



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ (LMS)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ 15 ΣΕΛΙΔΩΝ

Σχεδιασμός και προσομοίωση υβριδικής παραγωγικής αλυσίδας η οποία περιλαμβάνει συνεργασία ανθρώπων και ρομπότ – εφαρμογή στον τομέα κατασκευής λεωφορείων.

ΚΑΡΠΑΝΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΑΜ: 245976

Παναγιώτης Σταυρόπουλος – Επίκουρος Καθηγητής

Μια Διπλωματική Εργασία υποβεβλημένη στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών
Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΑΤΡΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ / 2023

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Αυτή η Διπλωματική Εργασία είναι μια μελέτη που αφορά την πιθανότητα εισαγωγής ενός ρομπότ διαχείρισης μεγάλων κομματιών, ρομπότ τελευταίας τεχνολογίας και συνεργατικά ρομπότ, συνδυασμένα όλα και εφαρμοσμένα σε ένα θεωρητικό σενάριο. Το σενάριο αφορά την γραμμή παραγωγής μιας οροφής λεωφορείων που αποτελούνται από τμηματικά επαναλαμβανόμενα κομμάτια με μικρές διαφορές στα στοιχεία τους και στοχεύει στην αύξηση της ικανότητας προσαρμοστικότητας του χώρου παραγωγής στα διάφορα στάδια συναρμολόγησης της οροφής.

Αρχικά, αυτή η Διπλωματική Εργασία παρουσιάζει τις απαιτήσεις που υπάρχουν όσον αφορά την συναρμολόγηση και διαχείριση μεγάλων κομματιών και εξερευνά τις διάφορες υπάρχουσες πρακτικές που εφαρμόζονται. Γίνεται μια εκτενής έρευνα State-of-Market και State-of-the-Art όσον αφορά τα διαθέσιμα ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες εφαρμογές στην αγορά. Έπειτα γίνεται μια αναφορά σε βιβλιογραφία που αφορά το LMS.

Οι αρχικές συνθήκες της Διπλωματικής εργασίας ορίζονται από το LMS: ποια ρομπότ θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή μας, και έπειτα εκτελείται η μελέτη, εφαρμοσμένη στο υποθετικό μας σενάριο, μεγάλο μέρος της οποίας ακολουθεί στο παρόν κείμενο.

Αυτοματοποίηση	Ο αυτοματισμός (ή <i>αυτοματοποίηση</i>) αφορά δύο έννοιες μη σχετιζόμενες μεταξύ τους. Αρχικά, σημαίνει την τυποποίηση μίας διαδικασίας μέσω της εύρεσης καλώς ορισμένων βημάτων τα οποία πρέπει να ακολουθηθούν για να παραχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι ο αυτοματισμός δεν είναι τίποτα άλλο παρά η εύρεση ενός αλγορίθμου για την επίλυση ενός προβλήματος, ή η κατασκευή ενός αυτόνομου μηχανισμού που εκτελεί αυτόν τον αλγόριθμο για κάποια είσοδο χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.
Συνεργατικά Ρομπότ	Τα συνεργατικά ρομπότ είναι βιομηχανικοί ρομποτικοί βραχίονες έξι αξόνων ελευθερίας σχεδιασμένοι να λειτουργούν μαζί με τους ανθρώπους (συνεργατικά) και να αναλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες και επικίνδυνες εργασίες, απαλλάσσοντας τους εργαζόμενους από επίπονα και επαναλαμβανόμενα καθήκοντα.
Ρομπότ Καλωδίων	Είδος ρομπότ πολλών βαθμών ελευθερίας που χρησιμοποιεί καλώδια ως ενεργοποιητές για να ελέγξει το άκρο εργασίας του.
Μεγάλα Κομμάτια	Χαρακτηρισμός ενός εξαρτήματος το οποίο είναι μεγάλο σε όγκο και θέλει ειδική μεταχείριση.
Κινητά ρομπότ	Ρομπότ τα οποία έχουν ικανότητα κίνησης

Πίνακας 1: Πίνακας Ορολογίας

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ



Figure 1 Amorim Composite Roof Module

Αυτή η εφαρμογή στον τομέα των λεωφορείων αντλεί πληροφορίες από αρκετές open source ιστοσελίδες και εταιρίες. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η Διπλωματική χρησιμοποιεί στοιχεία από την εταιρία Amorim Cork Composites [105] και Sika Group [106] οι οποίες αφορούν συνθετικά υλικά και modular παραγωγή λεωφορείων.

Προσπαθώντας να εισάγουμε όλες τις αναφερθείσες τεχνολογίες, θα δημιουργήσουμε μια θεωρητική εφαρμογή σε γραμμή παραγωγής που συναρμολογεί λεωφορεία. Η προσοχή μας στοχεύει συγκεκριμένα στα τμήματα προετοιμασίας και συναρμολόγησης τμημάτων μιας modular οροφής.

Σε αυτή τη γραμμή παραγωγής, πολλών διαφορετικών ειδών λεωφορεία θα συναρμολογηθούν, βασισμένα σε επαναλαμβανόμενα, modular τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία απαιτούν μια υψηλή ευελιξία στον χώρο παραγωγής.

2.1 ΓΕΝΙΚΑ – Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΠΡΑΚΤΙΚΗ

Η τρέχουσα πρακτική στο υποθετικό μας σενάριο, το οποίο αφορά την κατασκευή οροφών λεωφορείων, είναι το να κατασκευάζεται σε μια μεγάλη, σειριακή γραμμή παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα υλικά τροφοδοτούνται στους διάφορους σταθμούς εργασίας αυτής της γραμμής και συναρμολογούνται πάνω στην οροφή. Στο σύνολό της μια γραμμή παραγωγής μπορεί να αποτελείται από έως 20 σταθμούς εργασίας. Αυτό, συνδυασμένο με τον κύκλο παραγωγής κάθε ημέρας (8 ώρες), σημαίνει ότι ένας κύκλος παραγωγής κάθε οροφής μπορεί να εκτείνεται σε αρκετές εβδομάδες.

