

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακή Διατριβή στα Πληροφοριακά Συστήματα



**Χρονοπρογραμματισμός Των Εργασιών Ενός Εργοστασίου Κατασκευής
Πλαστικών Με Στόχο Την Ελαχιστοποίηση Του Κόστους Λειτουργίας Του**

Γεώργιος Μαρδάς

Επιβλέπων Καθηγητής

Μαρία Ανδρέου

Φεβρουάριος 2013

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Χρονοπρογραμματισμός Των Εργασιών Ενός Εργοστασίου Κατασκευής
Πλαστικών Με Στόχο Την Ελαχιστοποίηση Του Κόστους Λειτουργίας Του**

Γεώργιος Μαρδάς

Επιβλέπων Καθηγητής

Μαρία Ανδρέου

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε
προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση

μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
στα Πληροφοριακά Συστήματα

από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Φεβρουάριος 2013

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2. Περιγραφή του εργοστασίου και του τρόπου λειτουργίας του

- 2.1 Το εργοστάσιο
- 2.2 Οι πρώτες ύλες.
- 2.3 Οι μηχανές
 - 2.3.1 Τύποι μηχανών
 - 2.3.2 Δυναμικότητα και κατανάλωση μηχανών
- 2.4 Τα καλούπια
- 2.5 Οι παραγγελίες
 - 2.5 Το ανθρώπινο δυναμικό και το ωράριο.

Κεφάλαιο 3. Ορισμός του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού

- 3.1 Ελαστικές και ανελαστικές δαπάνες
- 3.2 Μονάδες μέτρησης ηλεκτρικού ρεύματος
- 3.3 Τρόπος υπολογισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος
 - 3.3.1 Η Μέγιστη Ζήτηση
- 3.4 Οι στόχοι της μελέτης για μείωση του κόστους κατανάλωσης
- 3.5 Στρατηγικές επίτευξης των στόχων
- 3.6 Αξιολόγηση των στρατηγικών και ιεράρχηση των στόχων
- 3.7 Η ανάγκη τυχαιότητας στη μέθοδο εξεύρεσης λύσης
- 3.8 Οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος
 - 3.8.1 Εκ των υστέρων αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του χρονοπρογραμματισμού
 - 3.8.2 Κατακερματισμός του παραγόμενου σεναρίου λύσης για σκοπούς αξιολόγησης
- 3.9 Περιορισμοί στην επίτευξη των στόχων

Κεφάλαιο 4 Οι απαιτήσεις, οι παραδοχές και οι παράμετροι της λύσης

4.1 Οι απαιτήσεις της λύσης

4.1.1 «Προνοητικότητα» στον τρόπο καταρτισμού του σεναρίου λύσης

4.1.2 Αποφυγή απλοποίησης των περιορισμών του προβλήματος

4.1.3 Δυναμικότητα της λύσης

4.1.4 Χρήση συγκεκριμένου λογισμικού

4.2 Η παραδοχή της λύσης

4.3 Οι παράμετροι της λύσης

4.3.1 Οι Παραγγελίες

4.3.2 Τα Προϊόντα

4.3.3 Τα Καλούπια

4.3.4 Οι Μηχανές

4.3.5 Οι Βάρδιες

4.3.6 Το Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης του Προσωπικού

4.3.7 Ο Κώδικας τιμολόγησης της ΑΗΚ (διαφορετικά Κώδικας 61)

Κεφάλαιο 5 Οι προδιαγραφές των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού

5.1 Τα δεδομένα εξόδου της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού

5.1.1 Το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών

5.1.2 Το Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών

5.2 Το πλαίσιο λύσης

5.3 Οι λόγοι διαχωρισμού των βασικών διαδικασιών των αλγορίθμου

5.4 Οι βασικές προδιαγραφές του αλγορίθμου

5.5 Τρόποι Ελέγχου των Περιορισμών του Προβλήματος

Κεφάλαιο 6 Περιγραφή των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού

6.1 Η διαδικασία καθορισμού της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών.

6.1.1 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Βασική εκδοχή – Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών)

6.1.2 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Παραλλαγή 1 – Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών)

6.1.3 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Παραλλαγή 2 - Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών)

6.2 Η συνάρτηση πιθανότητας «P»

6.3 Η διαδικασία Ανάθεσης των Παραγγελιών στις Μηχανές.

6.3.1 Οι Προδιαγραφές του Αλγόριθμου Ανάθεσης.

6.3.2 Η Φιλοσοφία του Αλγόριθμου Ανάθεσης (Κατασκευή «Βέλτιστων» Σεναρίων Λύσης)

6.3.3 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Βασική Εκδοχή - Εξαντλητική και Στοχευόμενη Αναδρομή)

6.3.4 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Παραλλαγή I – Αναδρομή Κατά Τύπο)

6.3.5 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Παραλλαγή II – Αναδρομή Κατά Μηχανή)

6.4 Διαδικασία σύγκρισης του καλύτερου σεναρίου που προκύπτει από το δεδομένο ΗΕ και ΗΑ με τη βέλτιστη λύση.

Κεφάλαιο 7 Τα αποτελέσματα των δοκιμών των αλγορίθμων

7.1 Τα δεδομένα εισόδου

7.2 Τα πρώτα αποτελέσματα του χρονοπρογραμματισμού

7.3 Σύγκριση των παραλλαγών του αλγορίθμου

7.4 Η απόδοση της προτεινόμενης λύσης χρονοπρογραμματισμού (Σύγκριση με πραγματικά δεδομένα)

Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα

ΜΝΗΜΟΝΙΟ

Μεγέθη Μέτρησης της Κατανάλωσης Ηλεκτρικού Ρεύματος (ΜΖ, ΜΚ, ΣΚ, ΣΦ, ΣΙ)

ΜΖ = Μέγιστη Ζήτηση

ΜΚ = Μέση Κατανάλωση

ΣΚ = Συνολική Κατανάλωση

ΣΦ = Συντελεστής Φορτίου

ΣΙ = Συντελεστής Ισχύος

Παραγγελία (ΠΠ, ΚΠ, ΗΥ, ΗΜ, ΧΕ, ΕΧ)

ΠΠ = Ποσότητα Προϊόντος

ΚΠ = Κωδικός Προϊόντος

ΗΥ = Ημερομηνία Υποβολής

ΗΠ = Ημερομηνία Παράδοσης

ΧΕ = Χρόνος Εκτέλεσης

ΕΧ = Εναπομείναντας χρόνος Εκτέλεσης

Προϊόν (ΚΠ, ΚΚ)

ΚΠ = Κωδικός Προϊόντος

ΚΚ = Κωδικός Καλουπιού

Μηχανή (ΚΜ, ΤΜ, ΜΔ, ΙΠ, ΙΛ)

ΚΜ = Κωδικός Μηχανής

ΤΜ = Τύπος Μηχανής

ΜΔ = Μέγιστη Δύναμη Σύσφιξης

ΙΠ = Ισχύς Προθέρμανσης (KWh)

ΙΛ = Ισχύς Κανονικής Λειτουργίας (KWh)

Καλούπι (ΚΚ, ΤΚ, ΧΚ, ΑΟ, ΧΠ, ΔΣ, ΠΕ)

ΚΚ = Κωδικός Καλουπιού

ΤΚ = Τύπος Καλουπιού

ΧΚ = Χρόνος Κύκλου Παραγωγής

ΑΟ = Αριθμός Οπών/Κοιλότητων Καλουπιού

ΧΠ = Χρόνος Παραγωγής ανά Μονάδα Προϊόντος

ΔΣ = Δύναμη Σύσφιξης

ΠΕ = Ποσοστό Επίβλεψης

Βάρδια (ΚΒ, ΩΕ, ΩΛ, ΔΒ, ΑΥ)

ΚΒ = Κωδικός Βάρδιας

ΩΕ = Ώρα Έναρξης

ΩΛ = Ώρα Λήξης

ΔΒ = Διάρκεια Βάρδιας (σε ώρες)

ΑΥ = Μέσος Αριθμός Διαθέσιμων Υπαλλήλων

Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης (ΗΜ, ΚΒ, ΑΥ)

ΗΜ = Ημερομηνία

ΚΒ = Κωδικός Βάρδιας

ΑΥ = Αριθμός Διαθέσιμων Υπαλλήλων

Κώδικας Τιμολόγησης (ΚΣΦ, ΑΣΦ, ΧΚΚ, ΧΜΖ)

ΚΣΦ = Κατώτατος Συντελεστής Φορτίου

ΑΣΦ = Ανώτατος Συντελεστής Φορτίου

ΧΜΚ = Χρεώσεις ανά μονάδα (Kwh) Κατανάλωσης

ΧΜΖ = Χρεώσεις ανά μονάδα (KVA) Μέγιστης Ζήτησης

Μητρώο Εκτέλεσης Παραγγελιών (ΚΠ, ΗΠΧ, ΗΤΧ, ΚΜ, ΣΒ, ΧΚΠ, ΧΚΤ, ΕΧ)

ΚΠ = Κωδικός παραγγελίας

ΗΠΧ = Ημερομηνία Προηγούμενου Χρονοπρογραμματισμού

ΗΤΧ = Ημερομηνία Τρέχοντα Χρονοπρογραμματισμού

ΚΜ = Κωδικός Μηχανής

ΣΒ = Συνδυασμός Βάρδιας

ΧΚΠ = Χρόνος εκτέλεσης που καλύφθηκε πριν την ΗΠΧ

ΧΚΤ = Χρόνος εκτέλεσης που καλύφθηκε μεταξύ την ΗΠΧ και ΗΤΧ

ΕΧ = Εναπομείναντας χρόνος εκτέλεσης της παραγγελίας

Πρόγραμμα Εκτέλεσης Παραγγελιών (ΚΠ, ΗΕ, ΗΑ, ΚΜ, ΣΒ, ΣΧΕ)

ΚΠ = Κωδικός παραγγελίας

ΗΕ = Ημερομηνία Έναρξης

ΗΑ = Ημερομηνία Αποπεράτωσης

ΚΜ = Κωδικός Μηχανής

ΣΒ = Συνδυασμός Βάρδιας

ΔΕΜ= Διάρκεια Παραγγελίας σε Εργάσιμες Μέρες

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία καταπιάνεται με το θέμα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών. Αντικείμενο της μελέτης είναι ένα πραγματικό εργοστάσιο κατασκευής πλαστικών. Η μελέτη αποσκοπεί πρωτίστως στην εφαρμογή αρχών της θεωρίας αλγορίθμων με σκοπό την επίλυση ενός υπαρκτού προβλήματος χρονοπρογραμματισμού και περαιτέρω στην απόκτηση εμπειρίας μέσα από την προσπάθεια αντιμετώπισης και κατανόησης των πρακτικών πτυχών των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού. Αν και πρόκειται για μελέτη πολύ συγκεκριμένου προβλήματος τα συμπεράσματα της μελέτης μπορούν εν μέρει να γενικευτούν και να τύχουν εφαρμογής σε παρόμοια προβλήματα χρονοπρογραμματισμού που συναντώνται στη βιβλιογραφία.

Βασικός στόχος της μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής του υπό μελέτη εργοστασίου. Αυτό μεταφράζεται σε ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης σε ηλεκτρικό ρεύμα αφού από τη μελέτη του τρόπου λειτουργίας του εργοστασίου έχει διαφανεί ότι το κόστος λειτουργίας του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Η συγκεκριμένη παράμετρος ήταν ουσιαστικά και η αιτία που μας ώθησε να μελετήσουμε το εν λόγω πρόβλημα. Κατά πρώτο λόγο, επειδή το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος αποτελεί βαρόμετρο για τη βιωσιμότητα πολλών μικρομεσαίων εταιριών του τόπου μας αλλά και της κυπριακής οικονομίας ευρύτερα. Κατά δεύτερο λόγο επειδή πρόκειται για ένα ιδιαίτερα επίκαιρο θέμα ένεκα και των εξελίξεων στο Μαρί αλλά και της ένταξης μας στον Ευρωπαϊκό Μηχανισμό Στήριξης και κατά τρίτο, γιατί ο κώδικας τιμολόγησης της ΑΗΚ για το βιομηχανικό ρεύμα παρουσιάζει από μόνος του ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν τον μελετήσει κανείς κάτω από το πρίσμα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών αφού αφήνει περιθώρια επίτευξης σημαντικών εξοικονομήσεων αν η κατανάλωση γίνεται στοχευόμενα μέσω συγκεκριμένου πλάνου εργασίας και όχι αλόγιστα όπως συμβαίνει στην πράξη σε πολλές βιομηχανίες.

Το υπό μελέτη εργοστάσιο δέχεται παραγγελίες με προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα από πελάτες για την παραγωγή πλαστικών δοχείων ποικίλων μορφών. Η παραγωγή των πλαστικών εκτελείται από μηχανές διαφορετικών τύπων και δυναμικότητας με τη χρήση συγκεκριμένων μεταλλικών καλουπιών και ανακυκλώσιμης πρώτης ύλης. Οι μηχανές όπως και όλος ο

εξοπλισμός υποστήριξής τους λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του καλουπιού καθορίζουν τόσο τον τύπο όσο και τη δυναμικότητα που θα πρέπει να έχει η μηχανή που θα το εκτελέσει. Υπάρχει περίπτωση, δηλαδή, ένα καλούπι να μπορεί να εκτελεστεί σε περισσότερες από μία μηχανές. Τα χαρακτηριστικά του καλουπιού καθορίζουν επίσης το χρόνο που χρειάζεται να απασχοληθεί το προσωπικό του εργοστασίου για την επίβλεψη της μηχανής που θα το εκτελέσει. Παρόλο που η διαδικασία παραγωγής των πλαστικών είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, εντούτοις χρειάζεται οι μηχανές να επιβλέπονται όσο βρίσκονται σε λειτουργία έτσι ώστε να γίνονται διορθωτικές κινήσεις εκεί που χρειάζεται. Το προσωπικό του εργοστασίου, του οποίου η κύρια εργασία είναι η επίβλεψη των μηχανών, εργάζεται σε τρεις βάρδιες διαφορετικής χρονικής διάρκειας η κάθε μία οι οποίες καλύπτουν όλο το εικοσιτετράωρο σε πενθήμερη βάση. Το εργοστάσιο παραμένει κλειστό κατά τα σαββατοκύριακα και τις εθνικές αργίες. Σε κάθε βάρδια απασχολείται διαφορετικός αριθμός υπαλλήλων.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω το βασικό κόστος παραγωγής του εργοστασίου οφείλεται στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο είναι ουσιαστικά και η μοναδική «ελαστική δαπάνη» του εργοστασίου αφού το υλικό που χρησιμοποιείται είναι πλήρως ανακυκλώσιμο ενώ το εργατικό δυναμικό είναι περιορισμένο σε αριθμό και σχετικά χαμηλού κόστους. Ένας παράγοντας που επηρεάζει το κόστος κατανάλωσης βάσει της τιμολογιακής πολιτικής της ΑΗΚ είναι η πραγματική κατανάλωση σε KW της κάθε μηχανής. Οπότεν θεωρητικά ένας χρονοπρογραμματισμός που αξιοποιεί περισσότερο τις οικονομικές μηχανές ενώ παράλληλα τηρεί τους περιορισμούς θα ήταν ιδανικός. Το πρόβλημα μέχρι σε αυτό το σημείο προσομοιάζει με άλλα προβλήματα της βιβλιογραφίας. Αυτό που περιπλέκει το πρόβλημα και το κάνει να διαφέρει από τα θεωρητικά προβλήματα με τα οποία καταπιάνεται η σχετική βιβλιογραφία είναι ότι πέραν της πραγματικής κατανάλωσης ο επιχειρηματίας επιβαρύνεται σημαντικά βάσει του συμβολαίου που διατηρεί με την ΑΗΚ με επιπρόσθετες χρεώσεις στη βάση της Μέγιστης Ζήτησης «ΜΖ» (Maximum Demand). Σύμφωνα με αυτή την πρακτική οι μετρητές της ΑΗΚ καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο (ανά 20 λεπτά) τη ζήτηση του εργοστασίου σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια του μήνα. Στο τέλος του μήνα υπολογίζεται η ψηλότερη τιμή ανάμεσα στις μετρήσεις. Αυτή η μέτρηση κοστολογείται με τιμή

μέχρι και 100 φορές μεγαλύτερη από την τρέχουσα τιμή της KW. Αυτό σημαίνει ότι μια στιγμιαία αιχμή (spike) στο γράφημα κατανάλωσης του εργοστασίου θα ήταν αρκετή για να εκτοξεύσει το λογαριασμό στα ύψη. Η μέγιστη ζήτηση επηρεάζει σε κάποιο βαθμό και την τρέχουσα τιμή της KW η οποία ουσιαστικά καθορίζεται στο τέλος του μήνα ανάλογα με το πόσο ασταθής ήταν η ζήτηση κατά τη διάρκεια του μήνα. Συνεπώς οι αστάθειες στοιχίζουν πολύ καθιστώντας επιτακτική την εξεύρεση λύσης χρονοπρογραμματισμού η όποια αφενός να στοχεύει στην αξιοποίηση των οικονομικότερων μηχανών και αφετέρου να περιορίζει το βαθμό αλληλοεπικάλυψης των μηχανών κρατώντας έτσι σταθερό τον αριθμό των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα. Με αυτό τον τρόπο ομαλοποιείται σχετικά το γράφημα αφού εξαλείφονται οι μεγάλες αυξομειώσεις στη ζήτηση. Σε κάποιο βαθμό οι δύο στόχοι μπορεί να αλληλοσυγκρούονται και θα πρέπει να εξευρεθεί η χρυσή τομή. Η ιδιαίτερη φύση του προβλήματος σε σχέση με τα θεωρητικά και κάπως γενικά προβλήματα της βιβλιογραφίας αποτέλεσε την πρώτη πρόκληση που είχαμε να αντιμετωπίσουμε στο θέμα της μεθοδολογικής προσέγγισης.

Η δεύτερη πρόκληση που είχαμε να αντιμετωπίσουμε, ίσως και η πιο σημαντική, η οποία επίσης πηγάζει από τη μέθοδο τιμολόγησης της ΑΗΚ, είναι ότι το ακριβές κόστος κατανάλωσης, και άρα η αποτελεσματικότητα του χρονοπρογραμματισμού, μπορεί να κριθεί μόνο εκ των υστέρων στο τέλος του μήνα που θα υπολογιστεί η ΜΖ και αφού έχει ήδη προηγηθεί μια σειρά από διαδοχικούς χρονοπρογραμματισμούς. Συνεπώς, ένας θεωρητικά «καλός» χρονοπρογραμματισμός από πλευράς ΜΖ στα μέσα του μήνα μπορεί στη συνέχεια να αποβεί μοιραίος αν το παραγόμενο πλάνο εργασίας σε συνδυασμό με τις μελλοντικές συγκυρίες που θα προκύψουν, είναι τέτοια που να μην αφήνουν ευελιξία σε μεταγενέστερους χρονοπρογραμματισμούς για καλύτερη αξιοποίηση των πόρων. Οπότε, θα πρέπει η στρατηγική χρονοπρογραμματισμού να μην αποβλέπει απλά στην ελαχιστοποίηση του πιθανού κόστους σε μια δεδομένη χρονική στιγμή με τα εκάστοτε δεδομένα, αλλά να χαρακτηρίζεται και από κάποια «προνοητικότητα» όσον αφορά τις μελλοντικές ανάγκες και το βαθμό που αυτές μπορούν να διαφοροποιήσουν τα δεδομένα στο τέλος του μήνα ειδικά ως προς τη ΜΖ.

Η τρίτη πρόκληση που είχαμε να αντιμετωπίσουμε είναι οι περιορισμοί του προβλήματος. Στα θεωρητικά προβλήματα που συναντούμε στη βιβλιογραφία η αλγοριθμική προσέγγιση που ακολουθείται βασίζεται συνήθως σε κάποιες γενικές υποθέσεις και απλοποιημένα δεδομένα που χαρακτηρίζουν ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων παρόμοιας φύσης. Εξάλλου, στα αμιγώς θεωρητικά προβλήματα ο βασικός στόχος είναι η σύγκριση και αξιολόγηση εναλλακτικών αλγορίθμων στη βάση συνήθως πειραματικών δεδομένων παρά η επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Στη δική μας περίπτωση επειδή το πρόβλημα είναι υπαρκτό πέραν της σύγκρισης διαφορετικών αλγορίθμων θα έπρεπε η λύση αποδεδειγμένα να επιτυγχάνει το σκοπό της που δεν είναι άλλος από τη μείωση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Ως εκ τούτου, δεν υπήρχαν αρκετά περιθώρια απλοποίησης των δεδομένων του προβλήματος αφού κάτι τέτοιο θα καθιστούσε την οποιαδήποτε λύση μη εφαρμόσιμη. Για παράδειγμα, το σύστημα τριπλής βάρδιας του εργοστασίου απασχολεί 6, 3 και 2 υπαλλήλους αντίστοιχα σε καθημερινή βάση. Παρόλα αυτά, ο αριθμός αυτός μπορεί σε κάποιες μεμονωμένες ημερομηνίες να διαφοροποιηθεί λόγω αδειών αναπαύσεως ή ασθενείας του προσωπικού. Αν όμως ο αλγόριθμος δεν λαμβάνει υπόψη τις περιπτώσεις αυτές και θεωρεί σταθερό τον αριθμό των υπαλλήλων ανά βάρδια για όλο το χρόνο υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το παραγόμενο πλάνο εργασίας - που συνήθως έχει ορίζοντα δύο ή τριών μηνών - να καταστεί μη εφαρμόσιμο σε κάποιες ημερομηνίες και άρα να ακυρωθεί πλήρως. Το ίδιο πρόβλημα δημιουργείται αν μια μηχανή τεθεί απροσδόκητα εκτός λειτουργίας για κάποιο χρονικό διάστημα λόγω βλάβης. Ο λόγος που το σενάριο λύσης ακυρώνεται πλήρως οφείλεται στο γεγονός ότι η φύση του προβλήματος είναι τέτοια που με την παραμικρή αυθαίρετη αλλαγή στο πλάνο εργασίας υπάρχει περίπτωση να αλλάξουν δραματικά τα δεδομένα όσον αφορά τη ΜΖ αλλά και την ικανότητα αξιοποίησης των πιο οικονομικών μηχανών. Επίσης, οι επακόλουθες αλυσιδωτές αλλαγές που θα επέλθουν στο πλάνο εργασίας πιθανόν να θέτουν σε κίνδυνο την εφικτότητα της λύσης.

Η τέταρτη πρόκληση που είχαμε να αντιμετωπίσουμε είναι ότι όλες οι παράμετροι του προβλήματος όπως για παράδειγμα ο αριθμός και η διάρκεια των βάρδιων, ο αριθμός των υπαλλήλων ανά βάρδια, ο αριθμός των μηχανών που διαθέτει το εργοστάσιο κ.α. δύναται στο μέλλον να διαφοροποιηθούν, είτε μόνιμα, είτε παροδικά λόγω εποχικότητας, από τον

ιδιοκτήτη της επιχείρησης. Με αυτά τα δεδομένα θα έπρεπε ο αλγόριθμος να έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται αυτόματα και δυναμικά σε οποιοσδήποτε αλλαγές στην υποδομή και τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου χωρίς τη δική μας παρέμβαση. Η συγκεκριμένη απαίτηση είχε τεθεί από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη της επιχείρησης.

Η πέμπτη πρόκληση που είχαμε να αντιμετωπίσουμε είναι ότι για να εφαρμοστεί η λύση χρονοπρογραμματισμού θα έπρεπε να αναπτυχθεί μία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων η οποία να φιλοξενεί τόσο τα δεδομένα εισόδου και εξόδου του αλγορίθμου όπως και τον ίδιο τον κώδικα των αλγορίθμων. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα συναφή προγράμματα και η βάση δεδομένων θα έπρεπε να αναπτυχθούν με τη χρήση του λογισμικού Ms Access και της γλώσσας προγραμματισμού VBA που χρησιμοποιεί επί του παρόντος το εργοστάσιο. Τέλος για να δοκιμαστεί η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου έπρεπε να γίνουν δοκιμές με πραγματικά ιστορικά δεδομένα που διαθέτει το εργοστάσιο από το 2008 και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις πραγματικές τιμές.

Όσον αφορά τη θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος, θεωρήθηκε σωστό η αλγοριθμική διαδικασία να μην είναι ενιαία αλλά να τεμαχιστεί σε τρία ανεξάρτητα τμήματα. Στο πρώτο τμήμα γίνεται η κατασκευή της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών. Δηλαδή καθορίζεται η διάρκεια, ο χρόνος έναρξης και ο χρόνος αποπεράτωσης της κάθε παραγγελίας. Για το σκοπό αυτό εξετάζονται τρεις εναλλακτικοί αλγόριθμοι. Η διαδικασία αυτή κρίθηκε σκόπιμο να ανεξαρτητοποιηθεί από τις υπόλοιπες και να γίνεται στην αρχή γιατί α) είναι ιδιαίτερα γρήγορη και απλή και β) καθορίζει σε τεράστιο βαθμό την ποιότητα της λύσης εάν αυτή είναι τελικά επιτεύξιμη. Όσον αφορά το δεύτερο σημείο, η οποιαδήποτε λύση για να είναι καλή θα πρέπει οπωσδήποτε να εξασφαλίζει τουλάχιστο ένα χαμηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης των παραγγελιών που είναι και η βασικότερη παράμετρος επηρεασμού της MZ. Αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από τους χρόνους εκτέλεσης των παραγγελιών και όχι από το συνδυασμό μηχανών που θα τις εκτελέσουν. Οπότεν ένα σενάριο λύσης για να αξίζει να αξιολογηθεί περαιτέρω θα πρέπει να εξασφαλίζει εν τη γενέσει του ένα χαμηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης κάτι που εγγυάται η εν λόγω διαδικασία. Από τον τρόπο κατασκευής δηλαδή της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών αποκλείεται η περίπτωση να δοκιμαστούν σενάρια λύσης που

έχουν ψηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού λόγω της φύσης του προβλήματος σχετικά «γειτονικές» λύσεις παράγουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Δηλαδή, μια μικρή αλλαγή σε ένα σχετικά καλό σενάριο είναι ικανή να αλλάξει δραματικά τη ΜΖ, να παραβιάσει τους περιορισμούς ή τα χρονοδιαγράμματα παράδοσης. Συνεπώς το βέλτιστο σενάριο λύσης δεν μπορεί να προκύψει μέσα από μια διαδικασία βαθμιαίας βελτίωσης ενός αρχικού σεναρίου όπως συμβαίνει με τους γενετικούς αλγορίθμους, αλλά από καθαρά τυχαία επιλογή. Ακριβώς επειδή οι πιθανοί συνδυασμοί είναι άπειροι, έπρεπε η διαδικασία να αποκλείει τελείως συνδυασμούς λύσεων που αποκλείεται να δώσουν καλή λύση έτσι ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες καθυστερήσεις στην εξεύρεση μιας αποδεκτά καλής λύσης.

Στη δεύτερη διαδικασία ελέγχονται οι περιορισμοί για να κριθεί κατά πόσο η δεδομένη αλληλουχία μπορεί να οδηγήσει σε λύση. Πέραν του ελέγχου των βασικών περιορισμών που επιβάλλονται από τα δεδομένα του προβλήματος, η διαδικασία πρέπει να είναι τέτοια που απαντά εκ των προτέρων, και με μεγάλη βεβαιότητα, κατά πόσο μπορεί να υπάρξει συνδυασμός μηχανών που μπορούν να εκτελέσουν τις παραγγελίες βάσει των ήδη προκαθορισμένων – από την πρώτη διαδικασία - χρόνων εκτέλεσης. Η συγκεκριμένη διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα οπότε αν δεν διασφαλίζεται η επίτευξη λύσης το σενάριο εγκαταλείπεται και αποφεύγονται περαιτέρω καθυστερήσεις. Στην αντίθετη περίπτωση προχωρούμε στην τρίτη και τελευταία διαδικασία, αυτή της ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές.

Η διαδικασία ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές είναι και η πιο χρονοβόρα λόγω των πολλών συνδυασμών ανάθεσης που μπορούν να γίνουν. Ακριβώς για αυτό το λόγο η εν λόγω διαδικασία γίνεται τελευταία. Με δεδομένο το χαμηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης των παραγγελιών, η οποία εξασφαλίζεται από την πρώτη διαδικασία, και με την επιβεβαίωση της ύπαρξης λύσης από τη δεύτερη διαδικασία, ο αλγόριθμος στο σημείο αυτό θα πρέπει α) οπωσδήποτε να βρει την υποσχόμενη λύση και β) αν υπάρχουν περισσότερες από μία λύσεις, να προτείνει την καλύτερη. Ουσιαστικά η λύση θα πρέπει να ισορροπεί ανάμεσα στην αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών η οποία μειώνει την πραγματική κατανάλωση, και

στην ελαχιστοποίηση της MZ η οποία υπολογίζεται ως η μέγιστη τιμή εκ των σημειακών αθροιστικών καταναλώσεων των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία προτείνεται ένας βασικός αλγόριθμος και δύο παραλλαγές του. Αυτό ανεβάζει τον αριθμό των προτεινόμενων αλγοριθμικών λύσεων σε 9 λόγω των συνδυασμών αλγορίθμων μεταξύ της πρώτης και της τρίτης διαδικασίας.

Η σύγκριση των αλγορίθμων έγινε σε πραγματικά ιστορικά δεδομένα από το αρχείο παραγγελιών του εργοστασίου. Κατόπιν αφού επιλέγηκε ο καλύτερος εξ αυτών παράχθηκε με τη χρήση του ένα ενιαίο πλάνο εργασίας συνολικής διάρκειας τριάμισι χρόνων, από τα μέσα του 2008 μέχρι το τέλος του 2011. Το συγκεκριμένο πλάνο αξιολογήθηκε στη βάση συγκεκριμένων μεγεθών που αναγράφονται στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ. Η σύγκριση κατέδειξε ότι με δεδομένο τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου τη συγκεκριμένη περίοδο και με μόνη αλλαγή το πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών θα μπορούσε να είχε ομαλοποιηθεί αισθητά το γράφημα κατανάλωσης και άρα να μειωθεί το κόστος.

Στο κεφάλαιο 2 που ακολουθεί γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της επιχείρησης και καταγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής του εργοστασίου. Ακολούθως, στο κεφάλαιο 3 ορίζεται επακριβώς το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού και καθορίζονται οι βασικές παράμετροι πάνω στις οποίες θα εστιαστεί η προσπάθεια βελτιστοποίησης. Στο κεφάλαιο 4 ποσοτικοποιούνται και καταγράφονται λεπτομερώς όλες οι παράμετροι που θα ληφθούν υπόψη στη βελτιστοποίηση όπως επίσης και οι παραδοχές που πρέπει να γίνουν προς επίλυση του προβλήματος. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται προσπάθεια θεωρητικής προσέγγισης του θέματος στη βάση της θεωρίας αλγορίθμων και καταγράφονται οι προδιαγραφές που θα πρέπει να πληρούν οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι λύσης. Στο κεφάλαιο 6 περιγράφονται οι διάφορες παραλλαγές των αλγορίθμων που επιλύουν το πρόβλημα ενώ στο κεφάλαιο 7 αναλύονται τα αποτελέσματα των δοκιμών. Στο κεφάλαιο 8 καταγράφονται τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης.

Κεφάλαιο 2. Περιγραφή του εργοστασίου και του τρόπου λειτουργίας του

2.1 Το εργοστάσιο

Το εργοστάσιο με το οποίο καταπιάνεται η μελέτη βρίσκεται στην επαρχία Λευκωσίας και συγκεκριμένα στη βιομηχανική περιοχή Εργατών. Πρόκειται για οικογενειακή επιχείρηση η οποία φέρει την ονομασία N. Afaniotis & J. Pavlides Ltd. Την επιχείρηση διευθύνει ο κ. Νίκος Αφανιότης με τη βοήθεια της θυγατέρας του Ελιάνας Αφανιότη. Τα γραφεία της επιχείρησης συστεγάζονται στον ίδιο χώρο με το εργοστάσιο. Το όλο υποστατικό μαζί με τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό είναι ιδιόκτητο και ανήκει στον κ. Αφανιότη. Η επιχείρηση μπορεί να θεωρηθεί μικρού με μεσαίου μεγέθους για τα δεδομένα της Κύπρου. Συγκεκριμένα εργοδοτεί στο σύνολο 10-12 υπαλλήλους, συμπεριλαμβανομένων του ιδιοκτήτη και της θυγατέρας του, με τον αριθμό να διαφοροποιείται ελαφρώς αναλόγως της εποχής και της ζήτησης. Κάποιοι από τους υπαλλήλους εργάζονται με όρους μερικής απασχόλησης. Η επιχείρηση λόγω του μεγέθους και της φύσης της αντιμετωπίζει, όπως διαφάνηκε, τα ίδια προβλήματα επιβίωσης που αντιμετωπίζει μια τυπική κυπριακή οικογενειακή επιχείρηση μικρομεσαίου μεγέθους.

Με δεδομένο το γεγονός ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις αποτελούν το βασικό κορμό και την κινητήρια δύναμη της κυπριακής οικονομίας είναι αρκετά ενδιαφέρον να μελετήσει κανείς τα περιθώρια που υπάρχουν σε αυτές τις επιχειρήσεις για ελαχιστοποίηση των λειτουργικών τους δαπανών και του κόστους παραγωγής τους. Ιδιαίτερα, εν μέσω οικονομικής κρίσης μια τέτοια προσέγγιση δεν θα στόχευε απλά στο να καταστήσει μια επιχείρηση πιο αποτελεσματική και άρα πιο κερδοφόρα, αλλά θα μπορούσε να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την ίδια την επιβίωσή της. Κάτω από αυτό το πρίσμα, θα πρέπει αρχικά να αναζητηθούν οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής μιας επιχείρησης και κατόπιν να διερευνηθούν τρόποι βελτιστοποίησης τους. Η εργασία καταπιάνεται με τον σημαντικότερο ίσως παράγοντα κόστους, την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Είναι ευρύτερα γνωστό ότι η Κυπριακή Δημοκρατία συγκαταλεγόταν ανέκαθεν ανάμεσα στις πιο ακριβές χώρες της ευρωζώνης και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ευρύτερα όσον αφορά τις ανά μονάδα χρεώσεις για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα κόστος που διαχρονικά επιβάρυνε τις κυπριακές επιχειρήσεις και τις καταστούσε λιγότερο ανταγωνιστικές σε σχέση

με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές. Ειδικότερα μάλιστα μετά τις πρόσφατες εξελίξεις στο Μαρί και τις συνεπακόλουθες αυξήσεις στην τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος, το πρόβλημα αυτό έχει εξελιχθεί σε μάστιγα η οποία έχει αφανίσει το τελευταίο διάστημα αρκετές μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Για τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ελαφράς και μεσαίας βιομηχανίας το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η επιχείρηση του κ. Αφανιότη η οποία ειδικεύεται στην κατασκευή πλαστικών δοχείων. Η εταιρία αναζητεί τρόπους βελτιστοποίησης της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού των εργασιών της με απώτερο στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.

2.2 Οι πρώτες ύλες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως, το υπό μελέτη εργοστάσιο ειδικεύεται στην παραγωγή πλαστικών δοχείων μικρού έως μεσαίου μεγέθους. Παραδείγματα πλαστικών δοχείων που έχει κατασκευάσει μέχρι τώρα το εργοστάσιο είναι δοχεία σαμπουάν, αναψυκτικών, πλαστικά κουζινικά σκεύη (π.χ. πιάτα και ποτήρια), δοχεία γιαουρτιού, μπουκάλες νερού κ.τ.λ. Η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή των πλαστικών δοχείων είναι **κομμάτια ακατέργαστου πλαστικού** τα οποία έχουν τυποποιημένο σχήμα και τα οποία αγοράζει το εργοστάσιο από συγκεκριμένους προμηθευτές σε χονδρικές τιμές. Το υλικό αυτό αγοράζεται μαζικά και αποθηκεύεται στις αποθήκες του εργοστασίου μέχρις ότου να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή. Το υλικό είναι πλήρως ανακυκλώσιμο, γεγονός που το καθιστά απόλυτα αξιοποιήσιμο αφού δεν υπάρχει κίνδυνος απωλειών λόγω κακής διαχείρισής του. Σε περιπτώσεις δηλαδή που ένας αριθμός δοχείων συγκεκριμένης παρτίδας μείνει αδιάθετος λόγω ακύρωσης της παραγγελίας, το πλαστικό μπορεί να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί εκ νέου για την παραγωγή άλλου δοχείου διαφορετικού σχήματος και προδιαγραφών. Δεύτερο υλικό στην παραγωγή είναι το **χρώμα** το οποίο αγοράζεται σε σκόνη και χρησιμοποιείται αναλόγως των προδιαγραφών του κάθε δοχείου. Το κάθε δοχείο αποτελείται από διάφορα μέρη. Στις πλείστες των περιπτώσεων που το δοχείο προορίζεται για συσκευασία προϊόντος σε υγρή μορφή, το δοχείο αποτελείται το πολύ από δύο μέρη, το δοχείο και το πώμα του. Το κάθε μέρος μπορεί να πάρει μόνο ένα χρώμα, μπορεί όμως το

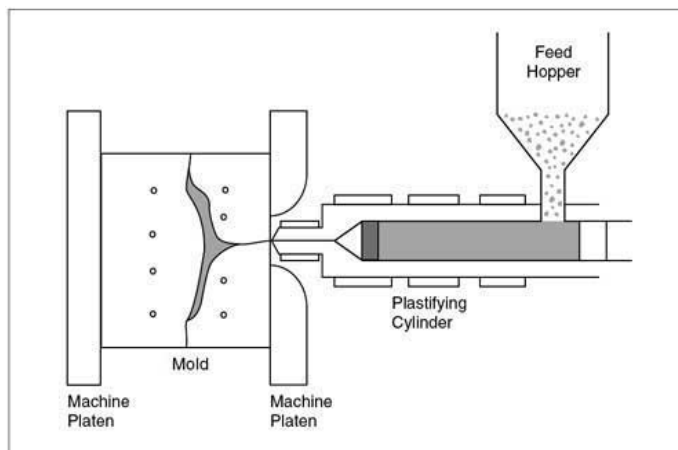
δοχείο στο σύνολο του να είναι πολύχρωμο. Επειδή τα χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι περιορισμένα το εργοστάσιο δεν έχει αντιμετωπίσει ποτέ σοβαρό πρόβλημα αχρήστευσης μέρος της παραγωγής λόγω επιλογής χρώματος αφού οι πλείστες των παραγγελιών για χρωματιστά προϊόντα αφορούν τα βασικά χρώματα. Συνεπώς ακόμα και το πλαστικό να έχει χρωματιστεί εξακολουθεί να είναι ανακυκλώσιμο. Εκεί που η επιλογή αφορά σπάνιο χρώμα, δίδεται αρκετή προσοχή στις ποσότητες έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχόν απώλειες.

2.3 Οι μηχανές

Το εργοστάσιο διαθέτει 19 μηχανές διαφόρων τύπων, δυναμικότητας και απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια οι οποίες διεκπεραιώνουν τις παραγγελίες που δέχεται το εργοστάσιο για παραγωγή πλαστικών.

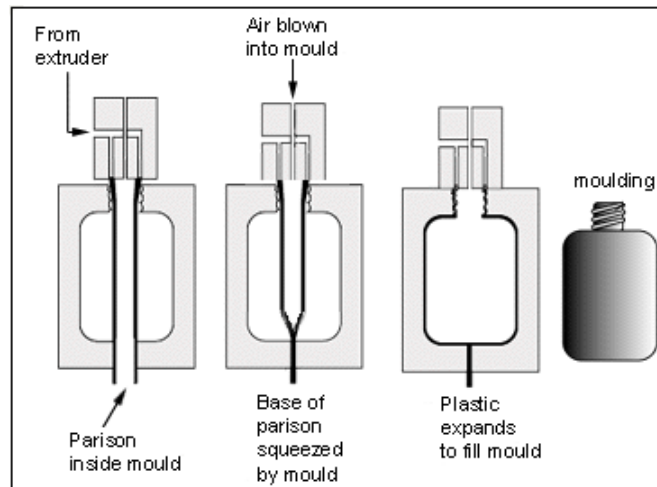
2.3.1 Τύποι μηχανών

Η πρώτη κατηγορία μηχανών είναι οι μηχανές τύπου «Έγχυσης» (*“Injection”*). Οι συγκεκριμένες μηχανές φορμάρουν το πλαστικό εκχύνοντας το σε προκατασκευασμένα καλούπια. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 το πλαστικό που βρίσκεται σε υγρή μορφή εμβολιάζεται μέσα από μικρές οπές σε μια σχηματισμένη κοιλότητα η οποία αποτελεί το εσωτερικό του συναρμολογούμενου καλουπιού.



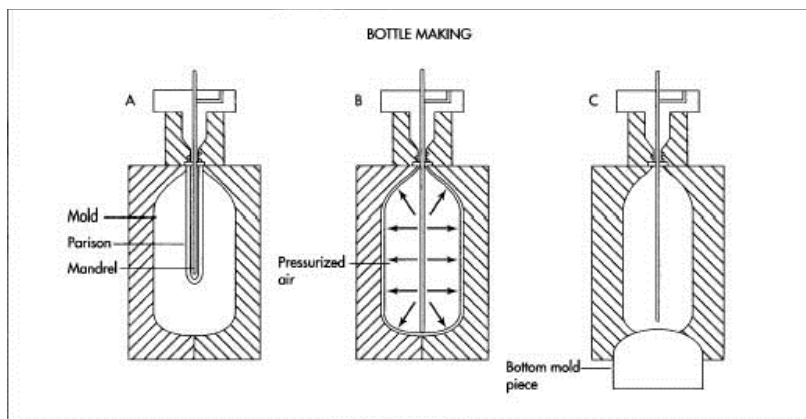
Σχήμα 1.1: Ενδεικτικό γράφημα του τρόπου λειτουργίας των μηχανών τύπου «Έγχυσης» (*“Injection”*).

Κατόπιν, το υλικό ψύχεται και το καλούπι απομακρύνεται ελευθερώνοντας έτσι το πλαστικό δοχείο. Οι εν λόγω μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως για δοχεία χωρίς εσωτερική κοιλότητα π.χ. πώματα, πιάτα κτλ. Η δεύτερη κατηγορία μηχανών είναι οι τύπου «Φουσητές» (“Blow”). Οι εν λόγω μηχανές χρησιμοποιούνται στην παραγωγή δοχείων που έχουν άδειο εσωτερικό, π.χ. πλαστικές φιάλες. Ο τρόπος λειτουργίας αυτών των μηχανών φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Ενδεικτικό γράφημα του τρόπου λειτουργίας των μηχανών τύπου «Φουσητές» (“Blow”).

Συγκεκριμένα, οι μηχανές αυτές αφού θερμάνουν και υγροποιήσουν το πλαστικό, του προσδίδουν ένα λεπτό σωληνοειδές σχήμα και κατόπιν το εξωθούν στο εσωτερικό ενός καλούπιού το οποίο σχηματίζει κοιλότητα στο σχήμα της φιάλης. Το καλούπι κλείνει ερμητικά σφραγίζοντας το ένα στόμιο του σωλήνα με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια κοιλότητα που προσομοιάζει με δοκιμαστικό σωλήνα. Από το άλλο στόμιο που παραμένει ανοικτό εισάγεται πιεσμένος αέρας με αποτέλεσμα ο σωλήνας να διογκώνεται και να προσκολλάται στα τοιχώματα του καλούπιού παίρνοντας έτσι το επιθυμητό σχήμα. Στη συνέχεια το δοχείο ψύχεται και ελευθερώνεται. Η τρίτη και τελευταία κατηγορία μηχανών είναι οι μηχανές τύπου «Φουσκωτικές» (“Stretch”). Αυτές οι μηχανές λειτουργούν όπως τις μηχανές τύπου Blow με τη διαφορά ότι ο πλαστικός σωλήνας εκτός από πιεσμένο αέρα δέχεται παράλληλα και κάποιες δυνάμεις που του προκαλούν επιμήκυνση όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3. Το αποτέλεσμα είναι το παραγόμενο δοχείο να εφαρμόζει πιο καλά στο καλούπι και να έχει τοιχώματα ομοιομόρφου πάχους.



Σχήμα 1.2: Ενδεικτικό γράφημα του τρόπου λειτουργίας των μηχανών τύπου «Φουσκωτικές» (“Stretch”).

Από τις 19 μηχανές που διαθέτει το εργοστάσιο οι εννέα τύπου Injection, οι πέντε είναι τύπου Blow και οι πέντε τύπου Stretch.

2.3.2 Δυναμικότητα και κατανάλωση μηχανών

Όλες οι προαναφερθείσες μηχανές λειτουργούν με πίεση και υποστηρίζουν καλούπια που απαιτούν συγκεκριμένη «Δύναμη Σύσφιξης» (“Clamping force”). Η πίεση κάθε μηχανής παρέχεται από ειδικές πρέσες. Η μέγιστη Δύναμη Σύσφιξης («ΔΣ») που υποστηρίζει κάθε μηχανή παρέχεται από τον κατασκευαστή. Η ΔΣ ποικίλει τόσο ανάμεσα στις μηχανές διαφορετικού τύπου όσο και μεταξύ των μηχανών του ίδιου τύπου. Υπάρχουν δηλαδή μηχανές του ίδιου τύπου που υποστηρίζουν μικρότερα καλούπια από κάποιες άλλες. Κάθε μηχανή υποστηρίζεται επίσης από ανεξάρτητες ψυκτικές μηχανές, τους «Ψύκτες» (“Chillers”), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη ψύξη, τόσο των καλουπιών για σκοπούς στερεοποίησης του πλαστικού, όσο και των ίδιων των μηχανών για αποφυγή υπερθέρμανσης. Όλες οι μηχανές συμπεριλαμβανομένων των πρέσων και των ψυκτικών μονάδων καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Κατά κανόνα ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη ΔΣ υποστηρίζει μια μηχανή τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνει. Η συνολική κατανάλωση σε ηλεκτρικό ρεύμα κάθε μηχανής μετριέται σε KWh (ωριαίο κιλοβάτ) και υπολογίζεται ως το άθροισμα της κατανάλωσης της ίδια της μηχανής, της πρέσας που υποστηρίζει τη μηχανή και του ψύκτη.

2.4 Τα καλούπια

Τα πλαστικά δοχεία που παράγει το εργοστάσιο δύναται να αποτελούνται από περισσότερα από ένα μέρη (π.χ. φιάλη και πώμα). Το κάθε μέρος κατασκευάζεται από διαφορετικό καλούπι. Τα καλούπια είναι μεταλλικά. Το κάθε καλούπι μπορεί να αποτελείται από διάφορα μικρότερα τμήματα τα οποία σχεδιάζονται ξεχωριστά και κατόπιν συναρμολογούνται. Η κατασκευή ενός καλουπιού προϋποθέτει αρκετό κόστος αφού η πρώτη ύλη για την κατασκευή του είναι ιδιαίτερα ακριβή. Επιπλέον, το κάθε μέρος του καλουπιού απαιτεί αρκετές ώρες σχεδιασμού ο οποίος επιτυγχάνεται με διάφορα πακέτα σχεδιαστικού λογισμικού. Τόσο οι άδειες χρήσεις του λογισμικού (software licensing), όσο και ο χρόνος που απαιτείται για τη σχεδίαση ενός ολοκληρωμένου καλουπιού αποτελούν παράγοντες που ανεβάζουν το κόστος ανά μονάδα προϊόντος το οποίο αντανακλάται εν τέλει στην τιμή του προϊόντος. Αντίθετα με άλλες εταιρίες του κλάδου οι οποίες επέλεξαν να αναθέτουν σε τρίτες εξειδικευμένες εταιρίες το σχεδιασμό των καλουπιών, ο κ. Νίκος έχει επενδύσει τόσο στο λογισμικό σχεδιασμού, όσο και στις εξειδικευμένες μηχανές χάραξης και εγκοπής των καλουπιών έτσι ώστε να μπορεί να κατασκευάζει ο ίδιος τα καλούπια του. Η επένδυση αφορά επίσης και το ανθρώπινο δυναμικό αφού το εργοστάσιο εργοδοτεί σε μόνιμη βάση ένα σχεδιαστή που είναι ταυτόχρονα και χειριστής των μηχανών κατασκευής των καλουπιών. Λόγω του ότι οι περισσότερες παραγγελίες που δέχεται το εργοστάσιο αφορούν σχήματα δοχείων που μπορούν να γίνουν με επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων καλουπιών - καθαρά λόγω επιλογής των πελατών προς μείωση του κόστους - φαίνεται ότι τα κόστη του εργοστασίου διατηρούνται, όσον αφορά το σχεδιαστικό τμήμα, σε χαμηλά επίπεδα και δεν φαίνεται να επιδέχονται οποιασδήποτε βελτιστοποίησης.

