 8), Conveyor Name (Convey 3), Destination Type (Station), Station Name (Thesi Prin Bara 2 Station), and buttons OK, Cancel, Help.

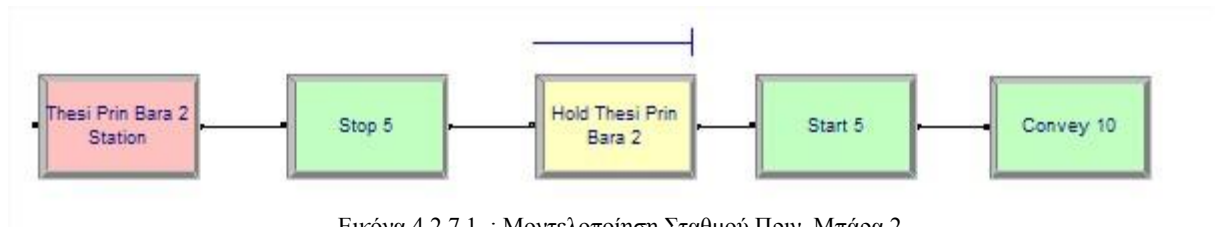
Εικόνα 4.2.6.6. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Batch 2 και Access 8, για τον Convey 3

The image shows two configuration windows side-by-side. The 'Conveyor' window on the left has fields for Name (Convey 3), Segment Name (Conveyor 3.Segment), Type (Non-Accumulating), Velocity (13), Units (Per Minute), Cell Size (1), Max Cells Occupied (1), Initial Status (Active), and a checked 'Report Statistics' box. The 'Segment' window on the right has fields for Name (Conveyor 3.Segment), Beginning Station (Thesi Fortoma Skaras), and a list of Next Stations (Thesi Prin Bara 2 Station, 1; Thesi Bara 2 Station, 0; <End of list>). It also has Add, Edit, and Delete buttons. Both windows have OK, Cancel, and Help buttons at the bottom.

Εικόνα 4.2.6.7. : Αναλυτικό Πλαίσιο Διαμόρφωσης για τον Convey 8 και για το Conveyor 3. Segment

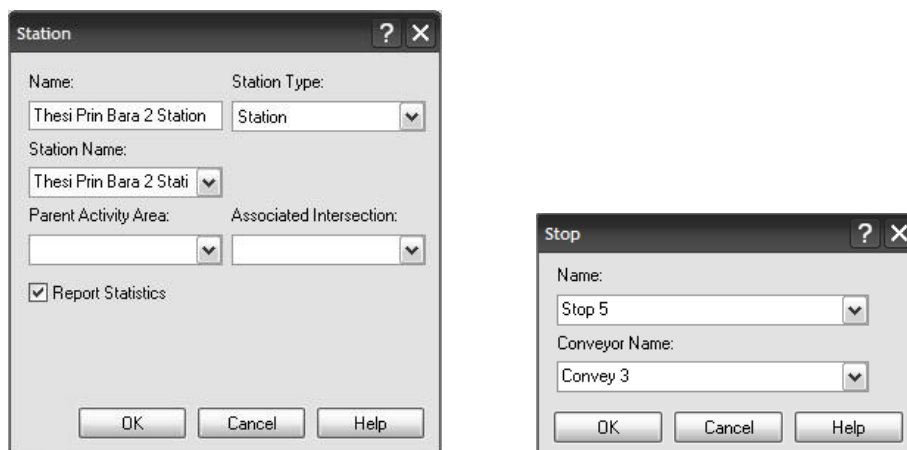
4.2.7 Μοντελοποίηση σταθμού Πριν Μπάρα 2

Ο σταθμός αυτός «Πριν Μπάρα 2» (*Thesi Prin Bara 2 Station*) είναι μια θέση αναμονής της σχάρας πριν τον σταθμό «Μπάρα 2» (*Thesi Bara 2 Station*). Προηγούμενος σταθμός είναι εκείνος που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.4. Η μοντελοποίηση του περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.7.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Πριν Μπάρα 2

Η οντότητα της σχάρας εισερχόμενη στο σταθμό συναντά το *Thesi Prin Bara 2 Station Module*. Αμέσως επόμενο βήμα, είναι να περάσει από το *Stop 5 Module* με το οποίο γίνεται η διακοπή λειτουργίας των καδενών του μεταφορέα *Conveyor 3* που περιγράφηκε στον προηγούμενο σταθμό.



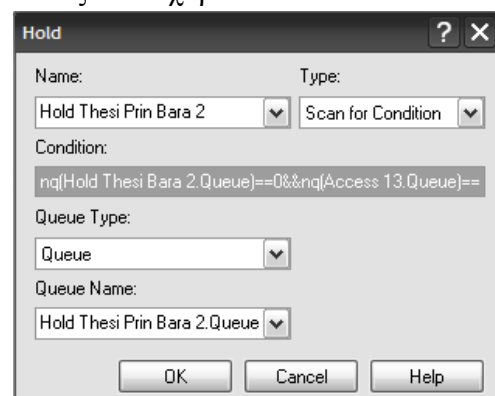
Εικόνα 4.2.7.2. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Thesi Prin Bara 2 Station και Stop 5

Η οντότητα εξερχόμενη από το προηγούμενο εργαλείο, εισέρχεται στο *Hold Thesi Prin Bara 2*, όπου γίνεται έλεγχος για το αν ο επόμενος σταθμός είναι κενός από σχάρα.

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

`nq(Hold Thesi Bara 2.Queue)==0&& nq(Access 13.Queue)==0`

Δηλαδή, ο αριθμός των οντοτήτων στις ουρές του επόμενου σταθμού να είναι ίσος με το μηδέν.



Εικόνα 4.2.7.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Hold Thesi Bara 2

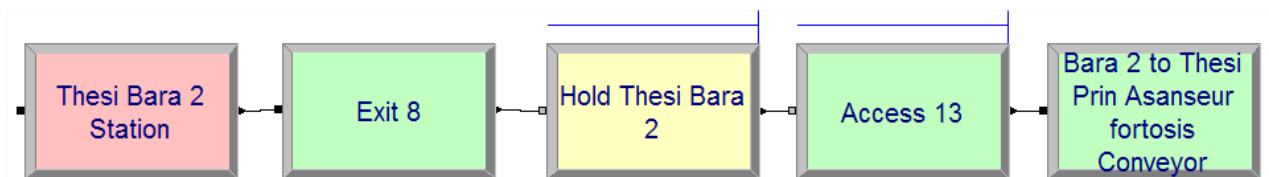
Στο επόμενο στάδιο, γίνεται η εκκίνηση των καδενών με ένα *Start Module (Start 5)* και έπειτα ξεκινάει η μεταφορά με το *Convey 10* για τον επόμενο σταθμό (*Thesi Bara 2 Station*). Το αναλυτικό πλαίσιο διαμόρφωσης του μεταφορέα είναι το ίδιο με πριν (ενότητα 4.2.6.), εφόσον ο μεταφορέας είναι ο ίδιος *Convey 3* (ίδιες καδένες μεταφοράς).

The image shows two side-by-side dialog boxes. The left dialog box is titled 'Start' and contains the following fields: 'Name' with a dropdown menu set to 'Start 5', 'Conveyor Name' with a dropdown menu set to 'Convey 3', 'Velocity' with an empty text box, and 'Units' with a dropdown menu set to 'Per Hour'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons. The right dialog box is titled 'Convey' and contains the following fields: 'Name' with a text box containing 'Convey 10', 'Conveyor Name' with a dropdown menu set to 'Convey 3', 'Destination Type' with a dropdown menu set to 'Station', and 'Station Name' with a dropdown menu set to 'Thesi Bara 2 Station'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Εικόνα 4.2.7.4. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Start 5 και Convey 10

4.2.8 Μοντελοποίηση Σταθμού Μπάρα 2

Στον σταθμό «Μπάρα 2» (*Thesi Bara 2 Station*) έχουμε την αναμονή της γεμάτης σχάρας, αλλά επιπλέον γίνεται και αλλαγή της κατεύθυνσης της. Προηγούμενος σταθμός είναι ο σταθμός που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.7, ενώ επόμενος είναι ο σταθμός «Πριν Ασανσέρ Φόρτωσης» (*Thesi prin Asanseur Fortosis Station*). Η μοντελοποίηση του περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.8.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Μπάρα 2

Η οντότητα της σχάρας, εισερχόμενη στο σταθμό, συναντά το *Thesi Bara 2 Station Module*. Αμέσως επόμενο βήμα είναι να περάσει από το *Exit 8 Module* με το οποίο γίνεται η έξοδος από τον μεταφορέα *Convey 3* που περιγράφηκε στους προηγούμενους σταθμούς.

The image shows two side-by-side dialog boxes. The left dialog box is titled 'Station' and contains the following fields: 'Name' with a text box containing 'Thesi Bara 2 Station', 'Station Type' with a dropdown menu set to 'Station', 'Station Name' with a dropdown menu set to 'Thesi Bara 2 Station', 'Parent Activity Area' with a dropdown menu, and 'Associated Intersection' with a dropdown menu. There is also a checkbox labeled 'Report Statistics' which is checked. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons. The right dialog box is titled 'Exit' and contains the following fields: 'Name' with a dropdown menu set to 'Exit 8', 'Conveyor Name' with a dropdown menu set to 'Convey 3', and '# of Cells' with an empty text box. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Εικόνα 4.2.8.2. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Thesi Bara 2 Station και Exit 8

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει σε ένα *Hold Module (Hold Thesi Bara 2)*, όπου γίνεται έλεγχος για το αν ο επόμενος σταθμός είναι κενός από σχάρα.

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

$!nq(\text{Access 14.Queue})==0 \& \& !nq(\text{Thesi Prin Asanseur Fortosis.Queue})==0$

Δηλαδή, ο αριθμός των οντοτήτων στις ουρές του επόμενου σταθμού να είναι ίσος με το μηδέν.

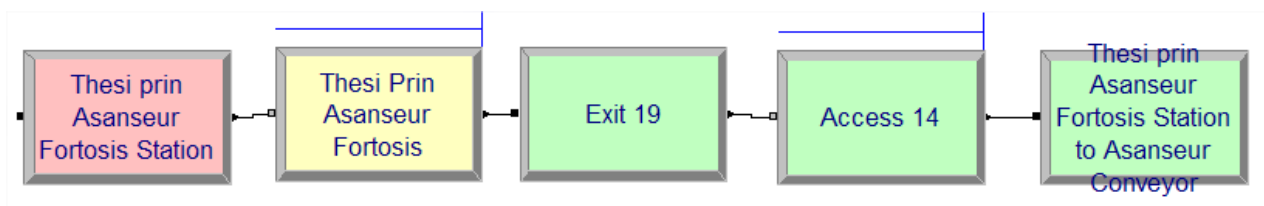
Εικόνα 4.2.8.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Hold Thesi Bara 2

Έπειτα, περνάει από ένα *Access Module* με το οποίο δηλώνεται η πρόσβαση της οντότητας στον μεταφορέα (*Bara 2 to Thesi Prin Asanseur Fortosis Convey*). Μετά από το προηγούμενο εργαλείο, συναντά το *Bara 2 to Thesi Prin Asanseur Fortosis Conveyor*, με το οποίο ξεκινά η μεταφορά προς τον επόμενο σταθμό. Τα πλαίσια διαμόρφωσης παρατίθενται παρακάτω.

Εικόνα 4.2.8.4. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Access 13 και Bara 2 to Thesi Prin Asanseur Fortosis Convey.

4.2.9 Μοντελοποίηση Σταθμού Πριν Ασανσέρ Φόρτωσης

Ο σταθμός αυτός (*Thesi prin Asanseur Fortosis Station*) είναι μια θέση αναμονής της γεμάτης σχάρας προς το «*Ασανσέρ Φόρτωσης*». Προηγούμενος σταθμός είναι εκείνος που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.8, ενώ επόμενος είναι ο σταθμός «*Ασανσέρ Φόρτωσης*» (*Asanseur Fortosis Station*). Η μοντελοποίησή του είναι παρόμοια με τη μοντελοποίηση του *Thesi Bara 2 Station* και περιγράφεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.2.9.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Πριν Ασανσέρ Φόρτωσης

Η οντότητα της σχάρας, εισερχόμενη στο σταθμό, συναντά το *Thesi prin Asanseur Fortosis Station Module*. Συνεχίζει, μπαίνοντας στο *Thesi Prin Asanseur Fortosis Hold Module*, όπου γίνεται έλεγχος για το αν ο επόμενος σταθμός είναι σε λειτουργία, δηλαδή αν το «*Ασανσέρ Φόρτωσης*» είναι σε διαδικασία Φόρτωσης.

Εφόσον δεν είναι σε λειτουργία, περνάει από το *Exit 19 Module* με το οποίο γίνεται η έξοδος από τον μεταφορέα *Bara 2* το *Thesi Prin Asanseur Fortosis Convey* που περιγράφηκε στον προηγούμενο σταθμό.

Εικόνα 4.2.9.2. : Πλαίσια διαμόρφωσης των Thesi Prin Asanseur και Exit 19

Η συνθήκη που, φαίνεται στη διπλανή εικόνα είναι η:

`nr (Fortoma Telarou) ==0`

Δηλαδή, το Ασανσέρ Φόρτωσης να μην είναι σε λειτουργία .

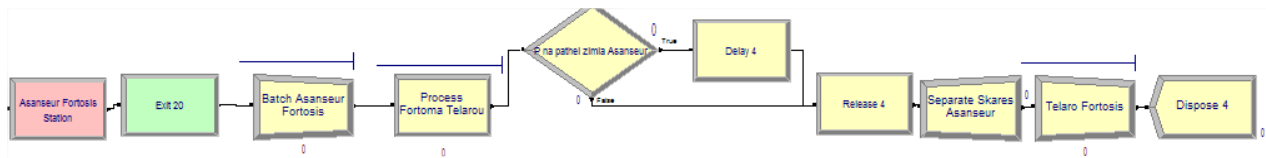
Εικόνα 4.2.9.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Thesi Prin Asanseur Fortosis Hold

Έπειτα, περνάει από ένα *Access Module* με το οποίο δηλώνεται η πρόσβαση της οντότητας στον μεταφορέα (*Thesi prin Asanseur Fortosis Station to Asanseur Convey*). Μετά από το προηγούμενο εργαλείο, συναντά το *Thesi prin Asanseur Fortosis Station to Asanseur Conveyor*, με το οποίο ξεκινά η μεταφορά προς τον επόμενο σταθμό. Τα πλαίσια διαμόρφωσης παρατίθενται παρακάτω.

Εικόνα 4.2.9.4. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Access 14 και Thesi prin Asanseur Fortosis Station to Asanseur Conveyor

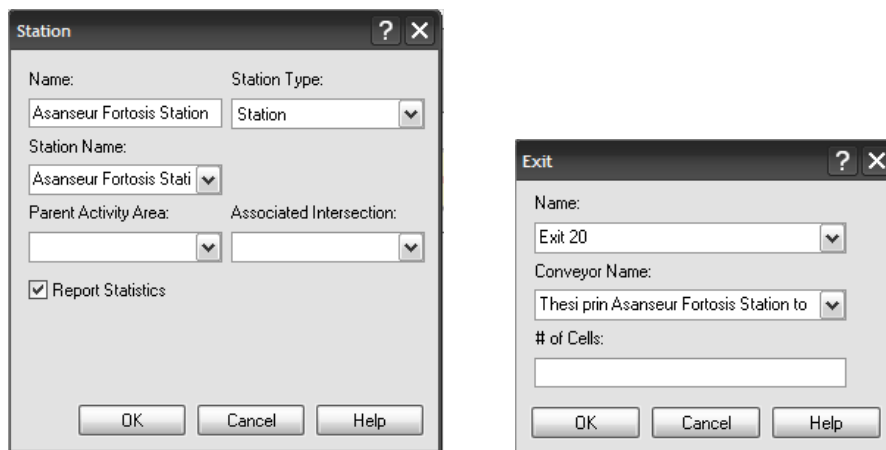
4.2.10 Μοντελοποίηση Σταθμού Ασανσέρ Φόρτωσης

Στον σταθμό «Ασανσέρ Φόρτωσης», πραγματοποιείται η εναπόθεση των σχαρών στα τελάρα ξηραντηρίων. Προηγούμενος σταθμός είναι ο σταθμός *Thesi prin Asanseur Fortosis Station*, ενώ επόμενος δεν υπάρχει, λόγω του ότι οι οντότητες εξέρχονται από το σύστημα προσομοίωσης. Ο σταθμός της ενότητας αυτής, είναι ο τελευταίος σταθμός που περιγράφεται για τη μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής.