Για κάθε παραγγελία, οι ιδιαιτερότητες που απαιτεί κάθε πελάτης μεταφράζεται σε μοναδικές λίστες υλικών και κατασκευαστικά σχέδια. Δεν τηρούνται προκαθορισμένες εκδόσεις λεωφορείων. Μετά από κάθε ολοκλήρωση της παραγγελίας, τα υλικά αγοράζονται και η παραγωγή ξεκινάει. Τα υλικά τροφοδοτούνται με μη αποδοτικό τρόπο στην παραγωγή όσον

αφορά την ποσότητά τους και την συσκευασία τους. Η ειδοποιός διαφορά της κάθε παραγγελίας είναι ο χρονικός περιορισμός που συμφωνείται με τους πελάτες παρά η αποδοτικότητα όσον αφορά τα logistics ολοκλήρωσης κάθε εσωτερικής διεργασίας της παραγωγικής αλυσίδας της εταιρίας. Στο παρών θεωρητικό σενάριο, κάθε τμήμα της οροφής μεταφέρονται ένα προς ένα σύμφωνα με τις ανάγκες στον χώρο παραγωγής. Δεν γίνεται χρήση από προ-συναρμολογημένα τμήματα.

Αυτό το σύστημα παραγωγής οδηγεί σε:

- Μεγάλους χρόνους ολοκλήρωσης του βασικού κορμού του σχεδιασμού και κατασκευής υλικών και εξαρτημάτων.
- Πολύπλοκες διεργασίες οι οποίες απαιτούν μεγάλη εξειδίκευση ή ικανότητα από πλευράς του εργαζόμενου, και επομένως μεγάλους χρόνους εκπαίδευσης των εργαζόμενων
- Μη αξιόπιστες διεργασίες λόγω της έλλειψης δεδομένων ή υλικών
- Τα προβλήματα εντοπίζονται πολύ αργά, επομένως μπορεί να υπάρξει μόνο αντίδραση αλλά όχι πρόβλεψη όσον αφορά τα προβλήματα που αναδύονται κατά την παραγωγή
- Χρειάζεται αρκετό κόπο για να επιτευχθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται απ'τους πελάτες
- Η ευχέρεια φυσικής πρόσβασης και οι διεργασίες συναρμολόγησης δεν είναι οι βέλτιστες όσον αφορά τις θέσεις εργασίας των εργαζόμενων, επομένως αυτοί χρειάζεται να δουλεύουν σε εργονομικά δύσκολες συνθήκες, με κίνδυνο τραυματισμού
- Η εξάρτησή απ'την κρίση του εργαζόμενου είναι πολύ υψηλή όσον αφορά την ποιότητα κατασκευής

Η παρούσα παραγωγική διαδικασία ακολουθεί την παρακάτω ροή συμβάντων:

Η συνθετικών υλικών οροφή φθάνει στο εργοστάσιο ως μεγάλο κομμάτι (large part). Εργάτες λειαίνουν και προετοιμάζουν τις περιοχές που χρειάζεται, και έπειτα τοποθετούν κόλα κατάλληλα, έπειτα τοποθετούν και συναρμολογούν τις δομές των θερμαντήρων, air condition, θέσεων που κρέμονται απ'την οροφή, φάρων κλπ στην οροφή. Έπειτα, το ηλεκτρικό σύστημα και σύστημα ελέγχου εγκαθίσταται. Έπειτα, οι θερμαντήρες, οι air condition μονάδες, φάροι κλπ εγκαθίστανται στις δομές που δημιουργήθηκαν για την υποδοχή τους. Τέλος, γίνεται ποιοτικός έλεγχος των εγκατεστημένων κομματιών. Η οροφή ανασηκώνεται από τις θέσεις εργασίας με γερανούς και εγκαθίσταται στην τελική της θέση στην κορυφή του λεωφορείου.

2.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΑΣ

Το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής του θεωρητικού σεναρίου μας βασίζεται σε μία αρθρωτή αρχιτεκτονική συστήματος που περιλαμβάνει όλες τις πτυχές του παραγωγικού μας συστήματος, από τα απαραίτητα έγγραφα κάθε παραγωγής και τον έλεγχο του τμήματος πωλήσεων έως την διαμόρφωση του χώρου παραγωγής. Τα έγγραφα τόσο για τα χαρακτηριστικά πωλήσεων (Basis Bus Specifications) και κατασκευής (Bill of materials and drawings) δημιουργούνται σε μια σχέση ένα προς ένα. Κάθε module, κάθε προκαθορισμένο τμήμα του λεωφορείου, έχει μια ή παραπάνω βασική μορφή η οποία μετασχηματίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη, η οποία είναι βασισμένη όμως σε προ-ορισμένα τμήματα και κατασκευές. Με αυτόν τον τρόπο, ο σχεδιασμός και η ίδια η δόμηση του προϊόντος εξασφαλίζει ότι δεν θα γίνουν λάθη στις διάφορες εκδοχές και δομήσεις συναρμολόγησης κατά τη διαδικασία παραγωγής. Έτσι δημιουργείται η παρακάτω διαδικασία παραγωγής.