Τα χαρακτηριστικά κάθε καλουπιού προσδιορίζουν τον τύπο και το μέγεθος της μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της παραγγελίας. Κάθε καλούπι μπορεί να εκτελεστεί μόνο από ένα τύπο μηχανής. Δύναται όμως να υπάρχουν περισσότερες από μια επιλογές μηχανών του ίδιου τύπου που να μπορούν να εκτελέσουν το καλούπι. Υποψήφιος μηχανές είναι αυτές που μπορούν να παρέχουν τη ΔΣ που απαιτεί το καλούπι βάσει των προδιαγραφών του.

Τα χαρακτηριστικά του καλουπιού καθορίζουν επίσης τον αριθμό των εργαζομένων που πρέπει να επιβλέπουν τις μηχανές. Δηλαδή, κάθε καλούπι ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του και τον τύπο της μηχανής για την οποία προορίζεται, απαιτεί κάποιας μορφής επίβλεψη από το προσωπικό. Κάθε καλούπι έχει διαφορετικές απαιτήσεις επίβλεψης. Η επίβλεψη είναι αναγκαία για απομάκρυνση τυχόν ελαττωματικών δοχείων από τη μηχανή, απομάκρυνση τυχόν πλαστικού που μπορεί να προσκολληθεί σε τμήματά της και να μπλοκάρει τη λειτουργία της, εκ νέου ρύθμιση της μηχανής σε περίπτωση αποσυγχρονισμού κ.α.

2.5 Οι παραγγελίες

Το εργοστάσιο δέχεται παραγγελίες για κατασκευή πλαστικών από διάφορους ντόπιους πελάτες. Παρόλο που μια παραγγελία ενός πελάτη μπορεί να αφορά περισσότερα από ένα προϊόντα, κάθε προϊόν αντιμετωπίζεται σαν ξεχωριστή παραγγελία. Στις περιπτώσεις δε που το προϊόν αποτελείται από περισσότερα από ένα μέρη, τότε το κάθε μέρος εισάγεται σαν ξεχωριστή παραγγελία. Στην παραγγελία καταγράφεται και η ποσότητα του προϊόντος που επιθυμεί ο πελάτης. Οι παραγγελίες πρέπει να διεκπεραιώνονται εντός προσυμφωνημένων χρονοδιαγραμμάτων που καθορίζονται βάσει των απαιτήσεων του πελάτη και του φόρτου εργασίας του εργοστασίου. Πέραν των παραγγελιών που υποβάλλονται από τους πελάτες, το εργοστάσιο παράγει περιοδικά σε εποχές μη αιχμής συγκεκριμένα προϊόντα που έχουν ζήτηση σε μεγάλες ποσότητες τις οποίες διατηρεί στο απόθεμα του για να καλύψει τις ανάγκες σε περιόδους αιχμής.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω του αυξημένου κόστους κατασκευής των καλουπιών, πολλές παραγγελίες αφορούν, λόγω επιλογής του ιδίου του πελάτη, σχήματα δοχείων από την γκάμα που ήδη διαθέτει το εργοστάσιο.

2.5 Το ανθρώπινο δυναμικό και το ωράριο.

Οι εργαζόμενοι είναι περιορισμένοι σε αριθμό και εργάζονται σε βάρδιες. Κάθε βάρδια έχει διαφορετική χρονική διάρκεια και απασχολεί διαφορετικό αριθμό εργαζομένων. Στην παρούσα φάση το εργοστάσιο εργοδοτεί 11 υπαλλήλους οι οποίοι ασχολούνται αποκλειστικά

με την επίβλεψη των μηχανών όσο αυτές βρίσκονται σε λειτουργία. Σε περιόδους αυξημένης ζήτησης εργοδοτούνται επιπλέον υπάλληλοι με όρους μερικής απασχόλησης. Οι βάρδιες χωρίζονται ως εξής:

- I. Από τις 6:00 με 16:00. Σύνολο 10 ώρες απασχόληση.
- II. Από τις 16:00 με 24:00. Σύνολο 8 ώρες απασχόληση
- III. Από τις 00:00 με 6:00. Σύνολο 6 ώρες απασχόληση

Στην πρώτη βάρδια που είναι η πρωινή απασχολούνται 6 υπάλληλοι, στη δεύτερη 3 και στην τρίτη 2 υπάλληλοι. Το εργοστάσιο ακολουθεί πενθήμερο πρόγραμμα λειτουργίας και είναι ανοικτό μεταξύ Δευτέρας και Παρασκευής.

Για να ξεκινήσει μια παραγγελία να εκτελείται θα πρέπει πρώτα να ανοιχτεί η σχετική μηχανή και να αφαιρεθεί το καλούπι που χρησιμοποιήθηκε στην αμέσως προηγούμενη παραγγελία. Ακολούθως θα πρέπει να καθαριστούν τα διάφορα τμήματα της μηχανής από τυχόν κατάλοιπα πλαστικού και χρώματος και μετά να τοποθετηθεί το νέο καλούπι και το νέο χρώμα για να επανεκκινήσει η μηχανή. Λόγω του μεγάλου βάρους των καλουπιών αλλά και για σκοπούς ασφάλειας απαιτείται να είναι αρκετά άτομα παρόν κατά την φάση αλλαγής του καλουπιού. Ως εκ τούτου η αλλαγή γίνεται συνήθως κατά την πρωινή βάρδια. Κατά τη δεύτερη βάρδια λόγω του ότι το προσωπικό δεν επαρκεί για την επίβλεψη των μηχανών που είναι ήδη σε λειτουργία από την πρώτη βάρδια, μερικές μηχανές σταματούν. Στην τρίτη βάρδια που το προσωπικό είναι ακόμη λιγότερο σε αριθμό ενδεχομένως να σταματήσουν και άλλες μηχανές. Οι μηχανές επανεκκινούν το επόμενο πρωί και συνεχίζουν με το ίδιο πρόγραμμα μέχρι να διεκπεραιωθεί η παραγγελία που εκτελούν. Αν μια παραγγελία διεκπεραιωθεί κατά τη διάρκεια της δεύτερης ή της τρίτης βάρδιας η σχετική μηχανή παραμένει συνήθως ανενεργή μέχρι το επόμενο πρωί για τους λόγους που προαναφέρθηκαν πιο πάνω.

Προσπάθεια του εργοστασίου είναι όπως όταν μια παραγγελία μπει σε παραγωγή να μην διακόπτεται παρά μόνο όταν τελειώσει. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που μια παραγγελία μπορεί να διακοπεί. Λεπτομερέστερη καταγραφή των συγκεκριμένων περιπτώσεων ακολουθεί στο Κεφάλαιο 3.

Κεφάλαιο 3. Ορισμός του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού

3.1 Ελαστικές και ανελαστικές δαπάνες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος λειτουργίας του εργοστασίου είναι:

- I. Το ανακυκλώσιμο πλαστικό.
- II. Το χρώμα.
- III. Τα ανθρώπινο δυναμικό και
- IV. Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι μηχανές επεξεργασίας του πλαστικού μαζί με τις πρέσες και τις ψυκτικές μονάδες.

Εφόσον οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των πλαστικών είναι απόλυτα ανακυκλώσιμες δεν φαίνεται να υπάρχουν οποιαδήποτε περιθώρια ελαχιστοποίησης του σχετικού κόστους στον τομέα αυτό. Σύμφωνα με τον κ. Νίκο ούτε στο θέμα του ανθρώπινου δυναμικού υπάρχουν περιθώρια μείωσης του κόστους αφού στις περιπτώσεις που κάποιες μηχανές μένουν ανενεργές για κάποια περίοδο το προσωπικό του εργοστασίου απασχολείται με άλλες εργασίες όπως είναι ο καθαρισμός των χώρων του εργοστασίου και των μηχανών, η αποθήκευση και παράδοση των πλαστικών κ.α.

Η μοναδική δαπάνη που κρίνεται ως ελαστική και χρήζει ελαχιστοποίησης είναι η δαπάνη για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Συγκεκριμένα το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος αφορά περίπου το 60-70% του συνολικού κόστους παραγωγής του εργοστασίου. Ο λόγος που η συγκεκριμένη δαπάνη κρίνεται ως ελαστική οφείλεται στην πρακτική τιμολόγησης που ακολουθεί η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ). Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των μονάδων μέτρησης και του τρόπου υπολογισμού της κατανάλωσης σε ηλεκτρικό ρεύμα και της πρακτικής κοστολόγησής του από την ΑΗΚ.

3.2 Μονάδες μέτρησης ηλεκτρικού ρεύματος

Ακολουθούν οι βασικές μονάδες μέτρησης της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος:

1. **Φαινόμενη ή Συνολική ισχύς (S)** : Η Φαινόμενη ισχύς είναι η συνολική ενέργεια που απαιτείται από μια συσκευή ανά μονάδα χρόνου και μετριέται σε κιλοβολταμπέρ (KVA). Το σύνολο της φαινόμενης ισχύος μιας συσκευής χωρίζεται σε δύο υποσύνολα: την **ενεργό ισχύ (P)** και την **άεργο (Q)**.
2. **Ενεργός ισχύς (P)** : Η ενεργός ισχύς είναι η ηλεκτρική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που παράγει πραγματικό έργο και μετριέται σε κιλοβάτ (kW). Με τον όρο «πραγματικό έργο» εννοείται το σύνολο της ενέργειας που τελικά μετατρέπεται, σε ωφέλιμο έργο.
3. **Άεργος ισχύς (Q)** : Η άεργος ισχύς μετριέται σε κιλοβολταμπέρ (reactive power) (kVAr). Ονομάζεται άεργος ισχύς διότι σε αντίθεση με την ενεργό ισχύ δεν μετατρέπεται σε έργο, αλλά αντανακλάται από τη συσκευή και επιστρέφει στο ηλεκτρικό δίκτυο με διαφορετική μορφή. Η άεργος ισχύς είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες, ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας. Από τις συσκευές που δημιουργούν άεργο ισχύ, είναι κυρίως αυτές με επαγωγική συμπεριφορά, δηλαδή αυτές που ενσωματώνουν πηνία, π.χ. κινητήρες, φωτιστικά φθορίου, μετασχηματιστές, κλιματιστικά κτλ.
4. **Συντελεστής Ισχύος (Power Coefficient)**: Ο Συντελεστής Ισχύος («SI») είναι η αναλογία της ενεργού ως προς τη συνολική φαινόμενη ισχύ και δείχνει πόσο αποδοτική είναι μια μηχανή. Ο SI παίρνει τιμές από 0 έως 1 και αναγράφεται στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ. Όσο η τιμή του προσεγγίζει τη μονάδα τόσο πιο αποδοτική είναι μια συσκευή. Για παράδειγμα, για μια συσκευή που έχει SI 0,9 η κατανάλωση συνολικής ισχύος 1KVA ισοδυναμεί σε όρους ενεργούς ισχύος με 1,1KW.

3.3 Τρόπος υπολογισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος

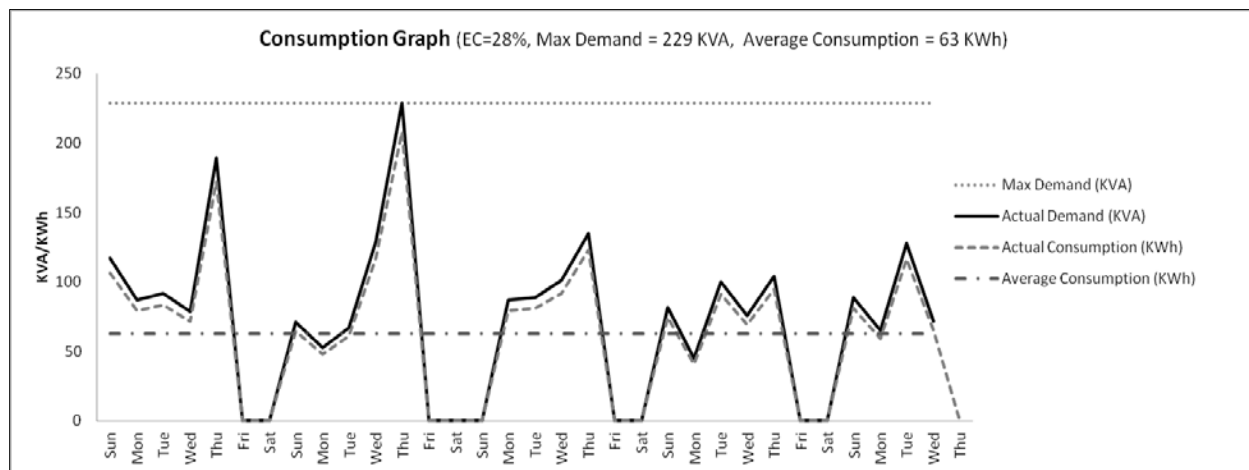
Βάσει της τιμολογιακής πολιτικής που ακολουθεί ΑΗΚ – η οποία ισχύει για τη συντριπτική πλειοψηφία των εταιριών της κυπριακής βιομηχανίας – η κοστολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται ως ακολούθως:

- I. Κοστολογείται ξεχωριστά η πραγματική κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε μονάδες ενεργούς ισχύος. Καταγράφεται δηλαδή στο τέλος κάθε μήνα από τους μετρητές της ΑΗΚ η συνολική κατανάλωση του υποστατικού σε μονάδες ωριαίου κιλοβάτ (KWh) και αναλόγως της τρέχουσας τιμής της κιλοβατώρας υπολογίζονται οι χρεώσεις. Η τρέχουσα τιμή της κιλοβατώρας επηρεάζεται, μεταξύ άλλων, και από τους όρους του συμβολαίου που διατηρεί ο πελάτης με την ΑΗΚ.
- II. Πέραν της πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος ο πελάτης επιβαρύνεται, αναλόγως του συμβολαίου του, με επιπρόσθετες σημαντικές χρεώσεις στη βάση της **Μέγιστης Ζήτησης** (Maximum Demand). Η Μέγιστη Ζήτηση («ΜΖ») μετριέται σε μονάδες συνολικής ισχύος και αυτό γιατί όλες οι συσκευές, αναλόγως του συντελεστή ισχύος τους καταναλώνουν τόσο άεργο, όσο και ενεργό ισχύ. Ακολουθεί περιγραφή του τρόπου μέτρησης της Μέγιστης Ζήτησης η οποία μας απασχολεί ιδιαίτερα στην παρούσα εργασία.

3.3.1 Η Μέγιστη Ζήτηση

Για σκοπούς υπολογισμού της ΜΖ οι μετρητές της ΑΗΚ καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο, ανά 20 λεπτά, τη ζήτηση του εργοστασίου σε φαινόμενη ισχύ κατά τη διάρκεια του μήνα. Ενδεικτικά, αν ο μήνας έχει 30 μέρες, κατά τη διάρκεια του θα καταγραφούν 2.160 διαφορετικές μετρήσεις. Στο τέλος του μήνα υπολογίζεται η ψηλότερη τιμή ανάμεσα στις μετρήσεις. Αυτή η τιμή η οποία μετριέται σε KVA αποτελεί τη ΜΖ και κοστολογείται με τιμή περίπου 100 φορές μεγαλύτερη από την τρέχουσα τιμή της KWh. Αυτό σημαίνει ότι μια στιγμιαία αιχμή (spike) στο γράφημα κατανάλωσης του εργοστασίου θα ήταν αρκετή για να εκτοξεύσει το λογαριασμό στα ύψη ακόμα και αν εκδηλωνόταν μόνο για μερικά δευτερόλεπτα. Στο Σχήμα 3.1 πιο κάτω φαίνεται ένα ενδεικτικό γράφημα κατανάλωσης

ηλεκτρικού ρεύματος του εργοστασίου. Στο πάνω μέρος του γραφήματος φαίνεται η τιμή της ΜΖ. Είναι η ευθεία γραμμή που τέμνει το γράφημα της κατανάλωσης στη ψηλότερη κορυφή του. Παρατηρούμε ότι το γράφημα δεν είναι καθόλου ομαλό αλλά παρουσιάζει αυξομειώσεις.



Σχήμα 3.1: Ενδεικτικό γράφημα της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος του εργοστασίου

Συγκεκριμένα, τα σαββατοκύριακα που το εργοστάσιο είναι κλειστό η ζήτηση είναι στο μηδέν ενώ τις υπόλοιπες μέρες υπάρχουν σοβαρές διακυμάνσεις. Φαίνεται επίσης ότι η συνολική ισχύς που απαιτεί το εργοστάσιο μεταφράζεται σε μεγάλο βαθμό σε ενεργό ισχύ αφού τα γραφήματα της πραγματικής ζήτησης σε KVA και της πραγματικής κατανάλωσης σε KWh σχεδόν αλληλεπικαλύπτονται. Αυτό δείχνει ότι το εργοστάσιο έχει αρκετά ψηλό ΣΙ που ξεπερνά το 0,9. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Όπως διαφάνηκε από τη μελέτη της υποδομής του εργοστασίου το 10% της συνολικής ισχύος που παραμένει άεργη οφείλεται κυρίως στα κλιματιστικά του εργοστασίου και όχι τόσο στις ίδιες τις μηχανές παραγωγής των πλαστικών.

Η διακεκομμένη ευθεία που τέμνει το γράφημα περίπου στο μέσο του αντιπροσωπεύει τη **Μέση Κατανάλωση («ΜΚ»)** σε KWh. Για τον υπολογισμό της ΜΚ η ΑΗΚ λαμβάνει υπόψη όλες τις μέρες του μήνα συμπεριλαμβανομένων και των σαββατοκύριακων. Η συγκεκριμένη τιμή δείχνει πόση θα ήταν η ΜΖ αν το εργοστάσιο είχε συνολικά την ίδια μηνιαία κατανάλωση σε KWh αλλά χωρίς καθόλου διακυμάνσεις μεταξύ των ημερών. Ο λόγος της ΜΚ προς την ΜΖ

αποτελεί το **Συντελεστή Φορτίου (Efficiency Coefficient)** όπως φαίνεται στη σχέση 1. Για τον υπολογισμό του Συντελεστή Φορτίου («ΣΦ») η ΜΖ μεταφράζεται σε μονάδες KWh με τη χρήση του Συντελεστή Ισχύος.

$$\Sigma\Phi = \frac{\text{ΜΧση ΚατανΦλωση (KWh)}}{\text{ΜεγιστΨ ΖΨτηση (KWh)}} = \frac{\frac{\text{ΣυνολικΨ ΜΨνια ΚατανΦλωση (KWh)}}{\text{ΗμΧρες} * 24}}{\text{ΜεγιστΨ ΖΨτηση (KVA)} * \text{ΣυντελεστΨς Ισχύος}} \quad (1)$$

Ο ΣΦ δείχνει το πόσο ασταθής ή σταθερή είναι η ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ψηλές τιμές κοντά στη μονάδα υποδηλώνουν σταθερή ζήτηση ενώ τιμές κάτω από 0,5 δείχνουν σημαντικές αστάθειες. Είναι πρόδηλο από τα στοιχεία του Πίνακα 3.2 ότι το εργοστάσιο παρουσιάζει πολύ χαμηλό ΣΦ με μέση τιμή γύρω στο 0,35. Αυτό σημαίνει ότι κατά κανόνα η μηνιαία τιμή της ΜΖ αποκλίνει πολύ από την τιμή της ΜΚ.

Electricity Consumption Statistics	Μαρ-11	Ιουν-11	Ιουλ-11	Αυγ-11
Power Coefficient	0.87	0.91	0.91	0.9
Max demand (KVA)	216	263	244	229
Max demand (KWh)	188	239	222	206
Average consumption (KWh)	65.1	81.7	88.8	58.6
Efficiency Coefficient	35%	34%	40%	28%
Consumption (KWh)	54716	64711	61812	43562
Price (KVA)	14.10 €	14.10 €	14.10 €	14.10 €
Price (KWh)	0.1037 €	0.1037 €	0.1037 €	0.1037 €
Cost – Actual	9,752 €	11,633 €	11,016 €	8,475 €
Cost - Straight-Line	7,739 €	9,173 €	8,670 €	5,973 €
Savings	2,012 €	2,460 €	2,346 €	2,502 €
Savings (%)	21%	21%	21%	30%

Πίνακας 3.2: Μηνιαίοι Λογαριασμοί της ΑΗΚ για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του εργοστασίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 η ΑΗΚ χρεώνει όλες τις βιομηχανίες της Κύπρου στη βάση της ΜΖ. Συγκεκριμένα, πέραν της χρέωσης για κάθε μονάδα πραγματικής κατανάλωσης η

ΑΗΚ κοστολογεί επιπρόσθετα την κάθε μονάδα της ΜΖ με τιμή που φτάνει και ξεπερνά κατά εκατό (100) φορές την τρέχουσα τιμή της μονάδας πραγματικής κατανάλωσης. Ο βασικός λόγος που η ΑΗΚ ακολουθεί αυτή την πρακτική τιμολόγησης έγκειται στο γεγονός ότι εφόσον ένα υποστατικό έχει έστω και μία φορά εντός του μήνα αυξημένες απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα, η ΑΗΚ είναι υποχρεωμένη να προσαρμόσει το δίκτυο της και να δεσμεύσει κατά κάποιον τρόπο του πόρους της έτσι ώστε να είναι σε θέση να καλύψει το συγκεκριμένο υποστατικό με την ανάλογη ενέργεια για όλο το μήνα. Αυτό που κοστολογείται δηλαδή είναι η πρόνοια που θα λάβει η ΑΗΚ και η ετοιμότητά της για να καλύψει το εν λόγω υποστατικό σε περίπτωση που επαναληφθούν οι ίδιες απαιτήσεις. Επίσης, ο λόγος που η ΜΖ κοστολογείται σε μονάδες KVA, δηλαδή σε μονάδες συνολικής ισχύος αντί ενεργού ισχύος, οφείλεται στο γεγονός ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι μεγάλες τιμές της ΜΖ πιθανό να οφείλονται σε αυξημένες απαιτήσεις του υποστατικού σε άεργο ισχύ η οποία είναι ανεπιθύμητη αφού προκαλεί προβλήματα στο δίκτυο παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, οι ψηλές κοστολογήσεις ανά μονάδα ΜΖ λειτουργούν ως κίνητρο προς τις βιομηχανίες για να αντικαταστήσουν τις παλιές και λιγότερο αποδοτικές μηχανές τους οι οποίες έχουν χαμηλό ΣΙ με άλλες πιο σύγχρονες και πιο αποδοτικές.

Στον Πίνακα 3.3 κάτω φαίνονται οι όροι του συμβολαίου που διατηρεί το εργοστάσιο με την ΑΗΚ. Συγκεκριμένα το εργοστάσιο έχει επιλέξει διατίμηση βάσει του «Κώδικα 61» ο οποίος προβλέπει σταθερή διατίμηση όλο το εικοσιτετράωρο και κλιμακωτές χρεώσεις βάσει του ΣΦ.

Μηνιαία Διατίμηση Εμπορικής Χρήσης Μέγιστης Ζήτησης Χαμηλής Τάσης Μονής Εγγραφής (Κώδικας 61)			
Σταθερή επιβάρυνση	€11,35		
	Συντελεστής Φορτίου Μηνός (ΣΦ)		
	0-30%	31-60%	61-100%
Για κάθε KVA της μέγιστης ζήτησης του μηνός (00:00 - 24:00), ανάλογα με το ΣΦ του μηνός	€10,51	€11,68	€14,20
Για κάθε παρεχόμενη μονάδα ανάλογα με το ΣΦ του μηνός	11,56 cent	11,04 cent	10,48 cent

Πίνακας 3.3: Ο κώδικας διατίμησης 61 της ΑΗΚ για κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για εμπορική χρήση.

Από τον Πίνακα 3.3 φαίνεται καθαρά ότι κάθε KVA της μέγιστης ζήτησης κοστίζει περίπου 100 φορές ακριβότερα από ότι η παρεχόμενη μονάδα πραγματικής κατανάλωσης. Είναι ξεκάθαρο επομένως ότι όσο πιο ασταθής είναι ζήτηση τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τιμή της MZ η οποία θα αντανακλάται εν τέλει στον τελικό λογαριασμό τις ΑΗΚ με τη μορφή σημαντικών επιπλέον χρεώσεων. Αυτό το συμπέρασμα ισχύει ανεξαρτήτως από τη κλιμάκωση της διατίμησης λόγω ΣΦ. Η εκμετάλλευση της κλιμακωτής διατίμησης μπορεί να επιφέρει μικρά επιπλέον οφέλη. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον εν λόγω πίνακα όσο πιο σταθερή είναι η ζήτηση τόσο πιο ακριβή είναι η τιμή της KVA ενώ αντίθετα τόσο πιο φτηνή είναι η τιμή της KWh. Με απλούς υπολογισμούς μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι μια ψηλή τιμή του ΣΦ είναι πάντα συμφέρουσα. Αυτό ισχύει κατά κανόνα αφού σε περίπτωση που ο ΣΦ είναι ψηλά, η τιμή της MZ αναμένεται να είναι χαμηλά κοντά στη MK και άρα οι επιβαρύνσεις από την αυξημένη τιμή της KVA θα είναι πολύ μικρότερες από τα οφέλη λόγω της μείωση της τιμής της KWh, ειδικά για ένα υποστατικό που καταναλώνει μηνιαία κατά μέσο όρο 55 με 60 χιλιάδες KWh. Στην τρίτη γραμμή του Πίνακα 3.2 από το τέλος φαίνεται το πραγματικό κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος που έχει πληρώσει ο επιχειρηματίας στην ΑΗΚ για συγκεκριμένους μήνες. Στην αμέσως επόμενη γραμμή φαίνονται οι υποθετικές χρεώσεις που θα είχε το εργοστάσιο για την ίδια κατανάλωση αλλά με σταθερή ζήτηση, δηλαδή με $\Sigma\Phi=1$, ενώ στην τελευταία γραμμή υπολογίζονται οι συνεπακόλουθες εξοικονομήσεις σε ευρώ. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς οι εξοικονομήσεις από την ευθυγράμμιση της ζήτησης κυμαίνονται από 20 μέχρι 30 τις εκατό.

3.4 Οι στόχοι της μελέτης για μείωση του κόστους κατανάλωσης

Όπως έχει διαφανεί από την αξιολόγηση των δεδομένων του εργοστασίου ουσιαστικές μειώσεις στο κόστος λειτουργίας του εργοστασίου μπορούν να επιτευχθούν μόνο μέσω μιας αλλαγής στον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου που θα αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στη βάση των δεδομένων προκαθορίζει ο Κώδικας 61.

Βάσει των δεδομένων του εν λόγω κώδικα διατίμησης η μείωση στην κατανάλωση μπορεί επέλθει με τους ακόλουθους δύο τρόπους:

1. Με αύξηση του ΣΦ έτσι ώστε να προσεγγίζει τη μονάδα, ή διαφορετικά, με MZ κοντά στη MK.
2. Με μείωση της MK στο ελάχιστο δυνατό.

Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι ο στόχος του ψηλού ΣΦ από μόνος του δεν επαρκεί για να φέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο λόγος είναι ότι ψηλός ΣΦ δεν συνεπάγεται κατά ανάγκη και χαμηλή MZ, αλλά αντίθετα, MZ που να είναι κοντά στη MK. Οπότε, αν κρατήσουμε σταθερή τη MZ και αυξήσουμε τη MK - αυτό θα μπορούσε να συμβεί αν ο ιδιοκτήτης του εργοστασίου αποφάσιζε να χρησιμοποιεί αποκλειστικά τις λιγότερο αποδοτικές μηχανές του εργοστασίου – ο στόχος του ψηλού ΣΦ θα επιτευχθεί με αρνητικό όμως αντίκτυπο στα τέλη κατανάλωσης λόγω αυξημένης χρήσης των πιο απαιτητικών μηχανών.

3.5 Στρατηγικές επίτευξης των στόχων

Για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν πιο πάνω, η προσπάθεια θα πρέπει να στοχεύει αφενός, στην αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών και αφετέρου, στην εξομάλυνση του γραφήματος κατανάλωσης. Η αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών θα επιφέρει την επιθυμητή μείωση της MK ενώ η εξομάλυνση του γραφήματος κατανάλωσης την αύξηση του ΣΦ.

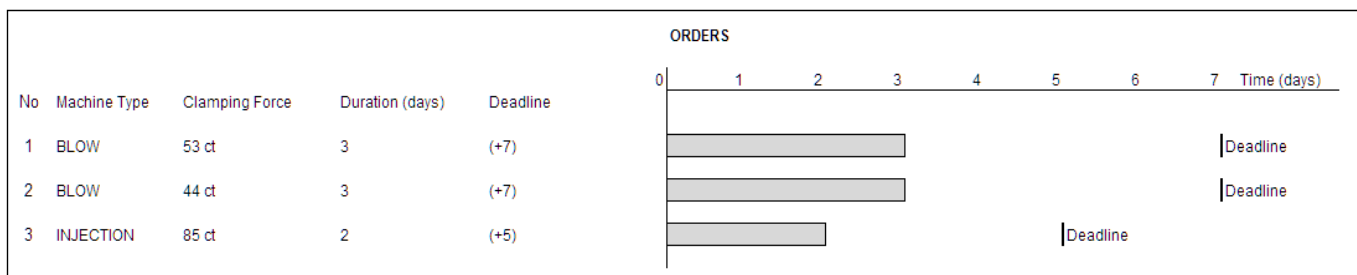
Όσον αφορά την εξομάλυνση του γραφήματος κατανάλωσης, αυτή μπορεί να επιτευχθεί κυρίως μέσω περιορισμού του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των μηχανών, δηλαδή με σταθεροποίηση του αριθμού των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα για όλη τη διάρκεια του μήνα. Πέραν του σταθερού αριθμού, θα πρέπει οι μηχανές που θα λειτουργούν παράλληλα να επιτυγχάνουν αθροιστικά τη χαμηλότερη δυνατή MZ και να μπορούν να τη διατηρήσουν για όλη τη διάρκεια του μήνα. Δηλαδή, θα πρέπει να εξευρεθεί μία λύση στην οποία να τρέχουν παράλληλα διαφορετικών απαιτήσεων μηχανές, π.χ. οι πολύ απαιτητικές μηχανές θα πρέπει να συνδυαστούν με τις λιγότερες απαιτητικές και αντίστροφα. Ως εκ τούτου οι δύο στόχοι που τέθηκαν αρχικά μπορούν να μεταφραστούν σε απαιτήσεις χρονοπρογραμματισμού ως ακολούθως:

1. Αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών στο μέγιστο δυνατό.

2. Διατήρηση ενός σταθερού αριθμού μηχανών που τρέχουν παράλληλα για όλη τη διάρκεια του τρέχοντα μήνα.
3. Ελαχιστοποίηση της συνολικής αθροιστικής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος των μηχανών που τρέχουν παράλληλα.

3.6 Αξιολόγηση των στρατηγικών και ιεράρχηση των στόχων

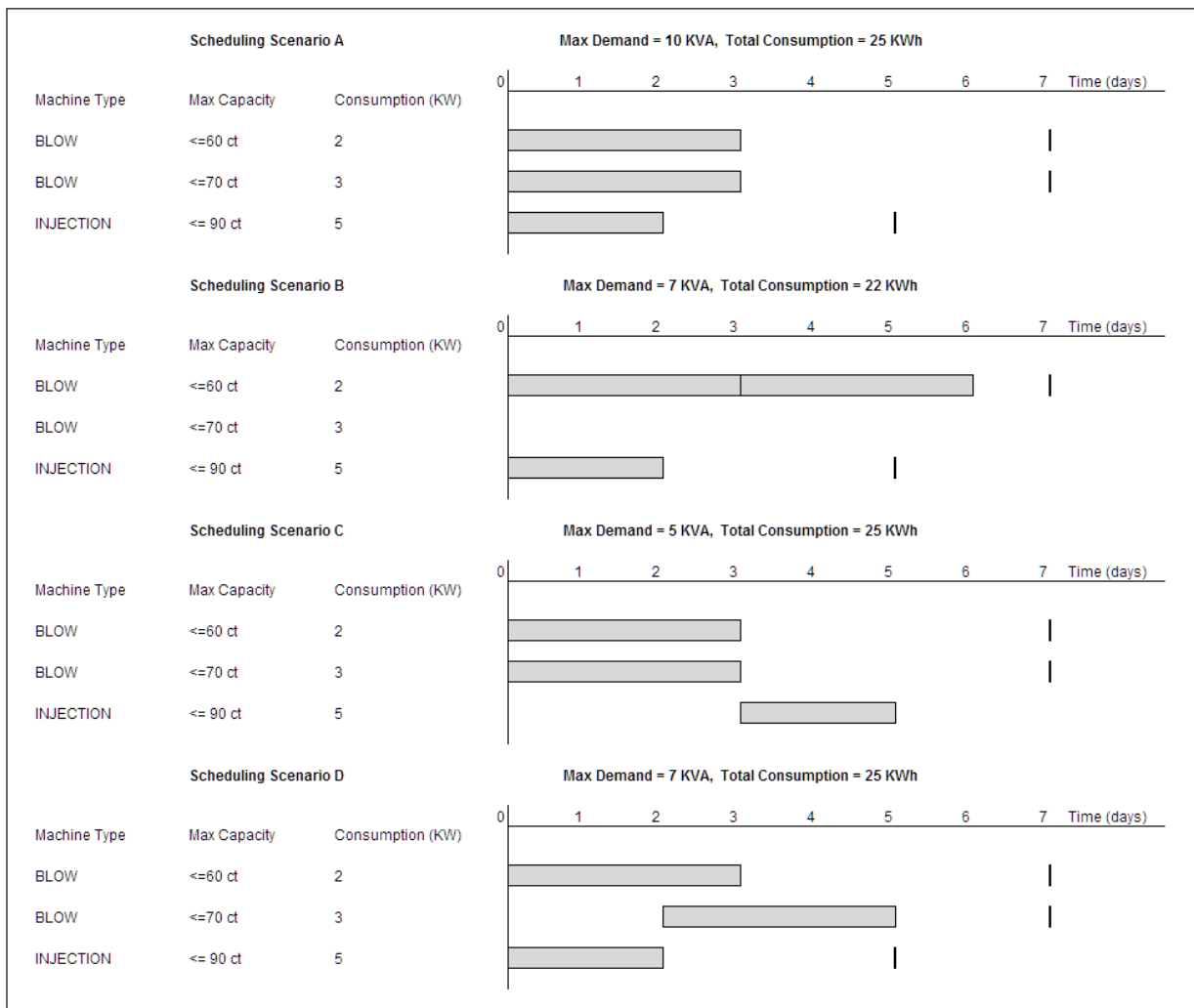
Ακόμα και από πρόχειρους υπολογισμούς μπορεί κάποιος εύκολα να αντιληφθεί ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας στην ελαχιστοποίηση του κόστους κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η διατήρηση για όλη τη διάρκεια του μήνα ενός σταθερού αριθμού μηχανών που τρέχουν παράλληλα. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και στο Σχήμα 3.3 το οποίο παρουσιάζει κάποια σενάρια που επιδεικνύουν τη σημαντικότητα των πιο πάνω παραγόντων ως προς το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα της μείωσης του κόστους κατανάλωσης.



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα παραγγελιών που δέχεται το εργοστάσιο με τα χαρακτηριστικά τους.

Συγκεκριμένα, το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει 3 παραγγελίες του εργοστασίου με κάποια από τα χαρακτηριστικά τους. Στη δεύτερη στήλη του πίνακα φαίνεται ο τύπος της μηχανής που μπορεί να εκτελέσει την παραγγελία. Η ΔΣ που απαιτεί η παραγγελία φαίνεται στην τρίτη στήλη του πίνακα. Στην αμέσως επόμενη στήλη φαίνεται η διάρκεια της κάθε παραγγελίας. Αυτή υπολογίζεται από την ποσότητα του προϊόντος που καθορίζεται στην παραγγελία και από τα χαρακτηριστικά του καλουπιού και είναι η ίδια ανεξαρτήτως σε ποια μηχανή θα εκτελεστεί η παραγγελία. Στην τελευταία στήλη φαίνονται οι χρόνοι παράδοσης των παραγγελιών που έχουν τεθεί από την ημέρα που υποβλήθηκαν οι παραγγελίες (ημέρα υποβολής $t=0$). Δίπλα από τον πίνακα φαίνεται γραφικά η διάρκεια κάθε παραγγελίας και οι χρόνοι παράδοσης.

Στο Σχήμα 3.4 που ακολουθεί φαίνονται τέσσερα πιθανά σενάρια χρονοπρογραμματισμού των τριών παραγγελιών. Για τους σκοπούς του παραδείγματος υποθέτουμε ότι το εργοστάσιο διαθέτει τρεις μηχανές. Συγκεκριμένα, 2 μηχανές τύπου Blow με ελάχιστη ΔΣ 60 και 70 ct αντίστοιχα και μία μηχανή τύπου Injection με ελάχιστη ΔΣ 90 ct. Οι δύο παραγγελίες του Σχήματος 3.3 που προορίζονται για μηχανές τύπου Blow απαιτούν ΔΣ 53 και 44 ct αντίστοιχα που σημαίνει ότι και οι δύο μηχανές τύπου Blow μπορούν να αποτελέσουν επιλογή για την εκτέλεση και των δύο παραγγελιών. Για την τρίτη παραγγελία υπάρχει μόνο μια επιλογή μηχανής.



Σχήμα 3.4: Τέσσερα ενδεικτικά σενάρια χρονοπρογραμματισμού των παραγγελιών του σχήματος 3.3

Στο σενάριο A ο χρονοπρογραμματισμός ακολουθεί την αρχή ότι οι παραγγελίες εκτελούνται το συντομότερο δυνατό εφόσον υπάρχει διαθέσιμη μηχανή που μπορεί να τις εκτελέσει. Βάσει

της αρχής αυτής, και δεδομένου ότι στο παράδειγμα μας καμία μηχανή δεν είναι κατειλημμένη στο χρόνο 0, οι τρεις παραγγελίες μπαίνουν παράλληλα για εκτέλεση στις τρεις διαθέσιμες μηχανές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η MZ να φτάσει τα 10 KVA και η συνολική κατανάλωση τα 25 KWh.

Στα υπόλοιπα τρία σενάρια που ακολουθούν γίνεται προσπάθεια να μειωθεί ο αριθμός των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα. Ο χρονοπρογραμματισμός και στα τρία σενάρια ακολουθεί τη λογική ότι με το που τελειώνει μια παραγγελία, θα πρέπει τουλάχιστον να ξεκινά μια άλλη ανεξαρτήτως σε ποια μηχανή θα εκτελεστεί. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχουν κενά στην εκτέλεση των παραγγελιών αφού ανά πάσα στιγμή τουλάχιστον μια μηχανή θα βρίσκεται σε λειτουργία και άρα θα αποφευχθούν μηδενικές τιμές στο γράφημα κατανάλωσης οι οποίες αποτελούν πηγή αστάθειας. Πέραν τούτου, ο χρονοπρογραμματισμός θα πρέπει διασφαλίζει ότι όλες οι παραγγελίες θα πρέπει να διεκπεραιωθούν και να παραδοθούν εμπρόθεσμα. Βλέπουμε ότι και στα τρία σενάρια ο αριθμός των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα μειώνεται από τρεις σε δύο. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της MZ από 3 μέχρι 5 KVA, που ισοδυναμεί με 30% ως 50% αναλόγως σεναρίου. Αυτό δείχνει πόσο σημαντική είναι η δεύτερη απαίτηση που έχει τεθεί για μείωση των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα.

Όσον αφορά την πρώτη απαίτηση που θα πρέπει να τηρούν οι λύσεις χρονοπρογραμματισμού που θα προταθούν, αυτή δηλαδή της αξιοποίησης των πιο οικονομικών μηχανών, επιτυγχάνεται στο σενάριο Β όπου αξιοποιείται αποκλειστικά η πιο οικονομική εκ των δύο μηχανών τύπου Blow για την εκτέλεση και των δύο παραγγελιών. Αυτό μεταφράζεται σε συνολική κατανάλωση που φτάνει τα 22 KWh, τη χαμηλότερη ανάμεσα στα τέσσερα σενάρια που παρουσιάζονται.

Όσον αφορά την τρίτη απαίτηση, αυτή της ελαχιστοποίησης της αθροιστικής ζήτησης σε ηλεκτρικό ρεύμα, επιτυγχάνεται στο σενάριο Γ όπου ο χρονοπρογραμματισμός είναι τέτοιος που εξασφαλίζει MZ 5 KVA, τη μικρότερη ανάμεσα στα σενάρια. Παρόλα αυτά, βλέπουμε ότι το σενάριο Γ υστερεί ως προς τη συνολική κατανάλωση σε σχέση με το σενάριο Β αφού επιτυγχάνει συνολική κατανάλωση 25 KWh έναντι 22 KWh του σεναρίου Β. Συνεπώς, οι δύο

συγκεκριμένοι στόχοι δύνανται σε κάποιες περιπτώσεις να αλληλοσυγκρούονται οπότε και θα πρέπει να εξευρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ ΜΖ και Συνολικής Κατανάλωσης. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός του συνολικού κόστους του κάθε σεναρίου σε χρηματική αξία βάσει των τιμών που καθορίζει ο Κώδικας 61 για να αποφασιστεί πιο σενάριο είναι το καλύτερο. Παρόλα αυτά, κάποιος θα ανέμενε ότι τέτοιες οριακές συγκρίσεις μπορεί να προκύψουν μόνο μεταξύ σεναρίων που έχουν σχετικά μικρές διαφορές στη ΜΖ και στη Συνολική Κατανάλωση.

Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι παρόλο που η απαίτηση για αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών φαίνεται να περιορίζει σημαντικά τα πιθανά σενάρια χρονοπρογραμματισμού, εντούτοις σε ένα σενάριο με πολλές παραγγελίες οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν σε διάφορες μηχανές τα πράγματα είναι αρκετά πιο περίπλοκα, ειδικά αν λάβει κανείς υπόψη και τα χρονοδιαγράμματα παράδοσης των μηχανών αλλά και τους υπόλοιπους περιορισμούς στους οποίους θα αναφερθούμε στο κεφάλαιο 4.

Όσον αφορά τα σενάρια Γ και Δ φαίνεται ότι πέραν της προσπάθειας για μείωση του αριθμού των μηχανών που τρέχουν παράλληλα, που επιταχύνεται με τη σειριακή εκτέλεση των παραγγελιών, δεν υπάρχει συγκεκριμένη λογική όσον αφορά το χρονοπρογραμματισμό. Δηλαδή η αλληλουχία των παραγγελιών είναι μάλλον τυχαία.

3.7 Η ανάγκη τυχαιότητας στη μέθοδο εξεύρεσης λύσης

Όπως είδαμε πιο πάνω δε φαίνεται να υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας που μπορεί να εφαρμοστεί για να εντοπίσει κανείς την ιδανική αλληλουχία που ελαχιστοποιεί τη ΜΖ όπως προostάζει η τρίτη απαίτηση που έχουμε θέσει. Αντίθετα, θα πρέπει κανείς να δοκιμάσει αρκετούς τυχαίους συνδυασμούς αλληλουχιών για να πετύχει το ιδανικό σενάριο που ελαχιστοποιεί τη ΜΖ. Ο λόγος είναι ότι ακόμα και αν αγνοήσει κανείς τους υπόλοιπους περιορισμούς και επικεντρωθεί αποκλειστικά στις παραγγελίες θα διαπιστώσει ότι ακόμα και κάτω από αυτή την απλούστευση υπάρχουν τρία χαρακτηριστικά των παραγγελιών που επηρεάζουν την αλληλουχία εκτέλεσης τους τα οποία μάλιστα δεν μπορούν να ιεραρχηθούν μεταξύ τους. Τα εν λόγω χαρακτηριστικά αναλύονται πιο κάτω.

1. **Ο χρόνος εκτέλεσης της παραγγελίας:** Η διάρκεια της παραγγελίας υπολογίζεται από την ποσότητα του υποκείμενου προϊόντος και από τα χαρακτηριστικά του καλουπιού.
2. **Η ημερομηνία παράδοσης:** Η προκαθορισμένη ημερομηνία στην οποία θα πρέπει να παραδοθεί η παραγγελία.
3. **Ο χρόνος ελαστικότητας (ΧΕΛ):** Ο χρόνος ελαστικότητας μιας παραγγελίας σε κάποια δεδομένη στιγμή t_0 είναι ο χρόνος που απομένει από το χρόνο διεκπεραίωσης της παραγγελίας μέχρι τον προκαθορισμένο χρόνο παράδοσης της δεδομένου ότι η παραγγελία αρχίζει να εκτελείται στο χρόνο t_0 . Δηλαδή για την παραγγελία i ο ΧΕΛ υπολογίζετε ως ακολούθως:

$$t_{ΧΕΛ_i} = t_{Deadline_i} - (t_0 + t_{Duration_i})$$

Οι παραγγελίες με μεγάλο ΧΕΛ παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία ως προς το χρόνο έναρξής τους.

Οι μεγάλες παραγγελίες θα δεσμεύσουν μια μηχανή για αρκετό χρόνο οπότε, θα μπορούσε να εφαρμοστεί η αρχή ότι, κατά τη διάρκεια που αυτές θα εκτελούνται θα πρέπει να υπάρχουν μειωμένες απαιτήσεις για παράλληλη εκτέλεση άλλων παραγγελιών ή παραγγελιών που απαιτούν τις ίδιες μηχανές και που έχουν μικρότερους χρόνους παράδοσης. Οι παραγγελίες με μικρότερους χρόνους παράδοσης θα μπορούσαν, σαν δεύτερη αρχή, να εκτελούνται πρώτες. Επίσης, σαν τρίτη αρχή, οι παραγγελίες με μεγάλο ΧΕΛ θα μπορούσαν να εκτελούνται όσο πιο κοντά γίνεται στους χρόνους παράδοσής τους έτσι ώστε να αφήνουν περισσότερα περιθώρια χρονοπρογραμματισμού στις υπόλοιπες παραγγελίες με μικρότερο ΧΕΛ.

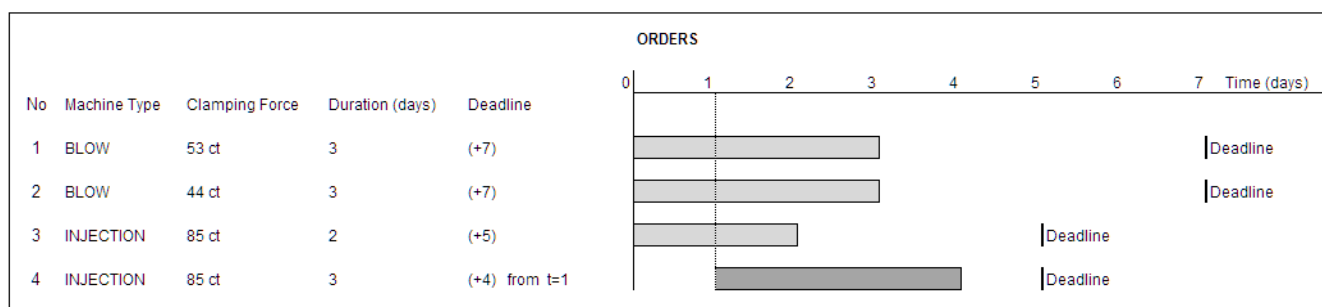
Μετά από κάποιες δοκιμές με περισσότερες από δέκα παραγγελίες μπορεί κάποιος εύκολα να διαπιστώσει ότι η πιθανή υιοθέτηση τέτοιων αρχών στην κατασκευή της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών, εκτός από προβλήματα σύγκρουσης και ιεράρχησης των αρχών, μπορεί να οδηγήσει σε κακές λύσεις ή ακόμη σε μη λύσεις. Συνεπώς, θα πρέπει να δεχτούμε ότι η κατασκευή της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών θα πρέπει να γίνει, εν μέρει, με

κάποια τυχαιότητα που να διασφαλίζει, τόσο την επίτευξη λύσης όσο, και τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης.