Εικόνα 4.2.10.1. : Μοντελοποίηση Σταθμού Ασανσέρ Φόρτωσης

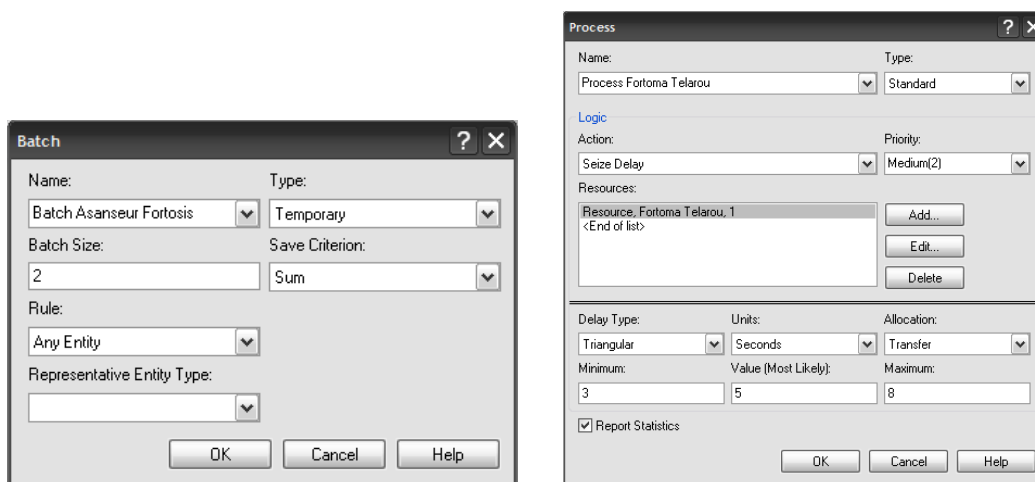
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2.10.1. η οντότητα της γεμάτης σχάρας, εισέρχεται στο σταθμό μέσω του *Asanseur Fortosis Station Module* και συνεχίζει με το εργαλείο του *Exit 20*, όπου εξέρχεται από τον μεταφορέα (καδένες) και επιβιβάζεται στο «Ασανσέρ Φόρτωσης».



Εικόνα 4.2.10.2. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Asanseaur Fortosis Station και Exit 20

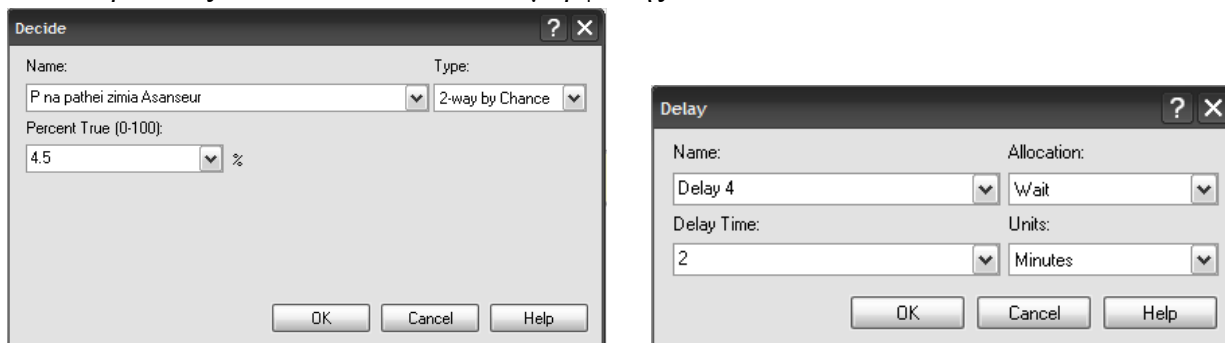
Έχει διευκρινιστεί ότι, το «Ασανσέρ Φόρτωσης» έχει χωρητικότητα δύο σχαρών, δηλαδή περιμένει να γεμίσει με δύο σχάρες και έπειτα τίθεται σε λειτουργία φόρτωσης. Το πακέτο των δύο σχαρών μοντελοποιείται με ένα *Batch Module*.

Στη συνέχεια, η οντότητα περνάει στο *Process Fortoma Telarou Module*, όπου προσομοιώνεται η διαδικασία της φόρτωσης. Ο χρόνος φόρτωσης έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, ενώ στην εικόνα 4.2.10.3. φαίνεται και στα δεδομένα του *Process Module*.



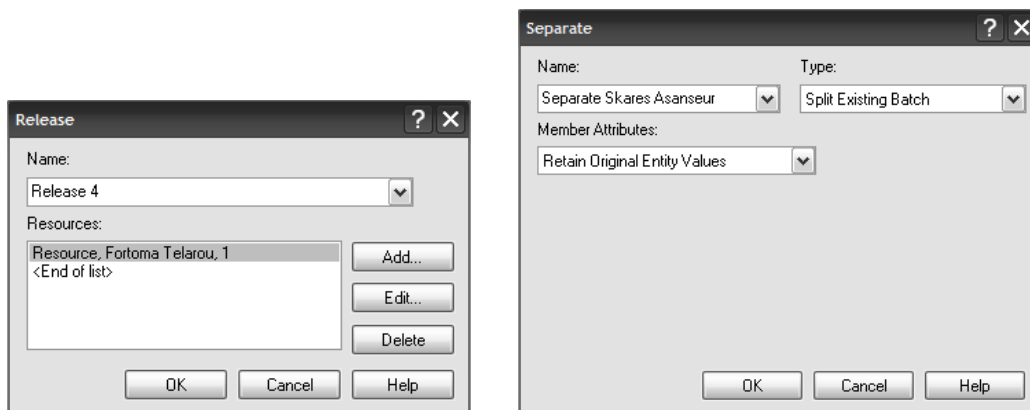
Εικόνα 4.2.10.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Batch Asanseaur Fortosis και Process Fortoma Telarou

Στη συνέχεια, εισάγεται η πιθανότητα βλάβης του μηχανήματος. Αυτό μοντελοποιείται με ένα *Decide Module* (*P na pathei zimia Asanseur*) και προσεγγίζεται στο 4.5%, ενώ ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης είναι 2 min και μοντελοποιείται με ένα *Delay module*. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα δύο πλαίσια διαμόρφωσης των Modules.



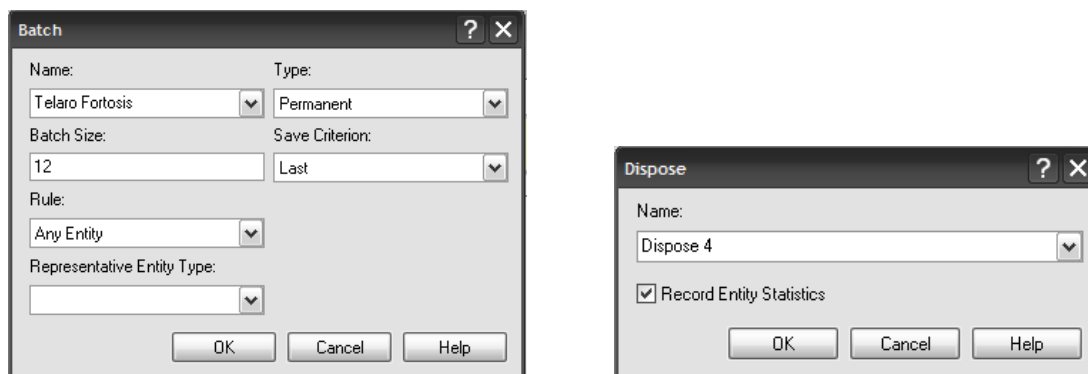
Εικόνα 4.2.10.3. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του P na pathei zimia Asanseur και Delay 4

Στη συνέχεια, η οντότητα εισέρχεται στο *Release 4 Module* με το οποίο γίνεται η αποδέσμευση του «*Ασανσέρ Φόρτωσης*», δηλαδή αντιπροσωπεύει το τέλος της φόρτωσης των δύο σχαρών στο τελάρο ξηρατηρίων. Έπειτα, η οντότητα των δύο σχαρών χωρίζεται με ένα *Separate Module*, επαναφέροντας τις αρχικές τιμές των οντοτήτων.



Εικόνα 4.2.10.4. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Release 4 και Separate Skares Asanseur

Στο τελευταίο βήμα, γίνεται η ομαδοποίηση των σχαρών. Στο κεφάλαιο 3, έχει αναφερθεί ότι η χωρητικότητα του τελάρου ξηρατηρίων είναι οι δώδεκα σχάρες. Έτσι χρησιμοποιείται ένα *Batch Module* για να περιγράψει την ιδιότητα αυτή. Τέλος, η οντότητα των δώδεκα σχαρών (ένα τελάρο), εξέρχεται από το σύστημα χρησιμοποιώντας το *Dispose 4 Module*. Στην πραγματικότητα, το τελάρο κατευθύνεται προς τα ξηρατήρια.



Εικόνα 4.2.10.5. : Πλαίσιο Διαμόρφωσης του Telaro Fortosis Batch και Dispose 4

4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με τα θεωρητικά δεδομένα

Στην παράγραφο αυτή, θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από πέντε προσομοιώσεις για τέσσερα κριτήρια. Στην επόμενη παράγραφο (Παράγραφος 4.4.), αυτά τα αποτελέσματα θα αποτελέσουν δεδομένα για τη στατιστική ανάλυση του πλήθους των προσομοιώσεων που απαιτούνται ώστε τα αποτελέσματα να μην έχουν μεγάλες αποκλίσεις από τα πραγματικά.

Συγκεκριμένα, οι προσομοιώσεις έγιναν με γνώμονα την πιθανότητα, ένα πακέτο ξηρών οπτόπλινθων να υποστεί έστω και την ελάχιστη επεξεργασία διαλογής. Για την πιθανότητα αυτή είχε γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 3. Έτσι λοιπόν, $P(\text{να θέλει διαλογή}) = 10\% - 50\%$ (λόγω διάφορων παραγόντων – τυχαίων και μη).

Εκτελέστηκαν πέντε διαφορετικές προσομοιώσεις για κάθε μία από τις εξής πιθανότητες διαλογής: 10%, 20%, 30%, 40% και 50%. Σε κάθε προσομοίωση υπολογίζεται ο μέσος όρος (Average) για κάθε ποσότητα που υπάρχει ενδιαφέρον.

Οι ποσότητες που ενδιαφέρουν περισσότερο σε αυτή την ανάλυση είναι:

- Τα παραγόμενα τελάρα (N Παραγωγής Τελάρων).
- Πόσες φορές σταμάτησε η Πρέσα (N Stop Πρέσας).
- Πόσες φορές σταμάτησε η Πρέσα λόγω βλάβης του «Ασανσέρ εκφόρτωσης» (N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης) και της διαδικασίας Διαλογής.
- Πόσες φορές έπαθε βλάβη το Ψαλίδι (N Βλάβης Ψαλίδι).

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

P= 10%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Πρέσας από Ασανσέρ Φόρτωσης +Διαλογή
N Replication					
1	76	53	12	13	40
2	79	63	26	8	55
3	77	57	20	15	42
4	74	71	26	21	50
5	75	74	33	15	59
Average	76,2	63,6	23,4	14,4	49,2

Πίνακας 4.3.1. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 10%

P= 20%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Πρέσας από Ασανσέρ Φόρτωσης +Διαλογή
N Replication					
1	67	89	16	13	76
2	68	80	16	16	64
3	69	78	17	13	61
4	68	90	19	20	70
5	69	89	21	12	77
Average	68,2	85,2	17,8	14,8	69,6

Πίνακας 4.3.2. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 20%

P= 30%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Πρέσας από Ασανσέρ Φόρτωσης +Διαλογή
N Replication					
1	61	100	15	10	90
2	61	95	18	14	81
3	62	90	17	11	79
4	63	97	18	19	78
5	61	96	24	12	84
Average	61,6	95,6	18,4	13,2	82,4

Πίνακας 4.3.3. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 30%

P= 40%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Πρέσας από Ασανσέρ Φόρτωσης +Διαλογή
N Replication					
1	55	102	18	11	91
2	56	96	17	14	82
3	56	99	15	11	88
4	54	107	20	12	95
5	54	105	17	9	96
Average	55	101,8	17,4	11,4	90,4

Πίνακας 4.3.4. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 40%

P= 50%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Πρέσας από Ασανσέρ Φόρτωσης +Διαλογή
N Replication					
1	49	105	15	9	96
2	54	109	25	10	99
3	47	104	17	7	97
4	45	107	14	20	87
5	47	106	13	8	98
Average	48,4	106,2	16,8	10,8	95,4

Πίνακας 4.3.5. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 50%

Average	P (Πακέτο να θέλει διαλογή)				
	10%	20%	30%	40%	50%
N Παραγωγής Τελάρων	76,2	68,2	61,6	55	48,4
N Stop Πρέσας	63,6	85,2	95,6	101,8	106,2
N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	23,4	17,8	18,4	17,4	16,8
N Βλάβης Ψαλίδι	14,4	14,8	13,2	11,4	10,8
N Stop Πρέσας Από Ασανσέρ και διαλογή	49,2	96,6	82,4	90,4	95,4

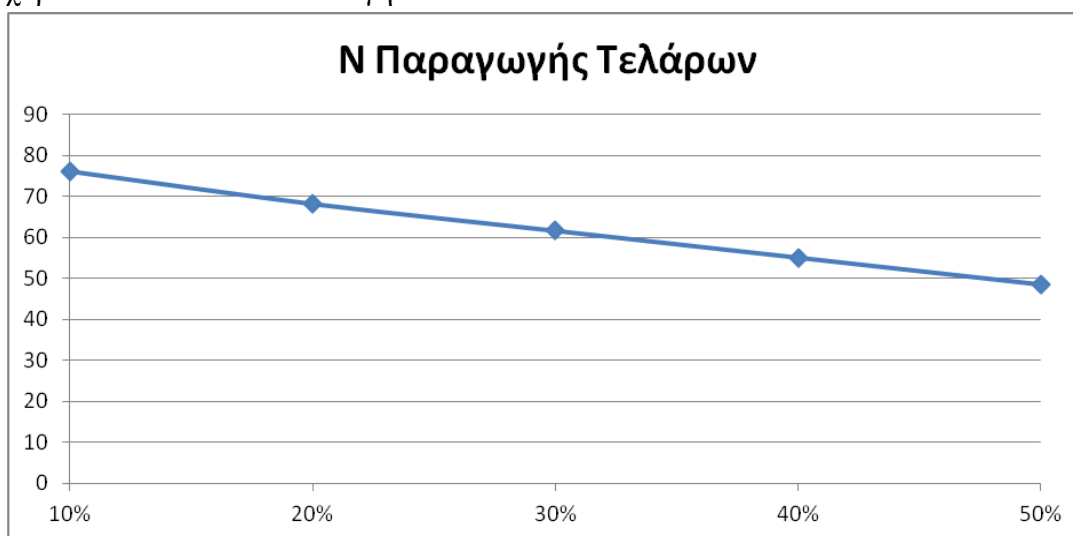
Πίνακας 4.3.6. : Αποτελέσματα προσομοίωσης Average

Στην πραγματικότητα, η ημερήσια παραγωγή του εργοστασίου ανέρχεται στα 80 τελάρα νωπών οπτοπλίνθων ως μέγιστη παραγωγή, ενώ η ελάχιστη μπορεί να είναι ακόμη και μηδενική. Μηδενική παραγωγή σημαίνει ότι υπάρχει βλάβη σε κάποιο μηχάνημα που ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης είναι αρκετά μεγάλος (πολλές ώρες, ακόμα και ημέρες). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η βλάβη στο μηχάνημα της πρέσας. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο χρόνος αποκατάστασης μπορεί να φτάσει και την μία εβδομάδα.

Σε κανονική λειτουργία (με βλάβες που έχουν προσομοιωθεί στο μοντέλο), το εργοστάσιο παράγει, όπως αναφέρθηκε, 80 τελάρα ως μέγιστη παραγωγή, ενώ η ελάχιστη παραγωγή ανέρχεται στα 44 τελάρα (μεγάλο ποσοστό ξηρών οπτοπλίνθων προς επεξεργασία διαλογής, βλάβες στο «Ψαλίδι» και στο «Ασανσέρ Φόρτωσης»). Οι ποσότητες αυτές παράγονται σε 8 ώρες παραγωγικής διαδικασίας.