1. Ρύθμιση των χαρακτηριστικών κάθε παραγωγής
2. Οι ειδικές διαρρυθμίσεις διαχωρίζονται από τα standard μοντέλα και δουλεύονται ειδικά για τους τελικούς χρήστες.
3. Οι διεργασίες διαμόρφωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών, δημιουργούν αντίστοιχα σύμφωνα-με-τους-πελάτες Bill of Materials.
4. Τα υλικά παραγγέλλονται μέσω του συστήματος ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού
5. Η συναρμολόγηση των δομικών στοιχείων ξεκινάει ταυτόχρονα με τα παραπάνω.
6. Το λεωφορείο κατασκευάζεται στις γραμμές παραγωγής του εργοστασίου

2.3 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Βασιζόμενοι στην προηγούμενη ανάλυση, έχουμε δημιουργήσει δύο προκαταρκτικά σενάρια τα οποία προτείνουμε για τις διεργασίες συναρμολόγησης. Τα ρομπότ που θα χρησιμοποιηθούν επιλέχθηκαν από το Εργαστήριο (LMS) και είναι: Comau's Aura, το 6 Βαθμών Ελευθερίας ρομπότ της Comau, Racer 7, εγκατεστημένο πάνω στο κινητό ρομπότ της Comau, Agile 1500, καθώς και ένα generic cable robot. Εισάγοντας και εφαρμόζοντας αυτά στο σύστημα παραγωγής, παράγουμε τα παρακάτω σενάρια που συμπεριλαμβάνουν τα παραπάνω ρομπότ στον χώρο παραγωγής.

Table 1. Αναλυτικό Βασικό Concept & Περιγραφής Αυτοματισμού ανά Στάδιο Γραμμής Παραγωγής

Στάδια Γραμμής Παραγωγής	Συνθετότητα Εισαγωγής Αυτοματισμού	Περιγραφή Αυτοματισμού (Αναλυτικό Βασικό Concept)
Στάδιο 1: Καθαρισμός, προετοιμασία και τοποθέτηση κόλας και υποδοχών δομικών μονάδων.		
i. Καθαρισμός των επιφανειών τοποθέτησης κόλας	χαμηλή	Ένα ρομπότ 6 Β.Ε. εγκατεστημένο πάνω σε ένα κινούμενο ρομπότ, ή ένα ρομπότ 6 Β.Ε. με την ικανότητα να κινείται σε ράγες, έτσι ώστε να μπορέσει να καλύψει όλο το μήκος της οροφής, θα μπορούσε να εισαχθεί και να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το σημείο. Το ρομπότ, με ένα κατάλληλο σετ από εργαλεία (καθαρισμού και προετοιμασίας κόλλησης) θα μπορούσε να δουλέψει στις επιφάνειες που έχουν κανονικοποιημένη γεωμετρία πολύ πιο γρήγορα και με σημαντικά μικρότερες ανοχές λάθους της διαδικασίας.
ii. Προετοιμασία επιφανειών τοποθέτησης κόλας	χαμηλή	
iii. Συγκόλληση βάσεων θερμαντήρων, μονάδων air condition, φάρων, θέσεων που κρέμονται από την οροφή	μεσαία	Βάσεις θέσεων επιβατών καθώς, βάσεις θερμαντήρων και air condition καθώς και βάσεις φάρων θα μπορούσαν να κολληθούν και να τοποθετηθούν στις κατάλληλες θέσεις από ένα ρομπότ. Αυτή η αυτοματοποίηση θα είχε ένα μεσαίο επίπεδο συνθετότητας καθώς θα απαιτούσε την δημιουργία ενός gripper για κάθε κομμάτι, έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να το μεταχειριστεί, καθώς και την εισαγωγή μιας διαδικασίας στην οποία το ρομπότ θα μπορεί να παίρνει τα διάφορα κομμάτια από την αποθήκη ή από έναν πάγκο αποθήκευσης τμημάτων, θα μπορεί να τα μετακινεί στον πάγκο συναρμολόγησης και να τα τοποθετεί στα ζητούμενα σημεία,

Σχεδιασμός και προσομοίωση υβριδικής παραγωγικής αλυσίδας
ανθρώπων και ρομπότ – εφαρμογή στον τομέα κατασκευής λεωφορείων.