3.8 Οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος

3.8.1 Εκ των υστέρων αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του χρονοπρογραμματισμού

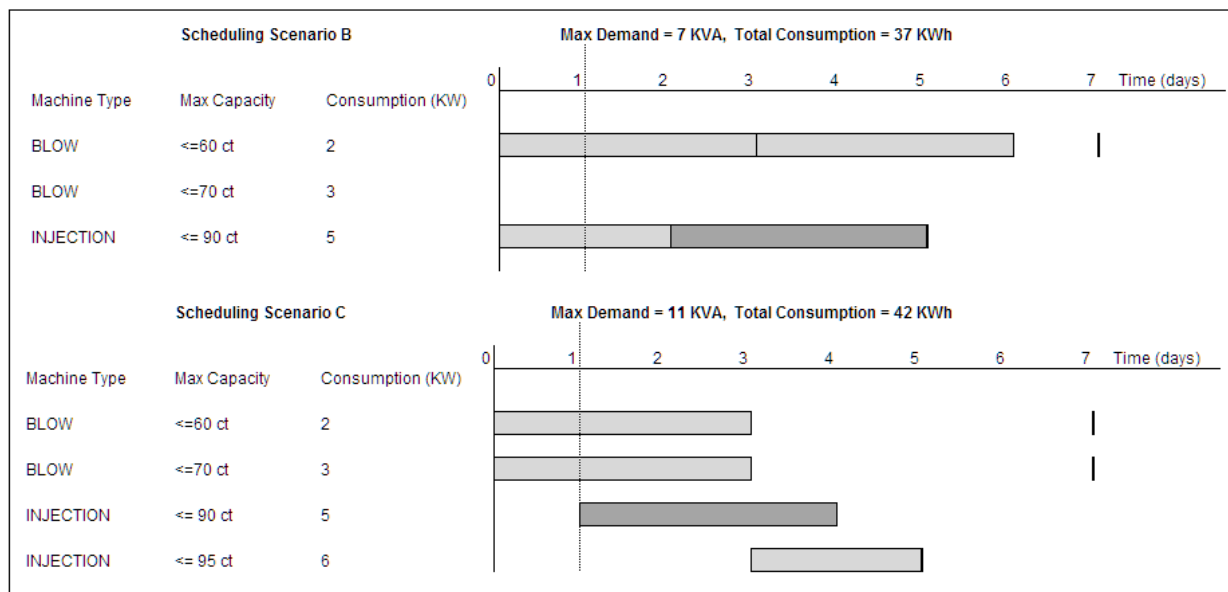
Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε στην παρούσα εργασία είναι ότι η αποτελεσματικότητα του χρονοπρογραμματισμού μπορεί να κριθεί μόνο εκ των υστέρων στο τέλος του μήνα και όχι ενδιάμεσα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι παραγγελίες μπορούν να υποβληθούν ανά πάσα στιγμή. Συνεπώς, με κάθε νέα υποβολή παραγγελίας ή μετά από κάποια αλλαγή σε μια από τις παραμέτρους του προβλήματος - οι οποίες συζητούνται στο κεφάλαιο 4 - θα πρέπει να γίνει εκ νέου χρονοπρογραμματισμός των παραγγελιών στη βάση των νέων δεδομένων. Ο νέος όμως χρονοπρογραμματισμός θα διαφοροποιήσει εν μέρει τα δεδομένα όσον αφορά τη MK ενώ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να ακυρώσει τελείως τα δεδομένα όσον αφορά τη MZ η οποία λόγω της φύσης της μπορεί να κριθεί μόνο με το πέρας του μήνα, και άρα, μετά από μια σειρά από διαδοχικούς χρονοπρογραμματισμούς. Αυτό γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό στο Σχήμα 3.5 όπου παρουσιάζεται η εξέλιξη του σεναρίου του Σχήματος 3.3 με την άφιξη μιας παραγγελίας στο χρόνο $t=1$ η οποία προορίζεται για μηχανή τύπου Injection.



Σχήμα 3.5: Η εξέλιξη του παραδείγματος του Σχήματος 3.3 με άφιξη νέας παραγγελίας στο χρόνο $t=1$.

Με την άφιξη της νέας παραγγελίας στο χρόνο $t=1$ ο χρονοπρογραμματισμός που έχει γίνει στο χρόνο $t=0$ θα πρέπει να επαναληφθεί. Τα επικρατέστερα σενάρια του Σχήματος 3.4. τα οποία θα μπορούσαν να είχαν υιοθετηθεί στο χρόνο $t=0$ είναι το σενάριο B, το οποίο επιτυγχάνει με

την αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών την πιο χαμηλή Συνολική Κατανάλωση και το σενάριο Γ το οποίο μέσα από την πλήρη τυχειότητα της σειράς εκτέλεσης των παραγγελιών επιτυγχάνει την πιο χαμηλή ΜΖ. Το πώς διαφοροποιούνται τα σενάρια χρονοπρογραμματισμού στο χρόνο $t=1$ φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6: Η εξέλιξη των σεναρίων Β και Γ του Σχήματος 3.5 μετά την άφιξη νέας παραγγελίας στο χρόνο $t=1$.

Στο Σχήμα 3.6 βλέπουμε ότι ο χρονοπρογραμματισμός του σεναρίου Β στο χρόνο $t=0$ ήταν τέτοιος που έδωσε περιθώρια για ένα εξίσου καλό χρονοπρογραμματισμό στο χρόνο $t=1$ ο οποίος δεν αύξησε καθόλου τη ΜΖ ενώ αύξησε στο ελάχιστο δυνατό τη Συνολική Κατανάλωση. Αντίθετα, στο σενάριο Γ ο χρονοπρογραμματισμός στο χρόνο $t=0$ ήταν τέτοιος που η νέα παραγγελία δεν μπορεί βάσει του χρόνου παράδοσης της να εκτελεστεί ούτε πριν αλλά ούτε και μετά την παραγγελία 3 λόγω αλληλοεπικάλυψης των δύο παραγγελιών. Ως αποτέλεσμα, είτε οδηγούμαστε σε μη λύση είτε αξιοποιείται, αν υπάρχει διαθέσιμη, δεύτερη μηχανή Injection παρόμοιων δυνατοτήτων όπως φαίνεται στο εν λόγω σχήμα. Επειδή η δεύτερη μηχανή Injection είναι πιο απαιτητική ως προς την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος θα πρέπει σε αυτή να εκτελεστεί η παραγγελία 3 που είναι μικρότερης διάρκειας έτσι ώστε στην πρώτη μηχανή που είναι πιο οικονομική να εκτελεστεί η νέα παραγγελία που είναι μεγαλύτερης διάρκειας. Ακόμα και με αυτή τη διευθέτηση, τόσο η συνολική κατανάλωση όσο και η ΜΖ του σεναρίου Γ αυξάνεται κατά πολύ (42 KWh και 11 KVA αντίστοιχα) μηδενίζοντας

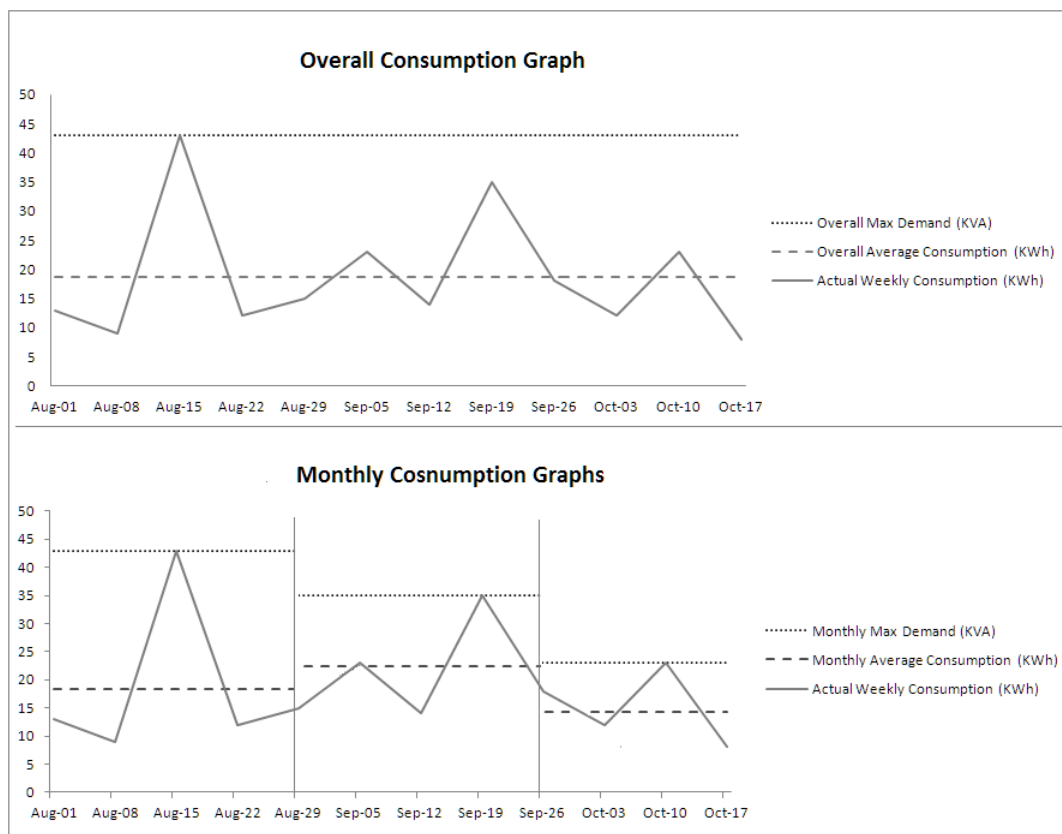
έτσι τα εικονικά οφέλη του προηγούμενου χρονοπρογραμματισμού που εκ των υστερών κρίνεται ως μη αποτελεσματικός. Ο λόγος της αποτυχίας του σεναρίου Γ οφείλεται στο γεγονός ότι βάσει του χρονοπρογραμματισμού στο χρόνο $t=0$ η μηχανή 3 θα έμενε αδρανής για ένα διάστημα μέχρι την εκτέλεση της παραγγελίας 3. Το συγκεκριμένο κενό εξελίχτηκε τελικά σε πρόβλημα λόγω του ότι είχε ήδη χαθεί μια μέρα μέχρι την άφιξη της νέας παραγγελίας η οποία σε συνδυασμό με τους χρόνους παράδοσης δεν άφηνε περιθώρια περαιτέρω αξιοποίησης της μηχανής 3 όπως έγινε στο σενάριο Β. Παρόλο που τα σεναρία που επιτρέπουν κενά αδρανείας στο πρόγραμμα των μηχανών έχουν τη δυνατότητα, για μικρό αριθμό παραγγελιών, να πετύχουν πολύ χαμηλές τιμές της ΜΖ, εντούτοις σε περιπτώσεις που οι παραγγελίες ενδέχεται να πυκνώσουν πολύ και απαιτείται πλήρης αξιοποίηση συγκεκριμένων μηχανών, η στρατηγική αυτή, δηλαδή της εξολοκλήρου τυχαίας αλληλουχίας των παραγγελιών, πιθανόν να αποβεί, εκ των υστέρων, άκαρπη και να οδηγήσει σε μη λύσεις ή σε κακές λύσεις.

Συμπερασματικά, παρόλο που ο χρονοπρογραμματισμός φαίνεται ότι μπορεί να κριθεί μόνο εκ των προτέρων κάτω από περιστασιακά δεδομένα τα όποια δύναται αργότερα να μεταβληθούν, εντούτοις μια λιγότερο κοντόφθαλμη στρατηγική η οποία δεν αποβλέπει απλά στην ελαχιστοποίηση της ΜΖ αδιαφορώντας για τη δομή του σεναρίου αλλά υιοθετεί κάποιες καλές γενικές αρχές προγραμματισμού, μπορεί μακροπρόθεσμα να φέρει καλύτερα αποτελέσματα. Για σεναρία με λίγες παραγγελίες ενδέχεται αυτή η παρατήρηση να μην ισχύει.

3.8.2 Κατακερματισμός του παραγόμενου σεναρίου λύσης για σκοπούς αξιολόγησης

Ένα άλλο πρόβλημα που αφορά το χρονοπρογραμματισμό είναι ότι η ΑΗΚ καταγράφει και κοστολογεί τη συνολική κατανάλωση και τη ΜΖ στο τέλος κάθε μήνα, ενώ ένα προτεινόμενο σενάριο εκτέλεσης των παραγγελιών μπορεί να έχει διάρκεια πέραν του ενός μηνός. Η μεγάλη διάρκεια του σεναρίου μπορεί να οφείλεται, τόσο στο μέγεθος των παραγγελιών, όσο και των χρόνων παράδοσης τους που μπορεί να ξεπεράσουν σε κάποιες περιπτώσεις τους τρεις μήνες. Περαιτέρω, για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις που τέθηκαν ως προς τη μείωση του αριθμού των μηχανών που τρέχουν παράλληλα και την αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών, το πρόγραμμα εκτέλεσης των μηχανών θα πρέπει να είναι τέτοιο που να αξιοποιεί όλο το εύρος

του διαθέσιμου χρόνου έτσι ώστε οι παραγγελίες να εκτελούνται η μια μετά την άλλη. Λόγω του ότι ο χρόνος είναι συνεχής, είναι εξαιρετικά δύσκολο κατά την κατασκευή ενός σεναρίου να ληφθεί υπόψη η πρακτική της ΑΗΚ. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι να κατασκευάζεται ένα συνεχές σενάριο βάσει των αρχών χρονοπρογραμματισμού που τέθηκαν και κατόπιν να αξιολογείται τμηματικά κατά μήνα. Δηλαδή, να υπολογίζεται κατά τμήμα το μηναίο κόστος όπως ακριβώς το υπολογίζει και η ΑΗΚ στη βάση του Κώδικα 61 και ακολούθως να προσθέτονται τα μηναία κόστη και να γίνεται σύγκριση των σεναρίων στη βάση του συνολικού κόστους που θα προκύπτει. Η πρακτική αυτή η οποία θα συνάδει με την πρακτική της ΑΗΚ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: Οι δύο τρόποι Αξιολόγησης του σεναρίου .

Στο πάνω μέρος του εν λόγω σχήματος φαίνεται ένα προτεινόμενο σενάριο χρονοπρογραμματισμού το οποίο παράχθηκε την 1^η Αυγούστου και το οποίο θα διαρκέσει μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου. Στο κάτω μέρος φαίνεται η τμηματική αξιολόγηση του σεναρίου

ανά μήνα. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται για κάθε μήνα ξεχωριστά η ΜΖ και η ΜΚ οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μηνιαίου ΣΦ. Αναλόγως του συντελεστή καθορίζονται οι τιμές μονάδας για KVA και KWh αντίστοιχα και στη συνέχεια εφαρμόζονται στη ΜΖ και στη Συνολική κατανάλωση για υπολογισμό της μηνιαίας χρέωσης. Το άθροισμα των τριών μηνιαίων χρεώσεων αποτελεί το κόστος του σεναρίου το οποίο θα αποτελέσει το μέτρο σύγκρισης του σεναρίου με τα υπόλοιπα σενάρια που θα αξιολογηθούν κατά τη διαδικασία.

Όπως έχουμε δει μέχρι τώρα, η παράμετρος της ΜΖ δεν μπορεί να καθοριστεί a-priori παρά μόνο στο τέλος του μήνα βάσει του πραγματικού προγράμματος εκτέλεσης των παραγγελιών το οποίο θα προκύψει μέσα από διαδοχικούς χρονοπρογραμματισμούς που αλληλοαναιρούνται μεταξύ τους. Επίσης έχουμε δει ότι τα σενάρια χρονοπρογραμματισμού, παρόλο που δομούνται στη βάση του συνεχούς χρόνου, εντούτοις θα πρέπει να αξιολογούνται αποσπασματικά σύμφωνα με την πρακτική κοστολόγησης της ΑΗΚ στη βάση των όρων του Κώδικα 61. Αυτές οι δύο παρατηρήσεις είναι που περιπλέκουν το πρόβλημα και το καθιστούν μοναδικό σε σχέση με τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού τα οποία συναντώνται στη σχετική βιβλιογραφία. Συνεπώς, οποιαδήποτε προσπάθεια θεωρητικής προσέγγισης του προβλήματος, θα πρέπει, για να έχει αποτέλεσμα, να λαμβάνει υπόψη τις εν λόγω σημαντικές ιδιαιτερότητες του προβλήματος ακόμα και αν αυτό απαιτεί σημαντικές διαφοροποιήσεις από τις συνήθεις προσεγγίσεις που καταγράφονται στη βιβλιογραφία.

3.9 Περιορισμοί στην επίτευξη των στόχων

Πριν προχωρήσουμε στο κεφάλαιο 5 όπου γίνεται λεπτομερέστερη καταγραφή των δεδομένων του προβλήματος και των σχετικών παραδοχών προς επίλυσή του, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι παρόλο που η συλλογιστική που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3 είναι σε μεγάλο βαθμό εφαρμόσιμη, υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί που, εκ των πραγμάτων, δεν επιτρέπουν αύξηση του ΣΦ πέραν του 0,7. Κατ' επέκταση οι υποθετικές εξοικονομήσεις της τάξης του 20-30% που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 κάτω από την υπόθεση ότι ο ΣΦ ισούται με τη μονάδα είναι μάλλον υπερβολικές. Ο λόγος είναι ότι βάσει του ωραρίου λειτουργίας του εργοστασίου εξακολουθεί να υπάρχει μηδενική ζήτηση τα σαββατοκύριακα η

οποία περιορίζει αρκετά το ΣΦ ενώ ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχουν αστάθειες λόγω του αριθμού των εργαζομένων ανά βάρδια ο οποίος μειώνεται κατά τις νυχτερινές ώρες με αποτέλεσμα κάποιες μηχανές να χρειάζεται να σταματήσουν. Φυσικά, αυτά τα δεδομένα αποτελούν προσωπικές επιλογές του ιδιοκτήτη και δεν επηρεάζουν με οποιοδήποτε τρόπο τη θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος, παρά μόνο τα δεδομένα εισόδου και εξόδου των προτεινόμενων αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού οι οποίοι συζητούνται εκτενώς στο κεφάλαιο 6. Σε περίπτωση που στο μέλλον ο ιδιοκτήτης αποφασίσει να διαφοροποιήσει θετικά κάποιες από τις εν λόγω παραμέτρους, οι εξοικονομήσεις δύναται να προσεγγίσουν τα υποθετικά μεγέθη του Πίνακα 3.2.

Κεφάλαιο 4 Οι απαιτήσεις, οι παραδοχές και οι παράμετροι της λύσης

4.1 Οι απαιτήσεις της λύσης

4.1.1 «Προνοητικότητα» στον τρόπο καταρτισμού του σεναρίου λύσης

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού των παραγγελιών είναι από μόνο του αρκετά περίπλοκο λόγω του τρόπου κοστολόγησης της ΑΗΚ ο οποίος καθιστά δυνατή την αξιολόγηση του χρονοπρογραμματισμού μόνο εκ των υστέρων στο τέλος κάθε μήνα. Ουσιαστικά, αυτό που κρίνεται στο τέλος του μήνα είναι το πραγματικό κόστος της παραγόμενης αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών η οποία προκύπτει δυναμικά μέσα από μια σειρά αλληλοαναιρούμενων, εν μέρει, σεναρίων χρονοπρογραμματισμού τα οποία παράγονται και αξιολογούνται μεμονωμένα κατά τη διάρκεια του μήνα. Όπως έχει συζητηθεί στο κεφάλαιο 3, ένας κακός χρονοπρογραμματισμός λόγω αυξημένης ροής παραγγελιών στα μέσα του μήνα μπορεί να ακυρώσει τυχόν αναμενόμενα κέρδη από προηγούμενους χρονοπρογραμματισμούς εντός του ίδιου μήνα.

Συνεπώς η παραγόμενη λύση θα πρέπει να χαρακτηρίζεται και από κάποια «προνοητικότητα» όσον αφορά τις μελλοντικές παραγγελίες που πιθανόν να υποβληθούν και την ικανότητα ένταξής τους στο πλάνο εργασίας χωρίς ανατροπή των υφιστάμενων δεδομένων αναφορικά με τη ΜΖ.

4.1.2 Αποφυγή απλοποίησης των περιορισμών του προβλήματος

Θα πρέπει να επισημάνουμε ξανά εδώ ότι το πρόβλημα με το οποίο καταπιάνεται η εργασία δεν είναι θεωρητικό αλλά υπαρκτό με πραγματικούς περιορισμούς και δεδομένα τα οποία καθορίζονται από τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου. Συνεπώς, η οποιαδήποτε προσπάθεια απλοποίησης του προβλήματος μέσα από μη ρεαλιστικές παραδοχές, παρόλο που θα διευκόλυνε τη θεωρητική προσέγγισή του, εντούτοις θα καθιστούσε την προτεινόμενη λύση μη εφαρμόσιμη. Επειδή απώτερος σκοπός ήταν η προτεινόμενη λύση χρονοπρογραμματισμού να εξυπηρετεί τον ιδιοκτήτη του εργοστασίου θα έπρεπε, παρά τις δυσκολίες, όλες οι παράμετροι και οι περιορισμοί του προβλήματος να ληφθούν υπόψη στη μελέτη.

4.1.3 Δυναμικότητα της λύσης

Επιπλέον, επειδή το περιβάλλον του εργοστασίου είναι δυναμικό (π.χ. ο αριθμός των μηχανών που διαθέτει το εργοστάσιο, ο αριθμός των βαρδιών, η χρονική διάρκεια της κάθε βάρδιας, ο αριθμός των υπαλλήλων ανά βάρδια κτλ), όλες οι μεταβλητές που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία βελτιστοποίησης θα έπρεπε να είναι επίσης δυναμικές έτσι ώστε ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού να μπορεί προσαρμόζεται σε τυχόν αλλαγές στην υποδομή και τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου.

4.1.4 Χρήση συγκεκριμένου λογισμικού

Επίσης, για την εκτέλεση του αλγορίθμου θα έπρεπε να χτιστεί μια βάση δεδομένων η οποία θα φιλοξενούσε όλα τα δεδομένα εισόδου και εξόδου του αλγορίθμου. Όλα τα πιο πάνω συνθέτουν τις βασικές απαιτήσεις της λύσης. Όσον αφορά τη βάση δεδομένων, έχει κτιστεί με τη χρήση του λογισμικού ms access κατόπιν απαιτήσεως του ίδιου του επιχειρηματία ο οποίος τυγχάνει να χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο λογισμικό. Ακολουθεί περιγραφή των παραδοχών και των περιορισμών του προβλήματος.

4.2 Η παραδοχή της λύσης

Σχεδόν σε όλα τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού διαδικασιών που συναντώνται στη βιβλιογραφία, ο χρονοπρογραμματισμός αποσκοπεί στην εύρεση ενός σεναρίου το οποίο ικανοποιεί όλους του περιορισμούς του προβλήματος ενώ παράλληλα πετυχαίνει βελτιστοποίηση των παραμέτρων απόδοσης που καθορίζει το ίδιο το πρόβλημα. Ως αρχικό βήμα για την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου, στις πλείστες των περιπτώσεων, κατασκευάζεται ένα βασικό σενάριο το οποίο ικανοποιεί, εν τη γενέσει του, τους βασικούς περιορισμούς του προβλήματος. Ακολούθως το σενάριο οικοδομείται πλήρως με την προσθήκη των υπόλοιπων παραμέτρων. Κατόπιν γίνεται έλεγχος των περιορισμών και αξιολόγηση των παραμέτρων απόδοσης. Ο εντοπισμός του βέλτιστου σεναρίου επέρχεται σταδιακά μετά από μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία χτίζονται και αξιολογούνται πολλά σενάρια. Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στις διάφορες θεωρητικές προσεγγίσεις αφορά στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μεταπήδηση από το ένα σενάριο στο άλλο. Στους γενετικούς

αλγορίθμους για παράδειγμα, το αρχικό σενάριο εξελίσσεται σταδιακά διαμέσου της διαδικασίας βελτιστοποίησης μέχρις ότου να συγκλίνει σε ένα σενάριο που θεωρείται αποδεκτά καλό. Σε άλλα πιο χαοτικά προβλήματα, στα οποία η παραμικρή αλλαγή της τιμής μιας παραμέτρου μπορεί να μεταβάλει σημαντικά την απόδοση του σεναρίου, συνήθως η μεταπήδηση από το ένα σενάριο στο άλλο προϋποθέτει κάποια τυχειότητα. Ο λόγος είναι ότι σχετικά «γειτονικά σενάρια» μπορεί να έχουν ακριβώς αντίθετη απόδοση, το ένα να είναι βέλτιστο και το άλλο χειρίστο. Ως εκ τούτου δεν μπορεί να υπάρξει εντοπισμός του βέλτιστου σεναρίου μέσω σταδιακής σύγκλισης παρά μόνο μέσω μιας τυχαίας και ακανόνιστης πορείας που αφήνει ίσες πιθανότητες δοκιμασίας σε όλα τα δυνατά σενάρια.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το αρχικό σενάριο κατασκευάζεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται τουλάχιστο οι χρονικοί περιορισμοί του προβλήματος ενώ παράλληλα να δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για κάλυψη και μερικών από τους υπόλοιπους περιορισμούς. Στην περίπτωση του δικού μας προβλήματος αποφασίστηκε όπως ακολουθηθεί παρόμοια προσέγγιση. Δηλαδή, θα πρέπει αρχικά να καθοριστεί για κάθε παραγγελία η **Ημερομηνία Έναρξης («ΗΕ»)** της και η **Ημερομηνία Διεκπεραίωσης («ΗΔ»)** της. Οι συγκεκριμένοι χρόνοι θα πρέπει να καθοριστούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε κάθε παραγγελία να διεκπεραιώνεται πριν την προκαθορισμένη **Ημερομηνία Παράδοσης («ΗΠ»)** της. Περαιτέρω, για σκοπούς καλύτερης αξιοποίησης του διαθέσιμου χρόνου αλλά και για αποφυγή μηδενικών μετρήσεων στο γράφημα κατανάλωσης θα πρέπει σαν αρχή όταν διεκπεραιώνεται μια παραγγελία να ξεκινά τουλάχιστον μια άλλη. Η αποφυγή κενών πλήρους αδρανείας όλων των μηχανών θα βοηθήσει έτσι ώστε να μειωθούν οι αστάθειες και να κρατηθεί ο ΣΦ σε ψηλά επίπεδα. Ο πιο σημαντικός παράγοντας όμως όσον αφορά τον καθορισμό των ΗΕ και ΗΔ είναι η σταθεροποίηση του αριθμού των μηχανών που λειτουργούν παράλληλα σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό εμπεριέχει εν μέρει παγίδες γιατί στην προσπάθεια να μειωθεί ο αριθμός των μηχανών οι παραγγελίες απλώνονται στο εύρος του διαθέσιμου χρόνου. Ως εκ τούτου, αν σε κάποια στιγμή υποβληθούν νέες παραγγελίες με στενά χρονοδιαγράμματα οι οποίες θα πρέπει να εκτελεστούν άμεσα αυτό θα έχει ως αποτελέσματα να πρέπει να τεθούν σε λειτουργία αρκετές επιπλέον μηχανές πέραν του υφιστάμενου πλάνου εργασίας με αποτέλεσμα η ΜΖ να εκτιναχθεί παροδικά στα ύψη. Ένα

τέτοιο σενάριο θα είχε πολύ αρνητικές συνέπειες στα μηναία τέλη κατανάλωσης ρεύματος στο τέλος του μήνα.

Σχετικά με τη μέθοδο καθορισμού των ΗΕ και ΗΔ στη βάση των πιο πάνω απαιτήσεων, αυτή θα συζητηθεί στο κεφάλαιο 6. Για να καταστεί όμως εφικτός ο καθορισμός των ΗΕ και ΗΔ θα πρέπει στο παρόν στάδιο να γίνουν κάποιες παραδοχές όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου. Συγκεκριμένα χρειάζεται να είναι εκ των προτέρων δεδομένη η **Διάρκεια Εκτέλεσης («ΔΕ»)** κάθε παραγγελίας. Η ΔΕ ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελεστεί πλήρως μια παράγγελια από τη στιγμή που μπαίνει για εκτέλεση μέχρι να αποπερατωθεί συμπεριλαμβανομένων όλων των ενδιάμεσων διακοπών λόγω αλλαγής βάρδιας, σαββατοκύριακων κτλ. Ο **Χρόνος Εκτέλεσης («ΧΕ»)** ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται η παραγγελία για να εκτελεστεί χωρίς διακοπές. Ο ΧΕ μιας παραγγελίας εξαρτάται από το καλούπι και από την ποσότητα του προϊόντος που προδιαγράφεται στην παραγγελία. Τόσο το καλούπι, όσο και η ποσότητα του προϊόντος είναι γνωστά από τη στιγμή που υποβάλλεται η παραγγελία. Επιπλέον, παρόλο που μια παραγγελία μπορεί να εκτελεστεί σε περισσότερες από μία μηχανές, η επιλογή μηχανής δεν επηρεάζει με οποιοδήποτε τρόπο τον ΧΕ της παραγγελίας. Εφόσον λοιπόν ο ΧΕ είναι δεδομένος εκ των προτέρων, ο μοναδικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη ΔΕ είναι το πρόγραμμα με το οποίο θα εκτελεστεί η παραγγελία. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2, το εργοστάσιο λειτουργεί αυτή τη στιγμή με ένα σύστημα βάρδιας που καλύπτει όλο το εικοσιτετράωρο. Συγκεκριμένα, το εικοσιτετράωρο διαιρείται σε τρεις άνισες, από άποψη χρόνου, βάρδιες των 10, 8 και 6 ωρών αντίστοιχα. Κάθε βάρδια απασχολεί διαφορετικό αριθμό εργαζομένων. Ο συνδυασμός των βαρδιών, η χρονική διάρκεια κάθε βάρδιας, αλλά και η χρονική διάρκεια των ενδιάμεσων διακοπών δύναται να επηρεάσουν τη ΔΕ μιας παραγγελίας. Για παράδειγμα αν μια παραγγελία χρειάζεται 48 ώρες για να εκτελεστεί ενώ έχει χρόνο παράδοσης μετά από 15 εργάσιμες μέρες τότε θα μπορούσε να εκτελεστεί ως ακολούθως:

1. Οι σαράντα οχτώ ώρες θα μπορούσαν να καλυφθούν σε οχτώ από τις δεκαπέντε εξάωρες μεταμεσονύχτιες βάρδιες. Οι συνδυασμοί εκτέλεσης που δημιουργούνται είναι $\binom{15}{8}$.

2. Οι σαράντα οχτώ ώρες θα μπορούσαν να καλυφθούν σε έξι από τις δεκαπέντε οχτάωρες απογευματινές βάρδιες. Οι συνδυασμοί εκτέλεσης που δημιουργούνται είναι $\binom{15}{6}$.
3. Οι σαράντα ώρες θα μπορούσαν να καλυφθούν σε τέσσερις από τις δεκαπέντε δεκάωρες πρωινές βάρδιες ενώ οι εναπομείναντες οχτώ ώρες σε μία από τις δεκαπέντε οχτάωρες βάρδιες. Οι συνδυασμοί εκτέλεσης που δημιουργούνται είναι $\binom{15}{4}\binom{15}{1}$.

Αναλόγως του συνδυασμού προκύπτει διαφορετικός αριθμός διακοπών με διαφορετική χρονική διάρκεια.

Εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι υπάρχουν και άλλες πολλές επιλογές συνδυασμού βαρδιών που μπορούν να γίνουν. Ακόμα και αν υποθέταμε ότι και οι τρεις βάρδιες έχουν την ίδια διάρκεια, π.χ. οχτώ ώρες, τότε θα καταλήγαμε σε $\binom{45}{6}$ συνδυασμούς, περίπου δηλαδή οχτώ εκατομμύρια. Είναι πρόδηλο ότι αριθμός των συνδυασμών για την εκτέλεση μιας παραγγελίας αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό όσο αυξάνονται οι διαθέσιμες μέρες μέχρι την ΗΠ. Ειδικά αν συνυπολογίσουμε ότι σε ένα σενάριο υπάρχουν πέραν των τριάντα παραγγελιών μόνο ο καθορισμός των ΗΕ και ΗΔ μπορεί να γίνει με άπειρους συνδυασμούς χωρίς μάλιστα να συνυπολογίζονται οι συνδυασμοί που μπορεί να γίνουν λόγω της επιλογής μηχανής στην οποία θα εκτελεστεί η κάθε παραγγελία. Πέραν του τεράστιου αριθμού, οι περισσότεροι συνδυασμοί θα είναι μάλλον μη πρακτικά εφαρμόσιμοι.

Επιπλέον, θα ήταν ρεαλιστική απαίτηση ο συνδυασμός των βαρδιών να μεταβάλλεται δυναμικά με τον χρόνο αναλόγως αναγκών αντί να προκαθορίζεται από πριν για κάθε παραγγελία. Αυτό όμως θα αποτελούσε πρόβλημα αφού η ΔΕ μιας παραγγελίας εξαρτάται από το πρόγραμμα εκτέλεσής της – συνυπολογίζοντας και τα ενδιάμεσα κενά - και ως εκ

τούτου δεν θα μπορούσε να καθοριστεί εκ των προτέρων. Αυτό με τη σειρά του δυσχεραίνει πάρα πολύ τον καθορισμό της ΗΔ ο οποίος υπολογίζεται προσθέτοντας τη ΔΕ στην ΗΕ. Στη σχετική βιβλιογραφία η ΔΕ είναι συνήθως δεδομένη εκ των προτέρων.

Υπό το φως των πιο πάνω θα πρέπει να γίνει μια παραδοχή έτσι ώστε να μειωθούν οι πιθανοί συνδυασμοί εκτέλεσης μιας παραγγελίας ενώ παράλληλα να μπορεί να υπολογιστεί η ΔΕ εκ των προτέρων και να χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος στη διαδικασία καθορισμού των ΗΕ και ΗΔ. Στην πραγματικότητα η παραδοχή που έχει γίνει δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Συγκεκριμένα, η παρούσα πρακτική που ακολουθείται στο εργοστάσιο έχει ως ακολούθως:

- i. Όλες οι παραγγελίες συνήθως ξεκινούν από την πρωινή βάρδια που αρχίζει στις 6:00 πμ. Αυτή την ώρα γίνονται επίσης και τυχόν άλλες αλλαγές στο πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών. Πιο συγκεκριμένα, κάποιες παραγγελίες που βρίσκονται υπό εκτέλεση σταματούν και δίνουν τη θέση τους σε κάποιες νέες παραγγελίες που μόλις υποβλήθηκαν οι οποίες έχουν στενότερα χρονοδιαγράμματα. Για να εκτελεστεί όμως μια παραγγελία θα πρέπει πρώτα να τοποθετηθεί στη μηχανή το αντίστοιχο καλούπι. Η διαδικασία αλλαγής του καλουπιού απαιτεί, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2, αρκετά εργατικά χέρια για αυτό και λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της πρώτης βάρδιας. Όταν μια παραγγελία διεκπεραιωθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, τότε η μηχανή που την εκτελεί μένει αδρανής μέχρι το επόμενο πρωί που θα μπει νέο καλούπι για άλλη παραγγελία.
- ii. Κατά τη δεύτερη βάρδια που ξεκινά στις 4:00 μμ, κάποιες από τις μηχανές που βρίσκονταν σε λειτουργία στην πρώτη βάρδια μπαίνουν αναγκαστικά σε αδράνεια λόγω του ότι ο αριθμός των διαθέσιμων εργαζομένων μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι δυνατότητες επίβλεψης των μηχανών. Παρομοίως, κατά την τρίτη βάρδια αδρανοποιούνται και άλλες μηχανές λόγω περαιτέρω μείωσης του αριθμού των εργαζομένων.

- iii. Όλες οι μηχανές σταματούν κατά τη διάρκεια του σαββατοκύριακου και επανεκκινούν τη Δευτέρα. Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις των δημόσιων αργιών.
- iv. Ένεκα της δυσκολίας αλλαγής των καλουπιών, από τη στιγμή που μπαίνει μια παραγγελία σε εκτέλεση συνήθως δεν διακόπτεται παρά μόνο όταν υποβληθούν νέες παραγγελίες προς χρονοπρογραμματισμό ή όταν μεταβληθούν κάποιιοι από τους περιορισμούς του προβλήματος (π.χ. αλλαγή στο πρόγραμμα εργασίας των εργαζομένων). Οι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε επαναχρονοπρογραμματισμό των παραγγελιών συζητούνται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 5.

Στα πιο πάνω τα οποία αποτελούν τα πραγματικά δεδομένα του τρόπου λειτουργίας του εργοστασίου χρειάστηκε να προστεθεί η πιο κάτω παραδοχή.

Παραδοχή: Κάθε παραγγελία μπορεί να εκτελεστεί με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς βάρδιας, 1) είτε μόνο κατά τη διάρκεια της πρώτης βάρδιας, 2) είτε μόνο κατά τη διάρκεια της πρώτης και της δεύτερης βάρδιας, 3) είτε ασταμάτητα και στις τρεις βάρδιες. Ο συνδυασμός που θα επιλεχτεί για κάθε παραγγελία θα είναι ο ίδιος για όλες τις μέρες κατά τις οποίες θα εκτελείται η παραγγελία εκτός και αν μεσολαθήσει ενδιάμεσα νέος χρονοπρογραμματισμός.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι πιο πάνω συνδυασμοί βάρδιας ακολουθούνται ήδη από το εργοστάσιο. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι βάσει της υφιστάμενης πρακτικής ο συνδυασμός εκτέλεσης μιας παραγγελίας μπορεί να μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα αναλόγως αναγκών αλλά και λόγω απουσίας ενός προκαθορισμένου πλάνου εργασίας, ενώ αντίθετα βάσει της παραδοχής θα πρέπει να διατηρείται αμετάβλητος καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης της παραγγελίας.

Η συγκεκριμένη παραδοχή είναι αναγκαία, αφενός για να μειωθούν οι επιλογές συνδυασμών μέσω του αποκλεισμού συνδυασμών που δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμοι, και αφετέρου για να καταστεί εφικτός ο υπολογισμός της ΔΕ και κατ' επέκταση της ΗΔ κάθε παραγγελίας. Για παράδειγμα, μια παραγγελία που έχει ΧΕ 48 ώρες και έχει αποφασιστεί ότι θα εκτελείται κατά τη διάρκεια της πρώτης και της δεύτερης βάρδιας, οι οποίες έχουν συνολική διάρκεια 18 ώρες, θα χρειαστεί τρεις μέρες μέχρι να διεκπεραιωθεί (δηλαδή, 18+18+12 ώρες) μετρώντας από την ΗΕ της. Ως εκ τούτου θα είναι έτοιμη για παράδοση το πρωινό της τέταρτης ημέρας η οποία αποτελεί την ΗΔ.

Ο τρόπος με τον οποίον καθορίζονται οι συνδυασμοί βάρδιας όπως επίσης και οι ΗΕ και η ΗΔ για κάθε παραγγελία συζητούνται στο κεφάλαιο 6. Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου καθορίζονται οι υπόλοιπες παράμετροι και περιορισμοί του προβλήματος.

4.3 Οι παράμετροι της λύσης

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2 οι βασικές παράμετροι του προβλήματος είναι οι ακόλουθες:

1. Οι Παραγγελίες
2. Τα Προϊόντα
3. Τα Καλούπια
4. Οι Μηχανές
5. Οι Βάρδιες
6. Το Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης του Προσωπικού
7. Ο Κώδικας τιμολόγησης της ΑΗΚ (ή Κώδικας 61)

Το παραγόμενο προϊόν από τη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού είναι:

1. Το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών
2. Το Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών

Ακολουθεί περιγραφή όλως των παραμέτρων με τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα και το πώς αυτά ενδέχεται να επηρεάσουν τον χρονοπρογραμματισμό.

4.3.1 Οι Παραγγελίες

Οι παραγγελίες περιγράφονται από το πιο κάτω διάνυσμα. Μεταξύ των παρενθέσεων αναγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που περιγράφουν μια παραγγελία.

Παραγγελία (ΠΠ, ΚΠ, ΗΥ, ΗΜ, ΧΕ, ΕΧ, ΧΕΛ)

Όπου:

- ΠΠ = Ποσότητα Προϊόντος
- ΚΠ = Κωδικός Προϊόντος
- ΗΥ = Ημερομηνία Υποβολής
- ΗΠ = Ημερομηνία Παράδοσης
- ΧΕ = Χρόνος Εκτέλεσης
- ΕΧ = Εναπομείναντας χρόνος Εκτέλεσης
- ΚΤΠ = Κατάσταση (Status) Παραγγελίας
- ΧΕΛ = Χρόνος Ελαστικότητας Παραγγελίας

Πέραν των πιο πάνω βασικών γνωρισμάτων υπάρχουν και άλλα επιμέρους γνωρίσματα όπως για παράδειγμα, ο αριθμός των διακοπών της παραγγελίας λόγω νέου χρονοπρογραμματισμού, ο αριθμός των ενδιάμεσων διακοπών της παραγγελίας λόγω αλλαγής βάρδιας ή σαββατοκύριακου ο οποίος συνεπάγεται αντίστοιχες επανεκκινήσεις της μηχανής, ο αριθμός των διαφορετικών διαδοχικών χρονοπρογραμματισμών στους οποίους έλαβε μέρος η παραγγελία (η συμμετοχή μιας παραγγελίας σε ένα νέο χρονοπρογραμματισμό δεν συνεπάγεται κατά ανάγκη και διακοπή της αφού αυτό θα εξαρτηθεί από το αποτέλεσμα του χρονοπρογραμματισμού) κ.α. Τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμοποιούνται για διάφορες στατιστικές ή για επιμέρους υπολογισμούς σχετικούς με τις βασικές παραμέτρους. Για σκοπούς ανάλυσης έμφαση θα δοθεί μόνο στις βασικά γνωρίσματα κάθε παραμέτρου.

Πέραν του ΕΧ και της ΚΤΠ τα υπόλοιπα βασικά γνωρίσματα της παραγγελίας έχουν ήδη εξηγηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Η ΚΤΠ εξηγείται αναλυτικά στην παράγραφο 5.1.2.

Ο ΕΧ είναι ο χρόνος που απομένει μέχρι την πλήρη διεκπεραίωση της παραγγελίας. Το γνώρισμα αυτό απαιτείται σε περίπτωση νέου χρονοπρογραμματισμού. Συγκριμένα, πριν την έναρξη κάθε νέου χρονοπρογραμματισμού ο ΕΧ όλων των παραγγελιών που βρίσκονται υπό εκτέλεση τυγχάνει αναπροσαρμογής έτσι ώστε να αφαιρεθεί το κομμάτι της παραγγελίας το οποίο έχει διεκπεραιωθεί στο διάστημα που έχει μεσολαβήσει από τον αμέσως προηγούμενο χρονοπρογραμματισμό μέχρι τη δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό μπορεί να γίνει πολλές φορές μέχρι να διεκπεραιωθεί πλήρως μια παραγγελία. Ακολούθως, το υπόλοιπο κομμάτι των παραγγελιών θεωρείται ως νέα παραγγελία και υποβάλλεται εκ νέου σε χρονοπρογραμματισμό μαζί με τυχόν άλλες παραγγελίες που έχουν μόλις υποβληθεί.

Η απαίτηση για εκ νέου αξιολόγηση των παραγγελιών που βρίσκονται υπό εκτέλεση με κάθε νέο χρονοπρογραμματισμό έχει τεθεί από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη του εργοστασίου. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι το εργοστάσιο για να καλύψει την αυξημένη ζήτηση σε περιόδους αιχμής παράγει κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου χρόνου, σε τακτά χρονικά διαστήματα, ποσότητες συγκεκριμένων προϊόντων τις οποίες διατηρεί προσωρινά στο απόθεμά του. Συνήθως γίνεται κάποια εκτίμηση των αναμενόμενων αναγκών σε προϊόντα και ποσότητες από την αρχή του χρόνου και υποβάλλονται από μέρος του ίδιου του εργοστασίου παραγγελίες που αφορούν τα προϊόντα αυτά έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη στο χρονοπρογραμματισμό. Για σκοπούς μεγαλύτερης ευελιξίας στο χρονοπρογραμματισμό οι ΗΠ που ορίζονται για τις παραγγελίες αυτές χρονολογούνται έως και ένα χρόνο μετά. Κατά συνέπεια, εάν σε κάποια χρονική στιγμή οι μηχανές του εργοστασίου είναι κατειλημμένες από παραγγελίες του ίδιου του εργοστασίου και τύχει την ίδια στιγμή να υποβληθούν αρκετές νέες παραγγελίες με στενά χρονοδιαγράμματα, θα πρέπει η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού να παρέχει τη δυνατότητα διακοπής των πρώτων προς όφελος των δεύτερων. Αυτό ισχύει γενικότερα για όλες τις παραγγελίες και όχι μόνο για αυτές του εργοστασίου. Παρόλο δηλαδή που η διακοπή μιας παραγγελίας συνεπάγεται κατά κανόνα κάποιο επιπλέον κόστος λόγω αλλαγής καλουπιού και επανεκκίνησης της μηχανής, εντούτοις σε κάποιες περιπτώσεις η αξιοποίηση της εν λόγω επιλογής μπορεί να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα χρονοπρογραμματισμού. Αρκεί φυσικά η μεθοδολογία χρονοπρογραμματισμού να είναι τέτοια

που να μην διακόπτει όλες τις παραγγελίες παρά μόνο αυτές που πραγματικά θα επιφέρουν ουσιαστική βελτίωση στο παραγόμενο πλάνο εργασίας.

4.3.2 Τα Προϊόντα

Τα προϊόντα χαρακτηρίζονται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Προϊόν (ΚΠ, ΚΚ)

Όπου:

- ΚΠ = Κωδικός Προϊόντος
- ΚΚ = Κωδικός Καλουπιού

Ο ΚΠ περιγράφει μοναδικά ένα προϊόν και χρησιμοποιείται στις παραγγελίες για προσδιορισμό του προϊόντος που αφορά η κάθε παραγγελία.

Ο ΚΚ είναι ο κωδικός του καλουπιού που αντιστοιχεί στο προϊόν. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2, σε κάθε προϊόν αντιστοιχεί ακριβώς ένα καλούπι.

4.3.3 Τα Καλούπια

Τα καλούπια χαρακτηρίζονται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Καλούπι (ΚΚ, ΤΚ, ΧΚ, ΑΟ, ΧΠ, ΔΣ, ΠΕ)

Όπου:

- ΚΚ = Κωδικός Καλουπιού
- ΤΚ = Τύπος Καλουπιού
- ΧΚ = Χρόνος Κύκλου Παραγωγής
- ΑΟ = Αριθμός Οπών/Κοιλοτήτων Καλουπιού
- ΧΠ = Χρόνος Παραγωγής ανά Μονάδα Προϊόντος
- ΔΣ = Δύναμη Σύσφιξης
- ΠΕ = Ποσοστό Επίβλεψης

Ο ΚΚ έχει ήδη επεξηγηθεί στην αμέσως προηγούμενη υποενότητα.

Ο ΤΚ αναφέρεται στον τύπο της μηχανής η οποία μπορεί να εκτελέσει το καλούπι. Οι τύποι των μηχανών έχουν ήδη καταγραφεί στο κεφάλαιο 2.

Ο ΧΚ είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος παραγωγής της μηχανής με το συγκεκριμένο καλούπι. Σε κάθε κύκλο παραγωγής μπορεί να παραχθούν περισσότερα από ένα τεμάχια του προϊόντος αναλόγως των οπών ή κοιλοτήτων του καλουπιού.