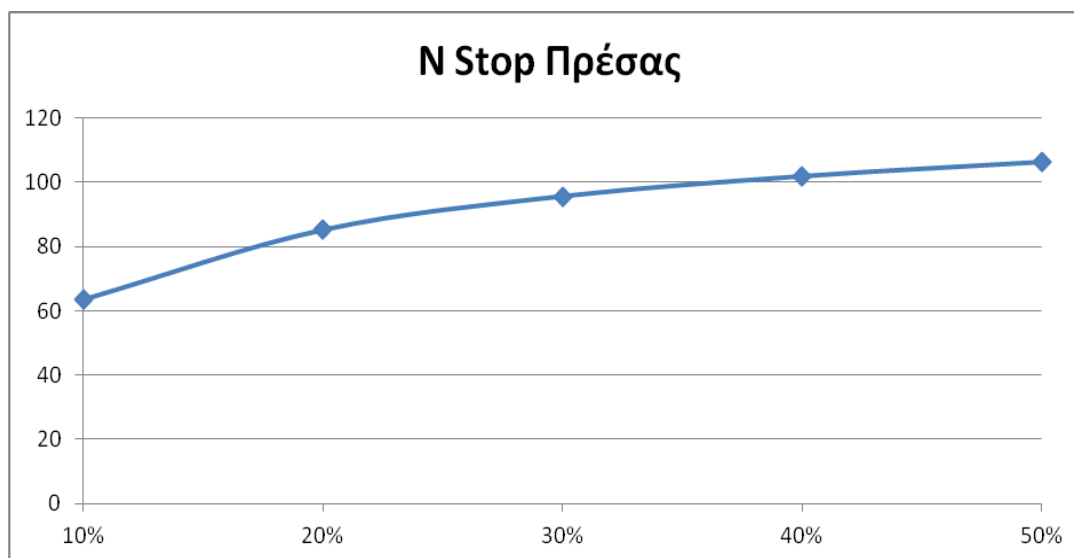
Στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταγράφεται η ως μέγιστη παραγωγή τα 79 τελάρα (Πίνακας: 4.3.1), ενώ ως ελάχιστη τα 45 (Πίνακας: 4.3.5).

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τον αριθμό παραγόμενων τελάρων σε σχέση με το ποσοστό των σχαρών που απαιτείται διαλογή.

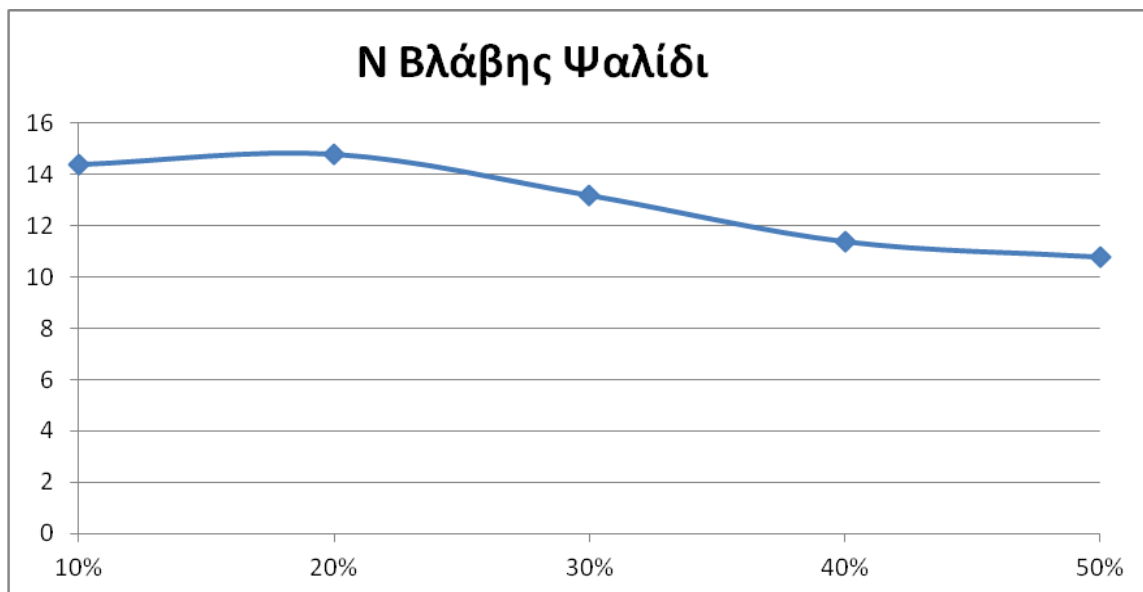


Διάγραμμα 4.3.1. : Αριθμός παραγωγής τελάρων

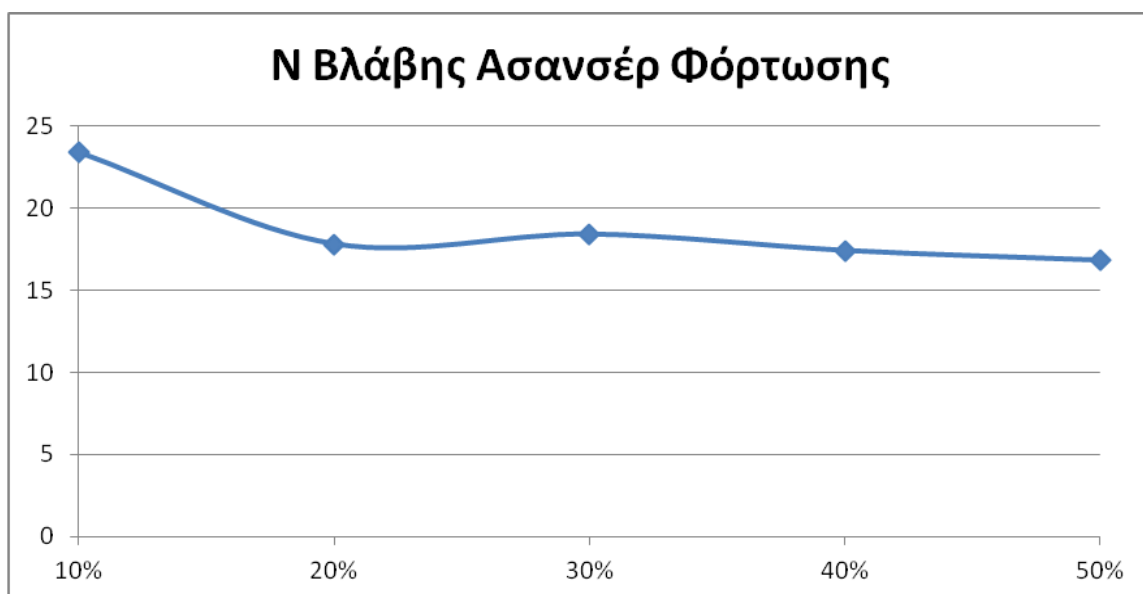
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες ποσότητες που ενδιαφέρουν στην παρούσα ανάλυση.



Διάγραμμα 4.3.2.. : Αριθμός διακοπών Πρέσας



Διάγραμμα 4.3.3.. : Αριθμός Βλαβών στο Ψαλίδι



Διάγραμμα 4.3.4.. : Αριθμός Βλαβών στο Ασανσέρ Φόρτωσης

Στα Διαγράμματα 4.3.3. και 4.3.4., παρουσιάζεται ο αριθμός των βλαβών του μηχανήματος «Ψαλίδι» και του «Ασανσέρ Φόρτωσης». Η εμφάνιση των βλαβών δεν είναι σταθερή. Εφόσον, το ποσοστό αυξάνει και η παραγωγικότητα μειώνεται (αριθμός τελάρων), η εμφάνιση βλαβών στο μηχάνημα είναι και αυτή φθίνουσα. Η διαμόρφωση των εμφανίσεων αυτών κάνει το μοντέλο πιο ρεαλιστικό, εφόσον ο αριθμός των βλαβών δεν είναι απολύτως σταθερός στην πραγματικότητα. Βέβαια, όσο πιο μεγάλος ο αριθμός προσομοιώσεων, το διάγραμμα εμφανίσεων βλαβών θα είχε ομαλότερη φθίνουσα πορεία (θα φανεί στην επόμενη παράγραφο).

Όσον αφορά τον αριθμό διακοπής λειτουργίας της πρέσας, στο Διάγραμμα 4.3.2. φαίνεται ότι, καθώς το ποσοστό των σχαρών που υπόκεινται στη διαδικασία της διαλογής αυξάνει, και ο αριθμός διακοπής της πρέσας αυξάνει. Αυτό συμβαίνει γιατί, στις διακοπές που προέρχονται από το μηχάνημα «Ψαλίδι» και «Ασανσέρ Φόρτωσης» προστίθενται και οι διακοπές που προέρχονται από τη διαδικασία διαλογής (Στο σύστημα δεν υπάρχουν άδειες σχάρες προς φόρτωση στο σταθμό «Φόρτωσης σχάρας»).

4.4 Στατιστική ανάλυση του πλήθους προσομοιώσεων - Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Γενικά

Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση^[2] για το αν ο αριθμός n των προσομοιώσεων που έγιναν αρχικά είναι αρκετός για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτός ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί και για τις πέντε πιθανότητες επεξεργασίας της διαλογής δηλαδή για 10%, 20%, 30%, 40% και 50%. Έχοντας εκτελέσει $K=5$ προσομοιώσεις, υπολογίζουμε τη δειγματική διασπορά $S^2(K)$ των $X_1, \dots, X_5$. Επίσης πρέπει να καθοριστούν το εύρος της απόκλισης από το μέσο όρο ε , αλλά και το επίπεδο εμπιστοσύνης $1-\alpha$.

Έπειτα, από τον Πίνακα Κανονικής Κατανομής του Παραρτήματος 2 για τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$, υπολογίζεται το $z_{\alpha/2}$.

Για να είναι αρκετές οι αρχικές προσομοιώσεις πρέπει να ισχύει η παρακάτω ανισότητα:

$$z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n} \leq \varepsilon \quad (1)$$

Εφόσον η ανισότητα αυτή είναι ψευδής τότε γίνεται προσδιορισμός του αριθμού προσομοιώσεων n , με την παρακάτω σχέση:

$$n \geq ((z_{\alpha/2})^2 S^2) / \varepsilon^2 \quad (2)$$

Για το κριτήριο του αριθμού παραγόμενων τελάρων

Αυτό το κριτήριο επιλέχθηκε, γιατί είναι το βασικότερο κριτήριο όσον αφορά την παραγωγικότητα του εργοστασίου και στην πραγματικότητα έχει προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι ο αριθμός των παραγόμενων τελάρων αποκλίνει από τη μέση τιμή το πολύ κατά 1 τελάρο, επομένως το εύρος είναι $\varepsilon = 1$. Ακόμα, θεωρούμε ως επίπεδο εμπιστοσύνης $1 - \alpha = 0.90$.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα δεδομένα ισχύει ότι :

$$\varepsilon = 1 \text{ και } 1 - \alpha = 0,9 \Leftrightarrow \alpha = 0,1 \text{ και } \alpha/2 = 0,05$$

Επίσης από τον Πίνακα Κανονικής Κατανομής για τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$, προκύπτει με γραμμική παρεμβολή ότι $z_{\alpha/2} = 1,645$.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας με τα στοιχεία για τον υπολογισμό του πρώτου μέρους της ανισότητας (1), όσον αφορά τον αριθμό παραγόμενων τελάρων.

	Average	S^2	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	76,2	3,7	0,1	0,05	1,645	1,415082506	10,01229
20%	68,2	0,7	0,1	0,05	1,645	0,61550264	1,894217
30%	61,6	0,8	0,1	0,05	1,645	0,658	2,16482
40%	55	1	0,1	0,05	1,645	0,735666365	2,706025
50%	48,4	11,8	0,1	0,05	1,645	2,527096951	31,9311

Πίνακας 4.4.1. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό Παραγόμενων Τελάρων

Από την τελευταία στήλη του πίνακα, φαίνεται ότι για τις πιθανότητες επεξεργασίας διαλογής 20%, 30% και 40% η εξίσωση (1) είναι αληθής. Επομένως, για το κριτήριο των παραγόμενων τελάρων, ο αριθμός $K = 5$ προσομοιώσεις είναι αρκετός για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τις πιθανότητες 10% και 50% θα πρέπει να γίνουν 11 και 32 προσομοιώσεις αντίστοιχα, σύμφωνα με τη σχέση (2).

Για την ποσότητα των αριθμών βλαβών του Ψαλιδιού

Όσον αφορά τον αριθμό βλαβών του μηχανήματος «Ψαλίδι», θεωρείται ότι αποκλίνει το πολύ κατά 1 βλάβη από το μέσο όρο με πιθανότητα 0,90. Άρα, και πάλι το εύρος είναι $\varepsilon = 1$ και $1-\alpha = 0,90$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα ισχύει και πάλι ότι :

$$\varepsilon = 3 \text{ και } 1-\alpha = 0,9 \Leftrightarrow \alpha = 0,1 \text{ και } \alpha/2 = 0,05$$

Επίσης από τον Πίνακα Κανονικής Κατανομής για τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$, και με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι $z_{\alpha/2} = 1,645$.

Υπολογίζουμε το πρώτο μέρος της ανισότητας (1). Έπειτα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με το ε .

	Average	S ²	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	14,4	21,8	0,1	0,05	1,645	3,434860841	58,99135
20%	14,8	10,7	0,1	0,05	1,645	2,406427539	28,95447
30%	13,2	12,7	0,1	0,05	1,645	2,621698591	34,36652
40%	11,4	3,3	0,1	0,05	1,645	1,336404318	8,929883
50%	10,8	27,7	0,1	0,05	1,645	3,871870155	74,95689

Πίνακας 4.4.2. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό βλαβών Ψαλιδιού

Είναι φανερό ότι για όλα τα ποσοστά διαλογής, το πρώτο μέρος της ανισότητας (1) είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπτό εύρος $\varepsilon = 1$. Στη περίπτωση αυτή, υπολογίζεται ο αριθμός προσομοιώσεων με τη βοήθεια της ανισότητας (2). Βέβαια, ο αριθμός προσομοιώσεων είναι ακέραιος αριθμός επομένως διαμορφώνεται στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό από τις ευρεθείσες τιμές δηλαδή 59, 29, 35, 9 και 74 αντίστοιχα για κάθε ποσοστό επεξεργασία διαλογής.

Για την ποσότητα του αριθμού βλαβών του μηχανήματος Ασανσέρ Φόρτωσης

Για το μηχάνημα «Ασανσέρ Φόρτωσης», θεωρείται ότι οι βλάβες αποκλίνουν το πολύ κατά 1 από το μέσο όρο με πιθανότητα 0,90. Άρα, το εύρος είναι πάλι $\varepsilon = 1$ και $1-\alpha = 0,90$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα ισχύει ότι :

$$\varepsilon = 4 \text{ και } 1-\alpha=0,9 \Leftrightarrow \alpha = 0,1 \text{ και } \alpha/2 = 0,05$$

Από τον Πίνακα Κανονικής Κατανομής για τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$, και με γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ότι $z_{\alpha/2} = 1,645$.

Υπολογίζουμε το πρώτο μέρος της ανισότητας (1) και έπειτα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με το ε . Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα.

	Average	S ²	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	23,4	61,8	0,1	0,05	1,645	5,783292228	167,2323
20%	17,8	4,7	0,1	0,05	1,645	1,594886673	12,71832
30%	18,4	11,3	0,1	0,05	1,645	2,472977254	30,57808
40%	17,4	3,3	0,1	0,05	1,645	1,336404318	8,929883
50%	16,8	23,2	0,1	0,05	1,645	3,543438443	62,77978

Πίνακας 4.4.3. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό βλαβών Ασανσέρ Φόρτωσης

Όπως και για το μηχάνημα «Ψαλίδι», το πρώτο μέρος της ανισότητας (1) είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπτό εύρος ε . Στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται ο αριθμός προσομοιώσεων με τη βοήθεια της ανισότητας (2). Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, ο αριθμός προσομοιώσεων είναι ακέραιος αριθμός, επομένως διαμορφώνεται στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό από τις ευρεθείσες τιμές. Άρα, για τα ποσοστά διαλογής 10%, 20%, 30%, 40% και 50% πρέπει να πραγματοποιηθούν 168, 13, 31, 9 και 63 προσομοιώσεις αντίστοιχα.