Καρπάνος Αντώνης η οποία περιλαμβάνει συνεργασία

		λαμβάνοντας υπόψιν τους χωρικούς και γεωμετρικούς περιορισμούς του χώρου εργασίας και των κομματιών που μεταχειρίζεται.
Στάδιο 2 : Εγκατάσταση εσωτερικών ηλεκτρολογικών συστημάτων	υψηλή	Αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνει την εγκατάσταση καλωδίων, μονάδων ελέγχου και ηλεκτρονικών, η οποία είναι μια διεργασία πιο περίπλοκη και χρειάζεται λεπτές κινήσεις. Συμπεριλαμβάνει επίσης την τοποθέτηση των διαφόρων πλαστικών καλυμμάτων στην οροφή. Η Αυτοματοποίηση αυτού του σταδίου δεν συστήνεται.
Σταδιο 3: Εγκατάσταση περιφερειακών τμημάτων	υψηλή	Αυτό το στάδιο αφορά την εγκατάσταση συγκεκριμένων σύμφωνα με τους πελάτες χαρακτηριστικών όπως ανοίγματα οροφής και οθόνες επιβατών και δεν είναι επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Αυτοματοποίηση αυτού του σταδίου δεν συστήνεται.
Στάδιο 4 : Τελικές Συναρμολογήσεις		
i. Τοποθέτηση Φάρου	χαμηλή	Σε αυτό το στάδιο η οροφή του λεωφορείου περιστρέφεται και μετακινείται από οριζόντια σε κάθετη θέση. Το ύψος στο οποίο θα γίνονται εργασίες στην οροφή πρέπει να είναι μεταβλητό, εξαρτώμενο από τις εργασίες των εργατών. Κόλα τοποθετείται στις μονάδες των air condition units, θερμαντήρων, φάρων και άλλων εξαρτημάτων και τα αντίστοιχα εξαρτήματα μετακινούνται και τοποθετούνται στην οροφή. Συναρμολογούνται επίσης οι βάσεις των καθισμάτων που κρέμονται από την οροφή, ανοίγονται τρύπες και συναρμολογούνται εξαρτήματα που εξαρτώνται από τις παραγγελίες των πελατών. Με ένα robot γερανό, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με την κατάλληλη αρπάγη, θα μπορούσαμε να επιτεύξουμε την αλλαγή θέσης της οροφής από οριζόντια σε κάθετη. Καθώς το ρομπότ γερανός εξασφαλίζει μεγάλη ευστοχία στις μετατοπίσεις της οροφής, το Aura της Comau, με το κατάλληλο εργαλείο, θα μπορούσε με αυτοποιημένο τρόπο να τοποθετήσει την κόλλα στα μέρη που χρειάζεται και έπειτα, αλλάζοντας εργαλείο, θα μπορούσε να τοποθετήσει τον φάρο, το air condition και τα άλλα εξαρτήματα στην οροφή. Το Aura της Comau θα μπορούσε είτε να
ii. Εγκατάσταση μονάδων air condition και θερμαντήρων	μεσαία	
iii. Εγκατάσταση θέσεων που κρέμονται απ'την οροφή	μεσαία	

Σχεδιασμός και προσομοίωση υβριδικής παραγωγικής αλυσίδας
ανθρώπων και ρομπότ – εφαρμογή στον τομέα κατασκευής λεωφορείων.

Καρπάνος Αντώνης η οποία περιλαμβάνει συνεργασία

		προγραμματιστεί να τα κάνει αυτά αυτόνομα ή θα μπορούσε να δουλέψει
		συνεργατικά σε αυτές τις διεργασίες με ανθρώπους, απαλάσσοντας τους ανθρώπους από τον κόπο που χρειάζεται για την ανύψωση και διαχείριση βαριών κομματιών έτσι ώστε να συγκολληθούν στις σωστές τους θέσεις. Μετά από αυτή τη διεργασία, το ρομπότ γερανός θα μπορούσε να μετακινήσει την οροφή σε άλλες θέσεις για να ολοκληρωθούν τα επόμενα στάδια.
Στάδιο 5: Ποιοτικός Έλεγχος	υψηλή	Αυτό το στάδιο αφορά τον ποιοτικό έλεγχο των διαφόρων διασυνδέσεων και εργασιών των εργατών, το οποίο εκτελείται από έμπειρους/εκπαιδευμένους εργαζόμενους. Αυτοματοποίηση δεν θα μπορούσε να εισαχθεί σε αυτό το στάδιο
Στάδιο 6 : Τελική τοποθέτηση της οροφής		
i. Τελική τοποθέτηση οροφής	μεσαία	Το ρομπότ γερανός, ύστερα από την ολοκλήρωση των προηγούμενων διεργασιών, θα ήταν υπεύθυνο σε αυτό το στάδιο για την μετακίνηση της οροφής με υψηλή ακρίβεια στην τελική της θέση στην κορυφή του λεωφορείου.
ii. Διασύνδεση τμημάτων ουράς και καμπίνας με αυτά της οροφής	υψηλή	

2.3.1 ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΡΟΜΠΟΤ

Στον παρακάτω πίνακα, ακολουθούν δύο αρχικά σενάρια, καθώς και το τελικό αποδεκτό ύστερα από τα πρώτα αποτελέσματα, με σκοπό ο αναγνώστης να έχει συμπυγμένες τις πληροφορίες κάθε σεναρίου. Αναλυτικά παρουσιάζονται παρακάτω.

Table 2 Scenario Differences

Στάδια	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Τελικό Σενάριο
Πρωταρχικές Διεργασίες / Χαρακτηριστικά	1 τράπεζα εργασίας	2 τράπεζες εργασίας. Τα στάδια 1&4 εκτελούνται ταυτόχρονα	2 τράπεζες εργασίας
Στάδιο 1	Το κινητό ρομπότ προετοιμάζει και τοποθετεί κόλα	Το κινητό ρομπότ προετοιμάζει και τοποθετεί κόλα	Workers clean and prime. Aura glues on Stage 4 instead of Stage 1
	Εργάτες τοποθετούν εξαρτήματα	Εργάτες τοποθετούν εξαρτήματα	Εργάτες τοποθετούν εξαρτήματα
Στάδιο 2	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες
Στάδιο 3	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες
Στάδιο 4	Το κινητό ρομπότ τοποθετεί κόλα.	Το κινητό ρομπότ τοποθετεί κόλα.	Ρομπότ Γερανός: Οριζόντια σε Κάθετη Θέση
	Ρομπότ Γερανός: Οριζόντια σε Κάθετη Θέση	Ρομπότ Γερανός: Οριζόντια σε Κάθετη Θέση	To Aura τοποθετεί κόλα
	Το Aura συναρμολογεί εξαρτήματα	Το Aura συναρμολογεί εξαρτήματα	Το Aura συναρμολογεί εξαρτήματα
Στάδιο 5	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες	Άνθρωποι εργάτες
Στάδιο 6	Ρομπότ Γερανός & Άνθρωποι εργάτες	Ρομπότ Γερανός & Άνθρωποι εργάτες	Ρομπότ Γερανός & Άνθρωποι εργάτες
Βοηθητικές Διεργασίες	-	-	Κινητό Ρομπότ