Ο ΑΟ προσδιορίζει τον αριθμό των οπών ή κοιλοτήτων του καλουπιού. Κάθε οπή/κοιλότητα αντιστοιχεί σε ένα τεμάχιο προϊόντος.

Ο ΧΠ ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται για να παραχθεί ένα τεμάχιο του προϊόντος και υπολογίζεται ως ο λόγος του ΧΚ επί του ΑΟ (διαφορετικά)

Η ΔΣ ορίζεται ως η δύναμη (ή πίεση) που απαιτεί το καλούπι από τη μηχανή που θα το εκτελέσει έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σωστά η έκχυση (ή εμφύσηση αναλόγως του τύπου της μηχανής) του πλαστικού στο εσωτερικό του. Οποιαδήποτε μηχανή υποστηρίζει τον τύπο του καλουπιού, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παρέχει τουλάχιστο την απαιτούμενη ΔΣ, είναι υποψήφια για την εκτέλεση του καλουπιού.

Το ΠΕ είναι το ποσοστό από το χρόνο ενός εργαζόμενου που απαιτείται για την επίβλεψη της μηχανής που θα εκτελεί το καλούπι. Η συγκεκριμένη απαίτηση καθορίζεται αποκλειστικά από το καλούπι και είναι ανεξάρτητη της μηχανής η οποία θα επιλεγεί για την εκτέλεση του. Για παράδειγμα, για δύο καλούπια που εκτελούνται παράλληλα και έχουν $ΠΕ=0.5$ το καθένα, απαιτείται ακριβώς ένας εργαζόμενος ο οποίος μπορεί παράλληλα να επιβλέπει και τις δύο μηχανές.

4.3.4 Οι Μηχανές

Οι μηχανές χαρακτηρίζονται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Μηχανή (ΚΜ, ΤΜ, ΜΔ, ΙΠ, ΙΛ)

Όπου:

- ΚΜ = Κωδικός Μηχανής
- ΤΜ = Τύπος Μηχανής
- ΜΔ = Μέγιστη Δύναμη Σύσφιξης
- ΙΠ = Ισχύς Προθέρμανσης (KWh)
- ΙΛ = Ισχύς Κανονικής Λειτουργίας (KWh)

Ο ΚΜ αποτελεί ένα σειριακό αριθμό που περιγράφει μοναδικά κάθε μηχανή.

Ο ΤΜ αναφέρεται στον τύπο της μηχανής ο οποίος με τα σημερινά δεδομένα του εργοστασίου μπορεί να πάρει τιμές “Blow”, “Injection” και Stretch. Τόσο ο αριθμός των μηχανών όσο και ο αριθμός των τύπων μηχανών θεωρούνται στην παρούσα μελέτη ως δυναμικά δεδομένα. Επί τούτου, έχει γίνει προσπάθεια όπως οι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού που προτείνονται στην παρούσα μελέτη να μην επηρεάζονται από πιθανή αύξηση του ενός ή και των δύο μεγεθών.

Η ΜΔ αποτελεί τη μέγιστη ΔΣ που μπορεί να υποστηρίξει η μηχανή. Το μέγεθος αυτό κρίνει κατά πόσο η μηχανή μπορεί να εκτελέσει ένα καλούπι με συγκεκριμένες απαιτήσεις σε ΔΣ.

Η ΙΠ είναι η ισχύς που καταναλώνεται για προθέρμανση της μηχανής και μετράται σε μονάδες KWh. Το συγκεκριμένο μέγεθος είναι πολύ σημαντικό αφού για κάθε εκκίνηση της μηχανής καταναλώνεται ένα σεβαστό ποσό ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο επιβαρύνει τα τέλη κατανάλωσης. Ο λόγος που λήφθηκε αυτή η παράμετρος υπόψη στη μελέτη οφείλεται στο γεγονός ότι με το παρόν σύστημα βάρδιας του εργοστασίου υπάρχει σοβαρή ανομοιομορφία στο θέμα του διαθέσιμου προσωπικού, οπότε οι περισσότερες μηχανές που βρίσκονται σε λειτουργία καθημερινά χρειάζεται να σταματήσουν είτε κατά τη διάρκεια της δεύτερης βάρδιας είτε κατά τη διάρκεια της τρίτης βάρδιας και να επανεκκινήσουν το επόμενο πρωί. Αν συμπεριληφθούν υπόψη οι παύσεις λόγω σαββατοκύριακου ή άλλων αργιών καταλήγουμε σε ένα μεγάλο αριθμό επανεκκινήσεων που σαφώς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη αφού ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά το κόστος κατανάλωσης.

Η ΙΛ είναι η ισχύς που καταναλώνεται ενόσω η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία και μετράται επίσης σε μονάδες KWh.

Οι ΙΠ και ΙΛ όσο χρησιμοποιούνται για των υπολογισμό της Συνολικής Κατανάλωσης και της ΜΖ του παραγόμενου σεναρίου που προκύπτει από το χρονοπρογραμματισμό.

4.3.5 Οι Βάρδιες

Οι βάρδιες περιγράφονται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Βάρδια (ΚΒ, ΩΕ, ΩΛ, ΔΒ, ΜΥ)

Όπου:

- ΚΒ = Κωδικός Βάρδιας
- ΩΕ= Ώρα Έναρξης
- ΩΛ = Ώρα Λήξης
- ΔΒ = Διάρκεια Βάρδιας (σε ώρες)
- ΜΥ = Μέσος Αριθμός Διαθέσιμων Υπαλλήλων

Ο ΚΒ επί του παρόντος παίρνει τιμές από 1 μέχρι 3 για τις τρεις βάρδιες αντίστοιχα που καλύπτουν ένα γεμάτο εικοσιτετράωρο σύμφωνα με το υφιστάμενο σύστημα βάρδιας του εργοστασίου.

Οι ΩΕ και ΩΛ αναφέρονται στην ώρα έναρξης και λήξης της βάρδιας αντίστοιχα όπως αυτές καταγράφονται στο κεφάλαιο 2. Η ΔΒ αποτελεί το συνολικό αριθμό ωρών που διαρκεί η βάρδια ο οποίος υπολογίζεται από τη διαφορά των ΩΛ και ΩΕ.

Ο ΜΥ είναι ο μέσος αριθμός των διαθέσιμων υπαλλήλων ανά βάρδια ο οποίος προκύπτει από ιστορικά στοιχεία και χρησιμοποιείται για σκοπούς υπολογισμού συγκεκριμένων πιθανοτήτων οι οποίες αναλύονται στο κεφάλαιο 5.

Οι τιμές που παίρνουν τα πιο πάνω χαρακτηριστικά γνωρίσματα θεωρήθηκαν για τους σκοπούς της μελέτης ως μεταβλητές αφού ανά πάσα στιγμή μπορούν να τροποποιηθούν

κατόπιν απόφασης του ιδιοκτήτη (π.χ. μπορεί να γίνουν τέσσερις εξάωρες βάρδιες αντί τρεις), δεδομένο που έχει ληφθεί υπόψη στην κατασκευή των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού.

4.3.6 Το Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης του Προσωπικού

Το Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης του Προσωπικού περιγράφεται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Ωρολόγιο Πρόγραμμα Απασχόλησης (ΗΜ, ΚΒ, ΑΥ)

Όπου:

- ΗΜ = Ημερομηνία (365 μέρες)
- ΚΒ = Κωδικός Βάρδιας
- ΑΥ = Αριθμός Διαθέσιμων Υπαλλήλων

Όλες οι ημέρες του έτους συνδυάζονται με όλους τους κωδικούς βάρδιας για να δημιουργηθεί ένα ετήσιο πρόγραμμα που να καλύπτει τις 1.095 (=365x3) βάρδιες του έτους βάσει του υφιστάμενου συστήματος βάρδιας. Για κάθε μία από αυτές τις βάρδιες καταγράφεται εκ των προτέρων ο αριθμός των υπαλλήλων που αναμένεται ότι θα εργαστούν κατά τη διάρκεια της βάρδιας έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη στο χρονοπρογραμματισμό.

Στα αρχικά στάδια της μελέτης του προβλήματος υπήρχαν σκέψεις να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο εισόδου στο χρονοπρογραμματισμό ένας σταθερός αριθμός υπαλλήλων ανά βάρδια αντί να καταρτιστεί πρόγραμμα για όλες τις μέρες του χρόνου. Συγκεκριμένα ο σταθερός αυτός αριθμός θα αφορούσε το μέσο αριθμό υπαλλήλων ανά βάρδια που ανέρχεται σε 6, 3 και 2 υπαλλήλους για τις τρεις βάρδιες αντίστοιχα - όπως προκύπτει από στατιστικά δεδομένα - αγνοώντας τυχόν άδειες ανάπαυσης και ασθενείας του προσωπικού όπως επίσης και τυχόν εποχιακές προσλήψεις υπαλλήλων με όρους μερικής απασχόλησης. Η συγκεκριμένη απλοποίηση θα επέφερε σημαντική απλοποίηση των ελέγχων που γίνονται για εξακρίβωση της τήρησης των περιορισμών του προβλήματος που αφορούν τη διαθεσιμότητα του προσωπικού για την επίβλεψη των μηχανών. Παρόλο που σε καθαρά θεωρητικό επίπεδο η

απλοποίηση δεν θα επηρέαζε με κάποιο τρόπο την ουσία του προβλήματος, στην πράξη δεν θα μπορούσε να τύχει εφαρμογής. Ο λόγος είναι ότι αν υποθέταμε ότι υπάρχουν σταθερά 2 υπάλληλοι στη νυχτερινή βάρδια, ενώ σε μια συγκεκριμένη μέρα υπήρχε τελικά μόνο ένας, ο χρονοπρογραμματισμός δεν θα μπορούσε να λάβει υπόψη αυτό το δεδομένο με κίνδυνο όλα τα παραγόμενα σενάρια να είναι τελικά μη εφαρμόσιμα. Ως εκ τούτου αποφασίστηκε όπως για κάθε βάρδια να μπορεί να καθορίζεται διαφορετικός αριθμός διαθέσιμων υπαλλήλων.

4.3.7 Ο Κώδικας τιμολόγησης της ΑΗΚ (διαφορετικά Κώδικας 61)

Ο Κώδικας τιμολόγησης που εφαρμόζεται από την ΑΗΚ περιγράφεται από το πιο κάτω διάγραμμα:

Κώδικας Τιμολόγησης (ΚΣΦ, ΑΣΦ, ΧΚΚ, ΧΜΖ)

Όπου:

- ΚΣΦ = Κατώτατος Συντελεστής Φορτίου
- ΑΣΦ = Ανώτατος Συντελεστής Φορτίου
- ΧΜΚ = Χρεώσεις ανά μονάδα (Kwh) Κατανάλωσης
- ΧΜΖ = Χρεώσεις ανά μονάδα (KVA) Μέγιστης Ζήτησης

Το διάστημα μεταξύ του ΚΣΦ και ΑΣΦ ορίζει ένα υποσύνολο του διαστήματος $[0,1] \in \mathbb{R}$ το οποίο αποτελεί το συνολικό εύρος τιμών που μπορεί να πάρει ο ΣΦ. Για κάθε διάστημα ορίζονται αντίστοιχες τιμές για τις ΧΜΚ και ΧΜΖ. Οι συγκεκριμένες τιμές σε συνδυασμό με τον ΣΦ χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ενός παραγόμενου σεναρίου. Το συνολικό κόστος αποτελεί το κριτήριο σύγκρισης και αξιολόγησης των παραγόμενων σεναρίων.

Κεφάλαιο 5 Οι προδιαγραφές των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο προτείνονται διάφοροι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού οι οποίοι επιλύουν το πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στη βάση των δεδομένων του προβλήματος όπως αυτά καταγράφονται στα κεφάλαια 2 και 3. Ειδικότερα, ο σχεδιασμός των αλγορίθμων αποβλέπει στην ικανοποίηση των βασικών επιδιώξεων του προβλήματος που καθορίστηκαν στο κεφάλαιο 3. Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια όπως οι προτεινόμενες λύσεις αξιοποιούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα βασικά συμπεράσματα της συζήτησης που επίσης αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3 και όλες τις σχετικές επισημάνσεις και παρατηρήσεις που έγιναν.

Στην παράγραφο 5.1 καθορίζονται οι απαιτήσεις όσον αφορά τη μορφή που θα πρέπει να έχει το τελικό προϊόν της όλης διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού το οποίο θα αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Ακολούθως στην παράγραφο 5.2 περιγράφεται το γενικό πλαίσιο λύσης ενώ στην παράγραφο 5.3 επεξηγούνται οι λόγοι που ακολουθήθηκε η συγκεκριμένη προσέγγιση. Στην παράγραφο 5.4 ορίζονται οι προδιαγραφές που θα πρέπει να τηρούν οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού όσον αφορά τις μεθόδους/τεχνικές αναζήτησης. Στις τελευταίες τρεις παραγράφους αναλύονται ξεχωριστά οι διάφορες επιμέρους διαδικασίες στις οποίες χωρίζεται η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού.

5.1 Τα δεδομένα εξόδου της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού

Στην παράγραφο 4.2 ορίσαμε τις βασικές παραμέτρους οι οποίες αποτελούν τα δεδομένα εισόδου της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού. Στην παρούσα παράγραφο γίνεται καθορισμός και περιγραφή των δεδομένων εξόδου του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα με το πέρας της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού θα πρέπει να προκύπτουν τα ακόλουθα δεδομένα τα οποία θα αποτελούν και το τελικό προϊόν του αλγορίθμου:

I. Το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών

II. Το Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των δεδομένων αυτών.

5.1.1. Το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών

Το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών αποτελεί ουσιαστικά το πρόγραμμα που θα πρέπει να ακολουθήσει το εργοστάσιο για να πετύχει ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Ουσιαστικά το πρόγραμμα καθορίζει:

- I. Το πότε θα εκτελεστεί και ποτέ θα αποπερατωθεί κάθε παραγγελία, δηλαδή τις ΗΕ και ΗΑ κάθε παραγγελίας.
- II. Σε ποια μηχανή θα εκτελεστεί κάθε παραγγελία.
- III. Με ποιο συνδυασμό βάρδιας θα εκτελεστεί η κάθε παραγγελία στη βάση της παραδοχής που έγινε στην παράγραφο 4.2.

Θα πρέπει να επισημάνουμε ξανά ότι η λύση που καθορίζεται από το εν λόγω πρόγραμμα μπορεί να θεωρηθεί ως βέλτιστη μόνο τη στιγμή κατά την οποία παράγεται με τα δεδομένα που ισχύουν τη δεδομένη στιγμή. Στην πραγματικότητα μέρος του προγράμματος δεν θα εκτελεστεί καθόλου αφού το πιο πιθανό σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο θα γίνει διαφοροποίηση των δεδομένων εισόδου κάτι που θα οδηγήσει σε νέο χρονοπρογραμματισμό από τον οποίο θα προκύψει ένα νέο πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών.

Στην πράξη η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού μπορεί να επαναληφθεί ανά πάσα στιγμή όποτε το επιθυμήσει ο ιδιοκτήτης του εργοστασίου. Στην ουσία όμως έχει νόημα να επαναλάβει κάποιος τη διαδικασία μόνον όταν διαφοροποιηθεί κάποια από τις παραμέτρους εισόδου. Πιο κάτω καταγράφονται κάποια παραδείγματα με τις πιο συχνές αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν σε ανάγκη νέου χρονοπρογραμματισμού των εργασιών:

1. Υποβολή νέας παραγγελίας/παραγγελιών.
2. Ακύρωση παραγγελίας/παραγγελιών.
3. Αλλαγή στο πρόγραμμα εργασίας του προσωπικού λόγω ενημέρωσης για λήψη έκτακτης ή προγραμματισμένης άδειας από μέρος του προσωπικού
4. Βλάβη σε κάποια μηχανή που την καθιστά μη χρησιμοποιήσιμη

5. Αγορά νέας μηχανής
6. Άλλοι λόγοι.

Όσον αφορά τις αλλαγές στο πρόγραμμα εργασίας του προσωπικού θα πρέπει να σημειώσουμε ότι συνήθως ένα πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών που παράγεται τη χρονική στιγμή t_0 μπορεί να έχει ορίζονται μέχρι και 3 μήνες, δηλαδή η τελευταία παραγγελία θα έχει $HA=t_0+90$. Αν όμως στο χρόνο t_1 , όπου $t_0 \leq t_1 \leq t_0+90$, ένας υπάλληλος ειδοποιήσει ότι θα πρέπει να απουσιάσει για κάποιο λόγο από τη βάρδια του στο χρόνο t_2 , όπου $t_1 \leq t_2 \leq t_0+90$, τότε αν βάσει του προγράμματος οι εναπομείναντες υπάλληλοι δεν επαρκούν, τη συγκεκριμένη μέρα και βάρδια, για την εφαρμογή του προγράμματος, η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού θα πρέπει να επαναληφθεί εκ νέου αφού το υφιστάμενο πρόγραμμα θα θεωρείται ολοκληρωτικά άκυρο. Γενικά, λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος θα είναι δύσκολο για τον ιδιοκτήτη να προβαίνει σε χειροκίνητες επεμβάσεις στο πρόγραμμα αφού ακόμα και μικρές διαφοροποιήσεις είναι δυνατό να αλλάξουν άρδην την απόδοση του προγράμματος σε θέματα κατανάλωσης ρεύματος.

Στο συγκεκριμένο σημείο θα πρέπει να ορίσουμε τη μορφή που θα πρέπει να έχει το Πρόγραμμα Εκτέλεσης των Παραγγελιών και τα χαρακτηριστικά του. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα μπορεί να περιγραφεί από το πιο κάτω διάγραμμα:

Πρόγραμμα Εκτέλεσης Παραγγελιών (ΚΠ, ΗΕ, ΗΑ, ΚΜ, ΣΒ, ΣΧΕ)

Όπου:

- ΚΠ = Κωδικός παραγγελίας
- ΗΕ = Ημερομηνία Έναρξης
- ΗΑ = Ημερομηνία Αποπεράτωσης
- ΚΜ = Κωδικός Μηχανής
- ΣΒ = Συνδυασμός Βάρδιας
- ΔΕΜ= Διάρκεια Παραγγελίας σε Εργάσιμες Μέρες (εξαρτάται από την τιμή του ΣΒ)

Ο ΚΠ και ο ΚΜ έχουν ήδη επεξηγηθεί στην παράγραφο 4.2 αφού αποτελούν γνωρίσματα που χαρακτηρίζουν τις παραγγελίες και τις μηχανές.

Η ΗΕ είναι η ημερομηνία κατά την οποία αρχίζει να εκτελείται μια παραγγελία. Όπως είδαμε στην παράγραφο 4.2 όλες οι παραγγελίες ξεκινούν κατά την πρωινή βάρδια που αρχίζει στις 6:00 π.μ.

Η ΗΑ είναι ουσιαστικά η ημερομηνία κατά την οποία η παραγγελία είναι έτοιμη για παράδοση. Παρόλο που μια παραγγελία μπορεί να τελειώσει κατά τη διάρκεια της μέρας, επειδή παραδόσεις γίνονται μόνο τα πρωινά, μια παραγγελία θεωρείται έτοιμη για παράδοση πάντα την επομένη της ημερομηνίας αποπεράτωσης.

Ο ΣΒ παίρνει τιμή 1 αν η παραγγελία εκτελείται μόνο κατά πρωινή βάρδια, 2 αν εκτελείται κατά την πρωινή και απογευματινή βάρδια και 3 αν εκτελείται ασταμάτητα όλο το 24-ωρο, δηλαδή και στις τρεις βάρδιες.

Η ΔΕΜ είναι διάρκεια της παραγγελίας σε εργάσιμες μέρες η οποία υπολογίζεται βάση της από την τιμής του ΣΒ. Αν για παράδειγμα μια παραγγελία έχει ΧΕ=35 ώρες και έχει ΣΒ=1 τότε θα εκτελείται μόνο κατά την πρώτη ημερήσια βάρδια η οποία διαρκεί δέκα ώρες και άρα θα χρειαστεί τέσσερις εργάσιμες μέρες για να αποπερατωθεί.

5.1.2 Το Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών

Όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 4, μια από τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος είναι ότι το τελικό κόστος κατανάλωσης ρεύματος που θα προκύψει από τον χρονοπρογραμματισμό, και το οποίο θα κρίνει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση της προτεινόμενης λύσης χρονοπρογραμματισμού, μπορεί να μετρηθεί μόνο στο τέλος κάθε μήνα και όχι ενδιάμεσα. Δηλαδή, παρόλο που ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού θα είναι σε θέση να υπολογίσει το κόστος του παραγόμενου προσράμματος εργασιών σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, επειδή το πρόγραμμα δύναται να αλλάξει αργότερα δεν υπάρχει τρόπος να προβλεφθεί εκ των προτέρων το τελικό κόστος. Ακριβώς για αυτό το λόγο χρειάζεται το ένα Μητρώο παραγγελιών στο οποίο θα καταγράφεται όλο το ιστορικό των εργασιών του εργοστασίου.

Στο εν λόγω μητρώο θα καταγράφεται πότε εκτελείται μια παραγγελιά και σε ποια μηχανή. Όπως έχουμε αναφέρει ενωρίτερα, βασική απαίτηση του ιδιοκτήτη του εργοστασίου είναι όπως σε κάθε νέο χρονοπρογραμματισμό συμμετέχουν, εκτός των άλλων, και όλες οι παραγγελίες που βρίσκονται υπό εκτέλεση τη δεδομένη στιγμή που καλείται ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα μια παραγγελία να μπορεί να διακοπεί και να δώσει τη θέση της σε κάποια άλλη πιο επείγουσα. Σε κάθε κύκλο χρονοπρογραμματισμού όλες οι παραγγελίες που βρίσκονται υπό εκτέλεση τη δεδομένη στιγμή αντιμετωπίζονται ως νέες παραγγελίες με διάρκεια ίση με το χρόνο που χρειάζεται για να εκτελεστεί υπολειπόμενο κομμάτι τους.

Κάτω από αυτά τα δεδομένα είναι δυνατό μια παραγγελία να εκτελεστεί τμηματικά σε διάφορα χρονικά σημεία και σε διαφορετικές μηχανές μέχρι να αποπερατωθεί πλήρως. Όλες οι πληροφορίες που αφορούν τις εν λόγω εκτελέσεις θα πρέπει να κατακρατούνται στο Μητρώο Εκτέλεσης Παραγγελιών έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα να υπολογιστεί εκ των υστέρων το κόστος εκτέλεσης της παραγγελίας όπως επίσης και το συνολικό κόστος του πραγματικού προγράμματος εκτέλεσης το οποίο θα προκύψει μέσα από τους αλληπάληλους και αλληλοαναιρούμενους χρονοπρογραμματισμούς.

Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, μια παραγγελία μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις ακόλουθες καταστάσεις:

1. «Αποπερατωμένη»
2. «Εκκρεμούσα»
3. «Υπό Εκτέλεση»
4. «Χρονοπρογραμματισμένη»
5. «Ακυρωμένη»

«Αποπερατωμένες» θεωρούνται όλες οι παραγγελίες που έχουν ολοκληρωθεί πλήρως. «Εκκρεμούσες» θεωρούνται μόνο οι νέες παραγγελίες που υποβάλλονται στο διάστημα μεταξύ του τελευταίου χρονοπρογραμματισμού και της δεδομένης χρονικής στιγμής ενώ «Υπό Εκτέλεση» είναι αυτές που τελούν υπό εκτέλεση σε κάποια μηχανή τη στιγμή που καλείται ο

αλγόριθμος. «Χρονοπρογραμματισμένες» θεωρούνται αυτές που έχουν προγραμματιστεί κατά τον τελευταίο κύκλο χρονοπρογραμματισμού και βρίσκονται σε αναμονή για να εκτελεστούν. «Ακυρωμένες» θεωρούνται αυτές που έχουν για κάποιο λόγο ακυρωθεί. Ακυρώσεις παραγγελιών γίνονται μόνο από τον ιδιοκτήτη. Οι παραγγελίες αυτές απλά εξαιρούνται από τη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού. Σε κάθε κύκλο χρονοπρογραμματισμού λαμβάνουν μέρος μόνο οι «Εκκρεμούσες», οι «Υπό Εκτέλεση» και οι ήδη «Χρονοπρογραμματισμένες» παραγγελίες οι οποίες δεν εκτελέστηκαν ακόμα.

Θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι μια παραγγελία, ή ένα τμήμα της, μπορεί να χρονοπρογραμματιστεί αρκετές φορές μέχρι να έρθει η στιγμή για να εκτελεστεί. Ειδικά οι παραγγελίες που έχουν απομακρυσμένα χρονοδιαγράμματα μπορεί με κάθε προγραμματισμό να παίρνουν νέες τιμές για ΗΕ και ΗΑ. Επίσης, μια υπό εκτέλεση παραγγελία η οποία συμμετέχει σε νέο κύκλο χρονοπρογραμματισμού δεν σημαίνει κατά ανάγκη ότι θα διακοπεί. Αυτό είναι κάτι για το οποίο θα πρέπει να αποφασίσει ο αλγόριθμος. Η επιλογή για διακοπή και μετάθεση χρονικά των υπό εκτέλεση παραγγελιών τέθηκε σαν προδιαγραφή για να επιτρέψει κυρίως στις μεγάλες εσωτερικές παραγγελίες του εργοστασίου οι οποίες δεν έχουν αυστηρά χρονοδιαγράμματα (π.χ. για τέτοιες παραγγελίες καθορίζονται πολύ απομακρυσμένα χρονοδιαγράμματα για να υπάρχει ευελιξία στον χρονοπρογραμματισμό τους) να εκτελούνται αποσπασματικά σε χρονικές περιόδους που ο φόρτος εργασίας είναι μειωμένος.

Υπό αυτά τα δεδομένα όμως, θα πρέπει ο αλγόριθμος να είναι τέτοιος που να διακόπτει μόνο τις εν λόγω παραγγελίες και όχι εκείνες που έχουν στενά χρονοδιαγράμματα ή που έχουν πολύ μικρό εναπομείναντα χρόνο εκτέλεσης. Αυτό γιατί όπως έχουμε πει προηγουμένως, η διαδικασία αλλαγής μια παραγγελίας είναι γενικά επίπονη εργασία αφού συνεπάγεται αλλαγή καλουπιού και καθαρισμό της μηχανής οπότεν θα πρέπει να αποφασίζεται μόνο όταν πραγματικά αξίζει τον κόπο.

Το Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών μπορεί να περιγραφεί από το πιο κάτω διάγραμμα:

Μητρώο Εκτέλεσης Παραγγελιών (ΚΠ, ΗΠΧ, ΗΤΧ, ΚΜ, ΣΒ, ΧΚΠ, ΧΚΤ, ΕΧ)

Όπου:

- ΚΠ = Κωδικός παραγγελίας
- ΗΠΧ = Ημερομηνία Προηγούμενου Χρονοπρογραμματισμού
- ΗΤΧ = Ημερομηνία Τρέχοντα Χρονοπρογραμματισμού
- ΚΜ = Κωδικός Μηχανής
- ΣΒ = Συνδυασμός Βάρδιας
- ΧΚΠ = Χρόνος εκτέλεσης που καλύφθηκε πριν την ΗΠΧ
- ΧΚΤ = Χρόνος εκτέλεσης που καλύφθηκε μεταξύ την ΗΠΧ και ΗΤΧ (εξαρτάται από τον τρέχον ΣΒ)
- ΕΧ = Εναπομείναντας χρόνος εκτέλεσης της παραγγελίας

Οι ΚΠ, ΚΜ, και ΣΒ έχουν ήδη επεξηγηθεί.

Οι ΗΠΧ και ΗΤΧ ορίζουν το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών χρονοπρογραμματισμών. Συγκεκριμένα, όταν ξεκινά νέος κύκλος χρονοπρογραμματισμού, το πρόγραμμα του προηγούμενου χρονοπρογραμματισμού ακυρώνεται αφού κάποιες παραγγελίες θα διακοπούν, άλλες θα πάρουν νέες ΗΕ και ΗΑ ή/και νέους ΣΒ ενώ κάποιες άλλες θα έχουν ήδη αποπερατωθεί στο ενδιάμεσο. Πριν όμως ο αλγόριθμος διαγράψει τα δεδομένα του προηγούμενου προγράμματος θα πρέπει να εξεταστεί:

- I. Σε ποια κατάσταση βρίσκεται κάθε παραγγελία (π.χ. Εκκρεμούσα, Αποπερατωμένη κτλ) έτσι ώστε να κριθεί ποιες παραγγελίες θα λάβουν μέρος στο νέο χρονοπρογραμματισμό.
- II. Για τις παραγγελίες που βρίσκονταν υπό εκτέλεση, είτε έχουν αποπερατωθεί είτε όχι, θα πρέπει να υπολογιστεί ο ΧΚΤ, ο χρόνος εκτέλεσης δηλαδή που καλύφθηκε μεταξύ του προηγούμενου και του τρέχοντα χρονοπρογραμματισμού. Ο ΧΚΤ έτσι ώστε να αφαιρεθεί από τον ΕΧ της παραγγελίας για να προκύψει ο νέος ΕΧ. Για τον υπολογισμό του ΧΚΤ χρόνου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο προηγούμενος ΣΒ. Όλες οι εν λόγω πληροφορίες θα αποθηκευτούν στο μητρώο έτσι ώστε να

χρησιμοποιηθούν στο τέλος του μήνα για υπολογισμό της πραγματικής μηνιαίας κατανάλωσης, της μέγιστης ζήτησης και του ΣΦ για να υπολογιστεί το πραγματικό κόστος ηλεκτρικού ρεύματος που θα πληρώσει το εργοστάσιο και το οποίο σαφώς και θα διαφέρει από τα αποτελέσματα των ενδιάμεσων χρονοπρογραμματισμών στη βάση των οποίων αξιολογούνται και υιοθετούνται οι βέλτιστες λύσεις.

5.2 Το πλαίσιο λύσης

Λαμβάνοντας υπόψη τα όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια θεωρήθηκε σωστό όπως η διαδικασία εξεύρεσης της βέλτιστης λύσης χωριστεί σε τέσσερις επιμέρους διαδικασίες ως ακολούθως:

- A. Στη διαδικασία δημιουργίας της αλληλουχίας με την οποία θα εκτελεστούν οι παραγγελίες.
- B. Στον έλεγχο των περιορισμών.
- C. Στη διαδικασία ανάθεσης των μηχανών.
- D. Στη διαδικασία υπολογισμού της απόδοσης του παραγόμενου σεναρίου για σκοπούς σύγκρισης.

Συνοπτικά, κατά τη δημιουργία της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών καθορίζεται η **Ημερομηνία Έναρξης («HE»)** και ο **Συνδυασμός Βάρδιας («ΣΒ»)** για κάθε παραγγελία ξεχωριστά. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 5.3. Αναλόγως των HE και ΣΒ και δεδομένου του χρόνου εκτέλεσης της παραγγελίας αλλά και των ενδιάμεσων αργιών υπολογίζεται η **Ημερομηνία Αποπεράτωσης («HA»)** της παραγγελίας. Αφού γίνει αυτό για όλες τις παραγγελίες ακολουθεί ο έλεγχος των περιορισμών. Σε αυτή τη φάση εξετάζεται αν ο παραγόμενος συνδυασμός των HA και HB μπορεί να οδηγήσει σε λύση. Αν ισχύει αυτό, τότε ο αλγόριθμος μπαίνει στη διαδικασία ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές κατά την οποία αναζητεί λύσεις και προβαίνει σε συγκρίσεις για τον εντοπισμό της καλύτερης εξ αυτών. Εφόσον εντοπιστεί η καλύτερη λύση στη βάση των προκαθορισμένων HA και HB γίνεται

σύγκριση με τη βέλτιστη λύση η οποία αποτελεί την καλύτερη λύση μεταξύ όλων των προηγούμενων λύσεων που προέκυψαν από διαφορετικούς συνδυασμούς HA και HB. Αν η τελευταία λύση υπερσχύει της βέλτιστης τότε γίνεται αυτή η βέλτιστη λύση. Σε κάθε περίπτωση μετά από το στάδιο αυτό η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη δημιουργία νέου συνδυασμού HE και HA.

Το σημαντικό στοιχείο της προσέγγισης αυτής είναι ο πλήρης διαχωρισμός της διαδικασίας δημιουργίας της ακολουθίας εκτέλεσης των παραγγελιών και της διαδικασίας ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Ο εν λόγω διαχωρισμός κρίθηκε σκόπιμος για τρεις σημαντικούς λόγους η οποίοι αναλύονται πιο κάτω.

5.3 Οι λόγοι διαχωρισμού των βασικών διαδικασιών των αλγορίθμου

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται οι λόγοι που μας οδήγησαν στην αναζήτηση αλγοριθμικής λύσης που να βασίζεται σε πολλές επιμέρους διαδικασίες με ενδιάμεσα προϊόντα εισόδου και εξόδου αντί σε ένα γενικό αλγόριθμο που να επεξεργάζεται όλες τις παραμέτρους ταυτόχρονα.

Λόγος 1: Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με τη σπουδαιότητα της διαδικασίας καθορισμού της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών έναντι των υπολοίπων διαδικασιών. Όπως επισημάναμε στην παράγραφο 4.3 η πιο σημαντική επιδίωξή μας στην προσπάθεια εξεύρεσης λύσης θα πρέπει να είναι η μείωση, και ταυτόχρονα, η σταθεροποίηση του αριθμού των μηχανών που τρέχουν παράλληλα. Η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει τις δυνατότητες επίτευξης του εν λόγω στόχου είναι η αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών, η οποία προκύπτει από τις HE και HA που ανατίθενται σε κάθε παραγγελία. Ο καθορισμός των HE και HA μπορεί να γίνει με τρόπο που να είναι ικανός να διασφαλίσει ότι θα γίνει πλήρης αξιοποίηση του διαθέσιμου χρόνου έτσι ώστε οι παραγγελίες να απλωθούν και άρα να μειωθεί ο βαθμός αλληλοεπικάλυψης. Ακριβώς λόγω της βαρύτητας που έχει η διαδικασία καθορισμού των HE και HA ως προς την ποιότητα της παραγόμενης λύσης αποφασίστηκε όπως αυτή γίνεται στα αρχικά στάδια δημιουργίας του σεναρίου λύσης έτσι ώστε το υπό δημιουργία σενάριο να τυγχάνει αξιολόγησης αρκετά νωρίς και ως εκ τούτου να παρέχεται η ευχέρεια απόρριψης του σε περίπτωση που δεν υπάρχουν ικανοποιητικές προοπτικές ως προς την μετέπειτα εξέλιξη του.

Λόγος 2: Ο δεύτερος λόγος διαχωρισμού των δύο διαδικασιών οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία καθορισμού των HE και HA είναι αρκετά απλή διαδικασία και ως εκ τούτου μπορεί να γίνεται γρήγορα σε αντίθεση με τη διαδικασία ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές η οποία είναι αρκετά χρονοβόρα λόγω των πολλών συνδυασμών που μπορεί να γίνουν αφού κάθε παραγγελία μπορεί να εκτελεστεί σε περισσότερες από μια μηχανές του ίδιου τύπου φτάνει οι μηχανές αυτές να μπορούν να υποστηρίξουν τη ΔΣ του καλουπιού που αντιστοιχεί στην παραγγελία. Θα μπορούσε, εναλλακτικά, η ανάθεση μιας παραγγελίας σε κάποια μηχανή να γίνεται ταυτόχρονα με τον καθορισμό των HE και HA, αυτό όμως δημιουργεί ένα πρόβλημα. Συγκεκριμένα, λόγω της ιδιαιτερότητας του προβλήματος και της φύσης των περιορισμών του, γειτονικές λύσεις μπορούν να έχουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, η παραμικρή αλλαγή σε ένα σχετικά καλό σενάριο μπορεί να οδηγήσει σε ένα πολύ κακό σενάριο ή ακόμα και σε μη λύση. Συνεπώς το σενάριο της βέλτιστης λύσης δεν μπορεί να προκύψει μέσα από μια διαδικασία βαθμιαίας «εξέλιξης» ενός αρχικού σεναρίου όπως γίνεται με τους γενετικούς αλγόριθμους αλλά μέσα από τυχαίες και ανεξάρτητες μεταξύ τους δοκιμές. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε περίπτωση που υπάρχουν πολλοί πιθανοί συνδυασμοί λύσεων που μπορούν να δοκιμαστούν αφού υπάρχει κίνδυνος ο αλγόριθμος να καθυστερεί αρκετά μέχρι την εύρεση μιας καλής λύσης. Το κλειδί για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες καθυστερήσεις είναι πρώτο, η αναζήτηση να επικεντρώνεται αποκλειστικά στο εύρος των δυνατών συνδυασμών στο οποίο συγκεντρώνονται οι καλές λύσεις και δεύτερο, η αξιολόγηση των λύσεων να γίνεται ενδιάμεσα σε ένα καίριο σημείο πριν ο αλγόριθμος μπει σε διαδικασία πολύπλοκων και χρονοβόρων υπολογισμών.

Λόγος 3: Ο τρίτος λόγος σχετίζεται με τον έλεγχο των περιορισμών. Συγκεκριμένα οι δύο λόγοι που αναφέρονται πιο πάνω ως προς το βαθμό σημαντικότητας και την ταχύτητα της διαδικασίας καθορισμού των HE και HA έχουν νόημα κάτω από την υπόθεση ότι η λύση μπορεί να αξιολογηθεί πριν το στάδιο ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Στην πραγματικότητα αυτό είναι εφικτό αφού όπως φαίνεται στην παράγραφο 5.3 που ακολουθεί μπορεί με εφαρμογή συγκεκριμένων ελέγχων τήρησης κάποιων βασικών περιορισμών να απαντηθεί σε μεγάλο βαθμό το κατά πόσο υπάρχει συνδυασμός ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές ο οποίος να μπορεί να ικανοποιήσει τις ήδη προκαθορισμένες HE και HA, και άρα

να οδηγεί σε λύση. Αν όμως συμβεί αυτό, δηλαδή αν διασφαλιστεί η επίτευξη λύσης, τότε σίγουρα αυτή η λύση θα είναι καλή λύση αφού οι HE και HA καθορίζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διασφαλίζουν a-priori ελαχιστοποίηση του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των μηχανών. Η δυσκολία αυτής της στρατηγικής έγκειται στο γεγονός ότι από τη στιγμή που θα έχει εξακριβωθεί η ύπαρξη καλής λύσης ο αλγόριθμος ανάθεσης των μηχανών θα πρέπει να είναι ικανός να εντοπίσει τη λύση αυτή. Επίσης, σε περίπτωση που υπάρχουν πολλές καλές λύσεις ο αλγόριθμος θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει τη βέλτιστη λύση ανάμεσα στις καλές. Η βέλτιστη λύση πέραν τη βασικής επιδίωξης για μείωση του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των μηχανών, η οποία θεωρείται στο σημείο αυτό δεδομένη, θα πρέπει να ικανοποιεί εν μέρει και τις υπόλοιπες δύο επιδιώξεις που τέθηκαν στην παράγραφο 4.2 οι οποίες μπορούν να επιφέρουν περαιτέρω βελτιστοποίηση της λύσης. Όπως έχουμε αναφέρει ξανά οι δύο αυτές επιδιώξεις δύναται σε κάποιες περιπτώσεις να αλληλοσυγκρούονται σε κάποιο βαθμό οπότε και θα πρέπει να εξευρεθεί η χρυσή τομή. Από τη στιγμή όμως που η ύπαρξη λύσης, και μάλιστα καλής, θεωρείται σε μεγάλο βαθμό δεδομένη από τα δύο πρώτα σκέλη του αλγορίθμου A και B, τότε τυχόν καθυστερήσεις κατά τη διαδικασία ανάθεσης των μηχανών μπορούν να θεωρηθούν ως «υποφερτές» αφού στο τέλος θα επέλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην παράγραφο 5.3 συζητούνται εκτενώς διάφορες λύσεις όσον αφορά τον τρόπο ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Φυσικά, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι όταν ο αλγόριθμος φτάσει στη φάση της ανάθεσης παραγγελιών στις μηχανές, θα έχει ουσιαστικά εγκλωβιστεί στο πεδίο λύσεων που καθορίζει ο εκάστοτε συνδυασμός των HE και HA. Παρόλο που η τελική λύση που θα προκύψει στο πεδίο αυτό μπορεί να θεωρηθεί εκ των προτέρων ως καλή, εντούτοις ιδανικό θα είναι ο αλγόριθμος να αφήνει και κάποια περιθώρια για να δοκιμαστούν και άλλοι συνδυασμοί HE και HA οι οποίοι επίσης μπορούν να οδηγήσουν σε καλά αποτελέσματα.

5.4 Οι βασικές προδιαγραφές του αλγορίθμου

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα της προηγούμενης παραγράφου καταλήγουμε ότι η αλγοριθμική προσέγγιση που θα ακολουθεί θα πρέπει σε σημαντικό βαθμό να ικανοποιεί τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- i. Να προβαίνει σε στοχευόμενη αναζήτηση εντός του πεδίου λύσεων με a-priori αποκλεισμό μέρους των λύσεων και έμφαση μόνο στις «καλές περιοχές» λύσεων.
- ii. Να επιτυγχάνει εύκολο και γρήγορο εντοπισμό των «καλών περιοχών» με εφαρμογή κατάλληλων κριτήριων αξιολόγησης (π.χ. σωστοί έλεγχοι περιορισμών).
- iii. Να εγγυάται την, όσο το δυνατό, εις βάθος εξερεύνηση των «καλών περιοχών» του πεδίου λύσεων για εντοπισμό των τοπικών βέλτιστων λύσεων.
- iv. Να παρέχει τη δυνατότητα εξερεύνησης όσο το δυνατότερο μεγαλύτερου μέρους του πεδίου λύσεων έτσι ώστε να εξετάζεται όσο το δυνατό μεγαλύτερος αριθμός «καλών περιοχών».

Με τον όρο «περιοχή» εννοούμε όλες τις λύσεις που μπορεί να προκύψουν από ένα δεδομένο συνδυασμό ΗΕ και ΗΑ. Με τον όρο «καλή» εννοούμε ότι ο συνδυασμός των ΗΕ και ΗΑ είναι τέτοιος που ικανοποιεί τους περιορισμούς και άρα υπάρχουν σοβαρές πιθανότητες να πετύχουμε λύση η οποία αν επιτευχτεί θα είναι σίγουρα καλή.

Η πρώτη προδιαγραφή μπορεί να επιτευχθεί με σωστό καθορισμό των ΗΕ και ΗΑ. Η δεύτερη προδιαγραφή μπορεί να επιτευχθεί αν η διαδικασία καθορισμού των ΗΕ και ΗΑ είναι απλή και γρήγορη. Γρήγορη θα πρέπει επίσης να είναι και η διαδικασία αξιολόγησης των συνδυασμών η οποία επιπρόσθετα θα πρέπει να χαρακτηρίζεται και από κατάλληλα και στοχευόμενα κριτήρια αξιολόγησης. Η τρίτη προδιαγραφή μπορεί να ικανοποιηθεί αν ο αλγόριθμος ανάθεσης των παραγγελιών είναι τέτοιος που να εξετάζει όσο πιο πολλές λύσεις γίνεται εντός της περιοχής που καθορίζουν οι ΗΕ και ΗΑ. Εκτός από εξονυχιστικός, ο αλγόριθμος ανάθεσης των μηχανών θα πρέπει ταυτόχρονα να είναι και γρήγορος έτσι ώστε να παρέχεται χρόνος για να δοκιμαστούν και άλλοι συνδυασμοί ΗΕ και ΗΑ και άρα να εξερευνηθούν περισσότερες περιοχές λύσεων όπως προστάζει η τέταρτη προδιαγραφή που έχουμε θέσει.

Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι βασική προϋπόθεση που θα πρέπει να ικανοποιεί ο αλγόριθμος αναζήτησης είναι να μπορεί να δώσει λύση εντός ενός εύλογου χρονικού περιθωρίου που στην προκειμένη περίπτωση περιορίζεται σε μερικές ώρες. Ο λόγος είναι καθαρά πρακτικός αφού όταν μια παραγγελία υποβληθεί στο εργοστάσιο θα πρέπει το αργότερο μέχρι το πρωί της επόμενης μέρας να έχει χρονοπρογραμματιστεί, ασχέτως πότε θα εκτελεστεί, έτσι ώστε να μην υπάρχουν επιπλοκές στο πρόγραμμα λειτουργίας του εργοστασίου.

Στις επόμενες τέσσερις παραγράφους αναλύονται οι επιμέρους διαδικασίες του χρονοπρογραμματισμού όπως έχουν οριστεί στην παράγραφο 5.2. Παρόλο που βάσει της σειράς των διαδικασιών προηγείται η διαδικασία δημιουργίας της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών, η ανάλυση κρίθηκε σκόπιμο να ξεκινήσει από τη δεύτερη διαδικασία, αυτή δηλαδή του ελέγχου των περιορισμών του προβλήματος.

5.5 Τρόποι Ελέγχου των Περιορισμών του Προβλήματος

Όπως έχει επεξηγηθεί στην παράγραφο 5.3, όσο καλή και να είναι η προκαθορισμένη αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών που θα προκύψει από τη διαδικασία καθορισμού των HE, HA και ΣB, δεν μπορεί να μας εγγυηθεί ότι θα οδηγήσει σε λύση αφού η λύση εξαρτάται κατά πολύ και από το συνδυασμό των μηχανών που θα εκτελέσουν τις παραγγελίες αλλά και από το πρόγραμμα του προσωπικού. Πιθανό οι προκαθορισμένες HE και HA να προδιαγραφούν ένα σενάριο το οποίο να μην μπορεί να υλοποιηθεί κάτω από κανένα συνδυασμό ανάθεσης των παραγγελιών στις διαθέσιμες μηχανές. Αυτό όμως μπορεί σε μεγάλο βαθμό να ελεγχτεί εκ των προτέρων με την εφαρμογή των κατάλληλων κριτηρίων αξιολογής.

Συγκεκριμένα, οποιοσδήποτε συνδυασμός HE, HA και ΣB για να οδηγεί σε λύση θα πρέπει να ικανοποιεί οπωσδήποτε τρεις περιορισμούς οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια. Και οι τρεις περιορισμοί πηγάζουν αποκλειστικά από τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι εφόσον το πρόβλημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε δεν είναι θεωρητικό, αλλά υπαρκτό, ακόμα και ένα ψηλός βαθμός ικανοποίησης των περιορισμών της τάξης του 99% δεν θα είναι αρκετός για να υιοθετηθεί μια λύση αφού αν δεν πληρούνται

απόλυτα οι περιορισμοί η λύση δεν θα είναι εφαρμόσιμη. Με άλλα λόγια, έστω και ένας εκ των περιορισμών να παραβιαστεί σε κάποια χρονική στιγμή τότε όλο το σενάριο χρονοπρογραμματισμού θα θεωρείται άκυρο και θα πρέπει αναζητηθεί άλλος συνδυασμός ΗΕ, ΗΑ και ΣΒ. Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των περιορισμών του προβλήματος και των σχετικών ελέγχων τήρησής τους.

Περιορισμός 1: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t το άθροισμα του ποσοστού επίβλεψης ΠΕ των παραγγελιών που βρίσκονται υπό εκτέλεση βάσει των προκαθορισμένων ΗΕ, ΗΑ και ΣΒ δεν πρέπει να ξεπερνά τον αριθμό των υπαλλήλων ΑΥ που είναι διαθέσιμοι για εργασία τη δεδομένη χρονική στιγμή βάσει του προγράμματος απασχόλησης του εργοστασίου.