Με τα καινούργια δεδομένα που προκύπτουν από τη στατιστική ανάλυση υπολογίζονται οι καινούργιοι πίνακες δεδομένων (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3). Ο τελικός αριθμός προσομοιώσεων, σύμφωνα με το μέγιστο αριθμό προσομοιώσεων που χρειάζεται σε κάθε ποσοστό διαλογής, είναι ο εξής:

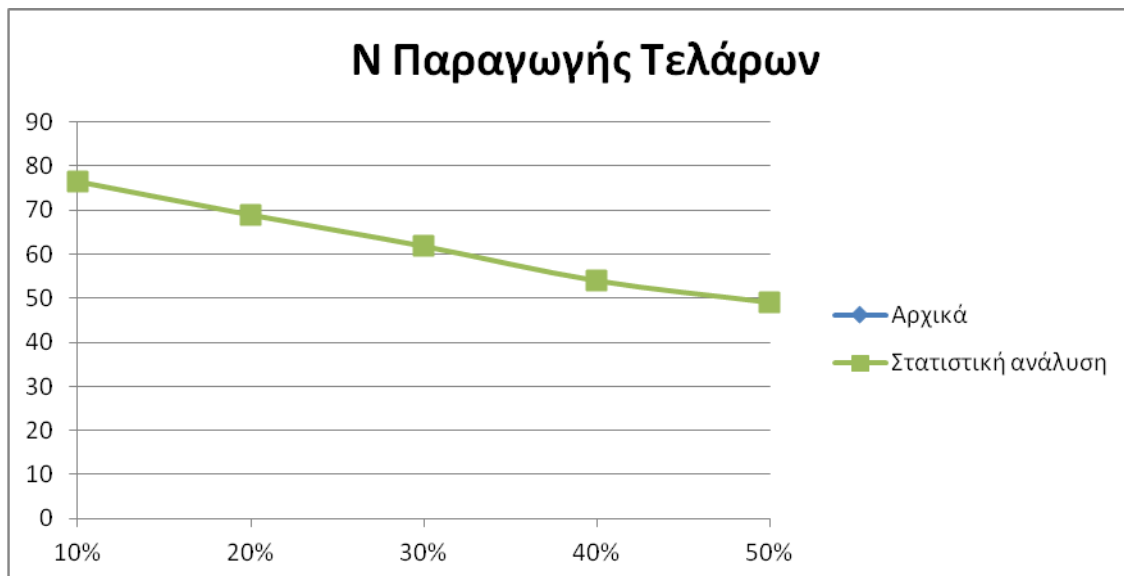
- ✓ Στο ποσοστό 10% απαιτούνται 167 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 20% απαιτούνται 29 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 30% απαιτούνται 35 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 40% απαιτούνται 9 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 50% απαιτούνται 75 προσομοιώσεις.

Με τις καινούργιες προσομοιώσεις κατασκευάζεται ο νέος πίνακας των μέσων τιμών των ποσοτήτων για κάθε ένα ποσοστό επεξεργασίας της διαλογής:

Average New	P (Πακέτο να θέλει διαλογή)				
	10%	20%	30%	40%	50%
N Παραγωγής Τελάρων	76,5	68,9	61,8	54	49,1
N Stop Πρέσας	63,4	82,4	94,5	100,6	103,8
N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	13,9	12,6	11,9	9,9	8,7
N Βλάβης Ψαλίδι	20,8	17,7	16,7	15,1	13,3

Πίνακας 4.4.4. : Νέος πίνακας μεσαίων τιμών

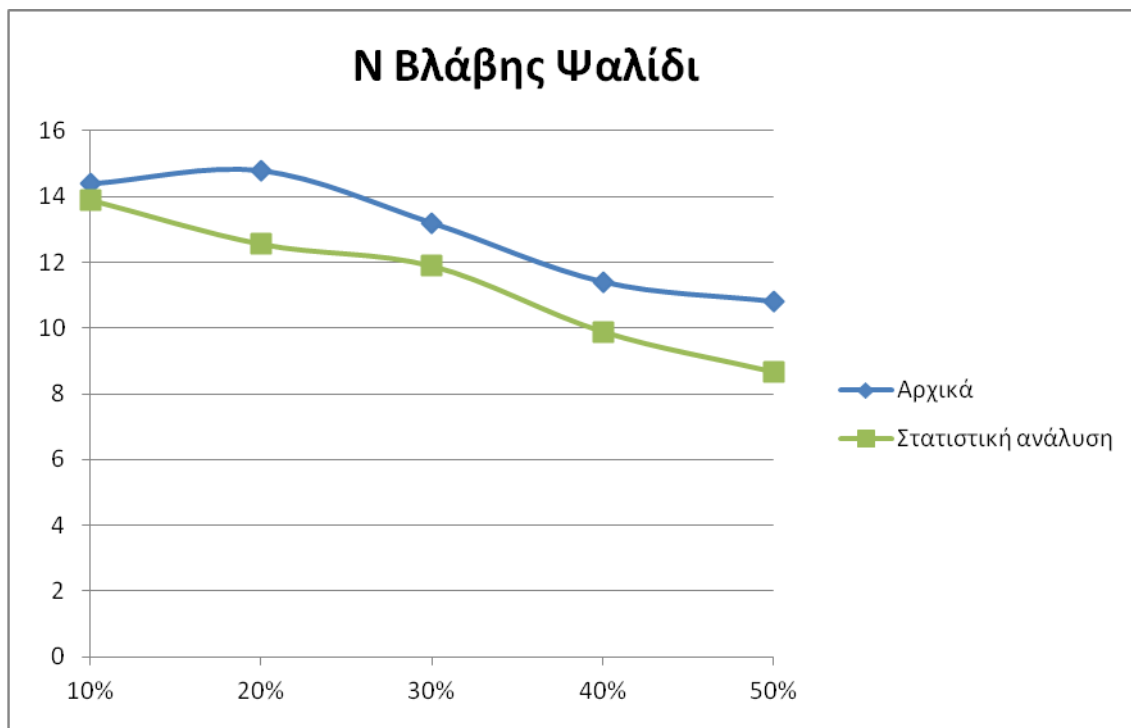
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4.4. και με τα προηγούμενα διαγράμματα, παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των αρχικών αποτελεσμάτων με τα καινούργια αποτελέσματα των περισσότερων προσομοιώσεων.



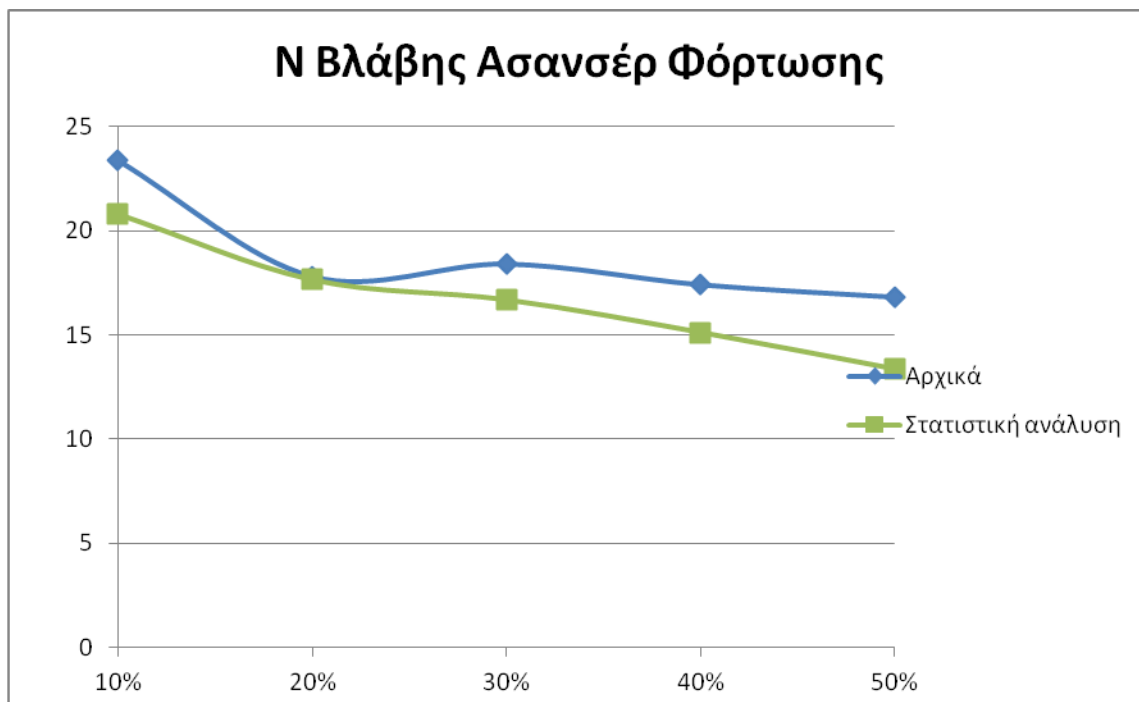
Διάγραμμα 4.4.1.. : Συγκριτικό διάγραμμα για τον αριθμό παραγόμενων τελάρων

Στο διάγραμμα 4.4.1. βλέπουμε ότι η καμπύλη που προκύπτει από τις 5 προσομοιώσεις και η νέα καμπύλη συμπίπτουν. Σύμφωνα με τους πίνακες μέσων τιμών, υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά στις τιμές αυτές, η οποία στο διάγραμμα δεν είναι εμφανής.

Τα συγκριτικά διαγράμματα για την συμπεριφορά των βλαβών των μηχανημάτων του «Ψαλιδιού» και του «Ασανσέρ Φόρτωσης» παρουσιάζονται παρακάτω.



Διάγραμμα 4.4.2.. : Συγκριτικό διάγραμμα για τον αριθμό βλαβών στο Ψαλίδι



Διάγραμμα 4.4.3.. : Συγκριτικό διάγραμμα για τον αριθμό βλαβών στο Ασανσέρ Φόρτωσης

Σύμφωνα με τα καινούργια συγκριτικά διαγράμματα παρατηρούμε πως η συμπεριφορά του αριθμού των βλαβών των μηχανημάτων γίνεται πολύ πιο ομαλή. Συγκεκριμένα, οι καμπύλες που προκύπτουν από τη στατιστική ανάλυση και το νέο πλήθος προσομοιώσεων έχουν μια φθίνουσα πορεία χωρίς ταλαντώσεις σε αντίθεση με τις αρχικές καμπύλες.

5. Προσδιορισμός Σημείων Συνωστισμού (Bottlenecks)

5.1 Γενικά

Οι περιορισμοί στον χώρο αποθήκευσης των οντοτήτων σε κάποιο σταθμό εργασίας (μικρός αριθμός χωρητικότητας στις ουρές αναμονής), αλλά και οι συχνές βλάβες των μηχανημάτων, δημιουργούν ένα φαινόμενο συμφόρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση τόσο του φαινομένου του «μπλοκαρίσματος» μιας μηχανής (blocking) όσο και την «πείνα» της (starvation). Ως «μπλοκάρισμα» θεωρούμε την μη εξαγωγή των οντοτήτων από ένα σταθμό (μηχανή, υπάλληλος κτλ), λόγω της έλλειψης θέσεων στην αμέσως επόμενη αποθήκη που παρεμβάλλεται. Περιορισμοί χώρου σε επόμενους σταθμούς εργασίας μπορεί, συνεπώς, να προκαλέσουν παύσεις στους προηγούμενους σταθμούς εργασίας. Ομοίως, ορισμένες θέσεις εργασίας μπορεί να εμφανίσουν αδράνεια λόγω της έλλειψης οντοτήτων από προηγούμενους σταθμούς εργασίας. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται «πείνα» της μηχανής, για προφανείς λόγους.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι η πείνα τείνει να διαδοθεί προς τα εμπρός σε διαδοχικές θέσεις εργασίας που βρίσκονται ακόμα και στα τελικά στάδια της γραμμής παραγωγής. Το μπλοκάρισμα και η πείνα, στην πραγματικότητα, είναι φαινόμενα που μπορούν να εμφανίζονται μαζί σε ένα σταθμό εργασίας.

Έτσι, μια γραμμή παραγωγής μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα, ώστε προηγούμενες θέσεις εργασίας να βιώνουν συχνά μπλοκάρισμα και οι επόμενοι σταθμοί συχνά πείνα.

5.2 Bottlenecks στη γραμμή παραγωγής του εργοστασίου

Έχοντας αναλύσει την παραγωγική διαδικασία τόσο διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι πολύ εύκολο να προσδιορίσουμε τα σημεία συνωστισμού στην παραγωγική γραμμή του κεραμοποιείου. Οι αιτίες του φαινομένου αυτού, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι η έλλειψη χωρητικότητας οντοτήτων ανάμεσα σε σταθμούς εργασίας, αλλά και η συχνή βλάβη των μηχανημάτων. Έτσι ως σημεία συνωστισμού θα μπορούσαν να θεωρούνται οι εξής σταθμοί:

1. Σταθμός «Μπάρα 1» (τις περισσότερες φορές, πεινάει όταν υπάρχουν σχάρες προς διαλογή με μεγάλο χρόνο επεξεργασίας διαλογής)
2. Σταθμός «Ψαλίδι» (Πεινάει όταν δεν υπάρχει άδεια σχάρα στο σταθμό «Φόρτωσης σχάρας». Επίσης, μπλοκάρει όταν υπάρχει βλάβη στο «Ασανσέρ Φόρτωσης» και δεν μεταφέρεται η ήδη γεμάτη σχάρα από το σταθμό «Φόρτωσης σχάρας»).
3. Θέση «Πριν Ασανσέρ φόρτωσης» («Μπλοκάρει» όταν υπάρχει βλάβη στο «Ασανσέρ Φόρτωσης»).

Στο σημείο αυτό θεωρούμε τα εξής:

- Οι θέσεις αναμονής άδειων σχαρών από το σταθμό «Φτυάρι-Ωθητήρας» (όταν έχει γίνει το ξεφόρτωμα της σχάρας) μέχρι το σταθμό «Φόρτωσης σχάρας» (όταν η σχάρα είναι άδεια στον σταθμό) είναι μια ουρά αναμονής σχαρών (Ουρά αναμονής 1).
- Οι θέσεις αναμονής γεμάτων σχαρών από το σταθμό «Φόρτωσης σχάρας» μέχρι το σταθμό «Πριν Ασανσέρ Φόρτωσης» είναι μια ουρά αναμονής γεμάτων σχαρών (Ουρά αναμονής 2).

Στην πραγματικότητα, αυτό που συμβαίνει, είναι αυτό που περιγράφηκε ακριβώς παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, το κρίσιμο σημείο συνωστισμού συναντάται στο σταθμό «Ψαλίδι». Εκεί συναντάμε και τα δύο φαινόμενα συνωστισμού, δηλαδή και το «μπλοκάρισμα» του μηχανήματος, αλλά και την «πείνα» του. Το πρώτο φαινόμενο συμβαίνει όταν υπάρχει βλάβη στο «Ασανσέρ Φόρτωσης», ενώ το δεύτερο όταν ο σταθμός «Φόρτωσης σχάρας» «ξεμένει» από κενές σχάρες, λόγω της

διαδικασίας της διαλογής. Αποτέλεσμα και των δυο φαινομένων είναι να «μπλοκάρει» ο προκόφτης και στη συνέχεια να σταματάει και η «Πρέσα».

Στην περίπτωση βλάβης του μηχανήματος «Ψαλίδι» (κόβεται το σύρμα κοπής), θα μπορούσαμε να πούμε ότι δημιουργείται σημείο συνωστισμού στο μηχάνημα «Πρέσα». Η θεώρηση αυτή όμως δεν θα αναλυθεί περαιτέρω, εφόσον δεν μπορεί να υπάρξει κάποια βελτίωση της κατάστασης.