Σενάριο 1: σειριακή γραμμή παραγωγής

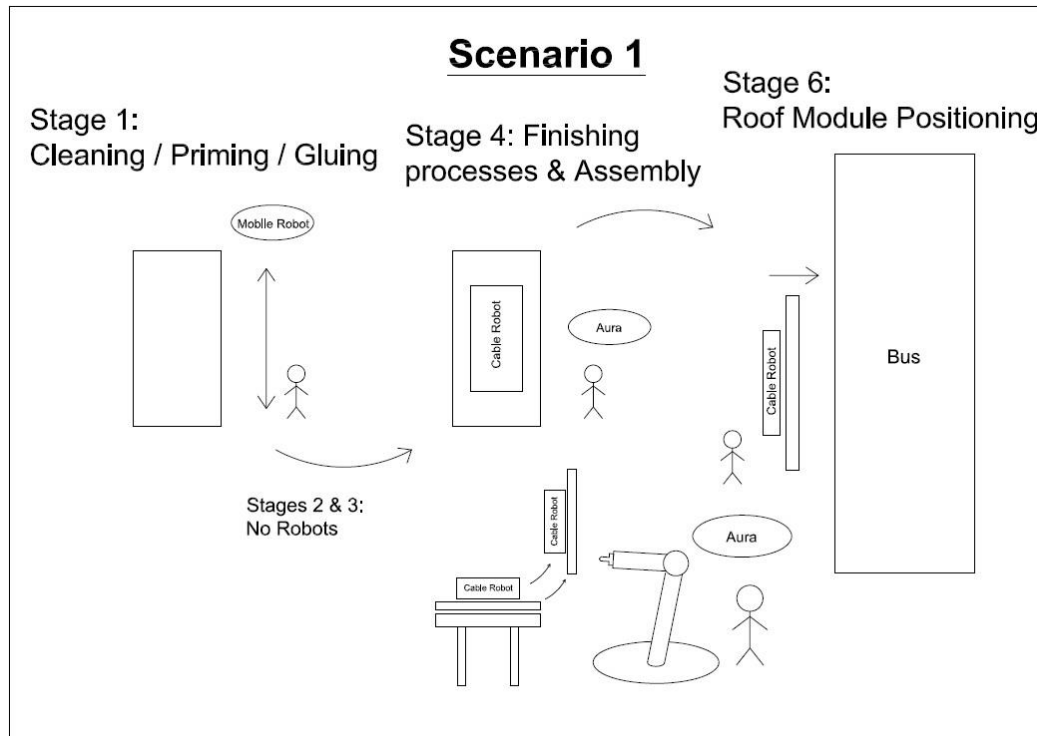


Figure 2 Scenario 1 visualization

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την αντιστοίχιση των διεργασιών και των σταδίων σε σχέση με τους πόρους που χρησιμοποιούνται, σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε.

Table 3. Process of Scenario 1

Διεργασία	Πόροι που εμπλέκονται
Στάδιο 1: Διεργασίες καθαρισμού & προετοιμασίας.	➤ Κινητό Ρομπότ & Εργάτες
Στάδιο 2: Διεργασίες τοποθέτησης συστημάτων ελέγχου.	➤ Εργάτες
Στάδιο 3: Διεργασίες εγκατάστασης περιφερειακών συστημάτων.	➤ Εργάτες
Στάδιο 4: Διεργασίες τελικής συναρμολόγησης	➤ Κινητό & Aura & Εργάτες & Ρομπότ Γερανός
Στάδιο 5: Διεργασίες ποιοτικού ελέγχου	➤ Εργάτες & Ρομπότ Γερανός
Στάδιο 6: Διεργασίες τελικής τοποθέτησης οροφής.	➤ Εργάτες & Ρομπότ Γερανός

Σενάριο 2 : παράλληλες διεργασίες γραμμής παραγωγής.