Διαφορετικά :

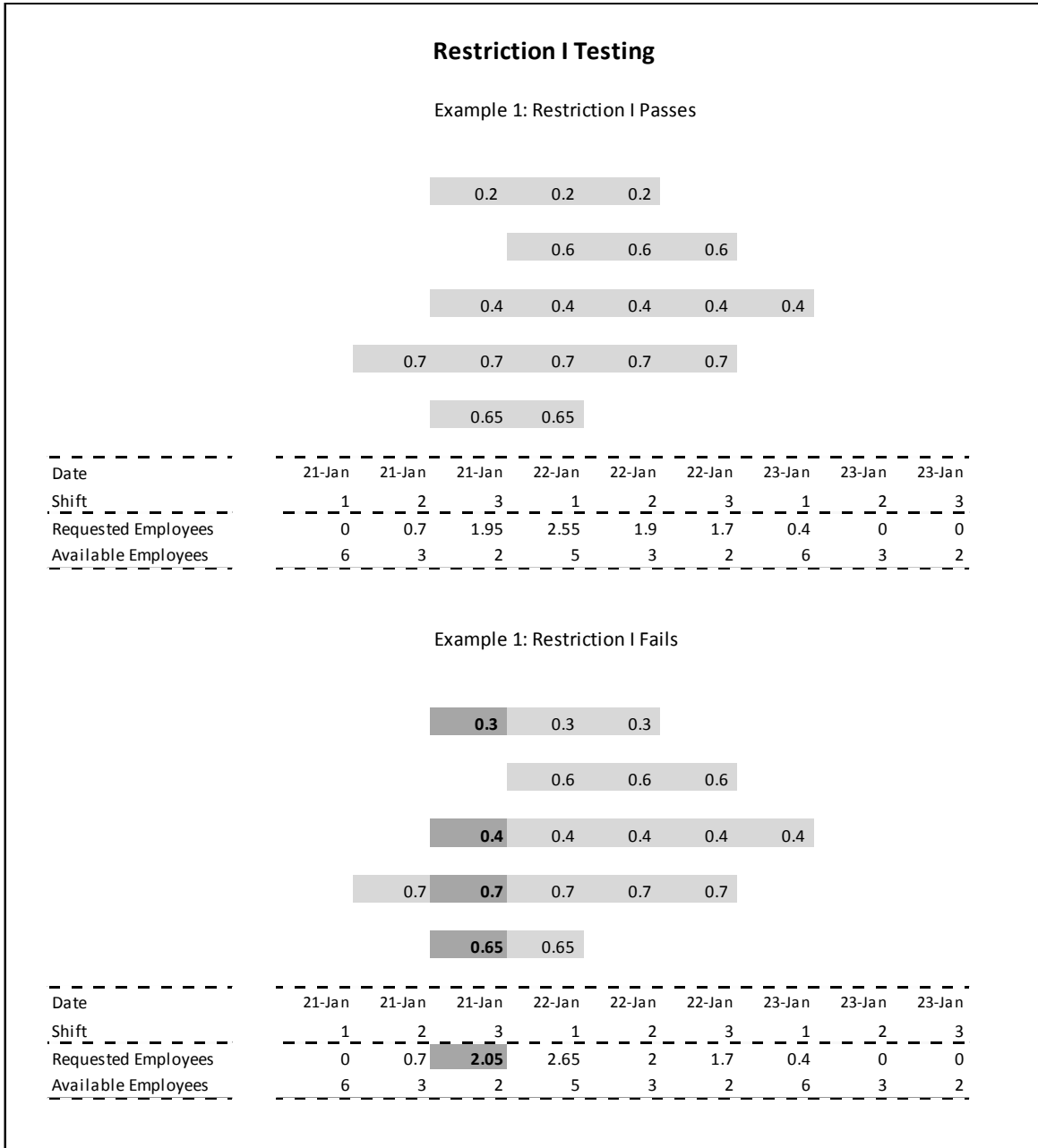
$$\sum_{i=1}^{P(t)} PE(i, t) \leq AY(t) \quad \forall t$$

όπου $P(t)$ ο συνολικός αριθμός των παραγγελιών βρίσκονται υπό εκτέλεση τη χρονική στιγμή t .

Όπως έχουμε δει στις παραγράφους 2.3 και 4.2.3 για κάθε παραγγελία κατασκευάζεται ένα καλούπι τα χαρακτηριστικά του οποίου καθορίζουν, μεταξύ άλλων το ΠΕ της παραγγελίας. Το ΠΕ αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται για την επίβλεψη της μηχανής που θα εκτελέσει το καλούπι και εκφράζεται ως ποσοστό του συνολικού χρόνου εργασίας ενός υπαλλήλου σύμφωνα με τον ορισμό της παραγράφου 4.2.3. Συνεπώς για να υπολογίσουμε το συνολικό αριθμό των υπαλλήλων που απαιτούνται για την επίβλεψη όλων των παραγγελιών που βρίσκονται υπό ταυτόχρονη εκτέλεση στο χρόνο t βάσει των ΗΕ, ΗΑ και ΣΒ θα πρέπει απλά να προσθέσουμε όλα τα ΠΕ των αντίστοιχων καλουπιών όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2. Το συγκεκριμένο μέγεθος θα πρέπει κατόπιν να συγκριθεί με τον ΑΥ που είναι διαθέσιμοι για εργασία τη δεδομένη χρονική στιγμή t . Η σύγκριση θα πρέπει να γίνει για όλο το πλάνο εργασίας ανά βάρδια και ανά ημέρα.

Παράδειγμα 1:

Στο σχήμα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται δύο παραδείγματα ελέγχου του περιορισμού 1.



Σχήμα 5.1: Παραδείγματα ελέγχου τήρησης του περιορισμού 1.

Ο έλεγχος αυτός εξετάζει όλες τις παραγγελίες ανεξαρτήτως του τύπου τους. Τα σκιασμένα σχήματα αντιπροσωπεύουν τις παραγγελίες, με το αριστερό άκρο να αφορά την ΗΕ της παραγγελίας και το δεξί άκρο την ΗΑ. Οι αριθμοί στο εσωτερικό κάθε παραγγελίας

αντιπροσωπεύουν τα ΠΕ των παραγγελιών. Παρόλο που στο σχήμα φαίνεται ότι οι παραγγελίες εκτελούνται αδιάκοπα, στην πραγματικότητα αυτό ισχύει μόνο για τις παραγγελίες με $\Sigma B=3$ ενώ για τις υπόλοιπες θα υπάρξει ενδιάμεση διακοπή είτε στη δεύτερη είτε στην τρίτη βάρδια. Παρόλα αυτά αυτό δεν επηρεάζει με οποιοδήποτε τρόπο τον έλεγχο οπότεν για χάρη συνοχής και απλότητας του παραδείγματος όλες οι παραγγελίες παρουσιάζονται συνεχείς.

Από το σχήμα βλέπουμε ότι στο πρώτο σενάριο το άθροισμα των ΠΕ δεν ξεπερνά για καμία μέρα του στιγμιότυπου που εξετάζουμε τον αριθμό των διαθέσιμων υπαλλήλων. Η πιο οριακή περίπτωση παρατηρείται στις 21 Ιανουαρίου κατά τη διάρκεια της τρίτης (νυχτερινής) βάρδιας όπου το άθροισμα των ΠΕ των παραγγελιών που θα βρίσκονται υπό εκτέλεση τη συγκεκριμένη μέρα φτάνει το 1.95. Αυτό σημαίνει, κατά προσέγγιση, ότι ο ένας εκ των δύο υπαλλήλων που θα είναι σε υπηρεσία σε εκείνη τη βάρδια θα απασχοληθεί πλήρως με την επίβλεψη των παραγγελιών ενώ ο άλλος θα αφιερώσει για το σκοπό αυτό το 95% του χρόνου του.

Στο δεύτερο παράδειγμα το πλάνο εργασίας είναι το ίδιο με τη διαφορά ότι η πρώτη παραγγελία απαιτεί ΠΕ 0.3 αντί 0.2. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το συνολικό ΠΕ στις 21 Ιανουαρίου κατά την τρίτη βάρδια να φτάσει στο 2.05 παραβιάζοντας έτσι τον περιορισμό 1. Σημειώνουμε εδώ ότι στα συγκεκριμένα παραδείγματα παρουσιάζεται μόνο ένα μικρό απόσπασμα του πλάνου εργασίας το οποίο στην πραγματικότητα μπορεί να φτάσει και τις 90 μέρες. Στην πράξη ο υπό αναφορά έλεγχος θα πρέπει να γίνει ξεχωριστά για όλες τις βάρδιες του πλάνου εργασίας. Σε περίπτωση που υπάρχει έστω και μία παραβίαση το πλάνο εργασίας ακυρώνεται και θα πρέπει να δημιουργηθεί νέος συνδυασμός ΗΕ και ΗΑ. Στην αντίθετη περίπτωση παίρνει σειρά ο έλεγχος του περιορισμού 2 η περιγραφή του οποίου ακολουθεί.

Περιορισμός 2: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t ο αριθμός των παραγγελιών τύπου X που θα βρίσκεται υπό εκτέλεση βάσει των προκαθορισμένων ΗΕ, ΗΑ και ΣB δεν πρέπει να ξεπερνά τον αριθμό των μηχανών τύπου X που διαθέτει το εργοστάσιο.

Διαφορετικά :

$\# \text{Παραγγελιών υπό εκτέλεση } (X, t) \leq \# \text{Μηχανών } (X) \quad \forall X, t$

Ο συγκεκριμένος περιορισμός πρέπει να ελέγχεται για να διαφανεί αν μπορεί να υπάρξει πιθανότητα οι μηχανές του εργοστασίου να επαρκούν, έστω αριθμητικά, για να εκτελέσουν τις παραγγελίες βάσει των καθορισμένων ΗΕ και ΗΑ. Σε περίπτωση που ο περιορισμός δεν ισχύει τότε θα πρέπει αυτόματα όλο το πλάνο εργασίας να ακυρωθεί πλήρως. Φυσικά, ακόμα και να ισχύει ο περιορισμός δεν σημαίνει κατά ανάγκη ότι υπάρχει λύση αφού ο εν λόγω περιορισμός δεν εξετάζει καθόλου τις απαιτήσεις των παραγγελιών ως προς τη ΔΣ και κατά πόσο αυτές μπορούν να ικανοποιηθούν από τις διαθέσιμες μηχανές. Αυτό είναι κάτι που θα εξετάσει ο περιορισμός 3 που ακολουθεί στη συνέχεια.

Ο περιορισμός 2 θα πρέπει να εξεταστεί ξεχωριστά για κάθε τύπο μηχανής ανά μέρα και ανά βάρδια. Επειδή όμως σύμφωνα με την παραδοχή του κεφαλαίου 4, νέες παραγγελίες μπορούν να υποβληθούν για εκτέλεση μόνο στην αρχή της 1^{ης} βάρδιας, ενώ κατά τη 2^η και 3^η βάρδια ο αριθμός των παραγγελιών μπορεί μόνο να μειωθεί (ή να μείνει σταθερός), αρκεί ο συγκεκριμένος περιορισμός να ελέγχεται μόνο στην αρχή της 1^{ης} βάρδιας κάθε ημέρας.

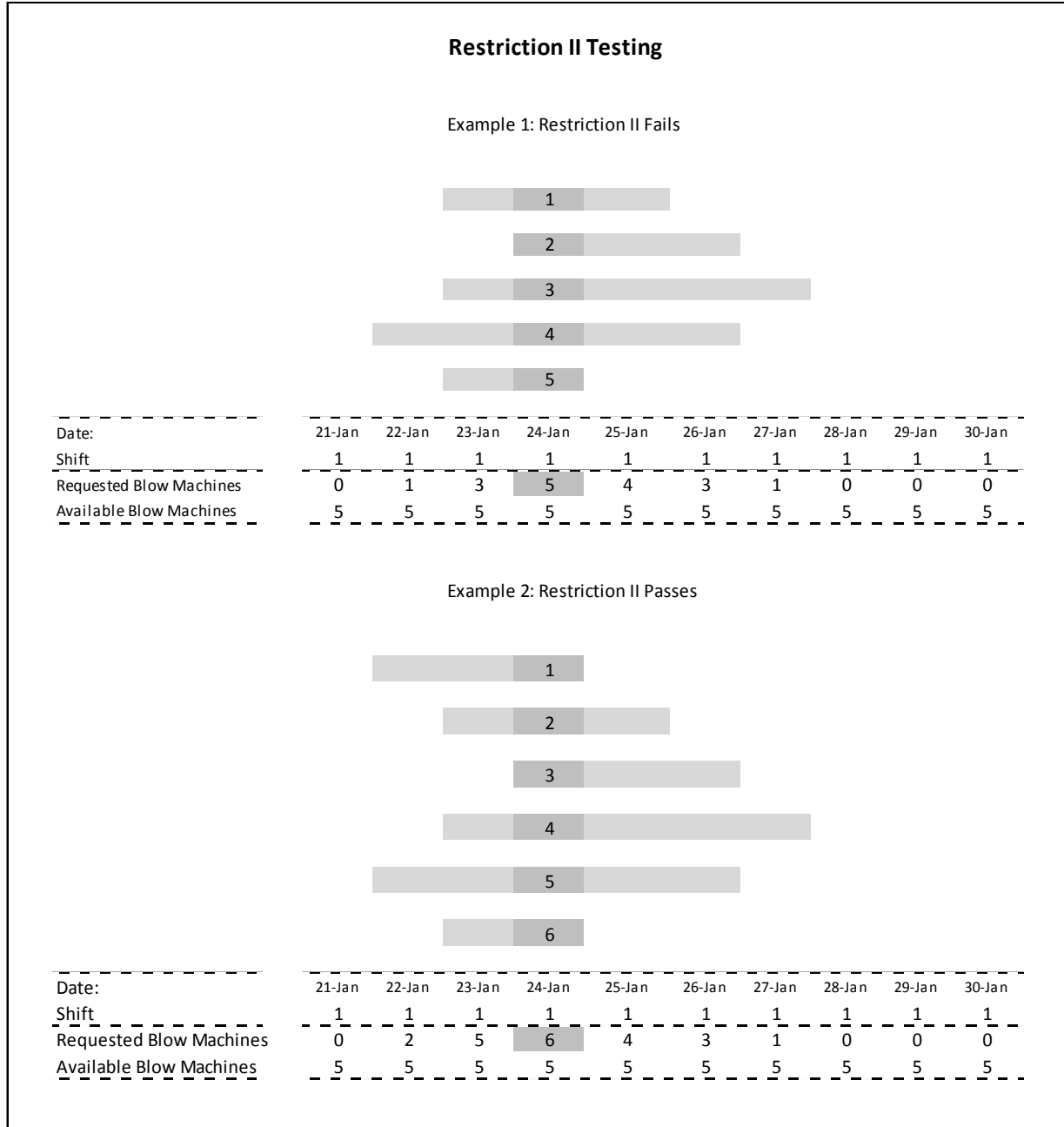
Παράδειγμα 2:

Στο σχήμα 5.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται δύο παραδείγματα ελέγχου του περιορισμού. Και στα δύο παραδείγματα ο περιορισμός εξετάζεται μόνο όσον αφορά τις παραγγελίες τύπου Blow. Παρόμοιος έλεγχος θα πρέπει να γίνει για όλους του τύπους μηχανών. Όπως και στο σχήμα 5.1, τα σκιασμένα σχήματα αντιπροσωπεύουν τις παραγγελίες, με το αριστερό άκρο να αντιπροσωπεύει την ΗΕ της παραγγελίας και το δεξί άκρο την ΗΑ.

Από το σχήμα βλέπουμε ότι στο πρώτο σενάριο βάσει των ΗΕ και ΗΑ υπάρχουν καθ' όλη τη διάρκεια του στιγμιότυπου που εξετάζουμε το πολύ 5 αλληλεπικαλυπτόμενες παραγγελίες που προορίζονται για μηχανές τύπου Blow, όσες είναι δηλαδή και οι διαθέσιμες μηχανές αυτού του τύπου όπως φαίνεται στην τελευταία γραμμή του σχετικού πίνακα. Ο μέγιστος βαθμός αλληλοεπικάλυψης καταγράφεται στις 24 Ιανουαρίου.

Στο δεύτερο παράδειγμα το πλάνο εργασίας είναι το ίδιο με τη διαφορά ότι έχει προστεθεί ακόμα μία παραγγελία τύπου Blow η οποία ανεβάζει στις 24 Ιανουαρίου τον αριθμό των αλληλεπικαλυπτόμενων παραγγελιών από 5 σε 6 παραβιάζοντας έτσι τον περιορισμό 2. Όπως

και με τον περιορισμό 1, έτσι και εδώ αρκεί μία και μόνο παραβίαση για να ακυρωθεί όλο το σενάριο εργασίας. Σε περίπτωση που ο περιορισμός ευσταθεί παίρνει σειρά ο έλεγχος του περιορισμού 3 η περιγραφή του οποίου ακολουθεί.



Σχήμα 5.2: Παραδείγματα ελέγχου του περιορισμού 2 για τον τύπο μηχανών «Blow»

Περιορισμός 3: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t για κάθε μηχανή Y τύπου X ο αριθμός των παραγγελιών τύπου X που απαιτούν δύναμη σύσφιξης $\Delta\Sigma$ μεγαλύτερη από αυτή που προσφέρει η Y θα πρέπει να είναι το πολύ όσες και οι μηχανές τύπου X που μπορούν να υποστηρίξουν $\Delta\Sigma$ μεγαλύτερη από αυτή της Y .

Διαφορετικά :

$$\sum_{j=1}^{P(t,X)} I_Y(j) \ll \sum_{i=1, i \neq Y}^{M(X)} I_Y(i) \leq AY(t) \quad \forall t, Y, X$$

όπου :

- $M(X)$ ο αριθμός των μηχανών τύπου X που διαθέτει το εργοστάσιο.
- $P(X,t)$ ο αριθμός των παραγγελιών τύπου X που βρίσκονται υπό εκτέλεση στο χρόνο t .
- $I_Y(i)$ δείκτρια συνάρτηση με
$$I_Y(i) = \begin{cases} 1, & \text{εαν } \Delta\Sigma(i) \geq \Delta\Sigma(Y) \\ 0, & \text{διαφορετικ\Phi} \end{cases}$$
- η $\Delta\Sigma$ που υποστηρίζει ή μηχανή i ή που απαιτεί η παραγγελία i ανάλογα με την περίπτωση.

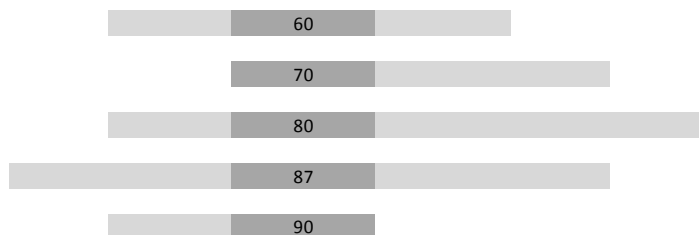
Ο συγκεκριμένος περιορισμός είναι και ο πιο περίπλοκος. Ο λόγος που ελέγχεται τελευταίος οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πολύ απαιτητικός από άποψη χρόνου και υπολογιστικής ισχύς οπότεν ήταν προτιμότερο να ελέγχεται μόνο στην περίπτωση που τηρούνται οι άλλοι δύο προαναφερθέντες περιορισμοί. Ο περιορισμός 3 ελέγχεται για κάθε μηχανή, ανά ημέρα και ανά βάρδια ξεχωριστά όμως για κάθε τύπο. Συγκεκριμένα σκοπός είναι να ελεγχτεί κατά πόσο οι απαιτήσεις των μηχανών που αλληλεπικαλύπτονται σε $\Delta\Sigma$ μπορούν να καλυφθούν από τις διαθέσιμες μηχανές του εργοστασίου.

Παράδειγμα 3:

Στο σχήμα 5.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται δύο παραδείγματα ελέγχου του περιορισμού 3. Και στα δύο παραδείγματα ο περιορισμός εξετάζεται μόνο όσον αφορά τις παραγγελίες τύπου Blow. Παρόμοιος έλεγχος θα πρέπει να γίνει και για τους υπόλοιπους τύπους μηχανών.

Restriction III Testing

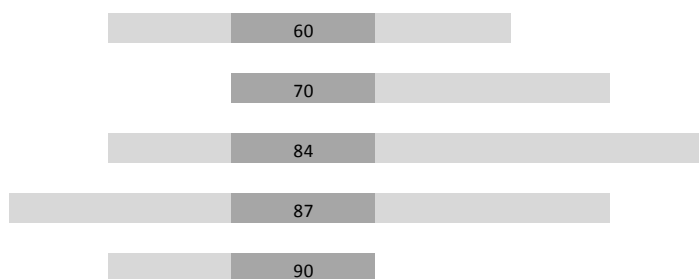
Example 1: Restriction III Fails



Date	21-Jan	21-Jan	21-Jan	22-Jan	22-Jan	22-Jan	23-Jan	23-Jan	23-Jan
Shift	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Machines	Clamping Tons	Requested Machines with More C.Tons	Available Machines with More C.Tons	Options
Blow 1	70	3	4	60 or 70
Blow 2	77	3	3	60 or 70
Blow 3	83	2	2	80
Blow 4	95	0	1	85 or 90
Blow 5	100	0	0	85 or 90

Example 2: Restriction III Fails



Date	21-Jan	21-Jan	21-Jan	22-Jan	22-Jan	22-Jan	23-Jan	23-Jan	23-Jan
Shift	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Machines	Clamping Tons	Requested Machines with More C.Tons	Available Machines with More C.Tons	Options
Blow 1	70	3	4	60 or 70
Blow 2	77	3	3	60 or 70
Blow 3	83	3	2	60 or 70
Blow 4	95	0	1	or 87 or 90
Blow 5	100	0	0	or 87 or 90

Σχήμα 5.3: Παραδείγματα ελέγχου του περιορισμού 3 για τον τύπο μηχανών «Blow»

Όπως και στα προηγούμενα σχήματα, τα σκιασμένα σχήματα αντιπροσωπεύουν τις παραγγελίες, με το αριστερό άκρο να αντιπροσωπεύει την HE της παραγγελίας και το δεξί άκρο την HA. Οι αριθμοί στο εσωτερικό κάθε παραγγελίας αντιπροσωπεύουν τη ΔΣ που απαιτεί η κάθε παραγγελία. Στον πίνακα στο κάτω μέρος κάθε παραδείγματος παρουσιάζονται όλες οι μηχανές τύπου Blow ενώ στη δεύτερη στήλη καταγράφεται η μέγιστη ΔΣ που μπορεί να υποστηρίξει κάθε μηχανή. Και στα δύο παραδείγματα ο έλεγχος αφορά τις 22 Ιανουαρίου και συγκεκριμένα την πρώτη (πρωινή) βάρδια.

Στο πρώτο παράδειγμα ο έλεγχος για την υπό εξέταση βάρδια είναι επιτυχής. Αυτό φαίνεται στην τρίτη στήλη του πίνακα. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την πρώτη μηχανή βλέπουμε ότι υπάρχουν 3 παραγγελίες οι οποίες απαιτούν ΔΣ μεγαλύτερη από 70 τόνους που μπορεί να υποστηρίξει η μηχανή. Την ίδια στιγμή βλέπουμε ότι τέσσερις από τις υπόλοιπες μηχανές μπορούν να παρέχουν επίσης ΔΣ μεγαλύτερη από 70 τόνους πράγμα που σημαίνει ότι οι τρεις παραγγελίες ίσως μπορούν να ανατεθούν σε τρεις από τις εν λόγω τέσσερις μηχανές. Επαναλαμβάνοντας τον έλεγχο και για τις υπόλοιπες μηχανές βλέπουμε ότι ο περιορισμός ισχύει για όλες τις μηχανές. Παρόλο και σε αυτό το στάδιο μας αφορά μόνο να εξετάσουμε το ενδεχόμενο ύπαρξης λύσης και όχι να αναζητήσουμε τις πιθανές λύσεις, για χάρη του παραδείγματος έχουμε εντοπίσει τους δυνατούς συνδυασμούς ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν σε λύση. Οι δυνατές επιλογές για κάθε μηχανή παρουσιάζονται στην τελευταία στήλη των πινάκων. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι οι δύο παραγγελίες που απαιτούν ΔΣ 60 και 70 τόνους αντίστοιχα θα μπορούσαν να ανατεθούν στις δύο πρώτες μηχανές με οποιοδήποτε συνδυασμό ενώ οι δύο πιο απαιτητικές παραγγελίες με ΔΣ 87 και 90 τόνους αντίστοιχα στις δύο τελευταίες μηχανές, επίσης με οποιοδήποτε συνδυασμό. Όσον αφορά την παραγγελία που απαιτεί ΔΣ 80 τόνους, σε όλες τις πιθανές λύσεις αυτή μπορεί μόνο να ανατεθεί στη μεσαία μηχανή που υποστηρίζει ΔΣ 83. Αυτό γιατί οι άλλες δύο επιλογές μηχανών με ΔΣ 87 και 90 αντίστοιχα που θα μπορούσαν να εκτελέσουν την εν λόγω παραγγελία θα είναι κατελιημμένες από τις δύο πιο απαιτητικές παραγγελίες οι οποίες λόγω της μεγάλης ΔΣ που απαιτούν δεν μπορούν να εκτελεστούν σε οποιαδήποτε άλλη μηχανή.

Έχουμε δει λοιπόν ότι για τη συγκεκριμένη ημέρα και βάρδια υπάρχουν 4 πιθανές λύσεις που μπορούν να ικανοποιήσουν τον περιορισμό 3. Θα πρέπει λοιπόν ο αλγόριθμος ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές να είναι τέτοιος που να μπορεί να εντοπίσει, αν όχι όλες, κάποιες από αυτές τις λύσεις και μάλιστα σε εύλογο χρόνο.

Τα δεδομένα του παραδείγματος 2 του σχήματος 5.3 είναι τα ίδια με αυτά του παραδείγματος 1 με τη διαφορά ότι η τρίτη στη σειρά παραγγελία απαιτεί ΔΣ 84 αντί 80. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραβιάζεται ο περιορισμός στην τρίτη μηχανή. Συγκεκριμένα, στην τρίτη στήλη του πίνακα βλέπουμε ότι ενώ υπάρχουν 3 παραγγελίες με ΔΣ 84,87,90 που απαιτούν ΔΣ μεγαλύτερη από αυτή που υποστηρίζει η τρίτη μηχανή, οι διαθέσιμες μηχανές που υποστηρίζουν ΔΣ μεγαλύτερη των 83 τόνων είναι μόνο δύο. Συνεπώς, μία εκ των τριών παραγγελιών είναι αδύνατο εκτελεστεί και άρα το όλο σενάριο είναι θα πρέπει να ακυρωθεί.

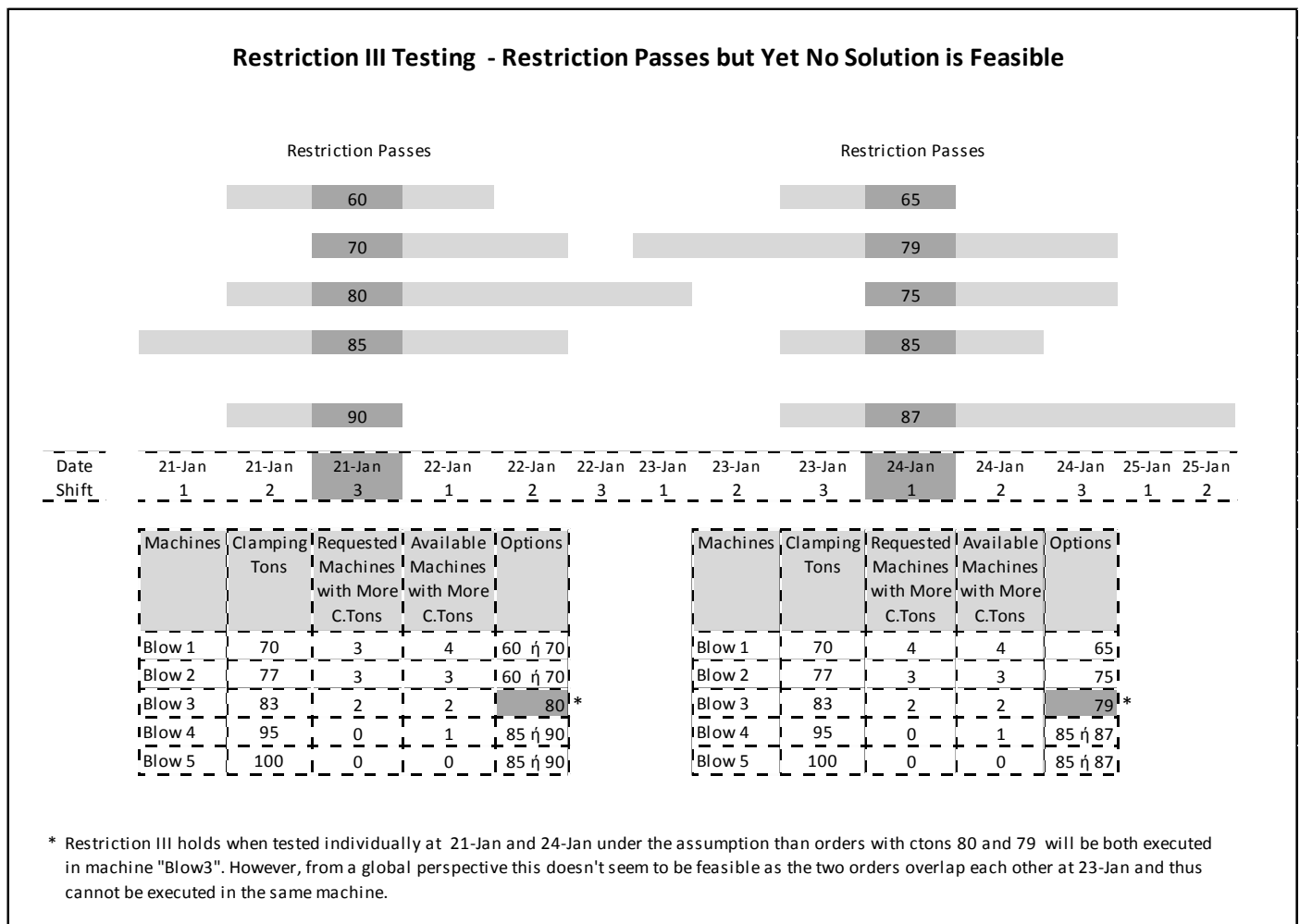
Υπό το φως των πιο πάνω κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι αν ικανοποιείται ο περιορισμός 3 για κάθε ημέρα, βάρδια και μηχανή όπως επίσης και για κάθε τύπο παραγγελίας τότε σίγουρα μπορούμε να μιλούμε για ύπαρξη λύσης δεδομένου φυσικά ότι τηρούνται ταυτόχρονα και οι περιορισμοί 1 και 2. Σε μεγάλο βαθμό αυτός ο ισχυρισμός ευσταθεί τουλάχιστο βάσει των δοκιμών που έγιναν σε πραγματικά δεδομένα του εργοστασίου. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια μικρή πιθανότητα να τηρείται παντού ο περιορισμός 3 αλλά να μην υπάρχει δυνατή λύση. Ο λόγος είναι ότι ο περιορισμός 3, όπως και οι υπόλοιποι περιορισμοί, ελέγχονται σημειακά ανά ημέρα και βάρδια. Αυτό που λείπει από τη διαδικασία ελέγχου είναι μια πιο σφαιρική αξιολόγηση του σεναρίου η οποία όμως, εκ των πραγμάτων, είναι αδύνατο να επιτευχθεί επειδή δεν μπορεί να υπάρξει σαφής προσδιορισμός της. Μια τέτοια περίπτωση όπου ο περιορισμός 3 ικανοποιείται σημειακά για όλη τη διάρκεια του σεναρίου χωρίς όμως να υπάρχει δυνατότητα λύσης περιγράφεται στο σχήμα 5.4 που ακολουθεί.

Παράδειγμα 4

Συγκεκριμένα στο σχήμα 5.4 παρουσιάζεται ένα μεγαλύτερο μέρος του συνολικού σεναρίου που καθορίζουν οι ΗΕ και ΗΕ στο οποίο φαίνονται δύο σημειακοί έλεγχοι του περιορισμού 3 στις 21 Ιανουαρίου κατά την τρίτη βάρδια και στις 24 21 Ιανουαρίου κατά την πρώτη βάρδια

αντίστοιχα. Οι σημειακοί έλεγχοι που γίνονται είναι παρόμοιοι με αυτούς του σχήματος 5.3 με τα αποτελέσματα να καταγράφονται στους σχετικούς πίνακες κάτω από τα γραφήματα.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο περιορισμός 3 ικανοποιείται για όλες τις μηχανές και στις δύο περιπτώσεις. Αν προσέξουμε την τρίτη γραμμή κάθε πίνακα στην τελευταία στήλη θα δούμε ότι όπως και στο παράδειγμα του σχήματος 5.3 έτσι και εδώ η λύση είναι εφικτή μόνο αν η παραγγελία με ΔΣ 80 ανατεθεί στην τρίτη μηχανή στις 21 Ιανουαρίου. Παρομοίως, στις 24 Ιανουαρίου η παραγγελία με ΔΣ 79 θα πρέπει επίσης να ανατεθεί στην τρίτη μηχανή για να υπάρξει λύση.



Σχήμα 5.4: Παράδειγμα ελέγχου όπου ο περιορισμός 3 ικανοποιείται για τον τύπο μηχανών «Blow» σημειακά για όλο το σενάριο αλλά παρόλα αυτά δεν υπάρχει εφικτή λύση.

Ενώ σημειακά καμιά από τις δύο διαπιστώσεις δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα, εντούτοις αν δούμε σφαιρικά το σενάριο θα δούμε ότι οι δύο διαπιστώσεις δεν μπορούν να ισχύουν ταυτόχρονα. Το πρόβλημα δημιουργείται στις 23 Ιανουαρίου κατά την πρώτη βάρδια όπου οι δύο παραγγελίες αλληλεπικαλύπτονται. Ακριβώς για αυτό το λόγο δεν μπορούν να εκτελεστούν και οι δύο στην τρίτη μηχανή οπότεν το σενάριο καθίσταται μη εφαρμόσιμο και ως εκ τούτου θα πρέπει να ακυρωθεί.

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι μια τέτοια διαπίστωση μπορεί να γίνει μόνο μετά που θα ανατεθούν οι παραγγελίες στις μηχανές και εφόσον εφαρμοστούν πιο περίπλοκοι έλεγχοι που αξιολογούν το σενάριο σφαιρικά. Όσον αφορά το δεύτερο, ακόμα και να γίνει ανάθεση των παραγγελιών στις μηχανές εξακολουθεί να είναι πολύ δύσκολο, τόσο υπολογιστικά όσο και πρακτικά, να καθοριστούν τέτοιοι σφαιρικοί έλεγχοι. Πρώτο γιατί δεν είναι σαφές το τι ακριβώς θα πρέπει να ελέγχεται και δεύτερο δεδομένης της μακράς διάρκειας που μπορεί να έχει ένα σενάριο τέτοιοι πολύπλευροι έλεγχοι είναι σίγουρο ότι θα επιφέρουν σημαντικές καθυστερήσεις στην όλη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού. Όσον αφορά το συγκεκριμένο θέμα οι εμπειρικές δοκιμές του αλγορίθμου έδειξαν ότι η πιθανότητα μη ύπαρξης λύσης στην περίπτωση που ικανοποιείται σημειακά ο περιορισμός 3 για όλο το σενάριο είναι μάλλον περιορισμένη.

Υπό το φως των πιο πάνω έχει αποφασιστεί ότι σε περίπτωση που ικανοποιούνται και οι τρεις περιορισμοί τότε η ύπαρξη λύσης θα θεωρείται δεδομένη και ο αλγόριθμος θα προχωρά στη διαδικασία ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Στην απομακρυσμένη περίπτωση που δεν θα υπάρχει λύση όπως στο παράδειγμα του σχήματος 5.4 απλά η διαδικασία θα αποτυγχάνει να δώσει λύση και ο αλγόριθμος θα επιστέφει στην πρώτη διαδικασία καθορισμού νέων ΗΕ και ΗΑ. Ο χρόνος που θα δαπανείται για τέτοιες περιπτώσεις δεν αναμένεται να είναι σημαντικός αφού όπως αναφέραμε έχει διαφανεί στατιστικά ότι οι περιπτώσεις αυτές είναι αμελητέες.

Κεφάλαιο 6 Περιγραφή των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού

6.1 Η διαδικασία καθορισμού της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών

Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι ίσως και η πιο σημαντική της όλης προσπάθειας χρονοπρογραμματισμού των παραγγελιών αφού όπως αναφέραμε στην παράγραφο 5.3 είναι βάρομετρο τόσο για την επίτευξη όσο και την ποιότητα της λύσης. Σκοπός της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι να αναθέσει HE, HA και ΣΒ σε όλες τις παραγγελίες. Σύμφωνα με την πρώτη προδιαγραφή της παραγράφου 5.4, ο αλγόριθμος θα πρέπει να προβαίνει σε στοχευόμενη αναζήτηση εντός του πεδίου λύσεων όπου υπάρχουν οι «καλές περιοχές». Με τον όρο «καλή περιοχή» εννοούμε το σύνολο των λύσεων που έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά τα οποία είναι ικανά και αναγκαία για την επίτευξη μιας καλής λύσης. Βάσει των όσων συζητήθηκαν στην παράγραφο 3.4 το βασικότερο κοινό χαρακτηριστικό που θα πρέπει να έχουν τα προτεινόμενα σενάρια λύσης είναι να επιτυγχάνουν μείωση και ταυτόχρονα σταθεροποίηση του αριθμού των μηχανών που τρέχουν παράλληλα καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα. Συνεπώς, ο τρόπος καθορισμού των HE και HA θα πρέπει να είναι τέτοιος που να εξασφαλίζει ότι το υπό κατασκευή σενάριο λύσης θα ικανοποιεί πάντοτε το κριτήριο αυτό. Αν επιτευχθεί αυτό, τότε κάθε συνδυασμός HE και HA θα μπορεί να θεωρηθεί εκ κατασκευής του ως εν δυνάμει «καλή περιοχή» και άρα η αναζήτηση θα περιορίζεται μόνο στις «καλές περιοχές». Οριστικά «καλή περιοχή» θα θεωρείται όταν επιβεβαιωθεί η ύπαρξη λύσης από τον έλεγχο των περιορισμών.

Επιπλέον, βάσει της δεύτερης προδιαγραφής της παραγράφου 5.4 θα πρέπει ο αλγόριθμος να επιτυγχάνει εύκολο και γρήγορο εντοπισμό των «καλών περιοχών» με εφαρμογή κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης (π.χ. σωστοί έλεγχοι περιορισμών). Όσον αφορά το δεύτερο αυτό έχει επιτευχθεί αφού με τους περιορισμούς που τέθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και τους σχετικούς ελέγχους μπορεί να διαφανεί σχετικά γρήγορα και με μεγάλη βεβαιότητα αν υπάρχει λύση πριν ο αλγόριθμος εισέλθει στη διαδικασία ανάθεσης των μηχανών. Για είναι όμως γρήγορος ο εντοπισμός των «καλών περιοχών» δεν αρκεί μόνο οι περιορισμοί να ελέγχονται γρήγορα αλλά και η ίδια η διαδικασία καθορισμού των HE και HA να είναι σύντομη. Για να είναι σύντομη όμως θα πρέπει κατά κύριο λόγο να είναι απλή.

Κάτω από αυτά τα δεδομένα ακολουθεί σύντομη περιγραφή της λογικής του αλγόριθμου δημιουργίας της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών. Εκτός από τη βασική εκδοχή του αλγορίθμου προτείνονται και δύο παραλλαγές του. Λεπτομερής περιγραφή όλων των βημάτων του αλγορίθμου όπως και των παραλλαγών του γίνεται στο Παράρτημα, Μέρος Α'.

6.1.1 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Βασική εκδοχή – Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών)

Ο αλγόριθμος επιδιώκει να δημιουργήσει μια αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών η οποία να αξιοποιεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό το εύρος του διαθέσιμου χρόνου με σκοπό να μειωθούν οι αλληλοεπικαλύψεις κατά την εκτέλεση των παραγγελιών. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι παραγγελίες να εκτελούνται, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, η μία μετά την άλλη ικανοποιώντας ταυτόχρονα και τα χρονοδιαγράμματα παράδοσής τους. Περιγραφικά τα βήματα του αλγορίθμου:

Βασική Εκδοχή:

- 1. Σαν προκαταρτικό βήμα ο αλγόριθμος εντοπίζει τις παραγγελίες που προορίζονται για χρονοπρογραμματισμό τη στιγμή t_0 που καλείται ο αλγόριθμος. Ακολούθως επιλέγεται τυχαία μία από αυτές.*
- 2. Ορίζεται σαν HE της επιλεγμένης παραγγελίας η επόμενη μέρα (δηλαδή $HE=t_0+1$). Θεωρούμε ότι το παραγόμενο πρόγραμμα τίθεται σε ισχύ πάντοτε την επόμενη μέρα έτσι ώστε ο χρονοπρογραμματισμός να μην επηρεάζεται από την ώρα που καλείται ο αλγόριθμος (δηλ. αν καλείται μέρα ή νύχτα κτλ).*
- 3. Ακολούθως ανατίθεται στην παραγγελία με τη χρήση της συνάρτησης πιθανότητας $P()$ (βλέπε παράγραφο 5.6.4) ένας ΣB από το 1 έως το 3 και κατόπιν υπολογίζεται βάσει αυτού πόσες ώρες τη μέρα θα εκτελείται η παραγγελία. Βάσει τούτου και με δεδομένο τον EX της παραγγελίας υπολογίζεται η ΔEM , δηλαδή η διάρκεια της σε εργάσιμες μέρες.*
- 4. Στη συνέχεια δημιουργείται μια ουρά στην οποία εισάγεται η παραγγελία. Η HA της παραγγελίας προκύπτει αν στην HE προσθέσουμε τη ΔEM και όλα τα ενδιάμεσα σαββατοκύριακα και αργίες.*

5. Κατόπιν επιλέγεται τυχαία μία άλλη παραγγελία από τις εναπομείναντες και επαναλαμβάνεται το βήμα 3.
6. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια να διαφανεί κατά πόσο η παραγγελία αυτή μπορεί να εκτελεστεί αμέσως μετά από αυτή που βρίσκεται στην ουρά και ταυτόχρονα να ικανοποιείται η ΗΠ της.
7. Αν ισχύει αυτό, τότε η παραγγελία εισάγεται στην ουρά. Η ΗΑ υπολογίζεται όπως στο βήμα 4 αν θέσουμε σαν ΗΕ της παραγγελίας την ΗΑ της τελευταίας παραγγελίας στην ουρά.
8. Στην αντίθετη περίπτωση που δεν ικανοποιείται η ΗΠ δημιουργείται νέα ουρά η οποία ξεκινά και πάλι από την ημερομηνία t_0+1 και η παραγγελία εισάγεται σε αυτήν. Αν τη δεδομένη στιγμή υπάρχουν περισσότερες από μία ουρές θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι η παραγγελία δεν μπορεί να εισαχθεί σε καμιά από αυτές πριν αποφασιστεί η δημιουργία νέας ουράς. Οι ουρές εξετάζονται πάντα με την ίδια σειρά ξεκινώντας από αυτή που δημιουργήθηκε πρώτη.
9. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το βήμα 5 μέχρι να εισαχθούν όλες τις παραγγελίες σε κάποια ουρά. Ο συνολικός αριθμός ουρών που θα προκύψει θα αποτελεί ουσιαστικά το μέγιστο αριθμό αλληλεπικαλυπτόμενων παραγγελιών/μηχανών κατά τη διάρκεια του παραγόμενου προγράμματος.

Η διαδικασία που περιγράφεται πιο πάνω παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 6.1 που ακολουθεί. Συγκεκριμένα στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με 9 παραγγελίες, τρεις από κάθε τύπο, οι οποίες προορίζονται για χρονοπρογραμματισμό. Όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα τα σκιασμένα τμήματα αντιπροσωπεύουν τις παραγγελίες, με το αριστερό άκρο να αφορά το χρόνο t_0 που καλείται ο αλγόριθμος και το δεξί άκρο την υποθετική ΗΑ της παραγγελίας αν αρχίσει να εκτελείται άμεσα. Το δεξί άκρο του ορθογωνίου που περιβάλλει τις παραγγελίες αναφέρεται στην ΗΠ ενώ το ενδιάμεσο κενό είναι ο ΧΕΛ της παραγγελίας που δείχνει το διαθέσιμο χρόνο από την υποθετική ΗΑ μέχρι την ΗΠ της

παραγγελίας. Για χάρη απλότητας του παραδείγματος θεωρούμε ότι όλες οι παραγγελίες έχουν $\Sigma B=3$, δηλαδή εκτελούνται αδιάκοπα κατά τις εργάσιμες μέρες.

Στο κάτω μέρος του σχήματος παρουσιάζονται δύο παραδείγματα τυχαίων σειρών επιλογής των παραγγελιών και ακολούθως οι ουρές που έχουν προκύψει από τις σειρές αυτές.

Παρατηρήσεις:

Σαν πρώτη παρατήρηση, βλέπουμε ότι ο αριθμός των παραγγελιών που τρέχουν παράλληλα μειώθηκε από 9 που ήταν βάση της υπόθεσης ότι όλες οι παραγγελίες ξεκινούν να εκτελούνται άμεσα, σε 3 και 4 για τα δύο παραδείγματα αντίστοιχα για όλη τη διάρκεια του σεναρίου ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται και όλες οι ΗΠ. Αυτό από μόνο του αποτελεί τεράστια βελτίωση, εφόσον φυσικά τα προτεινόμενα σενάρια είναι εφαρμόσιμα.

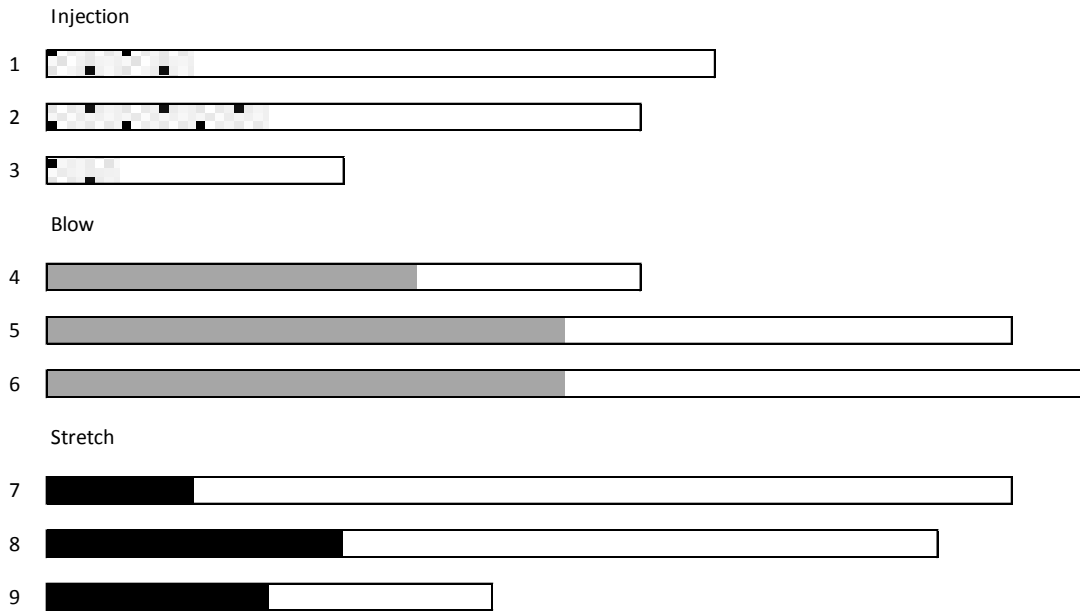
Σαν δεύτερη παρατήρηση, φαίνεται ότι η αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών όπως προκύπτει από τις ουρές εξαρτάται σε τεράστιο βαθμό από τη σειρά επιλογής των παραγγελιών. Παρόλο που διαφορετική σειρά θα δώσει διαφορετικό σενάριο εντούτοις εκ κατασκευής τους όλα τα σενάρια είναι καλά αφού επιτυγχάνουν μείωση του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των παραγγελιών και άρα μπορούμε να μιλάμε για εν δυνάμει «καλές περιοχές». Το αν είναι τελικά καλές θα το καταδείξει ο έλεγχος των περιορισμών ο οποίος θα εξακριβώσει την ύπαρξη λύσης, ενώ το ερώτημα ποια περιοχή παράγει τις καλύτερες λύσεις θα το απαντήσει η διαδικασία ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές και η σχετική κοστολόγηση των σεναρίων στη βάση του Κώδικα 61.