5.3 Βελτιστοποίηση Γραμμής Παραγωγής

Προτάσεις για τη βελτιστοποίηση της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου μπορούν να διατυπωθούν πολλές, αλλά λίγες από αυτές θα μπορούσαν να είναι εφικτές. Ο λόγος είναι ότι τα μηχανήματα τα οποία θα μπορούσαν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα του εργοστασίου είναι πολύπλοκα ως προς την κατασκευή τους, αλλά και δαπανηρά ως προς το κόστος κατασκευής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο κατηγορίες βελτιστοποίησης.:

1^η Κατηγορία:

- Ελαχιστοποίηση βλαβών μηχανημάτων «*Ασανσέρ Φόρτωσης*» και «*Ψαλίδι*».
- Ελαχιστοποίηση χρόνου αποκατάστασης βλαβών.

2^η Κατηγορία:

- Αύξηση χωρητικότητας της Ουρά Αναμονής 1.
- Αύξηση χωρητικότητας της Ουρά Αναμονής 2.

Η 1^η Κατηγορία περιλαμβάνει τη ελαχιστοποίηση των εμφανίσεων βλαβών και του χρόνου αποκατάστασής τους. Πιο αναλυτικά, για το μηχάνημα του «*Ασανσέρ Φόρτωσης*», η σωστή συντήρηση είναι ο μόνος παράγοντας ο οποίος θα μπορούσε να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης βλάβης. Στο μηχάνημα του ψαλιδιού, η επιλογή σύρματος κοπής με μεγαλύτερη αντοχή είναι και πάλι ο μοναδικός τρόπος ο οποίος θα βοηθούσε στη βελτίωση της κατάσταση του μηχανήματος.

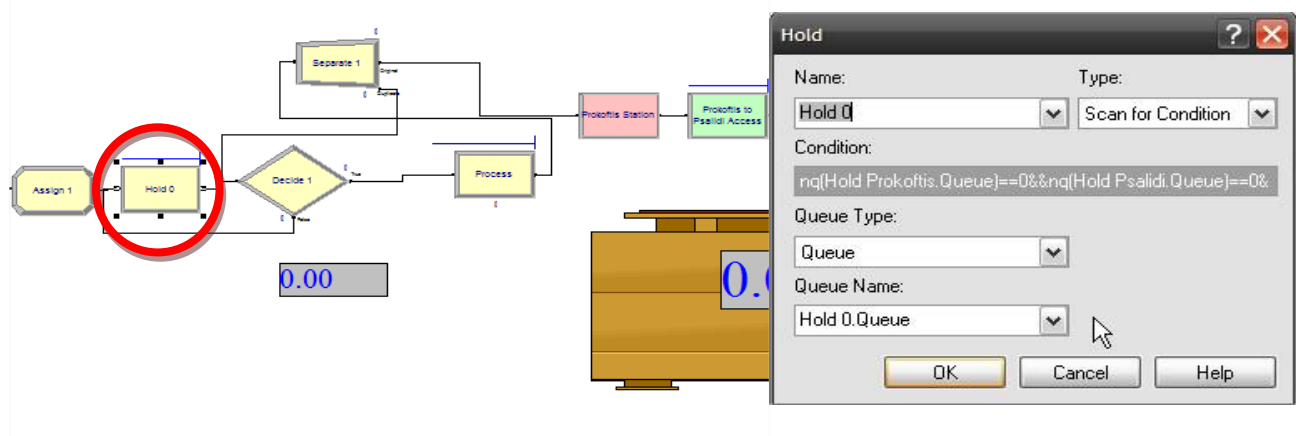
Η 2^η Κατηγορία περιλαμβάνει αλλαγή της χωρητικότητας των ουρών αναμονής 1 και 2. Στην ουσία, η μεταβολή αυτή θα μπορούσε να γίνει αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των μηχανημάτων «*Φτυάρι-Ωθητήρας*» και «*Ψαλίδι*», αλλά και την απόσταση μεταξύ των μηχανημάτων «*Ψαλίδι*» και «*Ασανσέρ Φόρτωσης*». Αυτή η πρόταση δεν θα μπορούσε να γίνει εφικτή, εφόσον θα έπρεπε να γίνει μεταφορά όλων των μηχανημάτων της κύριας παραγωγής. Η εφικτή πρόταση στη προκειμένη περίπτωση είναι να κατασκευαστούν μηχανήματα τα οποία θα αποθηκεύουν ένα συγκεκριμένο αριθμό σχαρών.

Πιο αναλυτικά, υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης μηχανήματος αποθήκευσης σχαρών σε κατακόρυφο άξονα, του οποίου η θέση θα βρίσκεται ακριβώς στο σταθμό της θέσης αναμονής «*Μπάρα 1*». Έχοντας ως απώτερο σκοπό τη μείωση, στον μέγιστο βαθμό, του αριθμού διακοπής της πρέσας, εισάγοντας ένα τέτοιο μηχάνημα στην παραγωγή, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των διακοπών εξαιτίας της διαδικασίας της διαλογής (αύξηση Ουράς Αναμονής 1). Η ίδια εισαγωγή ενός αντίστοιχου μηχανήματος θα μπορούσε να γίνει στη θέση «*Μπάρα 2*», όπου θα πραγματοποιούταν η ελαχιστοποίηση του αριθμού διακοπής της πρέσας λόγω της βλάβης του «*Ασανσέρ Φόρτωσης*».

5.4 Βελτιστοποίηση μοντέλου στο Arena 13.5 Student Edition®

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο, της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου. Συγκεκριμένα, γίνεται αύξηση της Ουράς Αναμονής 1 τοποθετώντας ένα μηχάνημα αποθήκευσης άδειων σχαρών στη θέση «Μπάρα 1» (περιγράφηκε στη προηγούμενη παράγραφο). Ένα αντίστοιχο μηχάνημα θα μπορούσε να εγκατασταθεί και στη θέση «Μπάρα 2». Πιο αναλυτικά, αυξάνουμε την χωρητικότητα της ουράς που βρίσκεται στο σταθμό «Μπάρα 1» από μια σχάρα σε δέκα (θεωρείται ότι δεν υπάρχει δυνατότητα αύξησης της ουράς με μεγαλύτερο αριθμό χωρητικότητας). Αυτό σημαίνει, ότι η χωρητικότητα από το μηχάνημα «Φτυάρι-Ωθητήρας» (όταν έχει γίνει το ξεφόρτωμα της σχάρας) μέχρι το σταθμό «Φόρτωσης σχάρας» (όταν η σχάρα είναι άδεια στον σταθμό), δηλαδή στην ουρά αναμονής 1, μπορούν να χωρέσουν μέχρι και 12 άδειες σχάρες. Με αυτή την αλλαγή μειώνουμε τη πιθανότητα να γίνει διακοπή της πρέσας λόγω της διαδικασίας διαλογής. Οι αλλαγές που έγιναν αφορούν τις συνθήκες των Modules που υπάρχουν στο αρχικό μοντέλο.

Για να γίνουν πιο κατανοητές οι αλλαγές, παρακάτω παρατίθενται τα σημεία των αλλαγών και τα καινούργια πλαίσια διαμόρφωσης με τις καινούργιες συνθήκες.

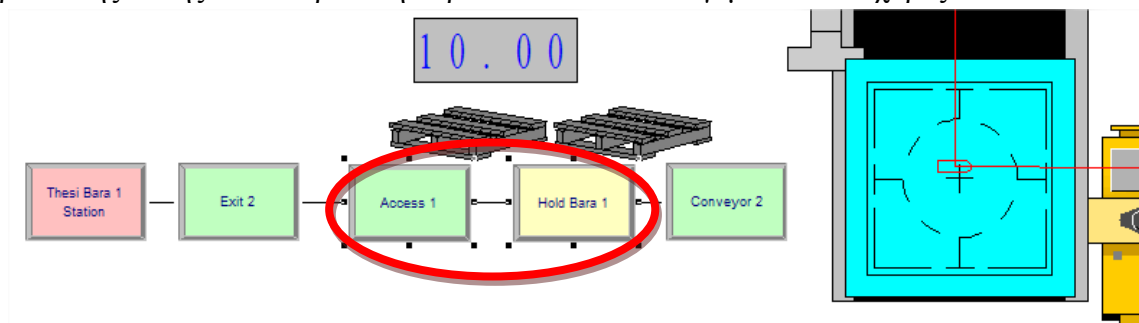


Εικόνα 5.4.1. : Σημείο και Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 0

Η καινούργια συνθήκη για να ξεκινήσει η πρέσα τη λειτουργία της είναι:

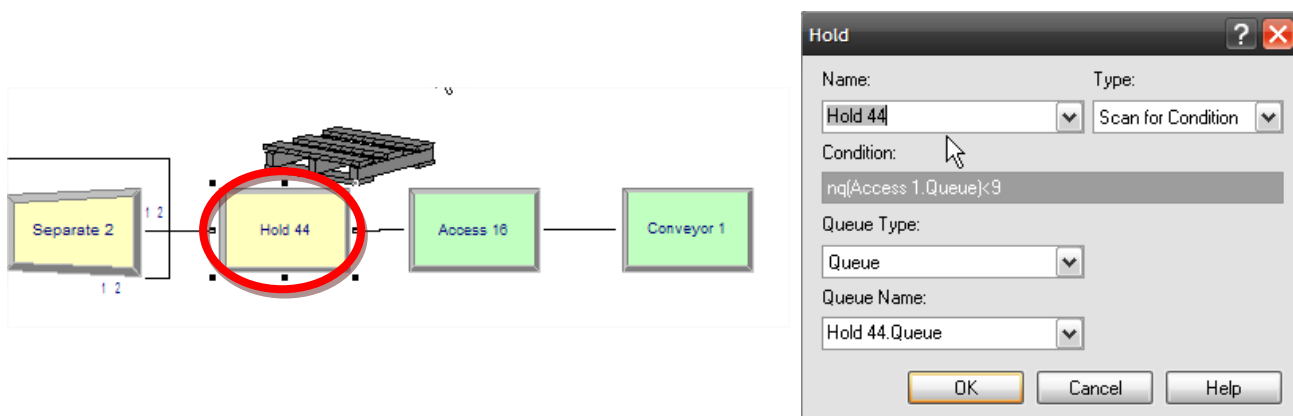
```
nq(Hold Prokoftis.Queue)==0&nq(Hold Psalidi.Queue)==0&(NR(Process 1 Resource)==0)&(NR(Process 2 Resource)==0)&(nq(Hold Raoula Psalidi Thesi.Queue)==1.or.nq(Hold Raoula Psalidi Thesi 3.Queue)==1)&(nq(Access 1.Queue) >=8)
```

Στην παραπάνω συνθήκη φαίνεται η μεταβολή του αριθμού των οντοτήτων που εμπεριέχονται στην ουρά Access 1.Queue του Access Module. Συγκεκριμένα, η πρέσα περιμένει πλέον να γεμίσει η θέση «Μπάρα 1» με 8 σχάρες και έπειτα να γίνει η εκκίνηση της (7 σχάρες στο Access 1 Module και 1 σχάρα στο Hold Bara 1 Module). Η επιλογή των 8 σχαρών έγινε εσκεμμένα, εφόσον κατά τη διάρκεια της κοπής των τούβλων η ουρά στο Access 1 θα γεμίσει από σχάρες.



Εικόνα 5.4.2. : Σημείο του Access 1 και Hold Bara 1 Module

Στην Εικόνα 5.4.2. φαίνεται ο συνολικός αριθμός οντοτήτων (10 σχάρες) στις ουρές του Access 1 και Hold Bara 1 Module. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την αλλαγή στο σταθμό «Φτυάρι-Ωθητήρας».



Εικόνα 5.4.3. : Σημείο και Πλαίσιο διαμόρφωσης του Hold 44

Η καινούργια συνθήκη για να αποδεσμευτεί η οντότητα της σχάρας από το «Φτυάρι-Ωθητήρας» είναι:

$nq(\text{Access 1.Queue}) < 9$

Αυτό συμβαίνει γιατί στο Hold Bara 1 υπάρχει ήδη μια δεσμευμένη σχάρα, επομένως αθροιστικά η μηχανή «Φτυάρι-Ωθητήρας» αποδεσμεύει τη σχάρα εφόσον ο συνολικός αριθμός άδειων σχαρών στον επόμενο σταθμό είναι μικρότερος του 10.

5.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης του βελτιστοποιημένου μοντέλου

Στην παράγραφο αυτή, θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από τις 5 αρχικές προσομοιώσεων για κάθε ένα ποσοστό της επεξεργασίας διαλογής. Συγκεκριμένα, θα γίνουν πέντε προσομοιώσεις με πιθανότητες επεξεργασίας διαλογής ίσες με 10%, 20%, 30%, 40% και 50%. Έπειτα θα υπολογίζεται ο μέσος όρος (Average) για κάθε ποσότητα που υπάρχει ενδιαφέρον (όπως έγινε και στη παράγραφο 4.3 του κεφαλαίου 4).

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

P= 10%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ
N Replication					
1	82	29	13	19	16
2	81	40	15	27	25
3	82	27	16	10	11
4	80	39	19	21	20
5	81	37	15	25	22
Average	81,2	34,4	15,6	20,4	18,8

Πίνακας 5.5.1. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 10%

P= 20%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ
N Replication					
1	78	39	14	24	25
2	77	35	15	18	20
3	79	42	14	24	28
4	76	41	21	22	20
5	80	32	15	20	17
Average	78	37,8	15,8	21,6	22

Πίνακας 5.5.2. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 20%

P= 30%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ
N Replication					
1	72	30	15	11	15
2	72	35	8	21	27
3	74	37	15	20	22
4	71	41	20	14	21
5	71	44	11	29	33
Average	72	37,4	13,8	19	23,6

Πίνακας 5.5.3. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 30%

P= 40%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ
N Replication					
1	61	45	17	17	28
2	64	34	9	15	25
3	61	35	10	14	25
4	58	42	9	21	33
5	62	43	14	21	29
Average	61,2	39,8	11,8	17,6	28

Πίνακας 5.5.4. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 40%

P= 50%	N Παραγωγής Τελάρων	N Stop Πρέσας	N Βλάβης Ψαλίδι	N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ
N Replication					
1	53	40	12	15	28
2	53	39	6	22	33
3	55	35	9	17	26
4	53	45	9	22	36
5	49	43	15	20	28
Average	52,6	40,4	10,2	19,2	30,2

Πίνακας 5.5.5. : Αποτελέσματα προσομοίωσης για P = 50%

Average	P (Πακέτο να θέλει διαλογή)				
	10%	20%	30%	40%	50%
N Παραγωγής Τελάρων	81,2	78	72	61,2	52,6
N Stop Πρέσας	34,4	37,8	37,4	39,8	40,4
N Βλάβης Ψαλίδι	15,6	15,8	13,8	11,8	10,2
N Stop Ασανσέρ Φόρτωσης	20,4	21,6	19	17,6	19,2
N Stop Πρέσας Από Διαλογή και Ασανσέρ	18,8	22	23,6	28	30,2

Πίνακας 5.5.6. : Αποτελέσματα προσομοίωσης Average

5.6 Στατιστική ανάλυση του πλήθους προσομοιώσεων - Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Με την ίδια μέθοδο που πραγματοποιήθηκε στην Παράγραφο 4.4, πραγματοποιείται η στατιστική ανάλυση για τον προσδιορισμό του πλήθους των προσομοιώσεων για εύρος $\varepsilon = 1$ και $1-\alpha = 0,90$ και στα τρία κριτήρια στο βελτιστοποιημένο μοντέλο.

Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι ο αριθμός των παραγόμενων τελάρων, ο αριθμός βλαβών του «Ψαλιδιού» και του «Ασανσέρ Φόρτωσης» αποκλίνουν από τη μέση τιμή το πολύ κατά 1, επομένως το εύρος είναι $\varepsilon = 1$. Ακόμα η πιθανότητα απόκλισης από το μέσο όρο είναι 90% δηλαδή $1-\alpha = 0.90$.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τα δεδομένα ισχύει ότι :

$$\varepsilon = 1 \text{ και } 1-\alpha = 0,9 \Leftrightarrow \alpha = 0,1 \text{ και } \alpha/2 = 0,05$$

Επίσης από τον Πίνακα Κανονικής Κατανομής για τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$, προκύπτει με γραμμική παρεμβολή ότι $z_{\alpha/2} = 1,645$.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τα στοιχεία για τον υπολογισμό του πρώτου μέρους της ανισότητας (1) της παραγράφου 4.4, και έπειτα για τον υπολογισμό του αριθμού των προσομοιώσεων (όπου απαιτείται).