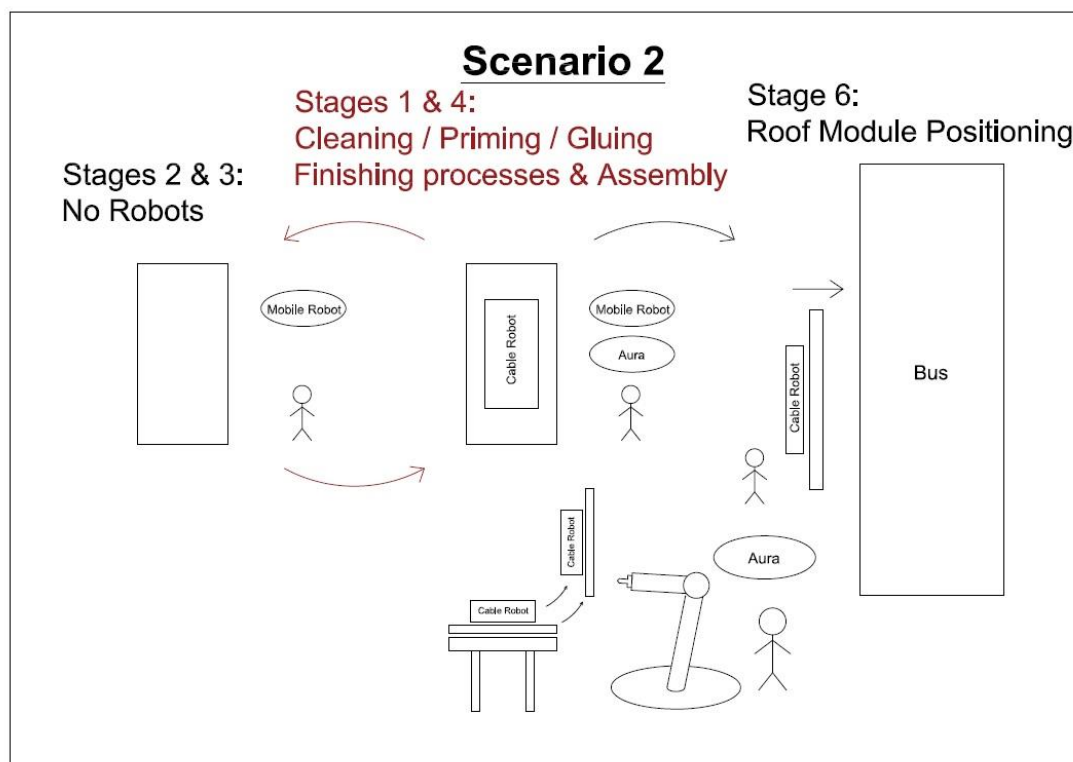


Figure 3 Scenario 2 Visualization

Table 3. Process of Scenario 2

Διεργασία	Πόροι που εμπλέκονται
Στάδιο 1: Διεργασίες καθαρισμού & προετοιμασίας.	➤ Κινητό Ρομπότ & Εργάτες
Στάδιο 2: Διεργασίες τοποθέτησης συστημάτων ελέγχου.	➤ Εργάτες
Στάδιο 3: Διεργασίες εγκατάστασης περιφερειακών συστημάτων.	➤ Εργάτες
Στάδιο 4: Διεργασίες τελικής συναρμολόγησης	➤ Κινητό & Aura & Εργάτες & Ρομπότ Γερανός
Στάδιο 5: Διεργασίες ποιοτικού ελέγχου	➤ Εργάτες & Ρομπότ Γερανός
Στάδιο 6: Διεργασίες τελικής τοποθέτησης οροφής.	➤ Εργάτες & Ρομπότ Γερανός

2.4 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΞΕΤΑΣΗ

Αφού κάναμε εισαγωγή σε όλα τα αντικείμενα στο Πακέτο Προσομοίωσης Delmia, έγιναν μερικές παρατηρήσεις οι οποίες συστήνουν αλλαγές στους καθορισμούς πόρων σε κάθε στάδιο και διεργασία.

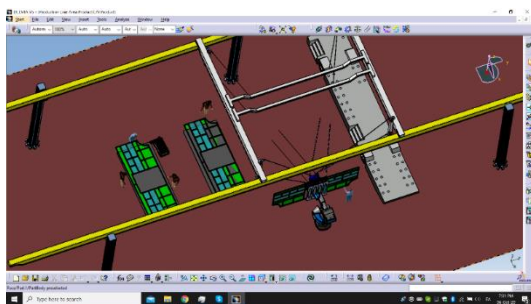


Figure 4 Delmia Simulation Environment

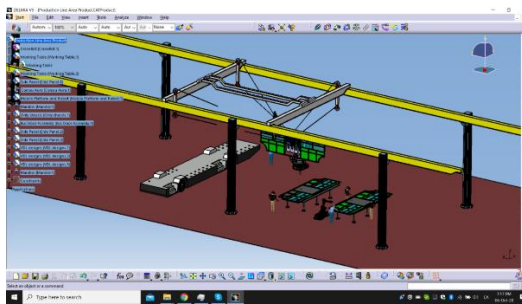


Figure 5 Delmia Simulation Environment 2

Λόγω της θέσης, πάνω στην οροφή, του φάρου και των μονάδων air condition, είναι αδύνατον να εισάγουμε την χρήση ενός μικρού 6B.E. ρομπότ για τον καθαρισμό, προετοιμασία και τοποθέτηση κόλας στις επιφάνειες, καθώς οι βραχίονές του δεν έχουν το μήκος που απαιτείται για να υλοποιηθούν οι διεργασίες. Μια προσπάθεια έγινε με σκοπό την δημιουργία ενός άκρου εργασίας που θα είχε το απαραίτητο μήκος που απαιτείται, με σκοπό να εξεταστεί κατά πόσον είναι λειτουργικό, αλλά απορρίφθηκε καθώς το μήκος του βραχίονα αναλογικά με το ρομπότ ήταν υπερβολικά μεγάλο. Επιπροσθέτως, για να μπορεί το κινητό ρομπότ να έχει πρόσβαση στην τράπεζα εργασίας, το 6 B.E. ρομπότ θα έπρεπε να είναι υπερυψωμένο σε σχέση με την επιφάνεια του κινητού ρομπότ, δημιουργώντας, έτσι, την ανάγκη ύπαρξης κατάλληλης διαμόρφωσης βάσης. Αυτά τα γεγονότα αφορούν άμεσα και τα δύο μας σενάρια, τα οποία καθιστούν αδύνατα προς υλοποίηση.

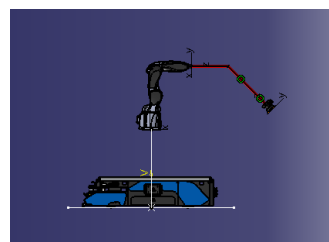


Figure 6 6DOF robot for the
priming and gluing of the surfaces

Ένας ακόμα περιορισμός σημειώθηκε όσον αφορά τις συνθήκες κατά τις οποίες το Ρομπότ Γερανός μπορεί να εκτελέσει την περιστροφή της οροφής από οριζόντια σε κάθετη θέση. Λόγω της δομής του και των καλωδίων που ενώνουν το άκρο εργασίας του με τις τέσσερις γωνίες, ο μόνος τρόπος να έρθει σε κάθετη θέση το άκρο εργασίας – και επομένως και η οροφή – είναι το άκρο εργασίας να δουλέψει στα όρια ικανότητας κίνησης του (shown in Figure 36), έτσι ώστε τα τέσσερα απ'τα οχτώ του καλώδια να έρθουν στην ίδια ευθεία με τις τροχαλίες που τα συγκρατούν, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, αλλιώς τα καλώδια θα συγκρούονταν με την οροφή.