Σαν τρίτη παρατήρηση, είναι εύκολα αντιληπτό ότι πρόκειται για πολύ απλή και γρήγορη διαδικασία προς ικανοποίηση των προδιαγραφών της παραγράφου 5.4. Εφόσον και ο έλεγχος των περιορισμών είναι επίσης σχετικά εύκολος και γρήγορος όπως είδαμε στην παράγραφο 5.5 μπορούμε να μιλάμε για γρήγορο εντοπισμό των «καλών περιοχών».

Η τέταρτη παρατήρηση αφορά τη δομή του παραγόμενου σεναρίου. Επειδή η σειρά επιλογής των παραγγελιών είναι τελείως τυχαία όλα τα δυνατά σενάρια είναι πιθανά και ως εκ τούτου υπάρχει πιθανότητα εντοπισμού του βέλτιστου σεναρίου. Το αντίτιμο είναι ότι πολλά από τα παραγόμενα σενάρια ίσως να μην ικανοποιούν τους περιορισμούς και να απορρίπτονται κατά

Order scheduling – Phase A' (Fully Random Order Sequence)

Example of the algorithm used for generating fully random order sequences that minimize the number of overlaps.



Example 1: Fully Random Sequence of Orders: 3,5,9,1,6,4,2,8

Derived Queues:



Example 2: Fully Random Sequence of Orders: 2,5,4,7,6,9,1,3,8

Derived Queues:



Σχήμα 6.1: Παραδείγματα κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών με τη βασική εκδοχή του αλγορίθμου. Στο κάτω μέρος φαίνονται οι ουρές που έχουν προκύψει από τις δύο διαφορετικές σειρές τυχαίας επιλογής των παραγγελιών

τη φάση των ελέγχων. Όπως είδαμε στα παραδείγματα χρονοπρογραμματισμού που συζητήθηκαν στο κεφαλαίο 3 η πλήρης τυχαιότητα της αλληλουχίας των παραγγελιών μπορεί να πετύχει ελαχιστοποίηση της συνολικής αθροιστικής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος των μηχανών που τρέχουν παράλληλα ειδικά στις περιπτώσεις που υπάρχει μικρός αριθμός παραγγελιών για χρονοπρογραμματισμό και αρκετός διαθέσιμος χρόνος βάσει των ΗΑ.

Η πέμπτη παρατήρηση αφορά μια από τις επιμέρους προδιαγραφές που θα πρέπει να ικανοποιεί ο αλγόριθμος η οποία αναφέρθηκε στην παράγραφο 5.1.2. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος θα πρέπει να διακόπτει όσο το δυνατό λιγότερες παραγγελίες με μικρό περιθώριο χρόνου μέχρι την ΗΠ τους. Αν και αυτό δεν αποτελεί σαφή επιδίωξη και ως εκ τούτου δεν μπορούσε να μετουσιωθεί απόλυτα σε κατασκευαστική προδιαγραφή, εντούτοις σε κάποιο βαθμό λήφθηκε υπόψη κατά την κατασκευή του προτεινόμενου αλγορίθμου. Πιο συγκεκριμένα, αν προσέξει κανείς τα δύο παραδείγματα του σχήματος 6.1 οι παραγγελίες με τις πιο κοντινές ΗΠ είναι οι 2,3,4 και 9. Κάποιες από αυτές ενδεχομένως να βρίσκονται υπό εκτέλεση την ώρα που καλείται ο αλγόριθμος και αυτό που φαίνεται στο γράφημα να είναι ουσιαστικά το υπολειπόμενο τμήμα τους. Σε κάθε περίπτωση, στόχος είναι έστω κάποιες από αυτές να τοποθετηθούν στην αρχή της ουράς έτσι ώστε σε περίπτωση που βρίσκονται υπό εκτέλεση να μην χρειαστεί να διακοπούν και έτσι να αποφθεχθούν σε κάποιο βαθμό οι επίπονες και χρονοβόρες αλλαγές καλουπιού. Πράγματι, αυτό έχει συμβεί σε μεγάλο βαθμό και στα δύο παραδείγματα του σχήματος 6.1. Συγκεκριμένα, παρόλο που η τυχαία σειρά επιλογής των παραγγελιών είναι τελείως διαφορετική στα δύο παραδείγματα, εντούτοις οι παραγγελίες που φαίνονται στην αρχή κάθε ουράς είναι κάποιες από τις προαναφερθείσες. Αυτό οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο χτίζονται οι ουρές των παραγγελιών αφού οι παραγγελίες με κοντινό ΗΠ πιο δύσκολα μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα από άλλες σε κάποια υπάρχουσα ουρά χωρίς να παραβιάζεται η ΗΠ τους. Επομένως, σε πολλές τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει δημιουργία νέας ουράς με την παραγγελία να εισάγεται στην αρχή της.

Τέλος, παρατηρούμε ότι η δομή του σεναρίου είναι τέτοια που δημιουργεί κενά στο πρόγραμμα λειτουργίας των μηχανών. Συγκεκριμένα, αν δει κανείς τα αποτελέσματα του πρώτου παραδείγματος του σχήματος 6.1 θα προσέξει ότι βάσει των παραγόμενων ουρών, και

οι τρεις παραγγελίες τύπου Blow αλληλεπικαλύπτονται. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να εκτελεστούν σε τρεις διαφορετικές μηχανές τύπου Blow οι οποίες θα πρέπει μέχρι να υποβληθούν οι παραλίες για εκτέλεση να παραμείνουν αδρανείς.

Κενά στο πρόγραμμα λειτουργίας τους ενδεχομένως να παρουσιάσουν και οι μηχανές τύπου Stretch ακόμα και αν όλες οι παραγγελίες αυτού του τύπου εκτελεστούν στην ίδια μηχανή, κάτι που είναι θεωρητικά εφικτό αφού δεν αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους.

Παρά τα θετικά λόγω της δυνατότητας ελαχιστοποίησης της συνολικής αθροιστικής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος η συγκεκριμένη δομή σεναρίου έχει κάποια επιμέρους αρνητικά τα οποία συνοψίζονται πιο κάτω:

- i. Όπως είδαμε στο παράδειγμα, όλες οι μηχανές τύπου Blow αλληλεπικαλύπτονται. Συνεπώς, σε ένα κύκλο χρονοπρογραμματισμού με πολλές παραγγελίες του ίδιου τύπου υπάρχει σοβαρή πιθανότητα πολλά από τα παραγόμενα σενάρια να χαρακτηρίζονται από αυξημένο αριθμό αλληλοεπικαλύψεων οι οποίες θα έχουν ως αποτέλεσμα να παραβιάζεται κατ'επανάληψη ο περιορισμός 2. Επίσης, σε κάποιο βαθμό υπάρχει κίνδυνος να παραβιαστεί και ο περιορισμός 3 αν κάποιες από τις αλληλεπικαλυπτόμενες παραγγελίες πρέπει, λόγω των απαιτήσεων τους σε ΔΣ, να εκτελεστούν στην ίδια μηχανή. Ο αυξημένος όμως αριθμός αποτυχημένων δοκιμών λόγω παραβίασης των περιορισμών μπορεί να επιβραδύνει την όλη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού.
- ii. Τα ενδιάμεσα κενά ίσως να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη συνέχεια αν αυξηθεί απότομα σε κάποια στιγμή ο αριθμός των παραγγελιών που υποβάλλονται αφού δεν θα έχει αξιοποιηθεί επαρκώς ο διαθέσιμος χρόνος εκεί όπου υπήρχε η ευχέρεια. Ως εκ τούτου, είναι πιθανό κατά τις περιόδους αιχμής να πρέπει να τεθούν επιπρόσθετες μηχανές σε λειτουργία για να ικανοποιηθούν οι αυξημένες παραγγελίες, με αρνητικά συνεπακόλουθα όσον αφορά τη ΜΖ.

- iii. Λόγω των πολλών αλληλοεπικαλύψεων που πιθανόν να έχουν οι παραγγελίες του ίδιου τύπου δεν θα είναι εφικτό να ακολουθηθεί η στρατηγική χρήσης αποκλειστικά των πιο οικονομικών μηχανών για εκτέλεση των παραγγελιών που τέθηκε στο κεφάλαιο 3 αφού πολλές από τις παραγγελίες θα πρέπει να εκτελεστούν παράλληλα και άρα σε διαφορετικές μηχανές. Να σημειώσουμε εδώ ότι οι παραγγελίες που δεν αλληλεπικαλύπτονταν δεν είναι βέβαιο ότι μπορούν να εκτελεστούν στην ίδια μηχανή αφού αυτό θα εξαρτηθεί και από τις απαιτήσεις τους σε ΔΣ.
- iv. Οι πολλές αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες του ίδιου τύπου αυξάνουν κατά πολύ τους δυνατούς συνδυασμούς ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές όπως θα δούμε στην παράγραφο 6.3 που ακολουθεί, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στη εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Εν κατακλείδι, παρόλα τα αρνητικά της, η προτεινόμενη λύση θα πρέπει να θεωρείται αρκετά καλή αφού επιτυγχάνει τον πιο βασικό στόχο, αυτό δηλαδή της μείωσης του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των μηχανών η οποία σίγουρα θα επιφέρει σημαντικές εξοικονομήσεις στην κατανάλωση ρεύματος. Συνεπώς, οποιεσδήποτε παραλλαγές δοκιμαστούν θα πρέπει να προσανατολίζονται περισσότερο στη βελτίωση των επιμέρους προβλημάτων της λύσης παρά στην αλλαγή της βασικής φιλοσοφίας της.

Προς επίλυση των εν λόγω προβλημάτων κρίθηκε σκόπιμο να δοκιμαστούν ακόμα δύο παραλλαγές του αλγορίθμου οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια.

6.1.2 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Παραλλαγή 1 – Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών).

Η παραλλαγή που συζητείται στην παράγραφο αυτή αφορά κυρίως τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η τυχαία επιλογή των παραγγελιών αφού όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο η συγκριμένη διαδικασία επηρεάζει σημαντικά τη δομή του παραγόμενου σεναρίου. Στόχος της παραλλαγής είναι να εξαλείψει κάποια από τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν με την εφαρμογή της βασικής εκδοχής τα οποία αναφέρονται στην παράγραφο 6.1.1. Αναλυτική

περιγραφή των βημάτων του σχετικού αλγόριθμου παρουσιάζεται στο Παράρτημα, Μέρος Α' όπου φαίνονται και οι αλλαγές στα βήματα του αλγόριθμου σε σχέση με τη βασική εκδοχή. Συνοπτικά η παραλλαγή 1:

Παραλλαγή 1:

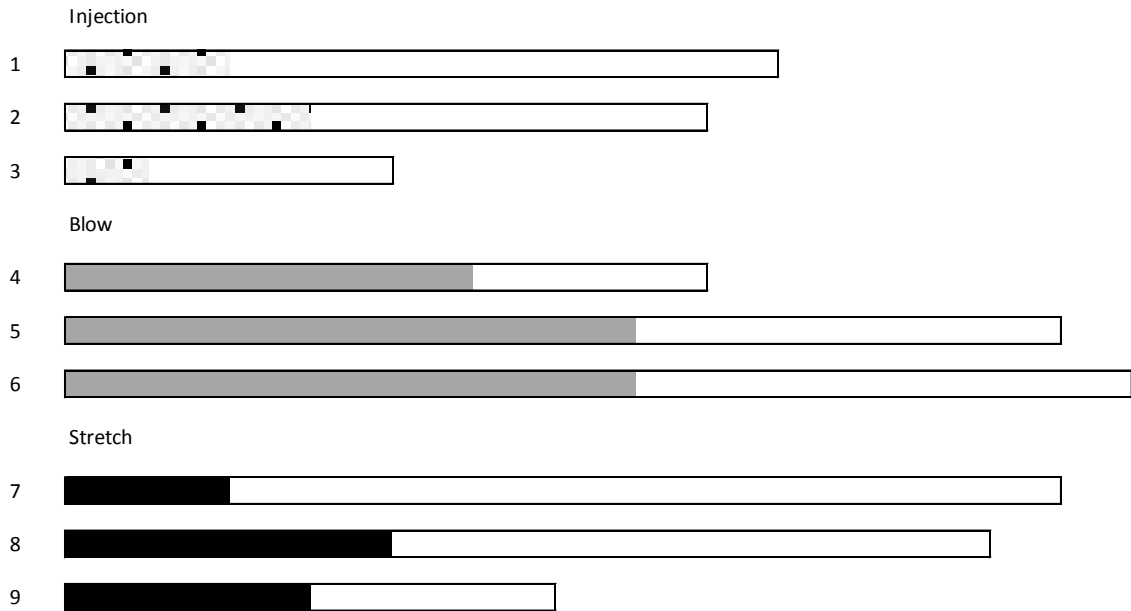
Σε αντίθεση με τη βασική εκδοχή, οι παραγγελίες που προορίζονται για χρονοπρογραμματισμό δεν τοποθετούνται όλες σε ένα ενιαίο σύνολο αλλά χωρίζονται σε επιμέρους υποσύνολα ανάλογα με τον τύπο τους. Ακολούθως, επιλέγεται τυχαία ένας τύπος και από το αντίστοιχο υποσύνολο επιλέγονται τυχαία παραγγελίες. Οι παραγγελίες τοποθετούνται στην ουρά ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και στη βασική εκδοχή. Εφόσον επιλεγούν όλες οι παραγγελίες του εν λόγω τύπου γίνεται τυχαία επιλογή άλλου τύπου και ακολουθείται η ίδια πρακτική. Η διαδικασία τελειώνει όταν χρονοπρογραμματιστούν οι παραγγελίες όλων των τύπων. Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με αυτή της βασικής εκδοχής.

Στο Σχήμα 6.2 που ακολουθεί εφαρμόζεται η εν λόγω παραλλαγή στο παράδειγμα του Σχήματος 6.1. Από τις παραγόμενες ουρές φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι παραγγελίες του ίδιου τύπου παρουσιάζουν λιγότερες αλληλοεπικαλύψεις σε σχέση με προηγουμένως. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι παραγγελίες επιλέγονται για χρονοπρογραμματισμό η μία μετά την άλλη με αποτέλεσμα να μειώνονται οι περιπτώσεις όπου θα πρέπει να γίνει αλλαγή ουράς για τον ίδιο τύπο, ειδικά για τον τύπο που θα δοκιμαστεί πρώτος αφού οι ουρές αρχικά είναι άδειες.

Με αυτό τον τρόπο υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να παραβιαστεί ο περιορισμός 2, μειώνονται σημαντικά τα ενδιάμεσα κενά στο πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών ενώ μειώνονται ταυτόχρονα και οι πιθανοί συνδυασμοί ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Επίσης, η δομή του παραγόμενου σεναρίου παρέχει, λόγω των μειωμένων αλληλοεπικαλύψεων, περισσότερες δυνατότητες αξιοποίησης των πιο οικονομικών μηχανών που αποτελεί μία από τις βασικές επιδείξεις του χρονοπρογραμματισμού όπως τέθηκε στο κεφάλαιο 3.

Order scheduling – Phase A' (Per Type Random Order Sequence)

Example of the algorithm used for generating fully random order sequences that minimize the number of overlaps.



Random Sequence of Orders Per Type:

Injection 3,1,2

Blow: 5,4,6

Stretch: 9,7,8

Derived Queues:



Σχήμα 6.2: Παράδειγμα κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών βάσει της παραλλαγής I.

Φυσικά, η στρατηγική αυτή περιορίζει περαιτέρω το εύρος των λύσεων και άρα υπάρχει πιθανότητα κάποιες από τις καλές λύσεις να μην δοκιμαστούν καθόλου. Παρόλα αυτά, αναμένεται ότι η διαδικασία αυτή θα παράγει πιο ομοιόμορφες λύσεις οι οποίες θα υπερτερούν από πλευράς απόδοσης αυτών της βασικής εκδοχής λόγω εξάλειψης των βασικών προβλημάτων της τελευταίας.

Ακόμα και με αυτές τις τροποποιήσεις δεν αναμένεται ότι θα έχουμε απόλυτη εξάλειψη των κενών ούτε και μέγιστη αξιοποίηση των οικονομικότερων μηχανών αφού όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως ακόμα και αν δυο παραγγελίες του ίδιου τύπου έχουν χρονοπρογραμματιστεί, βάσει της ουράς, για να εκτελεστούν η μία μετά την άλλη δεν σημαίνει απαραίτητα ότι θα εκτελεστούν και στην ίδια μηχανή αφού οι δύο παραγγελίες μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ΔΣ και άρα να πρέπει αναγκαστικά να εκτελεστούν σε διαφορετικές μηχανές για να επιτυγχάνεται λύση.

Για να εξαλείψουμε ακόμα περισσότερο τα κενά και να πετύχουμε μεγαλύτερη αξιοποίηση των οικονομικότερων μηχανών θα πρέπει να περιορίσουμε περαιτέρω το εύρος των δυνατών λύσεων έτσι ώστε η αναζήτηση να επικεντρώνεται αποκλειστικά σε σενάρια που εκ κατασκευής τους να εγγυώνται την επίτευξη ομοιόμορφων και «αποδεκτά» καλών λύσεων. Φυσικά η στρατηγική αυτή αποτελεί ένα συμβιβασμό αφού για χάρη του εύκολου και γρήγορου εντοπισμού μιας ικανοποιητικά καλής λύσης μειώνουμε την πιθανότητα να πετύχουμε τη βέλτιστη λύση η οποία μπορεί να βρίσκεται απομονωμένη σε κάποια περιοχή του πεδίου λύσεων όπου λόγω του τρόπου δόμησης των σεναρίων μας να μην καθίσταται εφικτό να εξερευνήσουμε.

Το ποια στρατηγική τελικά είναι προτιμότερη φαίνεται στα αποτελέσματα των δοκιμών του αλγορίθμου που περιγράφονται σε κεφαλαίο 7. Στο παρόν στάδιο θα περιγράψουμε τη δεύτερη εκ των δύο παραλλαγών του αλγόριθμου η οποία περιορίζει περαιτέρω τη σειρά με την οποία επιλέγονται οι παραγγελίες με όλα τα θετικά συνεπακόλουθα αλλά και με πιθανό αντίτιμο αυτό που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο.

6.1.3 Περιγραφή του αλγορίθμου κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών (Παραλλαγή 2 - Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών).

Η παραλλαγή που συζητείται στην παράγραφο αυτή αφορά επίσης τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η τυχαία επιλογή των παραγγελιών. Στόχος της παραλλαγής είναι να εξαλείψει περαιτέρω κάποια από τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν με την εφαρμογή τόσο της βασικής εκδοχής όσο και της παραλλαγής 1 του αλγόριθμου που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Αναλυτική περιγραφή των βημάτων του σχετικού αλγόριθμου

παρουσιάζεται στο Παράρτημα, Μέρος Α' όπου φαίνονται και οι αλλαγές στα βήματα του αλγορίθμου σε σχέση με τη βασική εκδοχή. Συνοπτικά η παραλλαγή 2:

Παραλλαγή 2:

Όπως και στην παραλλαγή 1, στο πρώτο βήμα οι παραγγελίες χωρίζονται σε επιμέρους υποσύνολα ανάλογα με τον τύπο τους. Με τον ίδιο τρόπο χωρίζονται και οι μηχανές. Ακολούθως, οι μηχανές κάθε τύπου κατατάσσονται αναλόγως με τη ΔΣ που μπορούν να υποστηρίξουν αρχίζοντας από αυτή με τη μικρότερη ΔΣ. Στη συνέχεια οι παραγγελίες κάθε τύπου ομαδοποιούνται περαιτέρω με τον εξής τρόπο:

- i. Στην πρώτη ομάδα τοποθετούνται οι παραγγελίες που απαιτούν ΔΣ το πολύ όση η ΔΣ της πρώτης (πιο αδύναμης) μηχανής.*
- ii. Στη δεύτερη ομάδα τοποθετούνται οι παραγγελίες που απαιτούν ΔΣ μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης μηχανής αλλά το πολύ όση η ΔΣ της δεύτερης μηχανής.*
- iii. Στην Κ ομάδα τοποθετούμε τις παραγγελίες που απαιτούν ΔΣ μεγαλύτερη από αυτή της Κ-1 μηχανής αλλά το πολύ όση η ΔΣ της Κ μηχανής.*

Ακολούθως επιλέγεται τυχαία ένας τύπος από τον οποίο επιλέγεται η πρώτη μηχανή. Από την ομάδα παραγγελιών που αντιστοιχούν στη μηχανή αυτή επιλέγεται τυχαία μια παραγγελία. Η παραγγελία τοποθετείται στην ουρά ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και στη βασική εκδοχή. Εφόσον επιλεγούν με τυχαία σειρά όλες οι παραγγελίες που αντιστοιχούν στην εν λόγω μηχανή επιλέγεται η επόμενη μηχανή του ίδιου τύπου και ακολουθείται η ίδια πρακτική. Όταν τελειώσουν οι μηχανές αυτού του τύπου επιλέγεται τυχαία άλλος τύπος και εξετάζονται βάσει της σειράς δυναμικότητας τους όλες οι μηχανές. Η διαδικασία τελειώνει όταν χρονοπρογραμματιστούν οι παραγγελίες όλων των τύπων και όλων των μηχανών. Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με αυτή της βασικής εκδοχής.

Τα πιθανά σενάρια που θα δημιουργηθούν από την παραλλαγή αυτή θα μοιάζουν κατά πολύ με το σενάριο της παραλλαγής 1 του σχήματος 6.2. Η διαφορά θα οφείλεται στο

γεγονός ότι οι διαδοχικές παραγγελίες του ίδιου τύπου που φαίνονται στις παραγόμενες ουρές θα συγκεντρώνουν, λόγω του τρόπου κατασκευής της αλληλουχίας, περισσότερες πιθανότητες να μπορούν να ανατεθούν στις ίδιες μηχανές λόγω παρόμοιων απαιτήσεων σε ΔΣ. Ως εκ τούτου θα μειωθούν τα κενά στο πρόγραμμα λειτουργίας των μηχανών και έτσι θα μπορεί να γίνει μεγαλύτερη αξιοποίηση των οικονομικότερων μηχανών.

Να σημειώσουμε εδώ ότι παρόλο που στη διαδικασία επιλογής των παραγγελιών λαμβάνουν μέρος και οι μηχανές, εντούτοις στην παρούσα φάση δεν γίνεται οποιαδήποτε σύνδεση των παραγγελιών με τις μηχανές. Απλά με τη χρήση των μηχανών στη διαδικασία ετοιμάζεται το έδαφος για πιο αποτελεσματική ανάθεση των παραγγελιών κατά τη επόμενη φάση του χρονοπρογραμματισμού. Ο λόγος που δεν γίνεται απευθείας ανάθεση από αυτό στο στάδιο οφείλεται στο γεγονός ότι ακόμα και με την παρούσα διαδικασία επιλογής των παραγγελιών οι αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες εξακολουθούν να είναι σε κάποιο βαθμό αναπόφευκτες. Η ύπαρξη αλληλοεπικαλύψεων όμως σε συνδυασμό με το γεγονός ότι υπάρχουν παραγγελίες που, λόγω των απαιτήσεων τους σε ΔΣ, μπορούν να εκτελεστούν σε πολλές μηχανές δημιουργεί αρκετές διαφορετικές επιλογές ως προς τον τρόπο ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Οπότεν είναι προτιμότερο οι συνδυασμοί αυτοί να δοκιμαστούν με δεδομένη την αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών η οποία «κλειδώνει» ουσιαστικά το βαθμό αλληλοεπικάλυψης σε χαμηλά επίπεδα και κατόπιν, εφόσον ικανοποιούνται οι πειρασμοί, κατευθύνει τη διαδικασία ανάθεσης να συγκλίνει στην καλύτερη δυνατή λύση εντός του πλαισίου αυτού. Αν η αλληλουχία εκτέλεσης γινόταν ταυτόχρονα με την ανάθεση θα είχαμε μια πιο άτακτη πορεία κατασκευής και αξιολόγησης σεναρίων χωρίς συγκεκριμένο προσανατολισμό η οποία θα «πόνταρε» περισσότερο στον τυχαίο εντοπισμό κάποιας καλής λύσης μέσω των πολλών διαφορετικών δοκιμών.

6.2 Η συνάρτηση πιθανότητας «P»

Η συνάρτηση πιθανότητας $P()$ έχει αναφερθεί στο βήμα 3 της βασικής εκδοχής του αλγορίθμου της φάση Α' που περιγράφεται στην παράγραφο 6.1.1. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται για την ανάθεση ΣΒ σε κάθε παραγγελία. Ο ΣΒ απαιτείται, μεταξύ άλλων, για

τον υπολογισμό της διάρκειας εκτέλεσης της παραγγελίας η οποία με τη σειρά της απαιτείται για τον καθορισμό της ΗΑ δεδομένης της ΗΕ της παραγγελίας.

Ο ΣΒ καθορίζει σε ποιες βάρδιες θα εκτελείται η παραγγελία. Συνεπώς επηρεάζει αναπόφευκτα το βαθμό αλληλοεπικάλυψης των παραγγελιών ο οποίος κρίνει, μεταξύ άλλων, την τήρηση ή μη του περιορισμού 1 της παραγράφου 5.5.

Συγκεκριμένα για να είναι εφικτή η τήρηση του περιορισμού 1 οι παραγγελίες που εκτελούνται στις βάρδιες 1-2-3 θα πρέπει σε κάποιο βαθμό να είναι ανάλογες του αριθμού των διαθέσιμων υπαλλήλων ανά βάρδια ο οποίος ακολουθεί επί του παρόντος την αναλογία 6-3-2 για τις τρεις βάρδιες αντίστοιχα. Για να ισχύει αυτό στατιστικά θα πρέπει η συνάρτηση ανάθεσης ΣΒ να ακολουθεί την πιο κάτω κατανομή:

Επειδή τόσο ο αριθμός των βαρδιών όσον και ο αριθμός των διαθέσιμων υπαλλήλων ανά βάρδια δύναται να μεταβληθούν ανά πάσα στιγμή η συνάρτηση θα πρέπει να μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά. Ως εκ τούτου θα πρέπει να έχει την πιο κάτω γενικευμένη μορφή:

$$P(i) = \frac{AY(i)}{\sum_{i=1}^N AY(i)}, \text{ με πιθανότητα } i$$

όπου N το σύνολο των βαρδιών και $AY(i)$ ο αριθμός των διαθέσιμων υπαλλήλων στη βάρδια i

6.3 Η διαδικασία Ανάθεσης των Παραγγελιών στις Μηχανές.

Στην παράγραφο αυτή γίνεται περιγραφή της διαδικασίας ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως η διαδικασία αυτή είναι η πιο χρονοβόρα από τις τέσσερις διαδικασίες του χρονοπρογραμματισμού για αυτό άλλωστε και δεν εκτελείται πάντοτε αλλά μόνο στην περίπτωση που το υπό κατασκευή σενάριο λύσης ικανοποιεί και τους τρεις περιορισμούς που τέθηκαν στην παράγραφο 5.5.

Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να αναθέσει τις παραγγελίες στις μηχανές με τέτοιο τρόπο ώστε το παραγόμενο σενάριο να επιτυγχάνει το ελάχιστο κόστος κατανάλωσης ρεύματος στη βάση της πρακτικής τιμολόγησης που προστάζει ο Κώδικας 61.

6.3.1 Οι Προδιαγραφές του Αλγόριθμου Ανάθεσης.

Στην παράγραφο 3.4 καθορίσαμε τις τρεις επιδιώξεις της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού με πιο σημαντική αυτή της μείωσης του βαθμού αλληλοεπικάλυψης παραγγελιών. Στο στάδιο αυτό η συγκεκριμένη επιδίωξη θεωρείται πλέον δεδομένη λόγω των διαδικασιών A και B που προηγήθηκαν οπότε δεν θα απασχολήσει καθόλου την παρούσα διαδικασία.

Συγκεκριμένα η παρούσα διαδικασία θα προσπαθήσει να ικανοποιήσει τις υπόλοιπες δύο επιδιώξεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στη βέλτιστη λύση, αυτή δηλαδή της αξιοποίησης των οικονομικότερων μηχανών και αυτή της ελαχιστοποίησης της συνολικής αθροιστικής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος των μηχανών που τρέχουν παράλληλα. Η πρώτη επιδίωξη θα επιφέρει μείωση της ΣΚ ενώ η δεύτερη μείωση της ΜΖ. Ένας καλός συνδυασμός και των δύο αναμένεται να οδηγήσει στη βέλτιστη λύση. Αν και οι δύο στόχοι μπορεί να επιτευχθούν ταυτόχρονα εντούτοις από ένα σημείο και μετά δύναται να αλληλοσυγκρουστούν. Ακριβώς για αυτό το λόγο θα πρέπει η αξιολόγηση των σεναρίων να γίνεται στη βάση του Κώδικα 61 έτσι ώστε να λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη οι ΣΚ και ΜΖ και να υπολογίζεται το πραγματικό χρηματικό κόστος του κάθε σεναρίου.

Όσον αφορά το δεύτερο στόχο σε κάποιο βαθμό έχει επιτευχθεί αφού με τη μείωση του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των παραγγελιών αναμένεται σε κάποιο βαθμό να έχει μειωθεί και το εύρος των δυνατών τιμών της αθροιστικής κατανάλωσης των μηχανών που τρέχουν παράλληλα. Παρόλα αυτά, υπάρχει αρκετό περιθώριο βελτίωσης της λύσης ειδικά αν υπάρχει μεγάλη διακύμανση ανάμεσα στις προδιαγραφές κατανάλωσης των μηχανών σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αν για παράδειγμα το εργοστάσιο διαθέτει δύο μηχανές με μέση κατανάλωση 10KWh και δύο με 100 KWh, πιθανή αλληλοεπικάλυψη των δύο πρώτων θα δώσει ΜΖ 20 KWh (περίπου 22KVA) ενώ πιθανή αλληλοεπικάλυψη των δύο δεύτερων θα δώσει ΜΖ 200 KWh. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι ο τρόπος ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές επηρεάζει σημαντικά την ΜΖ.

Επειδή όμως είναι αρκετά δύσκολο να καθοριστεί στρατηγική ανάθεσης των παραγγελιών που να εγγυάται χαμηλή ΜΖ αποφασίστηκε όπως η στρατηγική ανάθεσης προσανατολιστεί περισσότερο προς στην αξιοποίηση των οικονομικότερων μηχανών η οποία είναι πιο σαφής σαν επιδίωξη και μπορεί πιο εύκολα να μετατραπεί σε κατασκευαστική προδιαγραφή για τη διαδικασία δόμησης των παραγόμενων σεναρίων λύσης. Η επιδίωξη της ελαχιστοποίησης της ΜΖ είναι πιο εύλογο να αποτελέσει κριτήριο αξιολόγησης των παραγόμενων σεναρίων παρά κατασκευαστική προδιαγραφή.

Ο αλγόριθμος ανάθεσης των παραγγελιών θα πρέπει εκτός των άλλων να ικανοποιεί μια πολύ βασική προδιαγραφή. Συγκεκριμένα, εφόσον έχει ήδη σε μεγάλο βαθμό επιβεβαιωθεί η ύπαρξη λύσης από τις διαδικασίες Α και Β, θα πρέπει ο αλγόριθμος ανάθεσης να είναι σε θέση να εντοπίσει τη λύση αυτή.

Επιπλέον, όπως προστάζει η τρίτη προδιαγραφή της παραγράφου 5.4, η όλη διαδικασία χρονοπρογραμματισμού θα πρέπει να εγγυάται την, όσο το δυνατό, εις βάθος εξερεύνηση των «καλών περιοχών» του πεδίου λύσεων για εντοπισμό των τοπικών βέλτιστων λύσεων. Αυτή η προδιαγραφή αφορά κυρίως την παρούσα διαδικασία. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος ανάθεσης θα πρέπει να εξερευνήσει, με στοχευόμενο πάντα τρόπο, όσο πιο εξονυχιστικά το πεδίο των λύσεων που προδιαγράφουν οι δεδομένες ΗΕ και ΗΑ για να βρει τη βέλτιστη από αυτές. Εφόσον η επίτευξη λύσης θεωρείται δεδομένη ο κίνδυνος να καθυστερήσει άσκοπα ο αλγόριθμος στη φάση αυτή είναι απομακρυσμένος. Ακριβώς για αυτό το λόγο αξίζει ο χρόνος που θα δαπανηθεί αφού σίγουρα θα φέρει αποτελέσματα.

Όσο καλό και να είναι το αποτέλεσμα φυσικά, η λύση που θα προκύψει θα είναι η βέλτιστη στην περιοχή που ορίζει ο εκάστοτε συνδυασμός ΗΕ και ΗΑ. Οπότε, από άλλη σκοπιά ο αλγόριθμος θα πρέπει να είναι σχετικά σύντομος έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα να δοκιμαστούν και άλλοι συνδυασμοί ΗΕ και ΗΑ και άρα να εξερευνηθούν περισσότερες «καλές περιοχές» του πεδίου λύσεων όπως προστάζει η τέταρτη προδιαγραφή της παραγράφου 5.4.

Στην επόμενη παράγραφο που ακολουθεί επιχειρείται επεξήγηση της βασικής φιλοσοφίας του αλγορίθμου. Ακολουθώς περιγράφεται και επεξηγείται πιο αναλυτικά η βασική εκδοχή του αλγορίθμου. Στις επόμενες δύο παραγράφους αναλύονται δύο παραλλαγές του αλγορίθμου

που σκοπό έχουν να αυξήσουν την ταχύτητα σύγκλισης του χωρίς σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα των λύσεων.

6.3.2 Η Φιλοσοφία του Αλγόριθμου Ανάθεσης (Κατασκευή «Βέλτιστων» Σεναρίων Λύσης)

Στο σημείο αυτό και πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή του αλγορίθμου θα πρέπει να εξηγήσουμε τη φιλοσοφία του. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να δούμε πρώτα τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος ξεκινά με βασικό δεδομένο τις ουρές αλληλουχίας των παραγγελιών οι οποίες παράγονται στη φάση Α' και ελέγχονται στη φάση Β' των περιορισμών.

Κατασκευαστικά, ο αλγόριθμος όπως είπαμε προηγουμένως θα πρέπει να αξιοποιεί τις πιο οικονομικές μηχανές. Δηλαδή στόχος είναι η αλληλουχία των παραγγελιών που θα ανατεθούν στην πιο οικονομική μηχανή να έχουν αθροιστικά το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης.

Για να γίνει αυτό κατανοητό θα πρέπει να δούμε το παράδειγμα του σχήματος 6.3 που ακολουθεί. Στο πάνω μέρος του σχήματος φαίνονται οι ουρές εκτέλεσης των παραγγελιών όπως έχουν προκύψει από τη βασική εκδοχή του αλγορίθμου της διαδικασίας Α'. Από τις ουρές απομονώσαμε μόνο τις παραγγελίες που μπορούν να εκτελεστούν στη μηχανή Χ η οποία είναι η πιο οικονομική μηχανή τύπου Blow. Κατά κανόνα ισχύει ότι όσο πιο αδύνατη είναι μια μηχανή από πλευράς ΔΣ τόσο πιο οικονομική είναι. Συνεπώς, αφού η πιο οικονομική μηχανή τύπου Blow θα είναι μάλλον από τις πιο αδύνατες σε θέμα ΔΣ, όλες οι παραγγελίες που μπορούν να εκτελεστούν σε αυτή θα μπορούσαν να εκτελεστούν και σε οποιαδήποτε από τις άλλες μηχανές του ιδίου τύπου οι οποίες υποστηρίζουν μεγαλύτερη ΔΣ. Στην πραγματικότητα κάποιες από τις παραγγελίες αναγκαστικά θα πρέπει να ανατεθούν σε κάποια άλλη μηχανή επειδή πιθανό να είναι αδύνατο, λόγω διάρκειας αλλά και αλληλοεπικαλύψεων, να εκτελεστούν όλες στην πιο οικονομική μηχανή ακόμα και αν το επιτρέπει η ΔΣ τους.

Το κλειδί για την επιτυχία του αλγορίθμου είναι ο συνδυασμός παραγγελιών που θα ανατεθεί στην πιο οικονομική μηχανή να πετυχαίνει αθροιστικά το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης έτσι ώστε να αφήνεται για τις υπόλοιπες μηχανές μικρότερος, από άποψη χρόνου, όγκος εκτέλεσης.

Order Scheduling - Phase C' (Constructing Optimal Scenarios)

The set of orders that could be processed by Machine X as derived from phases A' and B'



Random Assignment of Orders to Machine X - Not Optimal



Strategic Assignment of Orders to Machine X - Optimal



Σχήμα 6.3: Παράδειγμα κατασκευής «βέλτιστων» σεναρίων ανάθεσης των παραγγελιών. Στο πάνω μέρος του σχήματος φαίνονται όλες οι παραγγελίες, όπως έχουν προκύψει από τις ουρές της διαδικασίας Α, οι οποίες μπορούν, λόγω των απαιτήσεων του σε ΔΣ, να εκτελεστούν στη μηχανή Χ.

Σαν γενική κατεύθυνση θα πρέπει η ανάθεση να αρχίσει από την πιο οικονομική μηχανή κάθε τύπου και να κινείται προς την πιο δυνατή, και συνάμα πιο απαιτητική σε θέματα κατανάλωσης ρέματος, μηχανή. Όσο κινούμαστε προς τις πιο δυνατές μηχανές θα πρέπει ο χρόνος εκτέλεσης που απαιτούν οι εναπομείναντες παραγγελίες να είναι ο ελάχιστος δυνατός για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση. Επίσης όπως είδαμε στην παράγραφο 5.5 κατά τη συζήτηση του τρίτου περιορισμού, συγκεκριμένες παραγγελίες θα πρέπει να ανατεθούν σε συγκεκριμένες μηχανές για να επιτευχθεί η λύση. Οπότεν σε κάποιο βαθμό ο αλγόριθμος μας θα πρέπει να μεριμνήσει για αυτό.

Επιστρέφοντας στο σχήμα 6.3, λόγω της τυχαίας σειράς με την οποία παρουσιάζονται οι παραγγελίες φαίνεται ότι έχει γίνει η χρήση της βασικής εκδοχής του αλγόριθμου της διαδικασίας Α' ή λιγότερο πιθανό, της πρώτης παραλλαγής του. Επίσης από τις πολλές

αλληλοεπικαλύψεις φαίνεται ότι δεν μπορούν όλες οι παραγγελίες να ανατεθούν στη μηχανή X. Απομένει λοιπόν να επιλέξουμε ποιες από αυτές θα εκτελεστούν στη X και ποιες θα αφεθούν για τις υπόλοιπες μηχανές που ακολουθούν.

Σαν πρώτη επιλογή θα μπορούσε τα πιθανά σενάρια λύσης να κατασκευάζονται από τυχαίους συνδυασμούς παραγγελιών. Δηλαδή να δοκιμάζονται τυχαία συνδυασμοί παραγγελιών, ασχέτως αριθμού, και μόνο οι συνδυασμοί που δεν περιέχουν αλληλοεπικαλύψεις να θεωρούνται ως πιθανές λύσεις για περαιτέρω αξιολόγηση. Το πρώτο πρόβλημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πάρα πολλοί από τους συνδυασμούς θα απορρίπτονται λόγω αλληλοεπικαλύψεων με αποτέλεσμα να χάνεται αχρείαστα χρόνος. Θα ήταν πιο εύλογο τα σενάρια να δομούνται με τρόπο που η απουσία αλληλοεπικαλύψεων να θεωρείται δεδομένη εκ κατασκευής τους. Επιπλέον, το δεύτερο πρόβλημα της μεθόδου αυτής, ίσως και το πιο σημαντικό, είναι ότι ένα σενάριο χωρίς αλληλοεπικαλύψεις δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι θα είναι καλό. Καλό σενάριο είναι αυτό για το οποίο δεν μπορεί να υπάρχει ξεκάθαρη απάντηση από πριν κατά πόσο είναι βέλτιστο παρά μόνο όταν δοκιμαστεί (γίνει δηλαδή η ανάθεση των παραγγελιών στις μηχανές) και αξιολογηθεί από τον αλγόριθμο.

Για καλύτερη κατανόηση των πιο πάνω θα πρέπει να δούμε το πρώτο παράδειγμα του σχήματος 6.3. Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα αυτό βλέπουμε ότι έχει γίνει τυχαία μια επιλογή τριών παραγγελιών ανάμεσα σε αυτές που προορίζονται για τη μηχανή X. Εφόσον οι παραγγελίες δεν αλληλοεπικαλύπτονται θα μπορούσε η συγκεκριμένη αλληλουχία να ανατεθεί στη μηχανή X και να υπολογιστεί η σχετική κατανάλωση για να συγκριθεί με άλλα σενάρια. Στην ουσία όμως αυτό δεν χρειάζεται να γίνει γιατί ανάμεσα στις λύσεις υπάρχει κάποια αλληλουχία παραγγελιών που είναι βέβαιο εκ των πρότερων ότι θα αξιοποιεί καλύτερα τη μηχανή X και άρα θα δώσει καλύτερη λύση. Η συγκεκριμένη αλληλουχία φαίνεται στο δεύτερο παράδειγμα του ίδιου σχήματος. Η μόνη διαφορά της δεύτερης αλληλουχίας από την πρώτη είναι ότι στη δεύτερη παρεμβάλλεται ενδιάμεσα μια άλλη παραγγελία. Συνεπώς είναι ξεκάθαρο ότι η δεύτερη αλληλουχία θα αξιοποιεί καλύτερα τη μηχανή X και άρα έχει νόημα να κρατήσουμε μόνο αυτή και να τη συγκρίνουμε με τις υπόλοιπες.

Υπό το φως των πιο πάνω θα πρέπει ο αλγόριθμος να δοκιμάζει και συγκρίνει μόνο τα σενάρια τα οποία δεν επιδέχονται άλλες βελτιώσεις, δηλαδή αυτά για τα οποία δεν μπορεί να παρεμβληθεί ενδιάμεσα ή στο τέλος τους άλλη παραγγελία που να αυξάνει τη συνολική χρονική διάρκεια του σεναρίου. Αυτό τα σενάρια χαρακτηρίζονται ως «βέλτιστα».

Ένα από τα χαρακτηριστικά του αλγόριθμου που περιγράφεται στη συνέχεια είναι ότι αναζητεί τη λύση αποκλειστικά ανάμεσα στα «βέλτιστα» σενάρια και άρα επιτυγχάνει και πιο γρήγορο εντοπισμό της βέλτιστης λύσης.

6.3.3 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Βασική Εκδοχή - Εξαντλητική και Στοχευόμενη Αναδρομή)

Στην παράγραφο αυτή γίνεται περιγραφή της βασικής εκδοχής αλγορίθμου ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Ο πυρήνας του αλγορίθμου ο οποίος χτίζει τα «βέλτιστα» σενάρια, χρησιμοποιεί αναδρομή. Ουσιαστικά ο αλγόριθμος προσπαθεί όπως είπαμε να αναθέσει τα καλύτερα «βέλτιστα» σενάρια στις πιο οικονομικές μηχανές έτσι ώστε να μείνει όσο το δυνατό λιγότερος χρόνος εκτέλεσης για τις λιγότερο οικονομικές μηχανές. Ακολουθούν τα βήματα αλγορίθμου αναλυτικά. Περιγραφή του αλγορίθμου υπάρχει και στο παράρτημα Μέρος Β'.

Βασική Εκδοχή:

ASSIGN_ORDERS(*t, m, o, Orders(m)*)

Find_the_next_order_with_the_earliest_delivery_date(*Orders(m), o*) → *Next_Order (m,o)*

If *Next_Order (m,o)* <> null then

Find_orders_overlapping_the_next_order (*Orders(m), Next_order(m,o)*) → *Overlapping_Orders(m)*

Remove_overlapping_orders (*Orders(m), Overlapping_Orders(m)*) → *Remaing_Orders (m)*

For each *o'* in *Overlapping_Orders (m)*

Assign_order_to_machine(*o', m*) → *Assigned_orders(m)*

ASSIGN_ORDERS(*t, m, o', Remaing_Orders (m)*)

next *o'*

End if

If $Next_Order(m, o) = null$ then

Remove_orders (Orders, Assigned_orders(m)) \rightarrow Non_assigned_orders

If m is not the last machine of type t

next machine of type $t \rightarrow m'$

Find_orders_with_clamping_force_less_or_equal_to_m(Non_assigned_orders, m') \rightarrow Orders (m')

Initialise(Assigned_orders(m'))

ASSIGN_ORDERS($t, m, null, Orders(m')$)

End if

If m is the last machine of type t

next type $\rightarrow t'$

first machine of type $t' \rightarrow m'$

Find_orders_with_clamping_force_less_or_equal_to_m (Non_assigned_orders, m') \rightarrow Orders (m')

Initialise (Assigned_orders(m'))

ASSIGN_ORDERS($t, m, null, Orders(m')$)

End if

If m is the last machine and t is the last type

Calculate_cost_based_on_code_61 (Assigned_orders) \rightarrow cost_of_electricity_of_current_sxenario

If *cost_of_electricity_of_current_sxenario* < *cost_of_electricity_of_best_sxenario*

Assigned_orders \rightarrow *Best_Scenario*

End if

End if

End if

Global variables:

Orders: All orders

Assigned_Orders (m): The orders assigned to machine m at a given point in time.

Assigned_Orders: The superset of *Assigned_Orders (m)* for all machines.

Non_Assigned_Orders: All the non-assigned orders at a given point in time.

Best_Scenario: The scenario with the lowest electricity cost at a given point in time

Initial Values:

t: The first machine type randomly selected

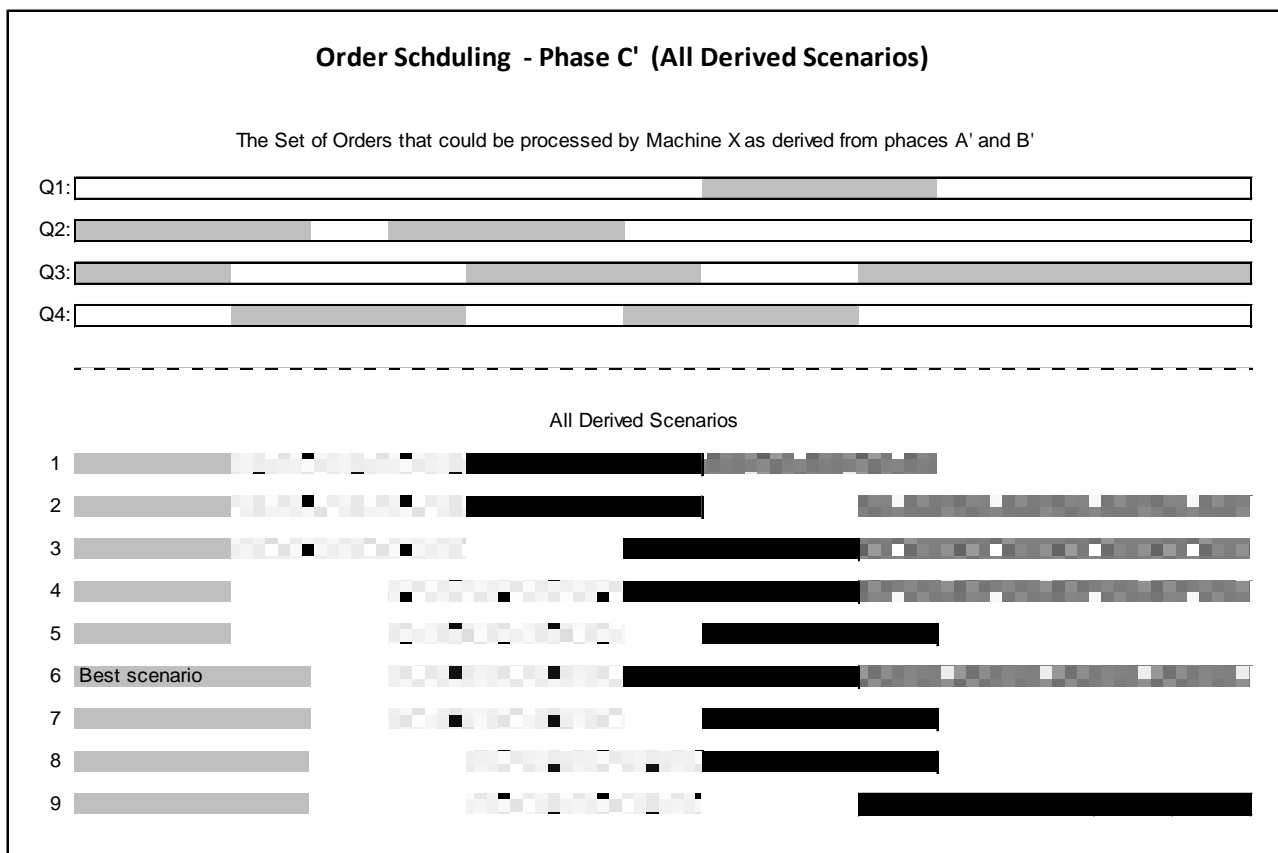
o: null as no order is passed in the first call of the algorithm

m: the machine of type t with the lowest clamping force, or equivalently, the lowest consumption rate.