	Average	S^2	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	81,2	0,7	0,1	0,05	1,645	0,61550264	-
20%	78	2,5	0,1	0,05	1,645	1,163190655	6,765063
30%	72	1,5	0,1	0,05	1,645	0,901003607	-
40%	61,2	4,7	0,1	0,05	1,645	1,594886673	12,71832
50%	52,6	4,8	0,1	0,05	1,645	1,611764251	12,98892

Πίνακας 5.6.1. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό Παραγόμενων Τελάρων

Από την τελευταία στήλη του πίνακα, φαίνεται ότι για τις πιθανότητες επεξεργασίας διαλογής 10% και 30% η εξίσωση (1) είναι αληθής. Επομένως, για το κριτήριο των παραγόμενων τελάρων, οι $K = 5$ προσομοιώσεις είναι αρκετές για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τη πιθανότητα 20%, 30% και 50% θα πρέπει να γίνουν 7, 13 και 13 προσομοιώσεις αντίστοιχα, σύμφωνα με τη σχέση (2).

	Average	S^2	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	15,6	4,8	0,1	0,05	1,645	1,611764251	12,98892
20%	15,8	8,7	0,1	0,05	1,645	2,16990403	23,54242
30%	13,8	20,7	0,1	0,05	1,645	3,347079847	56,01472
40%	11,8	12,7	0,1	0,05	1,645	2,621698591	34,36652
50%	10,2	11,7	0,1	0,05	1,645	2,51636613	31,66049

Πίνακας 5.6.2. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό βλαβών Ψαλιδιού

Είναι φανερό ότι για όλα τα ποσοστά διαλογής, το πρώτο μέρος της ανισότητας (1) είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπτό εύρος $\varepsilon = 1$. Στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται ο αριθμός προσομοιώσεων με τη βοήθεια της ανισότητας (2). Βέβαια, ο αριθμός προσομοιώσεων είναι ακέραιος αριθμός επομένως διαμορφώνεται στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό από τις ευρεθείσες τιμές δηλαδή 13, 24, 56, 35 και 32 αντίστοιχα για κάθε ποσοστό επεξεργασίας διαλογής.

	Average	S ²	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$Z_{\alpha/2} \sqrt{S^2/n}$	n
10%	20,4	43,8	0,1	0,05	1,645	4,868755385	118,5239
20%	21,6	6,8	0,1	0,05	1,645	1,918383173	18,40097
30%	19	48,5	0,1	0,05	1,645	5,123323384	131,2422
40%	17,6	10,8	0,1	0,05	1,645	2,417646376	29,22507
50%	19,2	9,7	0,1	0,05	1,645	2,291219872	26,24844

Πίνακας 5.6.3. : Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον αριθμό βλαβών Ασανσέρ Φόρτωσης

Όπως για το μηχάνημα «Ψαλίδι», και για το μηχάνημα του «Ασανσέρ Φόρτωσης» το πρώτο μέρος της ανισότητας (1) είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπτό εύρος ε . Στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται ο αριθμός προσομοιώσεων με τη βοήθεια της ανισότητας (2). Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, ο αριθμός προσομοιώσεων είναι ακέραιος αριθμός επομένως διαμορφώνεται στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό από τις ευρεθείσες τιμές. Άρα, για τα ποσοστά διαλογής 10%, 20%, 30%, 40% και 50%, πρέπει να πραγματοποιηθούν 119, 19, 132, 30 και 27 προσομοιώσεις αντίστοιχα.

Με τα καινούργια δεδομένα που προκύπτουν από τη στατιστική ανάλυση πρέπει να υπολογιστούν οι καινούργιοι πίνακες δεδομένων (βλέπε Παράρτημα 3). Σύμφωνα με το μέγιστο αριθμό προσομοιώσεων που χρειάζεται σε κάθε ποσοστό διαλογής, ο τελικός αριθμός προσομοιώσεων είναι ο εξής:

- ✓ Στο ποσοστό 10% απαιτούνται 119 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 20% απαιτούνται 24 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 30% απαιτούνται 132 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 40% απαιτούνται 35 προσομοιώσεις.
- ✓ Στο ποσοστό 50% απαιτούνται 32 προσομοιώσεις.

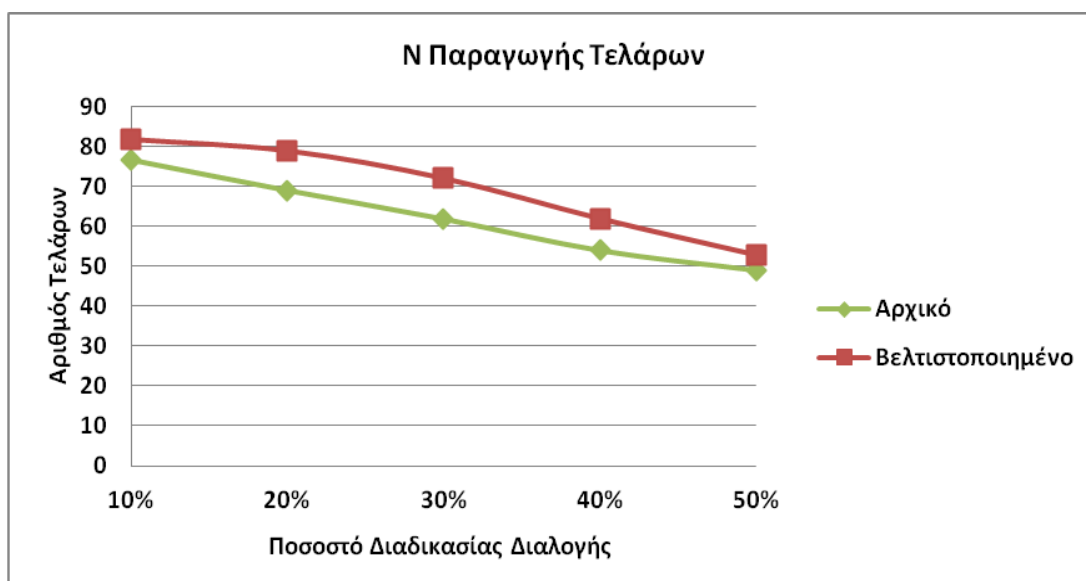
Με τις καινούργιες προσομοιώσεις κατασκευάζεται ο νέος πίνακας για τις μεσαίες τιμές των ποσοτήτων για κάθε ένα ποσοστό επεξεργασίας της διαλογής:

Average New	P (Πακέτο να θέλει διαλογή)				
	10%	20%	30%	40%	50%
N Παραγωγής Τελάρων	81,6	78,8	72,0	61,9 €	52,9
N Stop Πρέσας	35,2	37,3	37,4	38,4	37,6
N Βλάβης Ψαλίδι	14,5	14,6	12,7	11,7	9,8
N Βλάβης Ασανσέρ Φόρτωσης	22,0	22,9	19,6	16,7	14,9

Πίνακας 5.6.5. : Νέος πίνακας μέσων τιμών

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.6.5. και με τα προηγούμενα διαγράμματα, παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα του βελτιστοποιημένου μοντέλου σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του αρχικού μοντέλου. Τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι αποτέλεσμα των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα παράγραφο και στη παράγραφο 4.4.

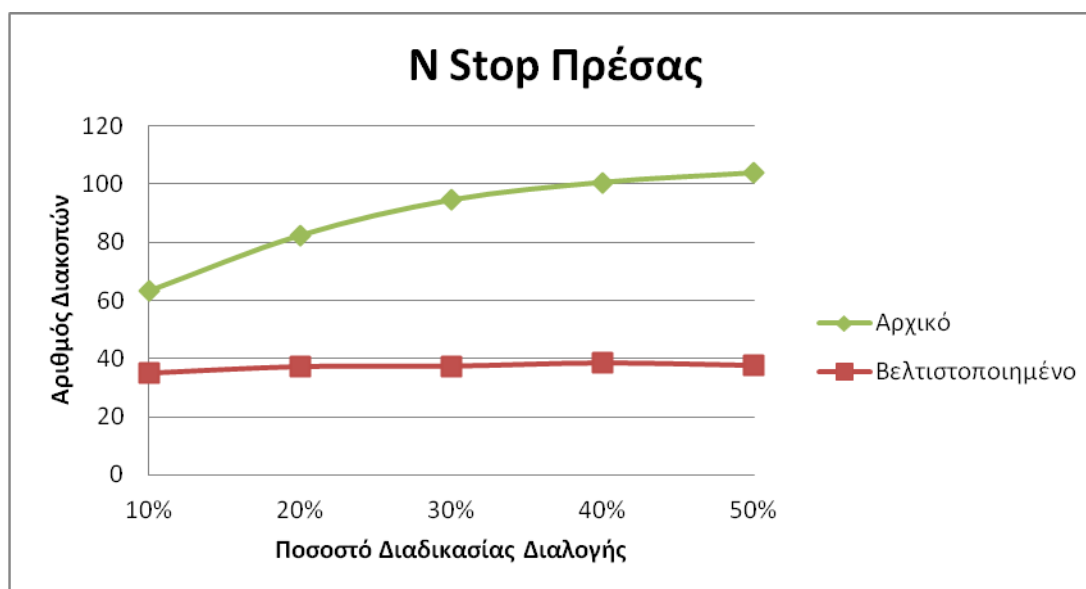
Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα για την ποσότητα των παραγόμενων τελάρων. Συγκεκριμένα, φαίνεται η συμπεριφορά του βελτιωμένου μοντέλου σε σχέση με το αρχικό.



Διάγραμμα 5.5.1. : Σύγκριση συμπεριφοράς μοντέλων για τον αριθμό παραγωγής τελάρων

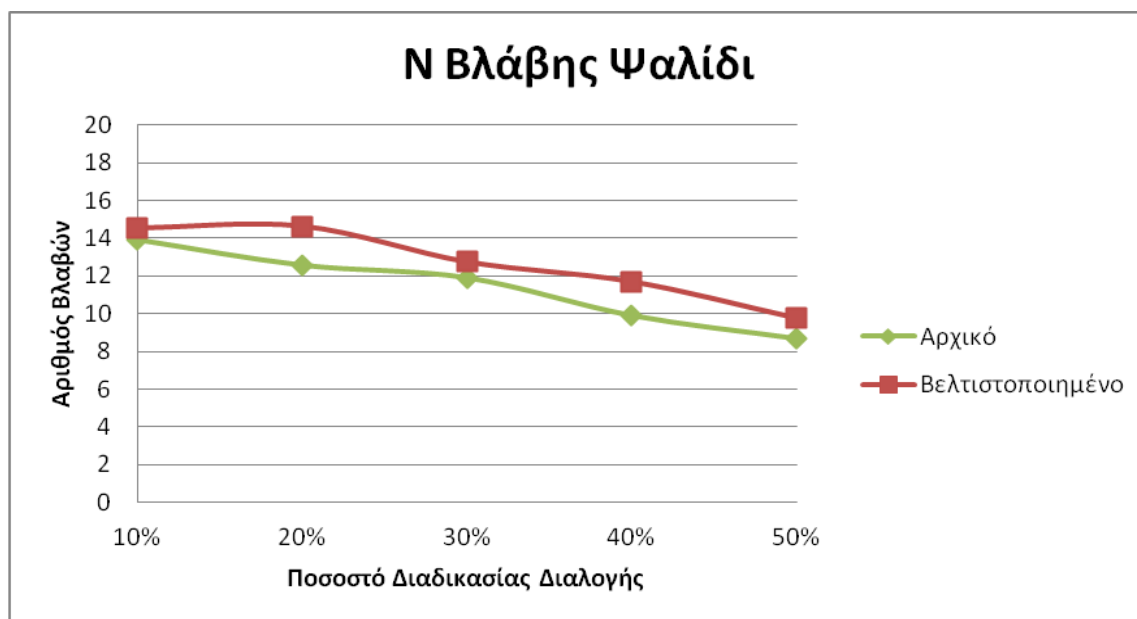
Ο αριθμός παραγόμενων τελάρων είναι για όλες τις πιθανότητες μεγαλύτερος συγκριτικά με το αρχικό μοντέλο. Βέβαια έχει και πάλι μια φθίνουσα πορεία.

Στο επόμενο διάγραμμα θα παρουσιαστεί ο αριθμός των διακοπών της πρέσας. Όπως έχουμε προαναφέρει, ο αριθμός αυτός είναι πολύ σημαντικός για τη λειτουργία του εργοστασίου και της παραγωγής (συντήρηση πρέσας, κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, ποιότητα παραγόμενων οπτόπλινθων κ.α.). Είναι φανερό πως, κατά την αύξηση του ποσοστού της διαδικασίας της διαλογής, ο αριθμός διακοπών παραμένει ως επί τω πλείστον σταθερός. Αυτό συμβαίνει, εφόσον οι περισσότερες διακοπές της πρέσας οφείλονται στο μηχάνημα του «Ψαλιδιού» και του «Ασανσέρ Φόρτωσης».



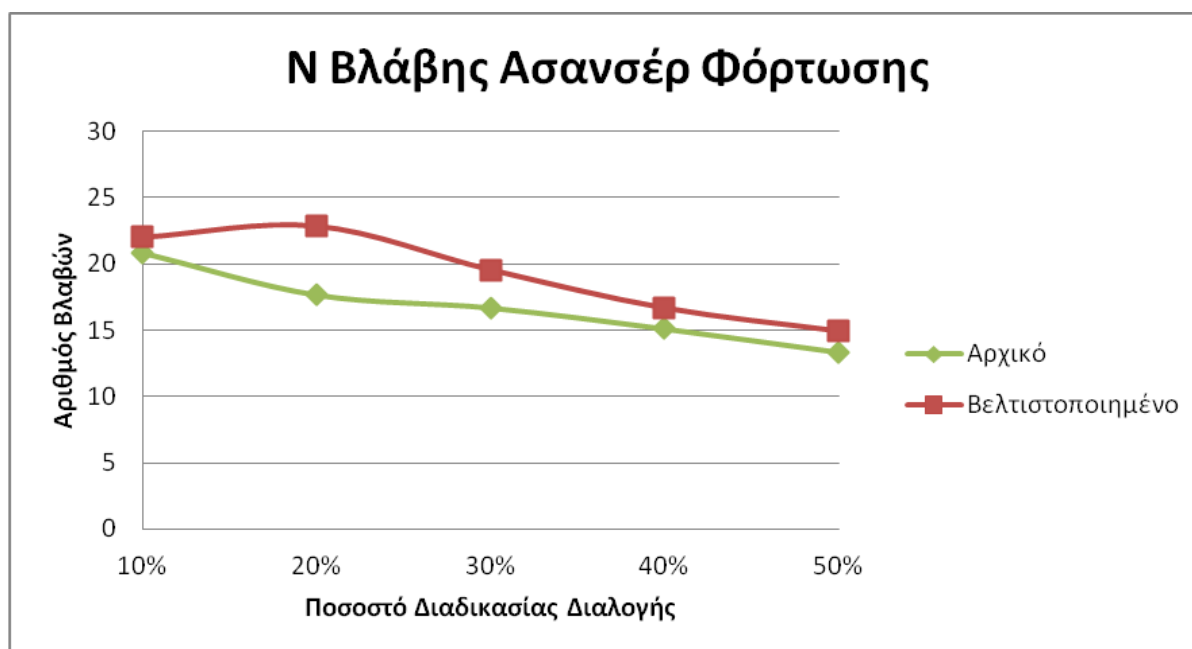
Διάγραμμα 5.5.2. : Σύγκριση συμπεριφοράς μοντέλων για τον αριθμό διακοπής του μηχανήματος της Πρέσας

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που αφορούν τις βλάβες των μηχανημάτων του «Ψαλιδιού» και του «Ασανσέρ Φόρτωσης».



Διάγραμμα 5.5.3. : Σύγκριση συμπεριφοράς μοντέλων για τον αριθμό βλαβών του μηχανήματος του Ψαλιδιού

Η συμπεριφορά του βελτιωμένου μοντέλου για τον αριθμό βλαβών του «Ψαλιδιού» είναι αναμενόμενη και ίδια περίπου με την συμπεριφορά του αρχικού μοντέλου με ένα μικρό βαθμό αύξησης. Αυτό εξηγείται εύκολα αν σκεφτούμε ότι η παραγωγικότητα του εργοστασίου αυξάνεται ενώ η πιθανότητα βλάβης παραμένει σταθερή. Όσον αφορά το μηχάνημα «Ασανσέρ Φόρτωσης», στο διάγραμμα 5.5.4 φαίνεται ότι το βελτιωμένο μοντέλο συμπεριφέρεται ανάλογα με το αρχικό. Ο λόγος είναι ίδιος με τον λόγο που προαναφέρθηκε για το μηχάνημα «Ψαλιδιού».