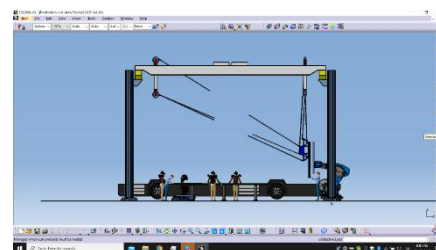


Figure 7 The end effector
reach the limit of working area

Έχοντας εντοπίσει αυτούς τους περιορισμούς ύστερα από την προκαταρκτική μελέτη μας στο Delmia, μια νέα διαρρύθμιση της παραγωγικής μας διαδικασίας πρέπει να διαμορφωθεί, η οποία απαιτεί αλλαγές στα αρχικά σενάρια που προτάθηκαν.

2.5 ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, το κινητό 6 B.E. ρομπότ δεν είναι δυνατόν να υλοποιήσει τις διεργασίες που προτάθηκαν, επομένως πρέπει να απομακρυνθεί από αυτές. Εναλλακτικά, θα του δοθούν να εκτελέσει βοηθητικές διεργασίες, όπως η μεταφορά εξαρτημάτων από την αποθήκη στο Aura, το οποίο θα το αντικαταστήσει τόσο στην προετοιμασία όσο και στον καθαρισμό και τοποθέτηση κόλας, καθώς και στην τελική συναρμολόγηση του φάρου, των μονάδων air condition, την τοποθέτηση θερμαντήρων κλπ.

Τελικό Σενάριο

Σε αυτό το σενάριο ταυτόχρονη δουλειά γίνεται σε δύο οροφές, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί ο απαιτούμενος χώρος εργασίας και ο απαιτούμενος χρόνος των διεργασιών.

- Υπάρχουν δύο τράπεζες εργασίας στον χώρο παραγωγής. Δύο οροφές φτάνουν ταυτόχρονα στο εργοστάσιο και τοποθετούνται πάνω στις τράπεζες.
- Το Στάδιο 1 συμβαίνει, όπου άνθρωποι καθαρίζουν και προετοιμάζουν τις απαραίτητες επιφάνειες της οροφής. Η τοποθέτηση κόλας μετατείνεται στο Στάδιο 4, όπου το Aura εκτελεί τις διεργασίες.
- Το Στάδιο 1 ολοκληρώνεται και εργάτες συνεχίζουν να δουλεύουν στην οροφή, ολοκληρώνοντας τα Στάδια 2 & 3. Ταυτόχρονα, στην δεύτερη τράπεζα εργασίας, εργάτες μπορούν να ξεκινήσουν τις διεργασίες του Σταδίου 1 στη δεύτερη οροφή, στην δεύτερη τράπεζα εργασίας.
- Στην πρώτη τράπεζα τα Στάδια 2 & 3, και στην δεύτερη τράπεζα το Στάδιο 1 ολοκληρώνονται. Οι δύο τράπεζες αλλάζουν μετακινούνται και ανταλλάσσουν θέσεις. Στην τράπεζα δύο οι εργάτες μπορούν να εκτελέσουν τις διεργασίες των Σταδίων 2 & 3. Στην τράπεζα ένα, το τέταρτο Στάδιο ξεκινάει.
 1. Το Ρομπότ Γερανός σηκώνει και περιστρέφει την οροφή από οριζόντια σε κάθετη θέση και το τοποθετεί δίπλα στο Aura.
 2. Το Aura τοποθετεί κόλα στην οροφή στα απαραίτητα σημεία. Ύστερα, χρησιμοποιώντας διαφορετικά εργαλεία, μεταχειρίζεται και τοποθετεί φάρους, θερμαντήρες, μονάδες air condition κλπ, συνεργατικά με ανθρώπους εργάτες.
 3. Το δεύτερο τραπέζι εργασίας τώρα είναι ελεύθερο και μια άλλη οροφή μπορεί να τοποθετηθεί επάνω του, ώστε το Στάδιο 1 να ξεκινήσει.
 4. Στο Κινητό Ρομπότ αποδίδονται βοηθητικές εργασίες, όπως είναι η μεταφορά εξαρτημάτων από την αποθήκη στο Aura.
- Ύστερα από το Στάδιο 4, το Στάδιο 5 συμβαίνει. Εργάτες κάνουν ποιοτικό έλεγχο στην οροφή του λεωφορείου, το οποίο συγκρατείται από το Ρομπότ Γερανός.

- Τέλος, στο Στάδιο 6, το Ρομπότ Γερανός σηκώνει την οροφή, την περιστρέφει κατάλληλα και την τοποθετεί στην κορυφή του λεωφορείου, όπου, συνεργατικά με ανθρώπους, γίνεται η τελική συναρμολόγησή του με το υπόλοιπο λεωφορείο.