Orders (m): All the orders that can be processed by machine m .

Στο σχήμα 6.4 που ακολουθεί περιγράφεται ο βασικός πυρήνας του αλγορίθμου, δηλαδή το τμήμα κατά το οποίο κατασκευάζονται τα «βέλτιστα» σενάρια. Στο πάνω μέρος του σχήματος φαίνεται το σύνολο όλων των παραγγελιών που μπορούν να εκτελεστούν σε κάποια από τις μηχανές του εργοστασίου βάσει των ουρών που προέκυψαν από τον αλγόριθμο κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών. Το εν λόγω σύνολο συμβολίζεται με Π_1 . Η δεύτερη εκ των δύο σκιασμένων παραγγελιών στο αριστερό μέρος του δεύτερου σχήματος είναι αυτή με την μικρότερη HA στο Π_1 . Η άλλη σκιασμένη παραγγελία είναι η μόνη που αλληλεπικαλύπτεται με αυτή με τη μικρότερη HA. Και οι δύο μαζί αποτελούν το σύνολο των επιλογών για την παραγγελία που θα εκτελεστεί πρώτη στη σειρά. Στο σημείο αυτό δημιουργούνται δύο κλαδιά στο αναδρομικό δέντρο, ένα με την πρώτη επιλογή και ένα με τη δεύτερη. Συνεχίζουμε το παράδειγμα μας με τη μία εξ αυτών και προσπαθούμε να εντοπίσουμε τις πιθανές δεύτερες παραγγελίες στη σειρά δεδομένης της επιλογής μας. Η αναζήτηση των δεύτερων επιλογών θα γίνει από το σύνολο Π_2 . Το σύνολο Π_2 αποτελείται από όλες τις παραγγελίες που αρχίζουν μετά που τελειώνει η παραγγελίας που επιλέξαμε, δηλαδή από όλες τις παραγγελίες δεξιά τις κάθετης γραμμής στο πρώτο σχήμα. Στο επόμενο σχήμα αφού εντοπίσαμε την παραγγελία του Π_2 με την μικρότερη HA και όλες τις αλληλεπικαλυπτόμενες με αυτή καταλήξαμε και πάλι με δύο επιλογές. Αυτές η επιλογές θα αποτελέσουν τις πιθανές παραγγελίες που θα εκτελεστούν δεύτερες στη σειρά μετά από την πρώτη μας επιλογή. Στο σημείο αυτό δημιουργούνται και πάλι δύο κλαδιά στο αναδρομικό δέντρο. Συνεχίσουμε με τον ίδιο τρόπο μέχρι το Π_5 . Το Π_5 θα είναι άδειο οπότε η αλληλουχία μας θα σταματήσει στις τέσσερις παραγγελίες στη σειρά. Το πρώτο σενάριο που θα προκύψει

όταν φτάσουμε στο πρώτο τερματικό κόμβο-φύλλο του αναδρομικού δέντρου φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 6.4. Όλα τα παραγόμενα «βέλτιστα» σενάρια για την παραγγελία X που θα προκύψουν με το πέρας της αλγοριθμικής διαδικασίας παρουσιάζονται στο σχήμα 6.5. Βλέπουμε στο σχήμα 6.5 ότι δημιουργήθηκαν εννέα «βέλτιστα» σενάρια ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές. Πέντε από αυτά αποτελούνται από τέσσερις παραγγελίες και τέσσερα από 3. Παρόλο που κάποια έχουν ενδιάμεσα κενά σε κανένα δεν είναι δυνατό να παρεμβάλουμε ενδιάμεσα κάποια από τις υπόλοιπες παραγγελίες γεγονός που επιβεβαιώνει ότι δεν επιδέχονται βελτιώσεων. Το βέλτιστο εξ αυτών είναι το σενάριο 6 το οποίο αθροιστικά έχει το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης.



Σχήμα 6.5: Όλα τα «βέλτιστα» σενάρια για τον τρόπο ανάθεσης των παραγγελιών στη μηχανή X (Βήματα 6-12).

Να αναφέρουμε εδώ ότι η διάρκεια κάθε σεναρίου δεν είναι ακριβώς αυτή που φαίνεται στο σχήμα αφού οι παραγγελίες ενδιάμεσα μπορεί να έχουν κενά στην εκτέλεση τους αν ο ΣΒ τους είναι 1 ή 2. Οπότεν θα πρέπει να ληφθεί και αυτή η παράμετρος υπόψη όταν υπολογίζουμε το

χρόνο εκτέλεσης κάθε αλληλουχίας παραγγελιών. Απλά στο παράδειγμα για χάρη απλότητας και συνοχής του γραφήματος θεωρήθηκε ότι όλες οι παραγγελίες έχουν $\Sigma B=3$.

Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι ο αλγόριθμος δεν θα επιλέξει το βέλτιστο από τα εννέα σενάρια για να το αναθέσει στη μηχανή X και να αφήσει τις υπόλοιπες παραγγελίες για να δοκιμαστούν στην επόμενη μηχανή. Αντιθέτως, επειδή η αλγόριθμος χρησιμοποιεί εξαντλητική αναδρομή θα δοκιμαστούν ουσιαστικά όλα τα σενάρια. Για κάθε σενάριο που επιλέγεται για τη μηχανή X θα δημιουργείται διαφορετικό σύνολο παραγγελιών για να δοκιμάζεται στην επόμενη μηχανή και ούτω καθεξής μέχρι να δοκιμαστούν όλες οι μηχανές του τρέχοντα τύπου. Ο λόγος που επιχειρείται εξαντλητική αναδρομή σε κάθε τύπο μηχανών οφείλεται στο γεγονός ότι αν επιλεγεί το καλύτερο από τα σενάρια για τη μηχανή X, δηλαδή το σενάριο 6, οι παραγγελίες που θα μείνουν για την επόμενη μηχανή μπορεί να είναι τέτοιες που το καλύτερο εκ των «βέλτιστων» σεναρίων που θα δημιουργηθεί για τη δεύτερη μηχανή να είναι σχετικά κακό που να μειώνει τελικά τη συνολική εξοικονόμηση. Πιθανό με μια άλλη επιλογή σεναρίου στη μηχανή X να επιτυγχάναμε ένα καλό σενάριο στη δεύτερη μηχανή έτσι ώστε συνολικά η εξοικονόμηση και από τις δύο μηχανές μαζί να είναι μεγαλύτερη. Οπότε για να βρούμε το πραγματικά καλύτερο σενάριο θα πρέπει να συνδυάσουμε όλα τα σενάρια κάθε μηχανής με αυτά των υπόλοιπων μηχανών και μόνο στο τέλος της αναδρομής να αποφανθούμε αθροιστικά ποιο επιφέρει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

Φυσικά, ο αλγόριθμος μας δεν τερματίζει όταν εξετάσουμε κάθε τύπο μηχανής αλλά συνεχίζει αναδρομικά μέχρι να ανατεθούν οι παραγγελίες σε όλους τους τύπους μηχανών. Θεωρητικά η ανάθεση των παραγγελιών είναι ανεξάρτητη για κάθε τύπο μηχανής αφού παρόλο που μια παραγγελία μπορεί να εκτελεστεί σε πολλές μηχανές του ίδιου τύπου, εντούτοις δεν μπορεί να εκτελεστεί σε καμία μηχανή άλλου τύπου. Οπότε η ανάθεση των παραγγελιών στις μηχανές είναι ένα πρόβλημα που θα πρέπει να επιλυθεί τελείως ανεξάρτητα για κάθε τύπο. Η μοναδική παράμετρος που συνδέει τα αποτελέσματα κάθε τύπου είναι η MZ. Συγκεκριμένα, ακόμα και αν η αναδρομή επιτυγχάνει την ελάχιστη συνολική κατανάλωση σε κάθε τύπο, σφαιρικά τα παραγόμενα σενάρια και για τους τρεις τύπους μπορεί να δημιουργούν αλληλοεπικαλύψεις που αθροιστικά δημιουργούν μεγάλες τιμές για τη MZ και ως εκ τούτου να αυξάνουν το

συνολικό κόστος. Ακριβώς για αυτό το λόγο κάθε σενάριο αξιολογείται όταν θα έχουν ανατεθεί όλες οι παραγγελίες στις μηχανές, ενώ η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη όλα τα δεδομένα του Κώδικα 61, δηλαδή τόσο τη ΣΚ όσο και την ΜΖ και το ΣΦ.

Τέλος να αναφέρουμε ότι στο παράδειγμα που μελετήσαμε στα σχήματα 6.3-6.5 υπάρχουν πολλές αλληλοεπικαλύψεις λόγω του ότι χρησιμοποιήθηκε τελείως τυχαία επιλογή παραγγελιών κατά τη φάση δημιουργίας των ουρών. Όσο στοχευόμενη και να είναι η αναζήτηση μας, οι πολλές επικαλύψεις αυξάνουν γενικά τα παραγόμενα σενάρια και αναλόγως του βάθους της αναδρομής αυξάνονται εκθετικά και οι παραγόμενοι συνδυασμοί σεναρίων μεταξύ μηχανών και τύπων που θα πρέπει να δοκιμαστούν. Σίγουρα με τη χρήση των παραλλαγών 1 και 2 κατά τη φάση Α' θα υπάρχουν λιγότερες αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες κάθε μηχανής και άρα αισθητά λιγότεροι συνδυασμοί σεναρίων στο τέλος της αναδρομής. Στη συνέχεια περιγράφονται δύο παραλλαγές της βασικής εκδοχής του αλγορίθμου. Οι παραλλαγές εστιάζουν στην αύξηση της ταχύτητας σύγκλισης του αλγορίθμου περιορίζοντας τη αναδρομή μόνο για κάθε μηχανή ή μόνο για κάθε τύπο αντίστοιχα.

6.3.4 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Παραλλαγή Ι – Αναδρομή Κατά Τύπο)

Η παραλλαγή που περιγράφεται σε αυτή την παράγραφο κρίθηκε σκόπιμη για να αυξήσει την ταχύτητα σύγκλισης του αλγορίθμου ανάθεσης. Ουσιαστικά η ποιότητα της λύσης αναμένεται να είναι σε κάποιο βαθμό υποδεέστερη από αυτή του εξαντλητικού αλγορίθμου της βασικής εκδοχής. Ως θετικό αντάλλαγμα, η αύξηση της ταχύτητα σύγκλισης θα είναι τεράστια λόγω του ότι μειώνεται το βάθος του αναδρομικού δέντρου. Με κάθε επίπεδο του δέντρου που αφαιρείται μειώνεται εκθετικά ο αριθμός των παραγόμενων σεναρίων προς αξιολόγηση. Λεπτομερής περιγραφή των βημάτων της παραλλαγής 1 υπάρχει στο Παράρτημα Μέρος Β'. Στο παρόν κείμενο θα αρκεστούμε σε περιγραφή της βασικής διαφοράς στη φιλοσοφία της παραλλαγής σε σχέση με τη βασική έκδοση.

Παραλλαγή 1:

For each t in Types

first machine of type t → *m*

null → *o*

Find_orders_with_clamping_force_less_or_equal_to_m(*Orders, m*) → *Orders(m)*

ASSIGN_ORDERS(*t, m, o, Orders(m)*)

Find_the_next_order_with_the_earliest_delivery_date(*Orders(m), o*) → *Next_Order (m,o)*

If *Next_Order (m,o) <> null* then

Find_orders_overlapping_the_next_order (*Orders(m), Next_order(m,o)*) → *Overlapping_Orders(m)*

Remove_overlapping_orders (*Orders(m), Overlapping_Orders(m)*) → *Remaing_Orders (m)*

For each *o'* in *Overlapping_Orders (m)*

Assign_order_to_machine(*o', m*) → *Assigned_orders(m)*

ASSIGN_ORDERS(*t, m, o', Remaing_Orders (m)*)

next *o'*

End if

If *Next_Order (m,o) = null* then

Remove_orders (*Orders, Assigned_orders(m)*) → *Non_assigned_orders*

If *m* is not the last machine of type *t*

next machine of type t → *m'*

Find_orders_with_clamping_force_less_or_equal_to_m(*Non_assigned_orders, m'*) → *Orders (m')*

Initialise(*Assigned_orders(m')*)

ASSIGN_ORDERS(*t, m, null, Orders (m')*)

End if

If *m* is the last machine of type *t*

Calculate_cost_based_on_code_61 (*Assigned_orders(t)*) → *cost_of_electricity_of_current_sxenario*

 If *cost_of_electricity_of_current_sxenario < cost_of_electricity_of_best_sxenario*

Assigned_orders(t) → *Best_Scenario(t)*

End if

End if

End if

Next t

Combine_best_scenarios_of_all_types(*Best_Scenario(t)*) → *Best_Scenario*

Calculate_cost_based_on_code_61 (*Best_Scenario*) → *cost_of_electricity_of_best_sxenario*

End

Global variables:

Orders: All orders

Assigned_Orders (m): The orders assigned to machine m at a given point in time.

Assigned_Orders(t): The union of *Assigned_Orders (m)* for all machines of type t.

Non_Assigned_Orders: All the non-assigned orders at a given point in time.

Best_Scenario(t): The scenario comprising all the orders of type t with the lowest electricity cost at a given point in time

Best_Scenario: The union of *Best_Scenario(t)* for all of types.

Στη βασική εκδοχή η αναδρομή συνεχίζει ακόμα και κατά τις εναλλαγές μηχανών και τύπων μέχρι το σενάριο να ολοκληρωθεί πλήρως, δηλαδή μέχρι να έχουν ανατεθεί όλες παραγγελίες στις μηχανές. Έτσι η αξιολόγηση του σεναρίου γίνεται σφαιρικά και άρα πιο σωστά αφού η πραγματική ΜΖ και κατ' επέκταση ο ΣΦ μπορούν λόγω της φύσης τους να υπολογιστούν μόνο εφόσον έχει ολοκληρωθεί το σενάριο.

Στην παρούσα παραλλαγή προτείνεται όπως η αναδρομή σταματά με κάθε εναλλαγή τύπου. Στο σημείο αυτό θα αξιολογούνται όλα τα σενάρια ανάθεσης ανάμεσα στις μηχανές κάθε τύπου και βάσει της ΣΚ, της ΜΖ και ΣΦ θα υπολογίζεται το «βέλτιστο» σενάριο του κάθε τύπου. Η διαδικασία θα είναι τελείως ανεξάρτητη για κάθε τύπο. Όταν θα έχουν εντοπιστεί τα «βέλτιστα» σενάρια για όλους τους τύπους, τότε αυτά θα συνενώνονται για να παραχθεί το συνολικό σενάριο λύσης. Προφανώς το συνολικό σενάριο που θα προκύψει δεν θα είναι το «βέλτιστο» λόγω του ότι κατά τη συνένωση μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά η ΜΖ, αναμένεται όμως ότι θα είναι αρκετά ικανοποιητικό. Επειδή η ταχύτητα σύγκλισης θα αυξηθεί σημαντικά θα δοθεί χρόνος για εξερεύνηση περισσότερων συνδυασμών ΗΕ και ΗΑ και άρα περισσότερων «καλών περιοχών».

Τα αποτελέσματα των δοκιμών του αλγορίθμου που περιγράφονται στο κεφάλαιο 7 επιβεβαιώνουν ότι η ποιότητα της λύσης δεν επηρεάζεται σημαντικά ενώ ταυτόχρονα η αύξηση στην ταχύτητα είναι

αρκετά εμφανής. Πιο κάτω περιγράφεται η δεύτερη παραλλαγή του αλγορίθμου η οποία ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία, δηλαδή του περιορισμού του βάθους της αναδρομής για χάρη της ταχύτητας σύγκλισης.

6.3.5 Ο Αλγόριθμος Ανάθεσης Των Παραγγελιών (Παραλλαγή II – Αναδρομή Κατά Μηχανή)

Όπως και με την παραλλαγή 1, θα αρκεστούμε μόνο σε περιγραφή της βασική διαφοράς στη φιλοσοφία της παραλλαγής 2 σε σχέση με τη βασική έκδοση. Λεπτομερής περιγραφή των βημάτων της παραλλαγής 2 υπάρχει στο Παράρτημα Μέρος Β'.

Παραλλαγή 2:

For each t **in** $Types$

For each m **in** $Machines\ of\ Type\ t$

$null \rightarrow o$

Find_orders_with_clamping_force_less_or_equal_to_m($Orders, m$) $\rightarrow Orders(m)$

ASSIGN_ORDERS($m, o, Orders(m)$)

Find_the_next_order_with_the_earliest_delivery_date($Orders(m), o$) $\rightarrow Next_Order(m, o)$

If $Next_Order(m, o) \neq null$ then

Find_orders_overlapping_the_next_order($Orders(m), Next_order(m, o)$) $\rightarrow Overlapping_Orders(m)$

Remove_overlapping_orders($Orders(m), Overlapping_Orders(m)$) $\rightarrow Remaining_Orders(m)$

For each o' in $Overlapping_Orders(m)$

Assign_order_to_machine(o', m) $\rightarrow Assigned_orders(m)$

ASSIGN_ORDERS($m, o', Remaining_Orders(m)$)

next o'

End if

If $Next_Order(m, o) = null$ then

Remove_orders($Orders, Assigned_orders(m)$) $\rightarrow Non_assigned_orders$

Calculate_scenario_electricity_cost($Assigned_orders(m)$) $\rightarrow cost_of_electricity_of_current_scenario$

if $cost_of_electricity_of_current_scenario < cost_of_electricity_of_best_scenario$

$Assigned_orders(m) \rightarrow Best_Scenario(m)$

```

    End if
End if
Next m
Next t
Combine_best_scenarios_of_all_machines_of_all_types(Best_Scenario(m)) → Best_Scenario
Calculate_cost_based_on_code_61 (Best_Scenario) → cost_of_electricity_of_best_scenario
End

```

Global variables:

Orders: All orders

Assigned_Orders (m): The orders assigned to machine m at a given point in time.

Non_Assigned_Orders: All the non-assigned orders at a given point in time.

Best_Scenario(m): The scenario of machine m with the lowest electricity cost at a given point in time

Best_Scenario: The union of *Best_Scenario(m)* for all machines of all types.

Στην παρούσα παραλλαγή προτείνεται όπως η αναδρομή σταματά με κάθε εναλλαγή μηχανής. Στο σημείο αυτό θα αξιολογούνται όλα τα σενάρια ανάθεσης κάθε μηχανής και βάσει της ΣΚ υπολογίζεται το «βέλτιστο» σενάριο του κάθε τύπου. Εφόσον η αξιολόγηση γίνεται κατά μηχανή δεν έχει νόημα στη φάση αυτή η ΜΖ γι' αυτό και η αξιολόγηση των σεναρίων περιορίζεται μόνο στη ΣΚ.

Η διαδικασία θα είναι ανεξάρτητη για κάθε μηχανή. Η μόνη σύνδεση ανάμεσα στις μηχανές είναι ότι η επιλογή του «βέλτιστου» σεναρίου μιας μηχανής θα επηρεάζει τις παραγγελίες που θα αφεθούν στην αμέσως επόμενη μηχανή. Οπότεν σίγουρα η απόδοση του «βέλτιστου» σεναρίου της δεύτερης μηχανής θα περιορίζεται στις δυνατότητες που θα παρέχονται από τον εκάστοτε συνδυασμό των εναπομεινάντων παραγγελιών.

Όταν θα έχουν εντοπιστεί τα «βέλτιστα» σενάρια για όλες τις μηχανές κάθε τύπου, τότε αυτά θα συνενώνονται για να παραχθεί το συνολικό σενάριο του κάθε τύπου. Τα συνολικά σενάρια όλων των τύπων θα συνενωθούν με τη σειρά τους στο τέλος της διαδικασίας για να προκύψει το συνολικό σενάριο λύσης του εργοστασίου. Όπως και στην παραλλαγή 1, έτσι και εδώ το συνολικό σενάριο που θα προκύψει δεν θα είναι το «βέλτιστο» λόγω του ότι κατά τη

συνένωση μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά η ΜΖ, αναμένεται όμως και πάλι ότι θα είναι αρκετά ικανοποιητικό. Όσον αφορά την ταχύτητα σύγκλισης αναμένεται ότι θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο σε σχέση με την παραλλαγή 1.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών του αλγορίθμου που περιγράφονται στο κεφάλαιο 7 επιβεβαιώνουν και για αυτή την παραλλαγή ότι η ποιότητα της λύσης δεν επηρεάζεται σημαντικά ενώ ταυτόχρονα η αύξηση στην ταχύτητα σύγκλισης είναι τεράστια.

Ακολουθεί περιγραφή της τελευταίας εκ των τεσσάρων βασικών διαδικασιών του χρονοπρογραμματισμού που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2

6.4 Διαδικασία σύγκρισης του καλύτερου σεναρίου που προκύπτει από τη δεδομένη ΗΕ και ΗΑ με τη βέλτιστη λύση.

Όπως έχει επεξηγηθεί στις προηγμένες παραγράφους κατά την πρώτη φάση της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού γίνεται κατασκευή της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών με τον καθορισμό των ΗΕ και ΗΑ ενώ κατά τη δεύτερη φάση γίνεται έλεγχος των περιορισμών του προβλήματος για να διαπιστωθεί κατά πόσο με τον παραγόμενο συνδυασμό ΗΕ και ΗΑ μπορεί να επιτευχθεί λύση. Εφόσον ισχύει αυτό κατά την τρίτη φάση ο αλγόριθμος ανάθεσης των παραγγελιών κτίζει με αναδρομικό τρόπο διάφορα σενάρια ανάθεσης τα οποία αξιολογεί στη βάση των δεδομένων του Κώδικα 61 και επιλέγει στο τέλος το καλύτερο εξ αυτών.

Κατά την τέταρτη και τελευταία φάση της διαδικασίας το σενάριο αυτό συγκρίνεται με τη βέλτιστη λύση. Η βέλτιστη λύση είναι ουσιαστικά το βέλτιστο από τα καλύτερα σενάρια όλων των προηγούμενων συνδυασμών ΗΕ και ΗΑ. Η σύγκριση του καλύτερου σεναρίου του τρέχοντα συνδυασμού ΗΕ και ΗΑ με τη βέλτιστη λύση γίνεται επίσης στη βάση του Κώδικα 61 με τη διαφορά ότι σε αυτό το σημείο το κόστος του σεναρίου υπολογίζεται αθροιστικά κατόπιν κατακερματισμού και τμηματικής εφαρμογής του Κώδικα 61 για κάθε μήνα ξεχωριστά κατά παρόμοιο τρόπο με την πρακτική που ακολουθεί η ΑΗΚ η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7.

Σε περίπτωση που το καλύτερο σενάριο του τρέχοντα συνδυασμού ΗΕ και ΗΑ επιτυγχάνει χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης από τη βέλτιστη λύση, τότε γίνεται αυτό η βέλτιστη λύση. Σε

κάθε περίπτωση η διαδικασία χρονοπρογραμματισμού επαναλαμβάνεται από την αρχή για τη δημιουργία νέου συνδυασμού ΗΕ και ΗΑ.

Κεφάλαιο 7 Τα αποτελέσματα των δοκιμών των αλγορίθμων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των δομικών των αλγορίθμων και εξετάζεται κατά πόσο η προτεινόμενη λύση χρονοπρογραμματισμού μπορεί να επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, εξετάζεται ποια από τις παραλλαγές του αλγορίθμου πετυχαίνει τα πιο καλά αποτελέσματα και κάτω από ποιες συνθήκες.

Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου γίνεται καταγραφή των δεδομένων εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές των αλγορίθμων. Στο δεύτερο μέρος γίνεται συζήτηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα του χρονοπρογραμματισμού. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των αλγορίθμων για να διαπιστωθεί ποια παραλλαγή πετυχαίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ενώ στο τέταρτο μέρος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας με κάποια από τα δεδομένα των μηνιαίων λογαριασμών της ΑΗΚ για να διαφανεί αν υπάρχει περιθώριο μείωσης του κόστους κατανάλωσης ρεύματος.

7.1 Τα δεδομένα εισόδου

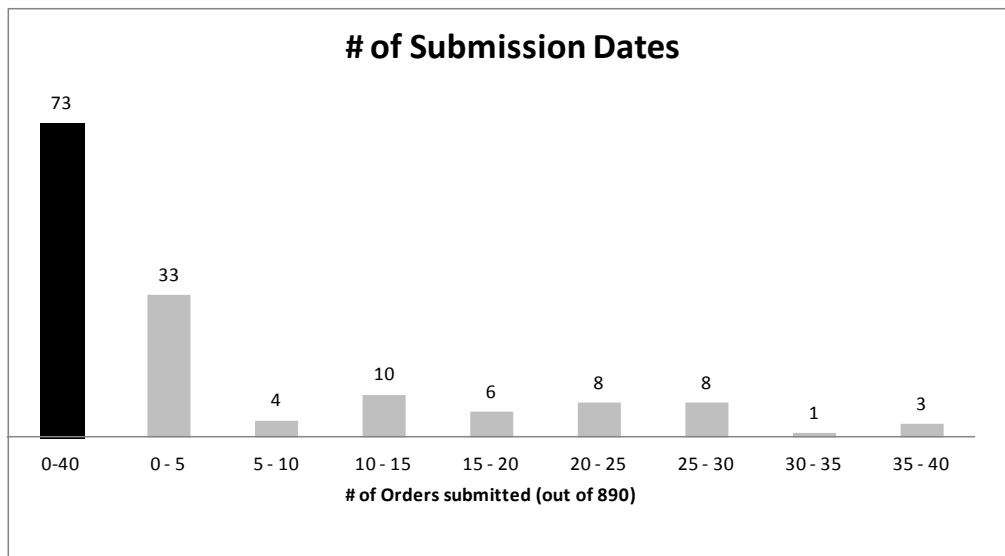
Για τις δοκιμές των αλγορίθμων χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα από τη βάση δεδομένων του εργοστασίου. Συγκεκριμένα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τις παραμέτρους και τα γνωρίσματα που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα ακόλουθα:

1. Το αρχείο του εργοστασίου με όλες τις παραγγελίες που υποβλήθηκαν μεταξύ 16/5/2008 και 14/11/2011. Συνολικά στην εν λόγω περίοδο των **40 μηνών** υποβλήθηκαν συνολικά **890 παραγγελίες**. Στο αρχείο φαίνεται, μεταξύ άλλων, η **ΗΥ** και η **ΗΠ** της κάθε παραγγελίας
2. Το αρχείο του εργοστασίου με όλα τα προϊόντα που αφορούν οι παραγγελίες.
3. Το αρχείο του εργοστασίου με τα καλούπια που αντιστοιχούν σε κάθε παραγγελία με το **ΠΕ** και τη **ΔΣ** κάθε καλουπιού κ.α.

4. Το αρχείο με τις μηχανές που διαθέτει το εργοστάσιο. Το εργοστάσιο διαθέτει αυτή τη στιγμή **14 μηχανές, 9 Injection, 5 Blow και 5 Stretch**. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μηχανών που λήφθηκαν υπόψη στη μελέτη είναι η **ΜΔ, ΙΠ και η ΙΛ**. Δεδομένα για τις δύο τελευταίες μεταβλητές που αφορούν την κατανάλωση δεν υπήρχαν διαθέσιμα. Συγκεκριμένα, για να υπολογιστεί η **ΙΛ** της κάθε μηχανής θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη και η αντίστοιχη κατανάλωση των πρέσων και των ψυκτικών μονάδων που υποστηρίζουν τη μηχανή. Ο ιδιοκτήτης του εργοστασίου εγκατέστησε μετρητές για να μετρήσει την πραγματική συνολική κατανάλωση κάθε μηχανής αλλά δεν κατέστη δυνατό να έχουμε μετρήσεις έγκαιρα. Οπότεν για τις παραμέτρους αυτές χρησιμοποιήθηκαν προσεγγιστικές τιμές. Συγκεκριμένα οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν εργοστασιακές ενδείξεις παρόμοιων μηχανών χωρίς όμως να συνυπολογίζονται οι καταναλώσεις των πρέσων και των ψυκτικών μονάδων.
5. Το **Πρόγραμμα Βάρδιας** του εργοστασίου. Συγκεκριμένα, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3 το εργοστάσιο λειτουργεί με σύστημα **τριπλής βάρδιας**. Η πρώτη βάρδια διαρκεί **10 ώρες** μεταξύ 6:00-16:00, η δεύτερη **8 ώρες** μεταξύ 16:00-24:00 και η τρίτη **6 ώρες** μεταξύ 00:00-6:00.
6. Τα δεδομένα τιμολόγησης του ρεύματος όπως καθορίζονται στον **Κώδικα 61**
7. Το **ωρολόγιο πρόγραμμα απασχόλησης** του προσωπικού. Παρόλο που ο αλγόριθμος κατασκευάστηκε έτσι ώστε να είναι δυνατό να καθοριστεί διαφορετικός αριθμός υπαλλήλων ανά μέρα και ανά βάρδια, εντούτοις επειδή το εργοστάσιο δεν διαθέτει ιστορικά στοιχεία για τον αριθμό των εργαζομένων που απασχολήθηκαν σε κάθε βάρδια, χρησιμοποιήθηκε για χάρη των δοκιμών η αναλογία **6-3-2 υπάλληλοι για τις βάρδιες 1-2-3** αντίστοιχα που ισχύει κατά κανόνα σε μεγάλο βαθμό.

Συνολικά οι 890 παραγγελίες που υποβλήθηκαν στην υπό εξέταση περίοδο των 40 μηνών υποβλήθηκαν σε 73 διαφορετικές ημερομηνίες όπως φαίνεται σε σχήμα 7.1 που ακολουθεί. Αν και παραγγελίες μπορούν να υποβληθούν ανά πάσα στιγμή, το εργοστάσιο συγκεντρώνει τις παραγγελίες και τις υποβάλλει στο σύστημα για χρονοπρογραμματισμό σε δέσμες ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό γίνεται περίπου κάθε 15-18 μέρες χωρίς όμως αυτή η

πρακτική να είναι απολυτή αφού στο δείγμα των παραγγελιών που μας παραχωρήθηκε υπήρχαν υποβολές παραγγελιών ακόμα και σε συνεχόμενες μέρες λόγω των στενών χρονοδιαγραμμάτων ή άλλων λόγων.



Σχήμα 7.1 Ο αριθμός των ανεξάρτητων υποβολών με τον αριθμό των παραγγελιών ανά υποβολή

Όπως βλέπουμε από το σχήμα 7.1 και οι 73 υποβολές αφορούσαν το πολύ 40 νέες παραγγελίες. Συγκεκριμένα 33 υποβολές αφορούσαν 0-5 παραγγελίες, 10 υποβολές αφορούσαν από 10-15 παραγγελίες, 6 υποβολές από 15-20 παραγγελίες κτλ. Ο μέγιστος αριθμός των 35-40 παραγγελιών αφορούσε μόνο 3 ημερομηνίες υποβολής από τις 73.

Εν τη απουσία άλλου παράγοντα που να επηρεάζει το χρονοπρογραμματισμό από αυτούς που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1 θεωρήσαμε, για σκοπούς των δοκιμών, ότι ο μοναδικός λόγος χρονοπρογραμματισμού είναι η υποβολή νέων παραγγελιών. Οπότεν χρειάστηκε να εκτελεστούν 73 κύκλοι χρονοπρογραμματισμού για να καταλήξουμε στα συμπεράσματα που αναλύονται στη συνέχεια.

7.2 Τα πρώτα αποτελέσματα του χρονοπρογραμματισμού.

Στην παρούσα παράγραφο συζητούμε τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έτσι ώστε ο χρονοπρογραμματισμός να παράξει αποτελέσματα που να είναι συγκρίσιμα με τους μηνιαίους

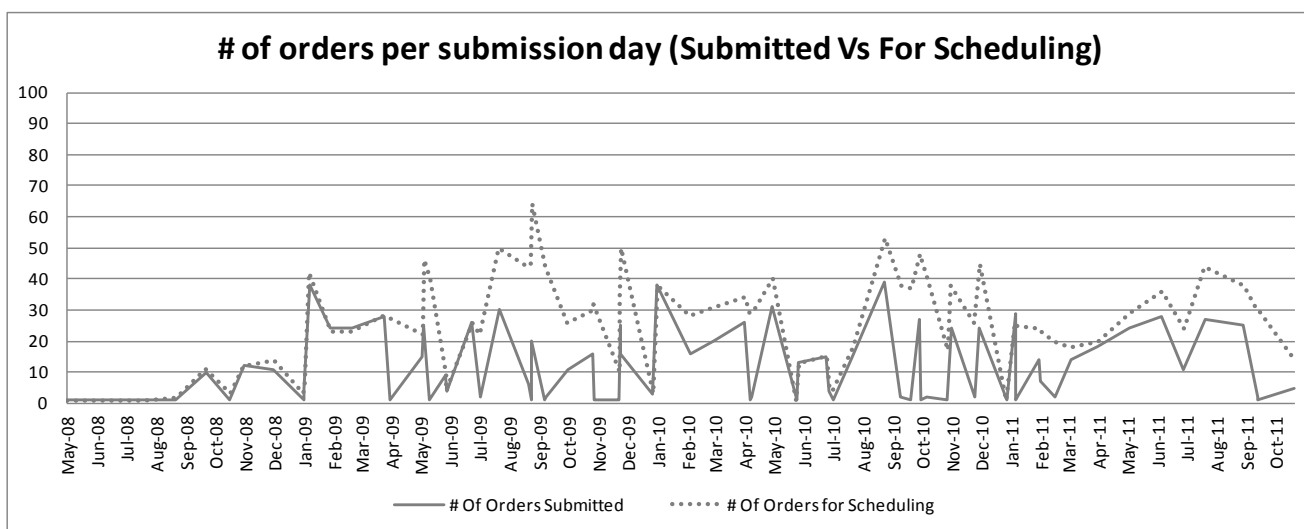
λογαριασμούς της ΑΗΚ του 2011 που έχουμε στη διάθεση μας για να είμαστε σε θέση να αποφανθούμε κατά πόσο υπάρχει περιθώριο μείωσης του κόστους κατανάλωσης ρεύματος.

Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι για να παράξουμε δεδομένα που είναι συγκρίσιμα σε κάποιο βαθμό με τα δεδομένα των μηνιαίων λογαριασμών της ΑΗΚ του 2011 δεν ήταν δυνατό να χρονοπρογραμματίσουμε αποσπασματικά μόνο τις παραγγελίες συγκεκριμένων μηνών. Ο λόγος είναι ότι το πρόγραμμα λειτουργιών του εργοστασίου είναι συνεχές οπότε αν προσπαθήσουμε να απομονώσουμε κάποιο μήνα για τις δοκιμές προκύπτουν τα εξής σοβαρά προβλήματα:

- I. Αν η πρώτη υποβολή παραγγελιών έγινε στο μέσο του υπό εξέταση μήνα, τότε δεν θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το πρόγραμμα εκτέλεσης των παραγγελιών στο διάστημα από την πρώτη μέρα του μήνα μέχρι τη συγκεκριμένη ημερομηνία υποβολής για να το λάβουμε υπόψη στους υπολογισμούς της ΣΚ και της ΜΖ. Αφού το πρόγραμμα εκτέλεσης προκύπτει από τον αλγόριθμο θα πρέπει να βρούμε την τελευταία υποβολή πριν την πρώτη μέρα του μήνα και να τρέξουμε τον αλγόριθμο για να συμπληρώσουμε το πρόγραμμα του μήνα μας.
- II. Ακόμα και να γίνει αυτό, θα έχουμε ένα άλλο πρόβλημα. Συγκεκριμένα, κατά τον τελευταίο χρονοπρογραμματισμό πριν την πρώτη του μήνα, εκτός από τις παραγγελίες που υποβλήθηκαν εκείνη τη μέρα, λήφθηκαν επίσης υπόψη και όσες παραγγελίες ήταν υπό εκτέλεση τη δεδομένη στιγμή αλλά και όσες είχαν χρονοπρογραμματιστεί προηγουμένως και δεν είχαν προλάβει να εκτελεστούν ακόμα. Οι δύο τελευταίες όμως θα έχουν προκύψει από τον αμέσως προηγούμενο χρονοπρογραμματισμό. Συνεπώς θα πρέπει να πάμε ακόμα πιο πίσω και ούτω καθ' εξής.

Οπότε για να γίνει σωστά η σύγκριση θα πρέπει να γίνει αναπαραγωγή όλου του προγράμματος εργασιών από την πρώτη μέρα του αρχείου μας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να γίνουν 73 διαδοχικοί χρονοπρογραμματισμοί έτσι ώστε να ξέρουμε τόσο τις «Υπό εκτέλεση» όσο και τις «Χρονοπρογραμματισμένες» παραγγελίες σε κάθε ένα από αυτούς για να τις λάβουμε υπόψη.

Στο σχήμα 7.2 που ακολουθεί φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή ο συνολικός αριθμός των παραγγελιών που συμμετείχαν στους 73 χρονοπρογραμματισμούς. Ο αριθμός αυτός ισούται με το άθροισμα των νέων παραγγελιών του σχήματος 7.1, ο οποίος φαίνεται επίσης στο γράφημα με συνεχή γραμμή, και των υπό εκτέλεση παραγγελιών που προέκυψαν από τους ενδιαμέσους χρονοπρογραμματισμούς στους οποίους έχουμε προβεί. Όλοι οι χρονοπρογραμματισμοί έγιναν με τη χρήση της δεύτερης παραλλαγής των δύο αλγορίθμων των διαδικασιών Α' και Γ' αντίστοιχα. Ο λόγος που επιλέχτηκε η παραλλαγή 2 και στις δύο περιπτώσεις επεξηγείται στη συνέχεια.

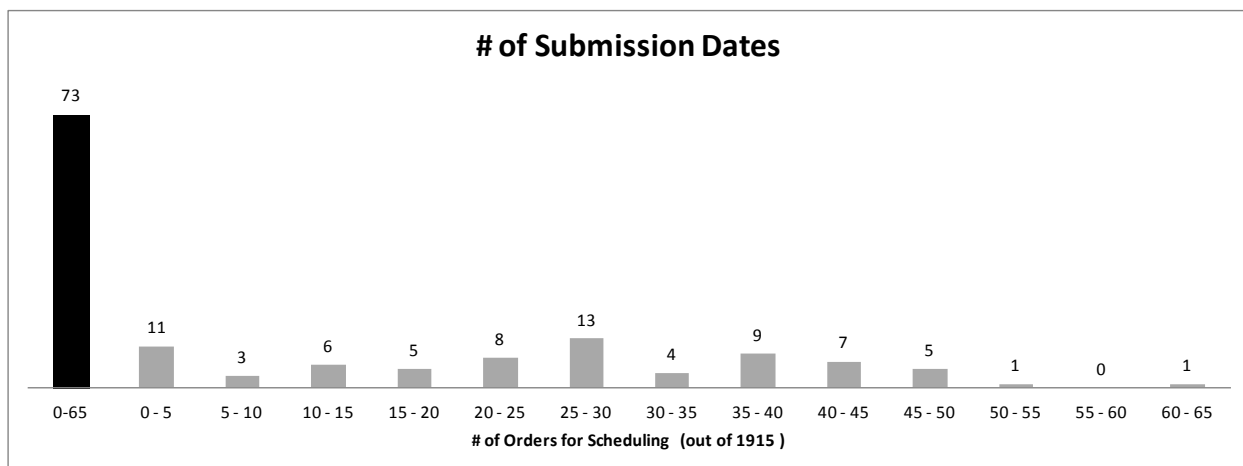


Σχήμα 7.2. Σύγκριση του συνολικού αριθμού παραγγελιών που λήφθηκαν υπόψη σε κάθε ένα από τους 73 χρονοπρογραμματισμούς και του αριθμού των νέων παραγγελιών σε κάθε περίπτωση.

Βλέπουμε επίσης στο σχήμα 7.2 ότι την περίοδο από τον Ιούλιο μέχρι το Νοέμβριο του 2009 οι συνολικές παραγγελίες για χρονοπρογραμματισμό είναι πολύ περισσότερες από αυτές που είχαν υποβληθεί τη δεδομένη περίοδο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην περίοδο από τον Ιανουάριο μέχρι τον Απρίλιο του 2009 υπήρχε μεγάλος αριθμός νέων παραγγελιών που χρονοπρογραμματίστηκαν για να εκτελεστούν μέχρι και 3 με 4 μήνες μετά οι οποίες φαίνεται ότι τελούσαν υπό εκτέλεση ή περίμεναν στη σειρά για να εκτελεστούν στην περίοδο Ιουλίου με Νοέμβριου. Ειδικά τον Ιανουάριο, ο μεγάλος αριθμός παραγγελιών προέρχεται από το ίδιο το εργοστάσιο που συνηθίζει στις αρχές του χρόνου να υποβάλλει τις δικές του παραγγελίες, όπως έχουμε πει σε προηγούμενα κεφάλαια, με ορίζοντα εκτέλεσης μέχρι και ένα χρόνο μετά

έτσι ώστε να χρονοπρογραμματίζονται και να εκτελούνται τμηματικά σε περιόδους που υπάρχει μειωμένος φόρτος εργασίας. Φαίνεται ότι βάσει του χρονοπρογραμματισμού μας κάποιες από τις παραγγελίες αυτές αποπερατώθηκαν κατά την περίοδο Ιουλίου – Νοέμβριου 2009 όπου η υποβολή νέων παραγγελιών ήταν αισθητά μειωμένη.

Στο σχήμα 7.3 που ακολουθεί φαίνονται τα δεδομένα του σχήματος 7.1 με τη συμπερίληψη τόσο των «Υπό Εκτέλεση» όσο και των «Χρονοπρογραμματισμένων» παραγγελιών προς χρονοπρογραμματισμό.



Σχήμα 7.3 Ο αριθμός των ανεξάρτητων υποβολών και ο αριθμός των παραγγελιών ανά υποβολή συμπεριλαμβανομένων των «Υπό Εκτέλεση» όσο και των «Χρονοπρογραμματισμένων» παραγγελιών.

Από το σχήμα φαίνεται ότι υπήρχε κύκλος χρονοπρογραμματισμού που αφορούσε μέχρι και 65 παραγγελίες. Αυτό έχει γίνει τον Σεπτέμβριο του 2009 όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2.

Ο αυξημένος αριθμός παραγγελιών σε κάποιους κύκλους χρονοπρογραμματισμού ήταν ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν οι παραλλαγές 2 από κάθε αλγόριθμο αφού μόνο ο συγκεκριμένος συνδυασμός παραλλαγών μπορούσε να εγγυηθεί ότι θα είχαμε λύση εντός ενός εύλογου χρονικού πλαισίου στις περιπτώσεις αυτές. Αν ο αλγόριθμος δεν κατάφερε να δώσει έγκαιρα λύση σε κάποιον ενδιάμεσο χρονοπρογραμματισμό από τους 73 τότε όλο το παραγόμενο πρόγραμμα θα ήταν άχρηστο αφού θα έχανε τη συνοχή του και δεν θα ξέραμε τις «Υπό Εκτέλεση» και τις «Χρονοπρογραμματισμένες» παραγγελίες για να συνεχίσουμε τη διαδικασία.

Παράλληλα με τη διαδικασία των χρονοπρογραμματισμών ενημερωνόταν και το **Μητρώο Εκτέλεσης των Παραγγελιών** που περιγράφεται στην παράγραφο 5.1.2 αφού σε κάθε ένα από τους 73 χρονοπρογραμματισμούς είχαμε διαφοροποίηση των δεδομένων και άρα έπρεπε να κρατούμε ιστορικό με τις ενδιάμεσες εκτελέσεις. Όπως έχει ξανά επισημανθεί, η απόδοση του παραγόμενου σεναρίου μπορεί να κριθεί μόνο εκ των υστέρων και αποκλειστικά από τα δεδομένα του Μητρώου Εκτέλεσης των Παραγγελιών στα οποία φαίνεται πότε και σε ποια μηχανή/μηχανές εκτελέστηκε η κάθε παραγγελία μέχρι να διεκπεραιωθεί πλήρως.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του Μητρώου των Παραγγελιών παρουσιάζονται στην παράγραφο 7.4

Πιο κάτω ακολουθεί σύγκριση των παραλλαγών του αλγορίθμου για να εξακριβωθεί ποιος είναι ο καλύτερος και για να αιτιολογηθεί η χρησιμοποίηση των παραλλαγών 2 από κάθε αλγόριθμο για την παραγωγή του ολοκληρωμένου προγράμματος εργασιών του εργοστασίου από το 2008 μέχρι το τέλος του 2011.

7.3 Σύγκριση των παραλλαγών του αλγορίθμου

Στη συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από τις δοκιμές των διαφόρων παραλλαγών των αλγορίθμων που έχουν προταθεί στο κεφάλαιο 6.

Συγκριμένα, για τις βασικές διαδικασίες του χρονοπρογραμματισμού, αυτή της κατασκευής της αλληλουχίας εκτέλεσης των παραγγελιών και αυτή της ανάθεσης των παραγγελιών στις μηχανές, έχουν προταθεί πέραν των βασικών εκδοχών και δύο επιπρόσθετες παραλλαγές των αντίστοιχων αλγορίθμων. Με το συνδυασμό των δύο διαδικασιών προκύπτουν 9 παραλλαγές της συνολικής διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού. Οι παραλλαγές έχουν ως ακολούθως:

1. Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Εξαντλητική Αναδρομή (F - F)
2. Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Τύπο Αναδρομή (F - T)
3. Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Μηχανή Αναδρομή (F - M)

4. Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Εξαντλητική Αναδρομή (T - F)
5. Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Τύπο Αναδρομή (T - T)
6. Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Μηχανή Αναδρομή (T - M)

7. Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Εξαντλητική Αναδρομή (M - F)
8. Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Τύπο Αναδρομή (M - T)
9. Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών – Κατά Μηχανή Αναδρομή (M - M)

Να αναφέρουμε ξανά εδώ ότι όσον αφορά την πρώτη διαδικασία, η **Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών** δημιουργεί στατιστικά περισσότερες αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες που προορίζονται για την ίδια μηχανή από τις άλλες δύο παραλλαγές και στοχεύει κυρίως στην ελαχιστοποίηση της **MZ** μέσω της τυχαίας επιλογής αλληλουχιών. Αντίθετα, η **Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών** δημιουργεί λιγότερες αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες που προορίζονται για την ίδια μηχανή έτσι ώστε να μπορούν να εκτελεστούν η μία δίπλα στην άλλη με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών και άρα μειωμένη **ΣΚ**. Η **Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών** βρίσκεται κάπου στη μέση χωρίς ξεκάθαρο προσανατολισμό προς κάποια από τις ΣΚ και ΜΖ.