Διάγραμμα 5.5.4. : Σύγκριση συμπεριφοράς μοντέλων για τον αριθμό βλαβών του μηχανήματος του Ασανσέρ Φόρτωσης

6. Σύνοψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε η διαδικασία παραγωγής ενός Κεραμοποιείου και η προσομοίωσή της στον υπολογιστή. Καταγράφηκαν οι χρόνοι μεταφοράς, επεξεργασίας, οι βλάβες μηχανημάτων αλλά και οι χρόνοι αποκατάστασης των βλαβών της κύριας γραμμής παραγωγής. Εν συνεχεία έγινε παρουσίαση των βασικών εντολών του προγράμματος προσομοίωσης Arena, για τη καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη, και έπειτα πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της κύριας φάσης της παραγωγικής διαδικασίας με το συγκεκριμένο λογισμικό. Είναι βασικό να ειπωθεί ότι, η λειτουργία της συγκεκριμένης φάσης παραγωγής προσομοιώνει σε άριστο βαθμό την πραγματική λειτουργία της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου. Μετά από πληθώρα προσομοιώσεων, καταγράφηκαν και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα ποσοτήτων που ενδιαφέρουν για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, αλλά και του κόστους λειτουργίας του εργοστασίου. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν προτάσεις για τη βελτιστοποίηση αυτής της φάσης παραγωγής και κατασκευάστηκε ένα νέο, βελτιωμένο μοντέλο. Τέλος, παρουσιάστηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα του βελτιωμένου μοντέλου με τα αποτελέσματα του αρχικού μοντέλου της παραγωγής.

Συμπέρασμα από τη σύγκριση είναι ότι το νέο και βελτιωμένο μοντέλο να χαρακτηρίζεται ως πιο αποδοτικό αλλά και ως πιο προσοδοφόρο για την επιχείρηση. Οι επεκτάσεις που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν, όσον αφορά τη βελτιστοποίηση, είναι αρκετές αλλά δεν παρουσιάστηκαν, σκοπίμως, για να μην κουραστεί ο αναγνώστης. Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από τους εξειδικευμένους μηχανικούς της επιχείρησης ΠΛΙΝΘΟΚΕΡΑΜ Ε.Π.Ε, προς τη βελτιστοποίηση της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου και κατά συνέπεια προς όφελος της επιχείρησης.

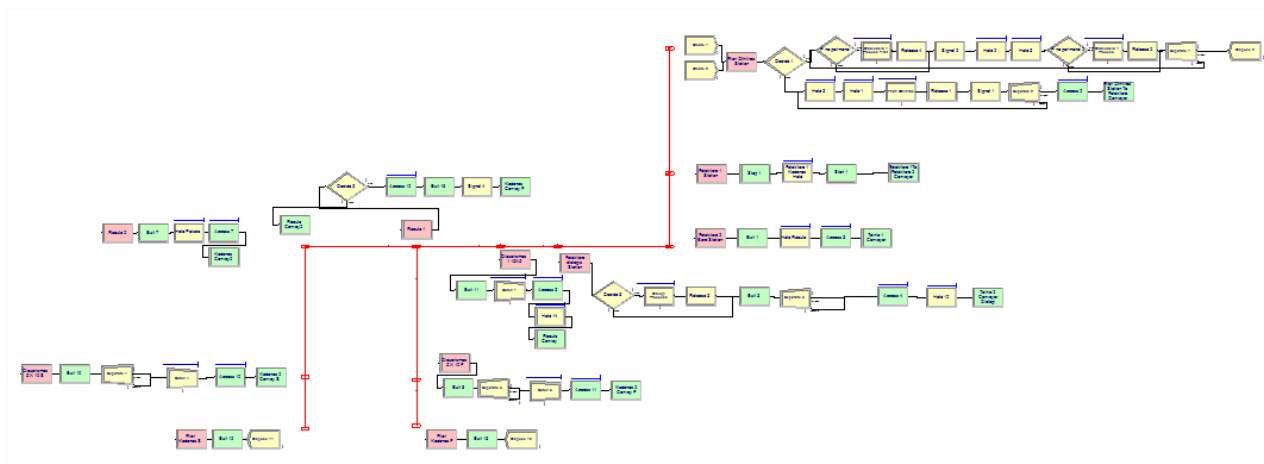
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] W. D. Kelton, R. P. Sadowski and D. A. Sadowski, *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, 1998.
- [2] Β. Σ. Κουϊκόγλου, *Προσομοίωση. Σημειώσεις μαθήματος*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.
- [3] T. Altiok, B. Melamed, *Simulation Modeling and Analysis with Arena*, Academic Press, Amsterdam, 2007
- [4] J. Li, S. M. Meerkov, *Production Systems Engineering*, Springer, 2009.
- [5] Π. Α. Νικητόπουλος, *Λογισμικό Arena Εφαρμογές στην Προσομοίωση και Βελτιστοποίηση Συστημάτων Παραγωγής. Διπλωματική Εργασία*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2001.
- [6] Κ. Μαρρίνη, *Ανάλυση γραμμών παραγωγής: Ένα εγχειρίδιο μοντέλων εκτίμησης και βελτιστοποίησης. Διπλωματική Εργασία*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 2011
- [7] Α. Κοντογιάννης, *Ανάπτυξη Περιβάλλοντος Προσομοίωσης Μέσω Διαδικτύου. Διπλωματική Εργασία*, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (Συμπληρωματικό Μοντέλο)

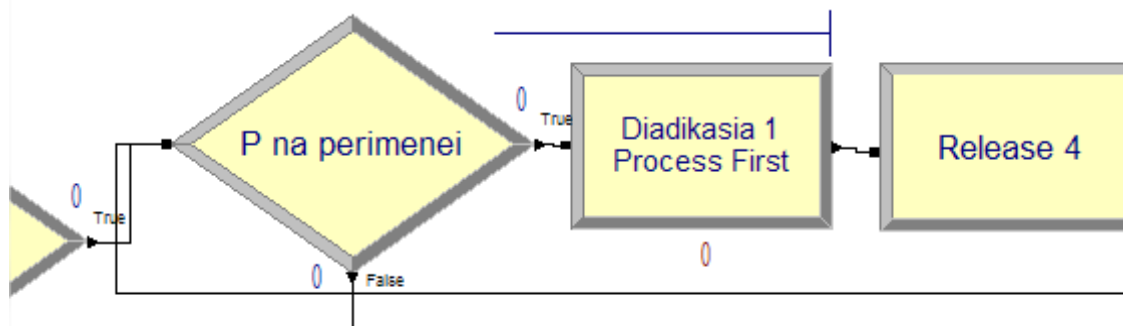
Στο παράρτημα αυτό θα γίνει μια μικρή αναφορά στο συμπληρωματικό μοντέλο της διαδικασίας παραγωγής για μοντελοποίηση που αφορά τη τρίτη φάση παραγωγής(από το μηχάνημα «Φτυάρι-Ωθητήρας» έως το μηχάνημα «Πακεταδόρος»). Η μοντελοποίηση αυτή δεν πραγματοποιήθηκε εντός του αρχικού μοντέλου, λόγω της περιορισμένης έκδοσης του λογισμικού Arena 13.5 Student Edition®, δηλαδή η χρήση των Modules ήταν περιορισμένη ως ένα επιτρεπτό όριο. Η μοντελοποίηση αυτού του κομματιού της παραγωγής χαρακτηρίζεται ως συμπληρωματική, εφόσον δεν υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις και βλάβες, ούτως ώστε να επηρεάζουν το υπόλοιπο κομμάτι της παραγωγής που μοντελοποιήθηκε.

Εισάγοντας δεδομένα από το αρχικό ή βελτιστοποιημένο μοντέλο στο συμπληρωματικό μπορούμε να διακρίνουμε την πορεία των οντοτήτων.



Εικόνα Παρ.1.1. : Συμπληρωματικό μοντέλο

Το κομβικό σημείο σύνδεσης των δύο αυτών μοντέλων (Αρχικό και Συμπληρωματικό) είναι το σημείο που γίνεται έλεγχος για το αν η οντότητα της άδειας σχάρας μπορεί να εξέλθει από το μηχάνημα «Φτυάρι-Ωθητήρας» και να μετακινηθεί στη θέση «Μπάρα 1». Στην ουσία εισάγουμε στο σύστημα τη πιθανότητα μια σχάρα να βρίσκεται στη θέση «Μπάρα 1» και ταυτόχρονα μια άδεια σχάρα να βρίσκεται στο μηχάνημα του «Ωθητήρα – Φτυάρι» «μπλοκαρισμένη» από τη σχάρα στη «Μπάρα 1». Επίσης εισάγουμε στο σύστημα το μέσο χρόνο αναμονής της μπλοκαρισμένης σχάρας στο μηχάνημα «Φτυάρι-Ωθητήρας».



Εικόνα Παρ.1.2. : Εργαλεία Εισαγωγής δεδομένων Decide και Process Module

Στην ουσία τα δεδομένα εισαγωγής είναι μέσος χρόνος αναμονής στο *Hold 44 Module* μιας οντότητας (*Waiting Time Hold 44.queue*) καθώς και το ποσοστό των σχαρών που περίμεναν στο

εργαλείο αυτό. Για παράδειγμα, $P(\text{μια σχάρα να θέλει την ελάχιστη διαλογή}) = 10\%$ τα δεδομένα εισαγωγής θα ήταν.

Waiting time Hold 44.queue = 12.44 sec

Number of Seized Hold 44.queue = 149

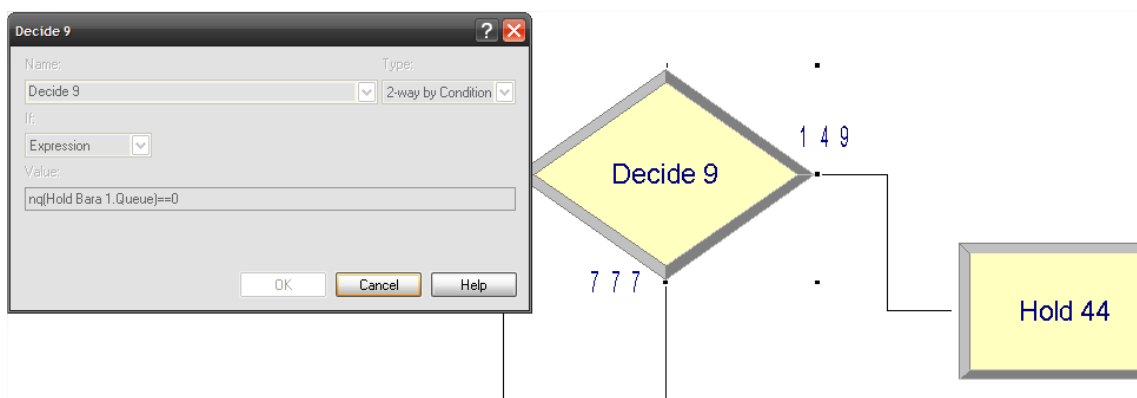
Άρα η πιθανότητα είναι $P(\text{να περιμένει στο Hold 44}) = 149/(149+777)=0.1609$ ή 16.09%

Τα δεδομένα τα παίρνουμε εύκολα εκτελώντας τη προσομοίωση του αρχικού μοντέλου και ανατρέχοντας στη καρτέλα Reports. Συγκεκριμένα στα αποτελέσματα για τις ουρές βρίσκουμε το μέσο όρο αναμονής στην ουρά. Ο αριθμός των οντοτήτων που περίμεναν στο εργαλείο αυτό μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί εισάγοντας ένα Decide Module πριν από το Hold 44 Module. Στην ουσία, το εργαλείο αυτό μετράει τις οντότητες οι οποίες θα δεσμευτούν αργότερα από το Hold 44 Module.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα δεδομένα εισαγωγής από το λογισμικό.

Queue	Waiting Time
Access 1.Queue	0.00
Access 13.Queue	0.03
Access 14.Queue	0.00
Access 16.Queue	0.00
Access 8.Queue	0.02
Batch 1.Queue	0.00
Batch 2.Queue	7.77
Batch Asanseur Fortosis.Queue	14.76
Elenxos Gia dioksimos Skaras.Queue	0.30
Ftiari Othitiras.Queue	0.00
Hold 0.Queue	71.66
Hold 38.Queue	5.95
Hold 39.Queue	9.95
Hold 41.Queue	21.14
Hold 43.Queue	18.47
Hold 44.Queue	12.95
Hold Bara 1.Queue	17.84
Hold Prin Fortoma Skaras.Queue	12.92
Hold Prokofis.Queue	0.94

Εικόνα Παρ.1.3. : Waiting Time Hold 44.Queue (Average)



Εικόνα Παρ.1.4. : Seized Entities in Hold 44.Queue

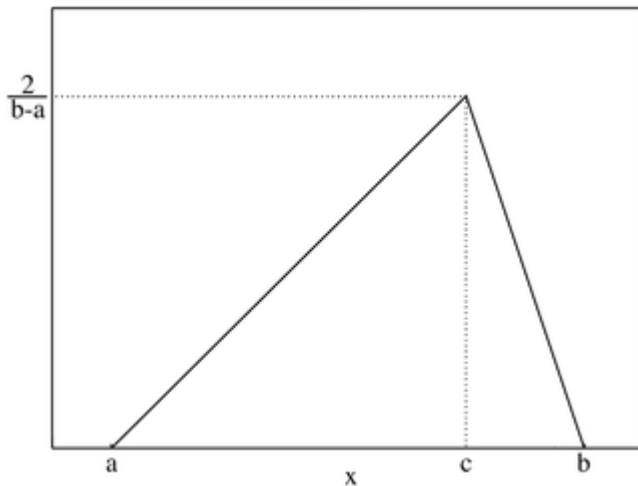
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (Κατανομές)

Η Τριγωνική Κατανομή (Triangular Distribution)

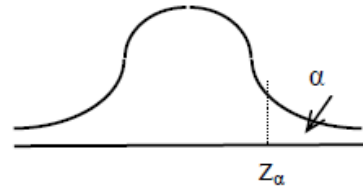
Στη θεωρία πιθανοτήτων και της στατιστικής, η τριγωνική κατανομή^[7] είναι μια συνεχή κατανομή πιθανότητας με ένα κατώτερο όριο a , ανώτατο όριο b και c την πιο επιθυμητή τιμή, όπου $a < b$ και $a \leq c \leq b$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται ως εξής:

$$f(x|a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a, \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c, \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c < x \leq b, \\ 0 & \text{for } b < x, \end{cases}$$

Γραφική παράσταση:



Γενικά, η τριγωνική κατανομή χρησιμοποιείται όταν δηλώνονται τα όρια a , b χωρίς να δηλώνεται το επίπεδο εμπιστοσύνης και όταν δεν υπάρχει γνώση της κατανομής αλλά οι πιθανότερες τιμές βρίσκονται κοντά στη τιμή c παρά στα όρια a , b .



ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Τιμές z_α που αντιστοιχούν σε πιθανότητα $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$

Normal Deviate z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-4.0	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.7	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.6	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
-3.5	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 (Πίνακες Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης)

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Αρχικό μοντέλο με $P = 10\%$

P=10%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	76	53	13	12
2	79	63	8	26
3	77	57	15	20
4	74	71	21	26
5	75	74	15	33
6	78	54	10	20
7	77	69	16	34
8	79	59	13	18
9	75	67	19	20
10	77	58	10	19
11	78	58	12	28
12	78	55	12	23
13	76	68	15	26
14	78	68	9	30
15	75	69	12	23
16	77	63	8	23
17	74	72	23	17
18	73	79	24	20
19	74	69	18	16
20	76	64	6	27
21	77	60	15	22
22	74	67	22	16
23	79	44	12	13
24	78	63	15	18
25	78	56	8	16
26	74	73	15	24
27	76	64	14	16
28	77	62	7	21
29	75	66	18	19
30	77	69	13	23
31	74	72	16	22
32	75	65	17	19
33	77	71	10	28
34	74	78	21	27
35	78	66	11	25
36	75	64	12	16
37	76	63	15	19

38	77	63	10	18
39	76	65	14	21
40	76	68	12	21
41	80	51	11	19
42	79	59	10	21
43	78	57	10	22
44	75	65	10	21
45	77	58	12	18
46	76	65	10	31
47	76	78	14	32
48	75	69	11	21
49	75	67	15	19
50	76	64	14	18
51	78	59	12	19
52	74	72	16	22
53	77	61	17	20
54	77	61	11	24
55	80	59	9	28
56	78	58	8	22
57	79	60	7	28
58	74	69	17	24
59	77	60	16	20
60	77	59	16	21
61	74	71	22	18
62	76	64	18	18
63	78	52	7	19
64	78	56	15	17
65	73	68	18	12
66	76	63	12	15
67	76	64	19	13
68	77	56	15	17
69	77	55	12	13
70	75	69	19	22
71	78	59	9	21
72	77	64	12	20
73	77	61	10	18
74	76	70	13	30
75	76	73	14	29
76	77	56	16	15
77	78	60	11	17
78	77	59	18	14
79	75	66	16	17
80	76	62	18	14
81	78	57	8	15
82	76	56	13	13
83	77	61	13	18

84	79	46	8	11
85	76	70	13	27
86	75	75	18	28
87	76	62	15	19
88	75	72	11	27
89	77	61	11	19
90	74	78	19	22
91	73	70	19	16
92	75	65	18	23
93	77	67	13	25
94	75	72	17	13
95	77	59	13	12
96	77	59	13	17
97	81	48	5	18
98	78	60	6	24
99	75	64	14	19
100	79	52	6	19
101	77	55	14	14
102	78	57	11	19
103	77	66	16	24
104	76	71	13	21
105	78	58	16	20
106	79	50	9	14
107	76	66	15	16
108	78	65	16	23
109	76	66	13	21
110	77	60	8	28
111	75	68	15	29
112	78	61	15	17
113	76	73	18	30
114	76	65	15	19
115	76	64	17	16
116	74	66	18	20
117	77	68	19	19
118	80	50	10	22
119	75	64	11	21
120	78	59	16	22
121	78	60	11	24
122	77	60	13	19
123	74	60	15	14
124	77	56	13	17
125	80	58	6	29
126	77	55	11	20
127	77	69	11	26
128	77	60	18	22
129	79	59	16	17

130	77	60	12	18
131	74	76	18	18
132	77	65	8	21
133	75	68	16	21
134	76	64	13	18
135	76	60	16	22
136	78	59	14	18
137	77	72	17	28
138	75	69	17	21
139	75	65	14	19
140	77	70	12	32
141	76	64	15	21
142	75	56	16	10
143	77	66	12	29
144	76	66	13	21
145	76	65	18	22
146	78	59	19	21
147	76	69	13	24
148	76	63	16	18
149	78	66	11	21
150	74	70	27	18
151	78	65	13	21
152	76	64	14	21
153	74	65	17	18
154	76	62	13	23
155	76	64	18	20
156	75	60	13	23
157	79	59	11	27
158	78	62	17	23
159	74	66	20	18
160	78	58	11	19
161	77	54	10	16
162	75	64	18	21
163	78	65	10	26
164	78	61	15	18
165	77	67	17	26
166	76	73	14	26
167	72	70	20	17
168	76	64	18	32
Average	76,5	63,4	13,9	20,8

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Αρχικό μοντέλο με P = 20%

P=20%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	67	89	13	16
2	68	80	16	16
3	69	78	13	17
4	68	90	20	19
5	69	89	12	21
6	68	80	7	20
7	69	81	13	17
8	69	86	10	16
9	67	82	16	9
10	70	77	9	18
11	70	79	13	19
12	69	85	11	23
13	69	81	16	15
14	71	84	6	24
15	67	84	14	17
16	70	84	8	17
17	72	79	8	19
18	69	78	15	16
19	68	72	19	17
20	69	86	6	27
21	69	84	16	12
22	67	82	13	18
23	71	81	9	13
24	70	80	16	18
25	69	83	8	18
26	68	85	18	13
27	68	87	11	20
28	71	77	8	17
29	68	87	20	20
Average	68,9	82,4	12,6	17,7

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Αρχικό μοντέλο με P = 30%

P=30%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	61	100	10	15
2	61	95	14	18
3	62	90	11	17
4	63	97	19	18
5	61	96	12	24
6	63	97	13	17
7	65	95	12	13
8	62	87	6	15
9	62	95	12	13
10	62	92	13	19
11	62	95	15	20
12	61	91	6	21
13	57	103	12	23
14	62	90	6	14
15	63	102	12	22
16	65	89	7	22
17	63	97	6	20
18	62	95	14	18
19	60	84	12	12
20	58	92	4	15
21	62	96	16	12
22	57	102	9	16
23	63	89	12	13
24	65	100	21	19
25	59	98	8	10
26	62	90	13	20
27	62	87	8	11
28	63	92	10	14
29	64	99	21	21
30	61	99	12	17
31	64	97	12	16
32	60	97	15	9
33	60	95	8	20
34	64	89	19	18
35	63	97	16	12
Average	61,8	94,5	11,9	16,7

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Αρχικό μοντέλο με P = 40%

P=40%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	55	102	11	18
2	56	96	14	17
3	56	99	11	15
4	54	107	12	20
5	54	105	9	17
6	55	101	10	8
7	51	101	10	13
8	52	96	4	16
9	53	98	8	12
Average	54,0	100,6	9,9	15,1

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Αρχικό μοντέλο με P = 50%

P=50%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	49	105	9	15
2	54	109	10	25
3	47	104	7	17
4	45	107	20	14
5	47	106	8	13
6	54	103	8	11
7	48	104	12	11
8	50	100	8	15
9	47	100	11	10
10	48	101	7	11
11	47	101	9	10
12	47	97	7	12
13	53	109	4	16
14	48	99	3	12
15	48	104	9	13
16	47	103	7	11
17	47	106	5	12
18	50	97	11	12
19	49	104	13	19
20	52	97	3	8
21	49	95	8	14
22	49	107	15	11
23	50	101	8	13
24	48	112	17	11
25	50	97	2	14
26	49	103	5	12
27	50	101	6	15
28	50	110	7	12
29	47	106	12	17
30	47	109	10	9
31	46	107	6	13
32	51	102	13	19
33	49	105	7	13
34	51	98	8	9
35	47	103	14	16
36	49	102	13	14
37	48	113	9	15
38	49	108	6	9
39	50	107	9	18
40	49	103	8	23

41	50	106	9	10
42	50	107	8	21
43	50	107	7	15
44	48	98	8	13
45	49	102	6	16
46	48	105	8	12
47	52	107	11	17
48	50	100	7	7
49	50	99	12	11
50	52	107	10	7
51	49	111	8	22
52	47	98	8	12
53	51	106	11	13
54	47	99	12	12
55	51	104	8	11
56	48	105	8	13
57	49	108	7	13
58	49	107	12	17
59	50	107	13	14
60	47	103	9	7
61	47	104	7	6
62	48	99	5	18
63	49	102	6	11
64	53	102	9	13
65	48	102	5	14
66	49	110	5	18
67	49	102	6	8
68	51	104	6	14
69	48	102	9	10
70	49	101	10	12
71	51	103	8	18
72	49	114	7	15
73	52	103	9	9
74	47	108	15	15
75	49	100	7	13
Average	49,1	103,8	8,7	13,3

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Βελτιστοποιημένο μοντέλο με P = 10%

P=10%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	82	29	13	19
2	81	40	15	27
3	82	27	16	10
4	80	39	19	21
5	81	37	15	25
6	81	37	16	22
7	81	34	15	22
8	81	42	13	29
9	81	38	17	23
10	80	42	17	26
11	82	40	15	26
12	84	23	6	18
13	80	43	21	23
14	83	32	10	24
15	82	32	16	18
16	83	28	11	18
17	83	30	13	18
18	81	35	20	14
19	80	45	23	26
20	82	29	12	18
21	80	38	19	23
22	81	34	18	18
23	83	29	11	19
24	80	43	20	24
25	82	38	11	28
26	82	30	17	13
27	82	31	13	17
28	82	41	9	32
29	80	42	22	22
30	83	28	13	16
31	82	29	14	17
32	82	32	15	18
33	83	32	7	27
34	80	43	18	25
35	82	40	10	31
36	82	30	15	16
37	82	32	16	17
38	83	31	9	23
39	82	34	15	21
40	82	37	10	27

41	83	30	7	24
42	82	40	13	27
43	81	33	20	13
44	82	34	12	22
45	84	24	7	17
46	81	38	18	21
47	81	45	14	33
48	81	36	18	20
49	82	38	14	27
50	83	28	15	13
51	82	36	9	28
52	82	35	11	24
53	83	29	13	16
54	80	42	16	28
55	82	34	14	22
56	82	34	18	16
57	83	36	9	28
58	81	34	19	18
59	82	33	11	23
60	82	32	15	19
61	81	38	17	24
62	81	39	16	25
63	81	33	18	15
64	83	32	10	23
65	81	35	18	17
66	80	38	13	28
67	83	25	14	11
68	81	35	16	19
69	81	40	17	23
70	82	30	11	19
71	82	32	11	20
72	82	39	12	29
73	82	33	16	21
74	80	40	20	21
75	83	26	10	17
76	82	29	15	16
77	80	42	16	27
78	81	38	19	25
79	82	36	14	24
80	82	37	9	29
81	83	31	8	22
82	82	33	11	24
83	82	33	15	19
84	82	35	14	22
85	79	41	21	23
86	81	40	17	25

87	82	31	16	17
88	81	35	15	23
89	83	40	9	34
90	80	43	20	23
91	81	40	20	22
92	80	36	17	17
93	83	31	14	19
94	83	30	13	19
95	81	35	18	19
96	80	40	21	22
97	82	36	14	23
98	82	34	12	25
99	82	34	13	21
100	82	32	9	23
101	81	34	13	22
102	80	41	16	27
103	82	34	15	21
104	80	46	17	32
105	82	36	13	25
106	82	34	10	24
107	82	36	14	23
108	83	32	14	19
109	81	36	17	20
110	82	34	15	23
111	80	40	21	20
112	83	32	11	22
113	82	34	17	19
114	81	37	20	18
115	79	44	20	24
116	82	35	12	27
117	80	46	16	31
118	83	33	11	24
119	83	33	10	24
Average	81,6	35,2	14,5	22,0

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Βελτιστοποιημένο μοντέλο με P = 20%

P=20%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	77	35	15	18
2	78	39	14	24
3	79	42	14	24
4	76	41	21	22
5	80	32	15	20
6	80	37	9	28
7	78	44	16	30
8	80	27	8	19
9	79	37	11	25
10	79	40	11	30
11	79	38	16	22
12	81	34	16	18
13	78	37	16	20
14	81	33	10	20
15	79	34	16	16
16	79	40	16	25
17	78	38	16	20
18	78	43	24	23
19	78	40	18	22
20	80	34	6	28
21	77	35	17	21
22	78	36	13	24
23	79	34	12	24
24	80	45	21	26
Average	78,8	37,3	14,6	22,9

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Βελτιστοποιημένο μοντέλο με P = 30%

P=30%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	72	35	8	21
2	74	37	15	20
3	72	30	15	11
4	71	41	20	14
5	71	44	11	29
6	71	34	11	15
7	74	43	17	25
8	74	30	10	13
9	72	32	15	9
10	72	33	8	20
11	73	35	12	21
12	74	37	15	16
13	77	32	13	15
14	73	34	8	20
15	72	42	11	27
16	72	45	12	26
17	74	38	11	23
18	72	44	16	27
19	69	37	14	16
20	75	28	7	16
21	70	45	17	23
22	73	36	13	20
23	73	32	9	17
24	73	40	17	21
25	70	36	11	20
26	76	36	12	22
27	71	31	8	13
28	71	33	11	19
29	71	36	18	13
30	68	35	12	14
31	75	34	14	20
32	72	41	19	15
33	68	38	8	19
34	73	48	21	21
35	73	37	15	19
36	76	39	18	17
37	71	35	14	17
38	70	35	8	21
39	68	44	12	23
40	73	35	7	19
41	75	37	9	24

42	71	40	15	18
43	70	39	14	15
44	69	38	11	25
45	73	33	7	19
46	70	41	14	19
47	70	39	10	21
48	72	42	17	16
49	71	42	14	25
50	72	41	15	22
51	71	36	9	18
52	71	33	9	14
53	75	30	11	13
54	70	39	10	23
55	72	35	10	20
56	75	37	12	17
57	71	38	7	23
58	70	45	14	25
59	73	34	14	16
60	74	44	16	24
61	70	40	18	17
62	70	39	14	18
63	72	36	10	21
64	70	40	11	23
65	71	33	8	20
66	73	43	14	26
67	70	39	14	23
68	69	35	10	17
69	70	36	12	18
70	72	37	12	16
71	70	34	11	15
72	75	33	11	16
73	73	33	12	15
74	70	42	17	19
75	70	44	18	20
76	74	38	13	17
77	70	39	19	19
78	74	41	16	20
79	69	33	9	17
80	71	42	16	22
81	70	35	7	20
82	73	38	9	24
83	68	35	9	20
84	75	39	4	29
85	73	43	14	25
86	75	31	12	13
87	73	39	14	22

88	75	33	8	18
89	69	33	10	15
90	71	36	16	19
91	73	41	20	18
92	72	45	22	27
93	70	33	12	13
94	70	40	13	21
95	70	40	19	17
96	75	36	14	18
97	70	33	9	20
98	75	35	9	22
99	73	34	11	20
100	71	35	10	17
101	72	45	18	22
102	71	40	9	26
103	70	40	15	21
104	75	28	13	13
105	74	34	11	19
106	72	33	7	18
107	73	40	17	18
108	73	35	12	22
109	70	34	9	18
110	73	37	12	20
111	69	44	24	19
112	75	31	8	20
113	74	45	16	32
114	72	46	18	25
115	70	33	9	18
116	72	34	15	20
117	70	42	15	19
118	75	31	13	15
119	68	32	10	15
120	75	44	16	28
121	72	41	15	16
122	72	37	11	20
123	70	38	10	18
124	70	47	13	33
125	72	35	11	19
126	71	34	15	13
127	70	45	15	26
128	70	34	10	19
129	71	42	18	16
130	75	43	16	21
131	79	34	12	20
132	75	33	10	22
Average	72,0	37,4	12,7	19,6

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Βελτιστοποιημένο μοντέλο με P = 40%

P=40%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	64	34	9	15
2	61	35	10	14
3	62	43	14	21
4	61	45	17	17
5	58	42	9	21
6	62	42	13	18
7	65	35	12	13
8	59	42	10	22
9	63	37	13	15
10	61	37	10	19
11	59	35	14	14
12	65	39	8	22
13	65	40	14	12
14	59	34	6	17
15	58	37	12	11
16	64	36	11	15
17	62	33	11	10
18	63	40	15	22
19	60	43	10	25
20	59	36	6	19
21	66	37	9	17
22	60	51	22	18
23	68	39	11	17
24	65	39	18	7
25	61	33	5	15
26	62	36	8	18
27	62	33	7	16
28	64	35	9	16
29	65	44	16	24
30	62	32	9	11
31	67	32	10	12
32	56	39	12	18
33	60	43	12	18
34	61	45	19	20
35	59	42	18	14
Average	61,9	38,4	11,7	16,7

Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για το Βελτιστοποιημένο μοντέλο με P = 50%

P=50%				
α/α	N παραγόμενων τελάρων	N στοπ πρέσας	N στοπ ψαλίδι	N στοπ ασανσέρ φόρτωσης
1	53	39	6	22
2	55	35	9	17
3	53	45	9	22
4	49	43	15	20
5	53	40	12	15
6	52	38	8	19
7	52	36	12	10
8	55	39	11	15
9	59	34	9	11
10	55	37	8	16
11	50	41	11	20
12	52	34	7	10
13	54	36	8	11
14	50	34	5	7
15	53	39	11	12
16	53	34	9	13
17	49	45	13	22
18	52	42	17	15
19	51	40	10	14
20	50	29	3	11
21	49	38	12	12
22	51	40	10	14
23	58	39	11	17
24	55	43	16	18
25	55	34	7	12
26	57	33	9	13
27	52	35	6	15
28	49	32	6	9
29	52	37	14	16
30	56	34	8	12
31	55	40	11	19
32	54	39	9	18
Average	52,9	37,6	9,8	14,9