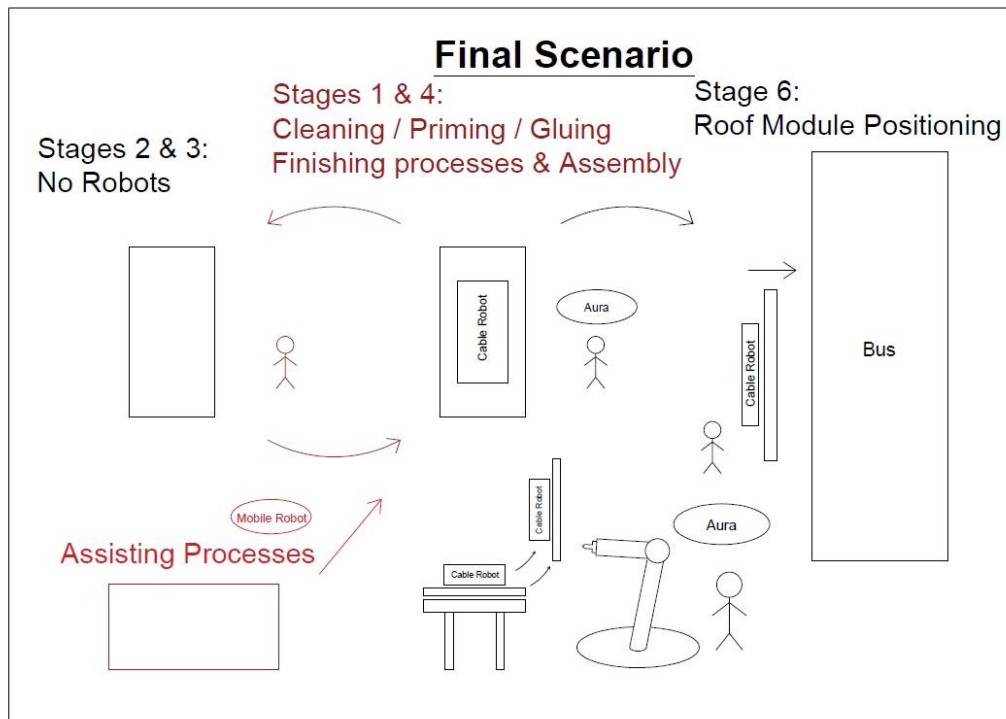


Figure 8 Final Scenario

Table 4. Final production line setup

Process	Process Resources Involved
Stage 1: Cleaning and priming processes. Stage 2: Installing bus control processes. Stage 3: Installing operators periphery processes. Stage 4: Finishing processes. Stage 5: Q-gate processes. Stage 6: Placing the roof modules processes. Assisting processes	➤ Human ➤ Human ➤ Human ➤ Aura & Human & Crane ➤ Human & Crane ➤ Crane & Human ➤ Mobile

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ, ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ, ΑΥΞΗΣΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΧΩΡΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Όπως φαίνεται απ'τον παρακάτω πίνακα, οι χρόνοι που χρειάζεται για να εκτελεστούν οι διεργασίες από τα ρομπότ, είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους χρόνους εκτέλεσης εργασιών από εργάτες.

Transport Bus beacon		Transfer of Protective Cover		Glue Application		Installation of Air Condition Unit		Installation of Bus beacon	
Robot	Human	Robot	Human	Robot	Human	Robot	Human	Robot	Human
20sec	25sec	20sec	25sec	11sec	14sec	11sec	14sec	15sec	20sec

Table 5. Comparative process times between Robot and Human

Η πιο σημαντική αλλαγή όμως βρίσκεται στην εργονομία των πραγμάτων και στην αύξηση της ευελιξίας του χώρου παραγωγής. Η εισαγωγή ρομπότ απαλλάσσει τους ανθρώπους από βαριές / δύσκολες εργασίες, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ευστοχία τοποθέτησης εξαρτημάτων και την ευελιξία του χώρου παραγωγής.

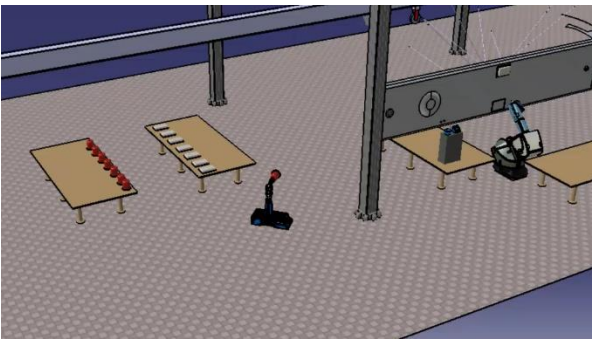


Figure 11 Process of transporting a beacon to the assembly area by the mobile robot



Figure 12 Process of transporting an air condition unit to the assembly area by the mobile robot

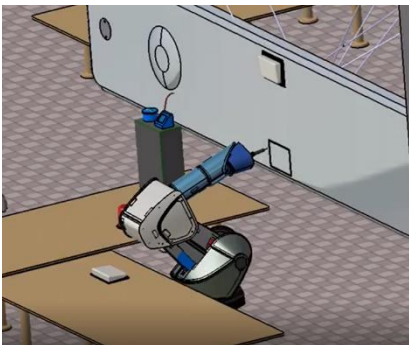


Figure 10 Process of preparing the gluing for the installation of the air condition unit

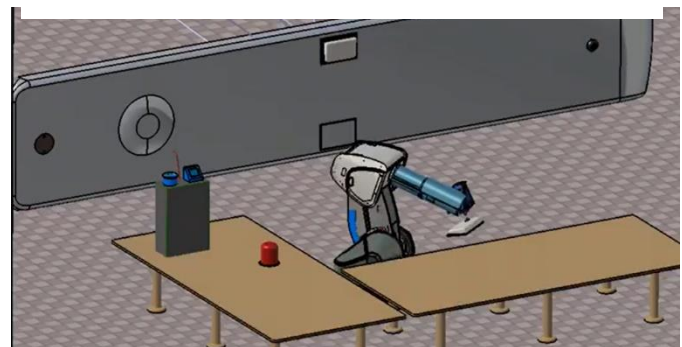


Figure 9 Procedure for installing an air condition unit to the roof of the bus