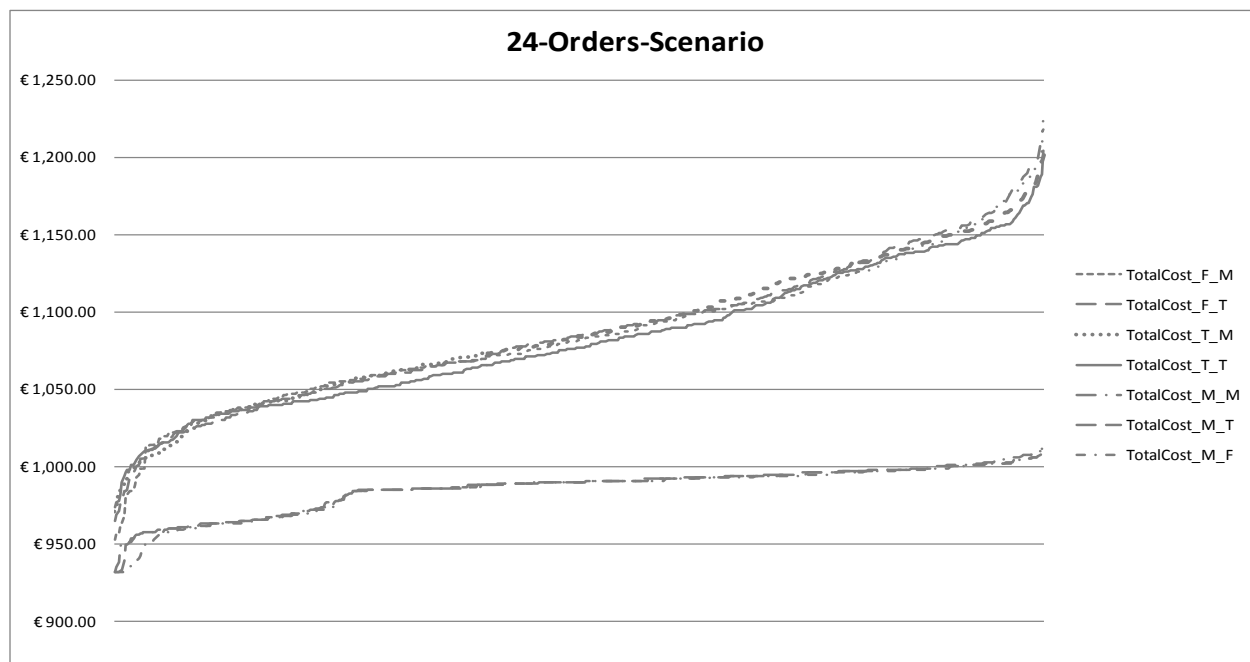
Όσον αφορά τη δεύτερη διαδικασία, η **Εξαντλητική Αναδρομή** αξιολογεί τα σενάρια στο σύνολο τους λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη ΣΚ όσο και τη ΜΖ στη σύγκριση. Η **Κατά Τύπο Αναδρομή** παρόλο που αξιολογεί τα σενάρια σφαιρικά λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις ΣΚ και ΜΖ, εντούτοις περιορίζει τον έλεγχο στο επίπεδο κάθε τύπου. Ως αποτέλεσμα, το σενάριο που προκύπτει από τη συνένωση των σεναρίων κάθε τύπου δεν μπορούμε να ξέρουμε με βεβαιότητα αν είναι το βέλτιστο. Η **Κατά Μηχανή Αναδρομή** αξιολογεί τα σενάρια στο επίπεδο κάθε μηχανής ελέγχοντας μόνο τη ΣΚ αφού για μία μηχανή ο έλεγχος της ΜΖ δεν έχει νόημα. Το σενάριο λύσης που προκύπτει από τη συνένωση όλων των σεναρίων των μηχανών επίσης δεν μπορούμε να ξέρουμε αν είναι το βέλτιστο. Η Κατά Μηχανή Αναδρομή είναι κατά εκθετικό συντελεστή πιο γρήγορη από την Εξαντλητική Αναδρομή. Η Κατά Τύπο Αναδρομή

είναι κάπου στη μέση αλλά λόγω του εκθετικού συντελεστή είναι επίσης σημαντικά πιο αργή από την Κατά Μηχανή Αναδρομή.

Για τη σύγκριση των παραλλαγών δοκιμάστηκαν πραγματικά δεδομένα εισόδου από το αρχείο παραγγελιών του εργοστασίου. Συγκεκριμένα έγινε προσπάθεια χρονοπρογραμματισμού τριών σεναρίων με 24, 30 και 38 παραγγελίες αντίστοιχα με τη χρήστη και των 9 παραλλαγών.

Η πρώτη και η δεύτερη παραλλαγή φάνηκε από τις δοκιμές ότι είναι αρκετά χρονοβόρες αφού λόγω της τυχαίας επιλογής των παραγγελιών δημιουργούνται πολλές αλληλοεπικαλύψεις ανάμεσα στις παραγγελίες που προορίζονται για την ίδια μηχανή, και άρα υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί ανάθεσης των παραγγελιών οι οποίοι, λόγω της εξαντλητικής και της κατά τύπο αναδρομής αντίστοιχα, αυξάνουν εκθετικά τα υπό αξιολόγηση σενάρια. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζει και η τέταρτη παραλλαγή αλλά σε μικρότερο βαθμό λόγω κυρίως της εξαντλητικής αναδρομής.

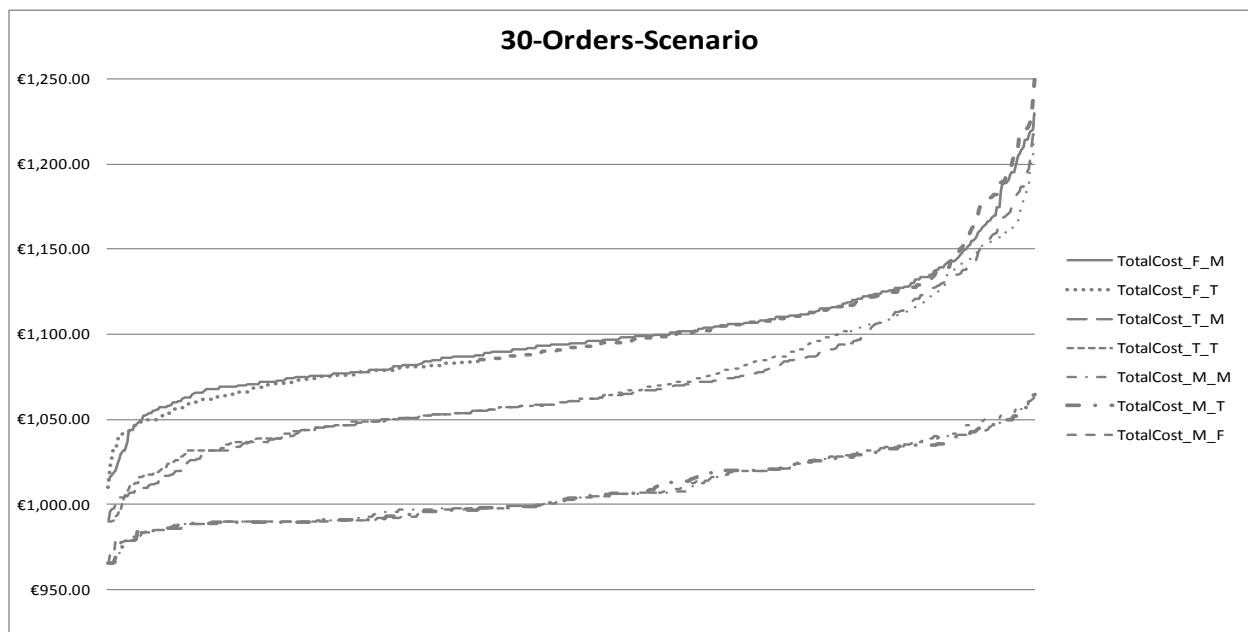
Τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων φαίνονται στα σχήματα 7.4, 7.5 και 7.6 αντίστοιχα. Σε κάποια από τα σχήματα απουσιάζουν οι δύο ή και οι τρεις από τις χρονοβόρες παραλλαγές που μόλις αναφέραμε αφού δεν κατέστη δυνατό να δώσουν λύση εντός 12 ωρών.



Σχήμα 7.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων χρονοπρογραμματισμού 24 παραγγελιών μεταξύ των 7 αλγορίθμων.

Τα αποτελέσματα που βλέπουμε στα εν λόγω σχήματα είναι τα κόστη σε χρηματική αξία των βέλτιστων σεναρίων από κάθε κύκλο χρονοπρογραμματισμού όπου δοκιμάστηκαν 1.000 διαφορετικοί συνδυασμοί HE και HA. Τα βέλτιστα σενάρια από κάθε συνδυασμό HE και HA καταταχτήκαν σε αύξουσα σειρά με το σενάριο που είναι πιο αριστερά να είναι το «βέλτιστο εκ των βέλτιστων». Αυτό είναι ουσιαστικά και το σενάριο που θα επέστεφε ο αλγόριθμος μετά τις 1.000 δόκιμες. Απλά για χάρη σύγκρισης αντιπαραβάλλουμε όλα τα ενδιάμεσα βέλτιστα σενάρια και για τις 1.000 δοκιμές έτσι ώστε να δούμε αν υπάρχουν παραλλαγές που είναι καθολικά καλύτερες από άλλες ανεξαρτήτως αριθμού δοκιμών. Πράγματι στο σχήμα 7.4 βλέπουμε ότι οι τρεις τελευταίες παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Επιλογή Παραγγελιών έχουν καθολικά καλύτερα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες παραλλαγές.

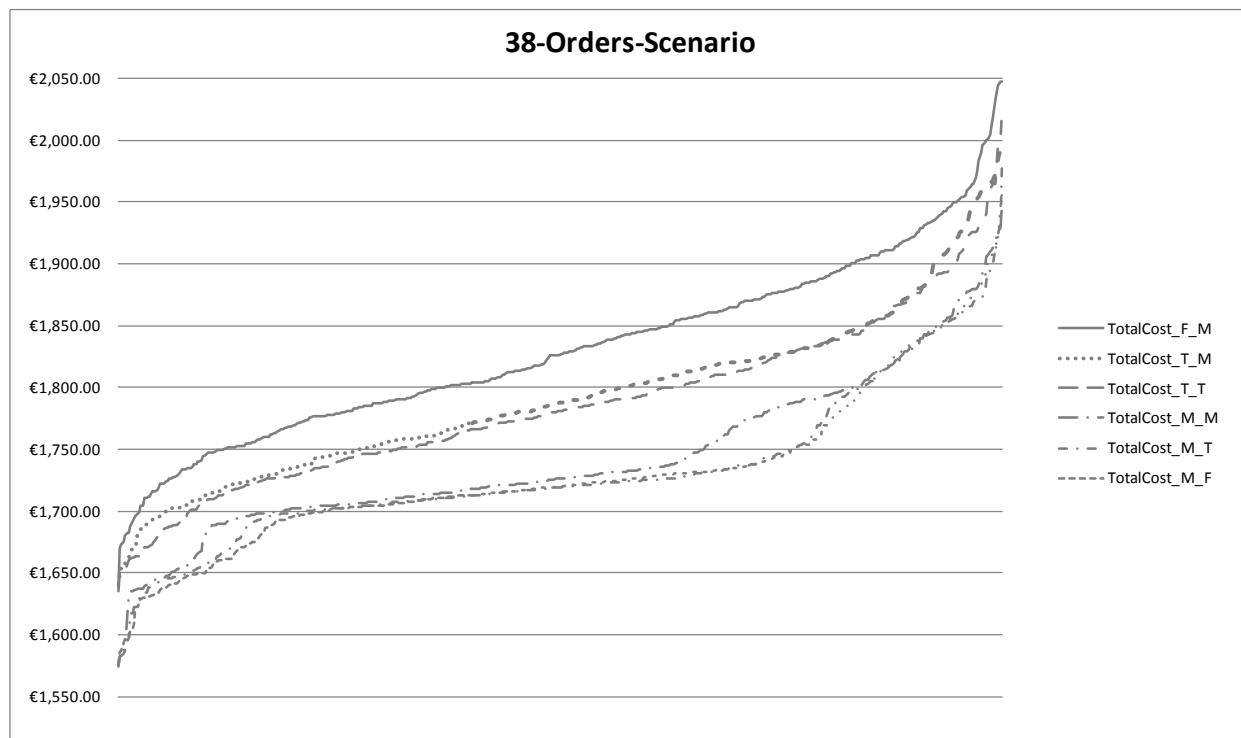
Αυτό σημαίνει ότι η στρατηγική της αξιοποίησης των πιο οικονομικών μηχανών αποδίδει καλύτερα αν δούμε το συνολικό κόστος του κάθε σεναρίου σε ευρώ. Όσον αφορά στο ποια παραλλαγή είναι καλύτερη ανάμεσα στις τρεις δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα πράγμα που σημαίνει ότι το βάθος της αναδρομής δεν παίζει και τόσο μεγάλο ρόλο. Αυτό δείχνει ότι όλα τα σενάρια πέτυχαν παρόμοιες τιμές για τη MZ. Εξάλλου ο χαμηλός βαθμός αλληλοεπικάλυψης ο οποίος επηρεάζει, εν μέρει, τη MZ είναι δεδομένος σε όλες τις παραλλαγές εκ των προτέρων.



Σχήμα 7.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων χρονοπρογραμματισμού 30 παραγγελιών μεταξύ των 7 αλγορίθμων.

Στο σχήμα 7.5 πιο πάνω βλέπουμε ότι με την αύξηση των παραγγελιών από 24 σε 30 επιβεβαιώνεται η επικράτηση των παραλλαγών που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Επιλογή Παραγγελιών και επιπλέον άρχισε να φαίνεται ξεκάθαρα και η επικράτηση των παραλλαγών που χρησιμοποιούν Κατά Τύπο Επιλογή Παραγγελιών έναντι αυτών της Πλήρως Τυχαίας Επιλογής Παραγγελιών. Επίσης είναι ξεκάθαρο ότι οι διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των παραλλαγών αφορούν κυρίως τη διαδικασία κατασκευής της αλληλουχίας των παραγγελιών και τον τρόπο με τον οποίο αυτή γίνεται.

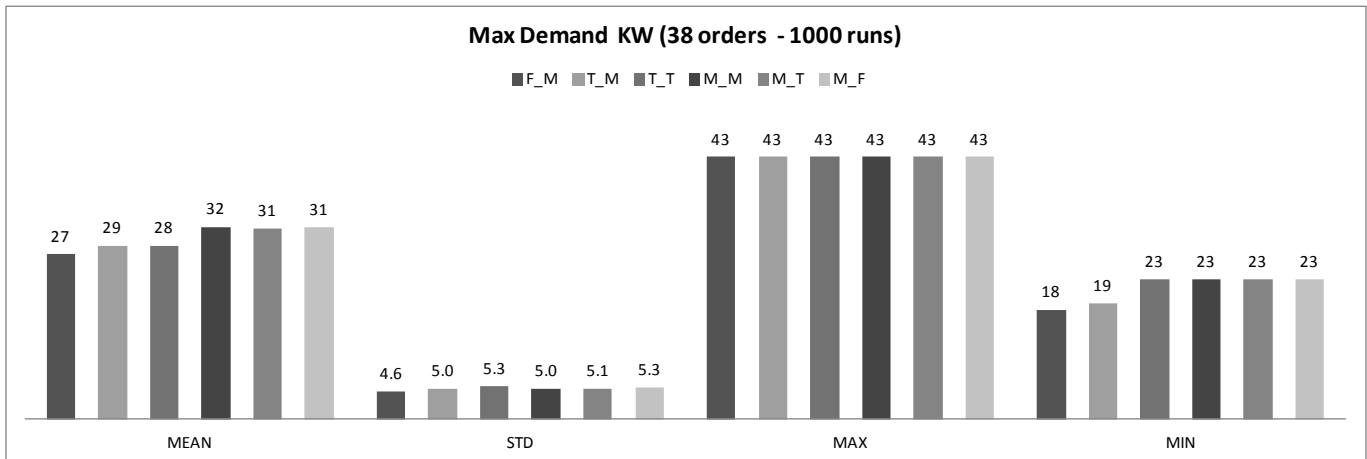
Στο σχήμα 7.6 επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα του σχήματος 7.5 με την μόνη διαφορά ότι με την αύξηση των παραγγελιών σε 38 άρχισε να φαίνεται και η επικράτηση της Εξαντλητικής Αναδρομής έναντι κυρίως της Κατά Μηχανή Αναδρομής τόσο ανάμεσα στις παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Τύπο Επιλογή Παραγγελιών όσο και ανάμεσα σε αυτές που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Επιλογή Παραγγελιών. Αυτό φυσικά είναι αναμενόμενο αφού η Κατά Μηχανή Αναδρομή δοκιμάζει μόνο ένα υποσύνολο σεναρίων της Εξαντλητικής Αναδρομής για να επιλέξει το βέλτιστο.



Σχήμα 7.6 Σύγκριση των αποτελεσμάτων χρονοπρογραμματισμού 38 παραγγελιών μεταξύ των 7 αλγορίθμων.

Επειδή όμως οι διαφορές μεταξύ των παραλλαγών M-M, M-T και M-F δεν είναι μεγάλες επιλέγουμε ως βέλτιστη λύση τη M-M η οποία χρησιμοποιεί Κατά Μηχανή Αναδρομή η οποία συγκλίνει πολύ πιο γρήγορα από τις άλλες δύο. Ειδικά στο πιο απαιτητικό σενάριο των 65 παραγγελιών η διαφορά στην ταχύτητα σύγκλισης είναι τεράστια με την M-M να συμπληρώνει τους 1000 συνδυασμούς σε 6 ώρες ενόσω η M-F ήταν ακόμα στον 25 και η M-T στον 80.

Για τους πιο πάνω λόγους, η M-M είναι η παραλλαγή που χρησιμοποιήθηκε για να αναπαραχθεί όλο το πρόγραμμα εργασιών του εργοστασίου από το 2008 μέχρι το τέλος του 2011. Πριν προχωρήσουμε στην επομένη παράγραφο θα δούμε ακόμα κάποια στατιστικά που αφορούν την τελευταία δοκιμή με τις 38 παραγγελίες τα οποία επιβεβαιώνουν τα όσα είπαμε μέχρι τώρα.

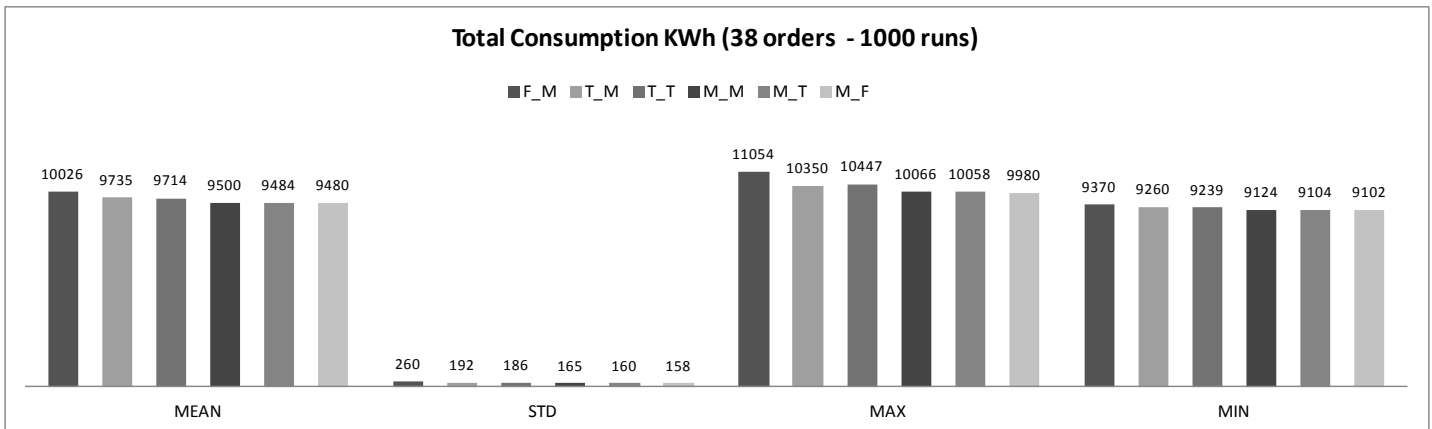


Σχήμα 7.7 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραλλαγών σε σχέση με το βαθμό ελαχιστοποίησης της MZ.

Στο σχήμα 7.7 πιο πάνω παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τη μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της MZ ανάμεσα στις 1.000 δοκιμές που έγιναν με την κάθε παραλλαγή. Βλέπουμε ότι η πρώτη παραλλαγή που χρησιμοποιεί Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών πετυχαίνει, όπως υποθέσαμε πιο πάνω, κατά μέσο όρο χαμηλότερες τιμές για τη MZ. Μάλιστα εκτός από τη μέση τιμή της MZ και η ελάχιστη τιμή της MZ είναι μικρότερη σε σχέση με τις άλλες παραλλαγές όπως επίσης και η τυπική απόκλιση πράγμα που επιβεβαιώνει την επικράτηση της εν λόγω παραλλαγής έναντι των άλλων δύο. Δεύτερη και τρίτη καλύτερη είναι οι δύο παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών, όπως επίσης

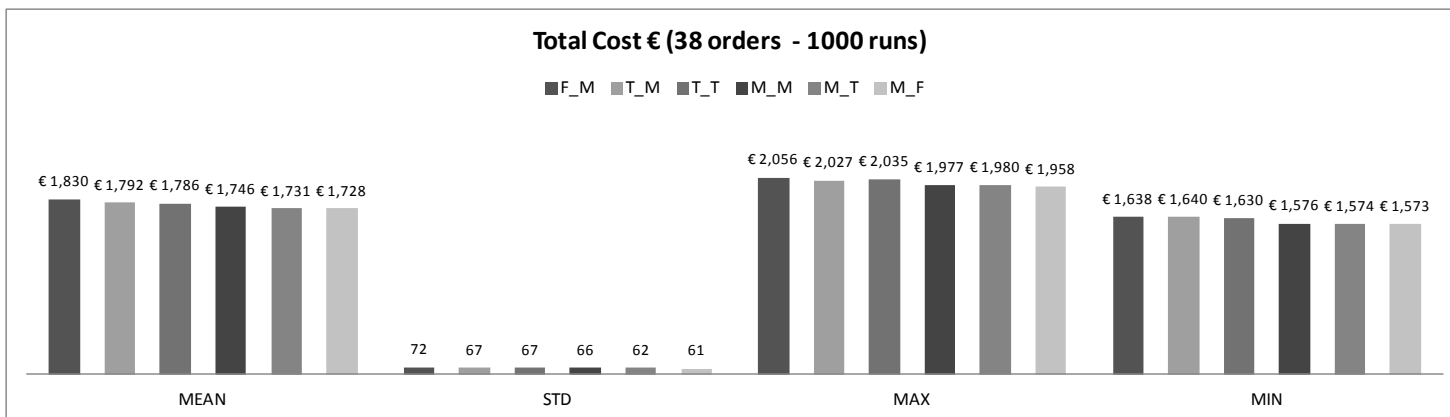
αναμενόταν, με τις παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών να ακολουθούν.

Στο σχήμα 7.8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τη μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της ΣΚ σε KW ανάμεσα στις 1.000 δοκιμές που έγιναν με την κάθε παραλλαγή. Εδώ τα αποτελέσματα είναι ακριβώς αντίθετα με αυτά του σχήματος 7.7 αφού οι παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών επιτυγχάνουν μικρότερες τιμές της ΣΚ όπως αναμενόταν λόγω της αξιοποίησης των πιο οικονομικών μηχανών. Ακολουθούν μετά οι παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Τύπο Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών με τελευταία την παραλλαγή που χρησιμοποιεί Πλήρως Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών όπως επίσης αναμενόταν.



Σχήμα 7.8 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραλλαγών σε σχέση με το βαθμό ελαχιστοποίησης της ΣΚ.

Στο σχήμα 7.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όσο αφορά το συνολικό κόστος κατανάλωσης βάσει του Κώδικα 61 τα οποία συνδυάζουν τα αποτελέσματα των σχημάτων 7.7 και 7.8. Τα δεδομένα του σχήματος 7.9 επιβεβαιώνουν για ακόμα μια φορά την επικράτηση των παραλλαγών που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών έναντι των υπολοίπων ακόμα και αν οι υπόλοιπες παραλλαγές επιτυγχάνουν χαμηλότερη ΜΖ.



Σχήμα 7.9 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραλλαγών σε σχέση με το βαθμό ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στη βάση του Κώδικα 61.

Βασικά φαίνεται ότι η διαφορά στη ΣΚ είναι αρκετά πιο μεγάλη από τη διαφορά στη ΜΖ για αυτό και οι παραλλαγές που χρησιμοποιούν Κατά Μηχανή Τυχαία Επιλογή Παραγγελιών πετυχαίνουν χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης βάσει του Κώδικα 61. Ο λόγος είναι, εν μέρει, αυτός που είπαμε προηγουμένως, ότι δηλαδή επειδή όλες οι παραλλαγές ακολουθούν την ίδια βασική φιλοσοφία μείωσης του αριθμού των αλληλοεπικαλύψεων, δεν αναμενόταν ότι θα υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές της ΜΖ μεταξύ τους. Φυσικά, ρόλο στην τιμή της ΜΖ παίζουν και οι διακυμάνσεις στις τιμές κατανάλωσης των μηχανών. Αν υπήρχε τεράστια διακύμανση ανάμεσα στις ΙΛ των μηχανών η ΜΖ ενδεχομένως ήταν αρκετά διαφορετική ακόμα και κάτω από τον ίδιο αριθμό αλληλοεπικαλύψεων και ως εκ τούτου να αντιστάθμιζε τη διαφορά στη ΣΚ. Αν και δεν έχουμε τις ακριβείς ενδείξεις για την πραγματική κατανάλωση κάθε μηχανής, εντούτοις το ενδεχόμενο αυτό φαίνεται από τα αποτελέσματα κάπως απομακρυσμένο. Σε κάθε περίπτωση, ο ιδιοκτήτης μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερες από μία παραλλαγές των αλγορίθμων και αναλόγως να κρίνει πιο από τα παραγόμενα προγράμματα να χρησιμοποιεί.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν βάσει των δεδομένων του Μητρώου Εκτέλεσης των Παραγγελιών με σκοπό να κριθεί εκ των υστερών η απόδοση του χρονοπρογραμματισμού για όλη την περίοδο μεταξύ 2008-2011. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η απόδοση της όλης διαδικασίας μπορεί να κριθεί μόνο στη βάση σύγκρισης με τα πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης του εργοστασίου όπως αποτυπώνονται στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ.

7.4 Η απόδοση της προτεινόμενης λύσης χρονοπρογραμματισμού (Σύγκριση με πραγματικά δεδομένα)

Στην παράγραφο 7.3 είδαμε τη σύγκριση των διαφόρων παραλλαγών της διαδικασίας χρονοπρογραμματισμού με σκοπό να διαφανεί ποια παραλλαγή είναι η καλύτερη ανάμεσα σε αυτές που δοκιμαστήκαν, τόσο από άποψη μείωσης του κόστους κατανάλωσης, όσο και από άποψη ταχύτητας σύγκλισης. Παρόλο που φαίνεται να υπάρχει μια παραλλαγή που συγκριτικά επικρατεί έναντι των υπολοίπων, εντούτοις αυτό δεν είναι αρκετό για να κρίνει κάποιος την απόδοση του αλγορίθμου. Αντικειμενική αξιολόγηση του αλγορίθμου μπορεί να γίνει μόνο κατόπιν σύγκρισης των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου με αυτά των μηνιαίων λογαριασμών της ΑΗΚ.

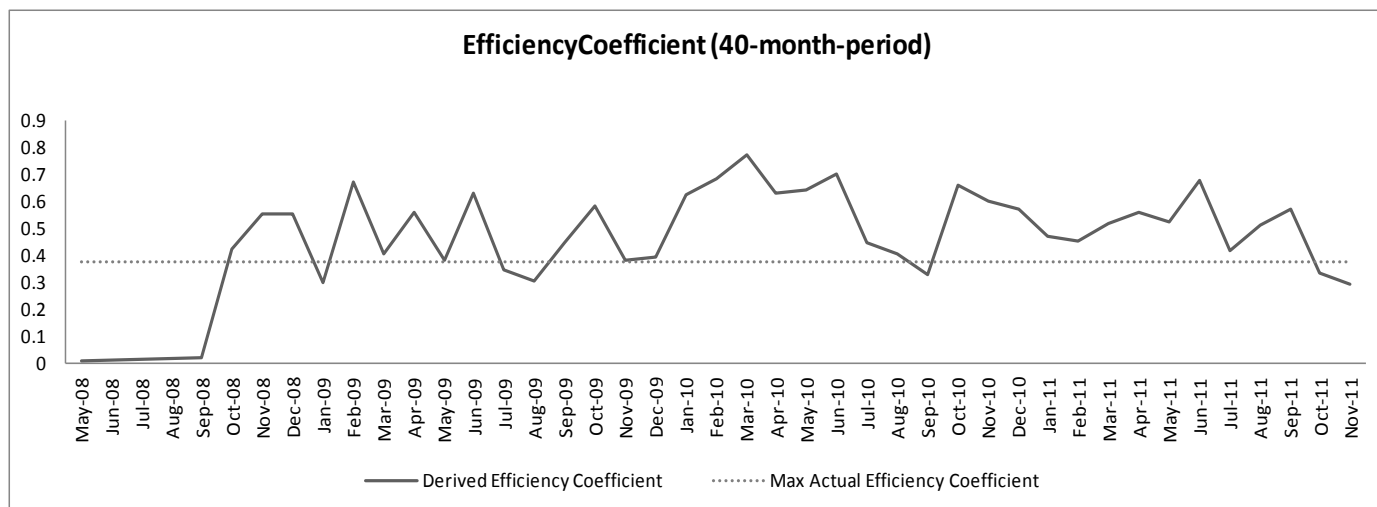
Το γεγονός όμως ότι δεν είχαμε στη διάθεση μας:

- i. τις ακριβείς τιμές κατανάλωσης των μηχανών συμπεριλαμβανομένων των καταναλώσεων των πρεσών και των ψυκτικών μονάδων,
- ii. το ακριβές πρόγραμμα βάρδιας που ακολουθήθηκε,
- iii. τον ακριβή αριθμό των διαθέσιμων υπαλλήλων ανά βάρδια,
- iv. αλλά ούτε και την κατανάλωση του εργοστασίου σε κλιματισμό και φωτισμό

οποιαδήποτε σύγκριση στη βάση του συνολικού κόστους σε χρηματική αξία θα ήταν αδόκιμη και παρακινδυνευμένη. Οπότεν θεωρήθηκε πιο ορθό η σύγκριση να γίνει στη βάση του ΣΦ ο οποίος αποτελεί τον καθοριστικότερο παράγοντα που επηρεάζει το συνολικό λογαριασμό της ΑΗΚ αφού αντανακλά τη σχέση μεταξύ ΣΚ και ΜΖ. Όπως έχουμε αναφέρει ξανά μεγάλος συντελεστής ΣΦ σημαίνει ομαλότερο γράφημα κατανάλωσης με την ΜΖ να βρίσκεται κοντά στη Μέση Στιγμιαία Κατανάλωση. Αυτό μπορεί με τη σειρά του να σημαίνει ότι, είτε η ΜΖ είναι αρκετά χαμηλή που προσεγγίζει τη Μέση Στιγμιαία Κατανάλωση, είτε ότι η Μέση Στιγμιαία Κατανάλωση είναι αρκετά ψηλή που προσεγγίζει τη ΜΖ. Το τελευταίο ισχύει στην περίπτωση που γίνεται σταθερά αλόγιστη χρήση αποκλειστικά των μεγάλων, και λιγότερο οικονομικών, μηχανών του εργοστασίου. Επειδή όλοι οι αλγόριθμοι που προτάθηκαν στοχεύουν εξορισμού στην αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών, κάποιοι σε μεγαλύτερο βαθμό και κάποιοι σε

μικρότερο αναλόγως παραλλαγής, ενδεχόμενο χρήσης αποκλειστικά των μεγάλων μηχανών δεν μπορεί να υφίσταται. Οπότεν ψηλός ΣΦ μπορεί μόνο να συνεπάγεται ταυτόχρονα χαμηλή ΜΖ και χαμηλή Μέση Κατανάλωση.

Στο Σχήμα 7.10 που ακολουθεί φαίνεται, με συνεχόμενη γραμμή, ο ΣΦ του εργοστασίου για τους 43 μήνες που μεσολαβούν από το Μάιο του 2008 μέχρι το Νοέμβριο του 2011 όπως προέκυψε μέσα από τη διαδικασία των 73 διαδοχικών χρονοπρογραμματισμών. Για τους τρεις μήνες μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου 2008 δεν υποβλήθηκαν καθόλου παραγγελίες οπότεν οι μήνες του δείγματος μας είναι μόνο 40. Ο εν λόγω ΣΦ υπολογίστηκε στη βάση των δεδομένων του Μητρώου Εκτέλεσης των Παραγγελιών. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει την μέγιστη τιμή του ΣΦ που καταγράφηκε στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ καθ όλη τη διάρκεια των 40 μηνών.

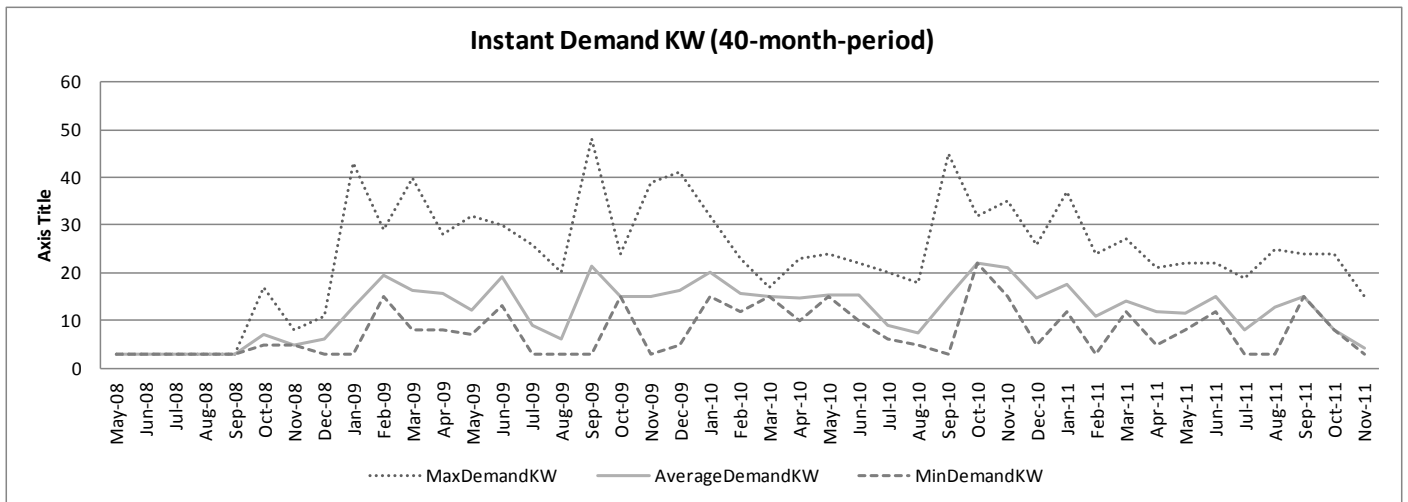


Σχήμα 7.10. Σύγκριση των του ΣΦ που προέκυψε από τον χρονοπρογραμματισμό με τον πραγματικό ΣΦ όπως αποτυπώνεται στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ

Από το γράφημα φαίνεται καθαρά ότι ο ΣΦ που προέκυψε από τον χρονοπρογραμματισμό είναι για τους περισσότερους μήνες αισθητά μεγαλύτερος από τον μέγιστο πραγματικό ΣΦ που καταγράφεται στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ. Επίσης, όπως είδαμε στον πίνακα 3.2, ο πραγματικός ΣΦ για τους τέσσερις επιλεγμένους μήνες του 2011 κυμαίνεται από 0.28 με 0.4 ενώ ο ΣΦ που προέκυψε από τον χρονοπρογραμματισμό για τους ίδιους μήνες φτάνει και ξεπερνά το 0.5. Είναι εμφανές λοιπόν από τα αποτελέσματα του σχήματος 7.10 ότι με σωστό

χρονοπρογραμματισμό υπάρχουν περιθώρια να αυξηθεί ο ΣΦ και άρα να μειωθεί το συνολικό κόστος κατανάλωσης ρεύματος όπως υπολογίζεται βάσει του Κώδικα 61.

Στο σχήμα 7.11 που ακολουθεί φαίνονται τα γραφήματα της Μέγιστης Στιγμαιαίας Ζήτησης ή MZ, της Ελάχιστης Στιγμαιαίας Ζήτησης και της Μέσης Στιγμαιαίας Ζήτησης όπως προέκυψε από τον χρονοπρογραμματισμό. Βλέπουμε ότι παρόλο που ο ΣΦ έχει αυξηθεί εξακολουθούν να υπάρχουν διαφορές μεταξύ MZ και Μέσης Στιγμαιαίας Ζήτησης. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ενδιάμεσα σαββατοκύριακα κατά τα οποία το εργοστάσιο είναι κλειστό. Επίσης, σε μικρότερο βαθμό οφείλεται και στις διακυμάνσεις που υπάρχουν στην αθροιστική στιγμιαία ζήτηση των μηχανών. Οι διακυμάνσεις είναι σε κάποιο βαθμό αναπόφευκτες λόγω των αλληπάλληλων χρονοπρογραμματισμών, των αυξομειώσεων στη συχνότητα υποβολής των παραγγελιών κατά τη διάρκεια του μήνα, αλλά και του συνδυασμού των μηχανών που τρέχουν παράλληλα ο οποίος, παρόλο που από άποψη αριθμού μηχανών είναι σταθερός, εντούτοις από άποψη αθροιστικής στιγμιαίας ζήτησης εξακολουθεί να παρουσιάζει αστάθειες.

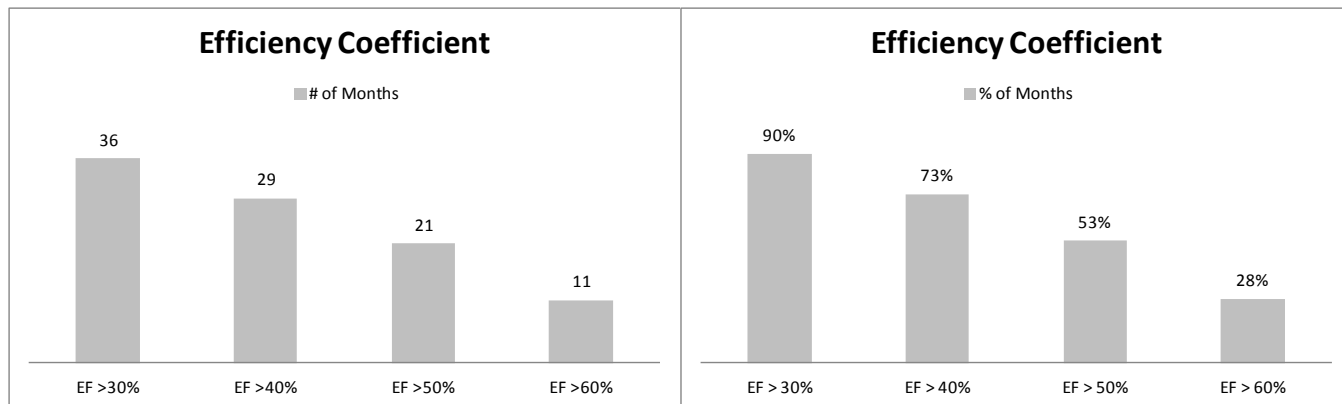


Σχήμα 7.11. Σύγκριση των γραφημάτων της Μέγιστης Στιγμαιαίας Ζήτησης ή MZ, της Ελάχιστης Στιγμαιαίας Ζήτησης και της Μέσης Στιγμαιαίας Ζήτησης που προέκυψαν από τον χρονοπρογραμματισμό.

Σχετικά με το ΣΦ συνοψίζοντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται στο σχήμα 7.10 καταλήγουμε στα στατιστικά δεδομένα που παρουσιάζονται πιο κάτω στο Σχήμα 7.12.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 36 από τους 40 μήνες του δείγματός μας, με ποσοστό 90%, πετυχαίνουν βάσει του χρονοπρογραμματισμού ΣΦ μεγαλύτερο του 0.3 ενώ 29 μήνες, με

ποσοστό 73%, ΣΦ μεγαλύτερο του 0.4. Να σημειώσουμε εδώ ότι 0.4 ήταν η μεγαλύτερη τιμή του ΣΦ ανάμεσα στους μηνιαίους λογαριασμούς της ΑΗΚ δεδομένο που δείχνει ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια αύξησης της τιμής του ΣΦ στο μέλλον αν γίνει χρήση της προτεινόμενης λύσης χρονοπρογραμματισμού.



Σχήμα 7.12. Στατιστικά για την τιμή του ΣΦ ανάμεσα στους υπό εξέταση μήνες.

Περαιτέρω, ένας στους δύο μήνες του δείγματός μας καταγράφει ΣΦ μεγαλύτερο του 0.5 ενώ σχεδόν ένας στους τρεις ΣΦ μεγαλύτερο του 0.6.

Γενικά ψηλή τιμή του ΣΦ σημαίνει χαμηλή τιμή για τη ΜΖ που μεταφράζεται σε σημαντικές εξοικονομήσεις στο κόστος κατανάλωσης. Επιπλέον, ο μεγάλος αριθμός των μηνών που καταγραφούν ΣΦ στα διαστήματα (0.3,0.6] και (0.6,1] αντίστοιχα συνεπάγεται επιπρόσθετες εξοικονομήσεις λόγω καλύτερης αξιοποίησης της κλιμακωτής τιμολόγησης του Κώδικα 61.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο ΣΦ δεν μπορεί βάσει των δεδομένων του προβλήματος να προσεγγίσει τη μονάδα λόγω κυρίως του γεγονότος ότι το εργοστάσιο παραμένει κλειστό τα σαββατοκύριακα αλλά και λόγω της διακύμανσης του αριθμού των διαθέσιμων υπαλλήλων ανά βάρδια. Οι δύο τελευταίες επισημάνσεις αφορούν αποκλειστικά προσωπικές επιλογές του ιδιοκτήτη της επιχείρησης οπότε αν σε περίπτωση που αυτές διαφοροποιηθούν η τιμή του ΣΦ ενδέχεται να αυξηθεί περαιτέρω. Επί τούτου, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού παρέχει τη δυνατότητα μεταβολής των βασικών παραμέτρων του προβλήματος χωρίς να υπάρχει ανάγκη οποιασδήποτε τροποποίησής του.

Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα

Το βασικό συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι με δεδομένο τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου όπως είναι σήμερα υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονομήσεων στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Για να επιτευχθούν οι εξοικονομήσεις το πλάνο εργασιών του εργοστασίου θα πρέπει να καταρτίζεται με τη χρήση των προτεινόμενων αλγόριθμων χρονοπρογραμματισμού. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι έχουν ως βασική φιλοσοφία την ελαχιστοποίηση του κόστους μέσα από την αξιοποίηση των τιμολογιακών δεδομένων του κώδικα 61 της ΑΗΚ. Συγκεκριμένα, η στρατηγική του χρονοπρογραμματισμού αποβλέπει κατά πρώτο, στην αξιοποίηση των πιο οικονομικών μηχανών του εργοστασίου και κατά δεύτερο, στην σταθεροποίηση σε χαμηλά επίπεδα του βαθμού αλληλοεπικάλυψης των μηχανών που τρέχουν παράλληλα. Ο πρώτος στόχος θα επιφέρει μείωση της ΣΚ ενώ ο δεύτερος μείωση της ΜΖ και άρα λιγότερες επιπλέον επιβαρύνσεις στην κατανάλωση ενώ ταυτόχρονα θα επιφέρει και αύξηση του ΣΦ ο οποίος, εκτός των άλλων, συνεπάγεται και επιπλέον μειώσεις λόγω εκμετάλλευσης της κλιμακωτής τιμολόγησης του κώδικα 61.

Η επίτευξη των πιο πάνω στόχων είναι δυνατή στο βαθμό που το επιτρέπει το υφιστάμενο πλάνο εργασίας του εργοστασίου. Σε περίπτωση που ο ιδιοκτήτης αποφασίσει να υιοθετήσει σύστημα βάρδιας με σταθερό αριθμό υπαλλήλων ανά βάρδια ή να επεκτείνει το ωράριο λειτουργίας του εργοστασίου έτσι ώστε να παραμένει ανοικτό τα Σάββατα και τις Κυριακές τότε σίγουρα θα δημιουργηθούν συνθήκες για ακόμα περαιτέρω εξοικονομήσεις στο κόστος κατανάλωσης. Σε μια τέτοια περίπτωση οι εξοικονομήσεις δύναται να φτάσουν μέχρι και το 30% .

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] V.G. Timkovsky. Is a unit-time job shop not easier than identical parallel machines? *Discrete Applied Mathematics. Combinatorial Algorithms, Optimization and Computer Science*, 85(2):149–162, 1998.
- [2] J.B. Orlin. A faster strongly polynomial minimum cost flow algorithm. *Operations Research*, 41(2):338–350, 1993.
- [3] B. Simons. Multiprocessor scheduling of unit-time jobs with arbitrary release times and deadlines. *SIAM Journal on Computing*, 12(2):294–299, 1983.
- [4] V.A. Strusevich. Two-machine super-shop scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 42(6):479–492, 1991.
- [5] M. Pinedo. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs N.J., 1995.
- [6] W.E. Smith. Various optimizers for single-stage production. *Naval Research Logistics Quarterly*, 3:59–66, 1956.
- [7] A.H.G. Rinnooy Kan. *Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity and Computations*. Martinus Nijhoff, The Hague, 1976.
- [8] Z. Tian, C.T. Ng, and T.C.E. Cheng. An $O(n^2)$ algorithm for scheduling equal-length preemptive jobs on a single machine to minimize total tardiness. *Journal of Scheduling*, 9(4):343–364, 2006.
- [9] N.V. Shakhlevich, Yu.N. Sotskov, and F. Werner. Shop scheduling problems with fixed and non-fixed machine orders of jobs. *Annals*
- [10] Y.N. Sotskov and N.V. Shakhlevich. NP-hardness of shopscheduling problems with three jobs. *Discrete Applied Mathematics*, 59(3):237–266, 1995.
- [11] R.A. Sitters. Two NP-hardness results for preemptive minimum scheduling for unrelated parallel machines. In *Proc. 8th International IPCO Conference*, volume 2081 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 396–405. Springer, 2001.
- [12] J.D. Ullman. NP-complete scheduling problems. *Journal of Computer and System Sciences*, 10:384–393, 1975.
- [13] Y.N. Sotskov. The complexity of shop-scheduling problems with two or three jobs. *European Journal of Operational Research*, 53(3):326–336, 1991.

- [14] V.G. Timkovsky. Identical parallel machines vs. unit-time shops, preemptions vs. chains, and other offsets in scheduling complexity. Technical Report, Department of Computer Science and Systems,
- [15] C. Sriskandarajah and E. Wagneur. On the complexity of preemptive openshop scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 77(3):404–414, 1994.
- [16] T. Tautenhahn and G.J. Woeginger. Minimizing the total completion time in a unit-time open shop with release times. *Operations Research Letters*, 20(5):207–212, 1997.
- [17] V.G. Timkovsky. On the complexity of scheduling an arbitrary system. *Soviet Journal of Computer and Systems Sciences*, 23(5):46–52, 1985.
- [18] V.G. Timkovsky. The complexity of unit-time job-shop scheduling. Technical Report 93-09, Department of Computer Science and Systems, McMaster Univ. Hamilton, 1993.
- [19] V.G. Timkovsky. A polynomial-time algorithm for the two-machine unit-time release-date job-shop schedule-length problem. *Discrete Applied Mathematics. Combinatorial Algorithms, Optimization and Computer Science*, 77(2):185–200, 1997. McMaster Univ. Hamilton, 1998.
- [20] J.D. Ullman. Complexity of sequencing problems. In J.L. Bruno, E.G. Coffman, Jr., R.L. Graham, W.H. Kohler, R. Sethi, K. Steiglitz, and J.D. Ullman, editors, *Computer and Job/Shop Scheduling Theory*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.