

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Τομέας: Οργάνωση & Διοίκηση

Θέμα: Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής σε βιομηχανία χάρτινης συσκευασίας με
χρήση αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων PSO

Κυριακή
Κυδωνιέως

Α.Μ.: 2011019046

Χανιά, 2015



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ

ΘΕΜΑ: Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής σε βιομηχανία χάρτινης συσκευασίας με χρήση αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO)

Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Κυριακή Κυδωνιέως

A.M.: 2011019046

Επιβλέπων: Ιωάννης Μαρινάκης

Χανιά,

Φεβρουάριος 2015

Στους γονείς μου...

“Κι όταν η καταιγίδα θα έχει περάσει, δεν θα
θυμάσαι πως τα κατάφερες ή πως επιβίωσες.
Δευ θα είσαι καν σίγουρος εάν η καταιγίδα όντως τελείωσε.
Ένα πράγμα είναι μόνο σίγουρο.
Όταν θα περάσει δεν θα είσαι πια ο ίδιος άνθρωπος με αυτόν πριν ξεκινήσει.”

Hakuri Murakami

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διατριβής, τον επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Μαρινάκη Ιωάννη, για την καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία και βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην οικογένεια μου, τον πατέρα μου Ευθύμιο, τη μητέρα μου Μαργαρίτα, και τις αδελφές μου Ειρήνη και Στέλλα, για την ηθική, ψυχολογική, πνευματική και υλική υποστήριξή τους και κυρίως την υπομονή που επέδειξαν κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου. Ελπίζω και εύχομαι να είναι υπερήφανοι για μένα.

Περιεχόμενα

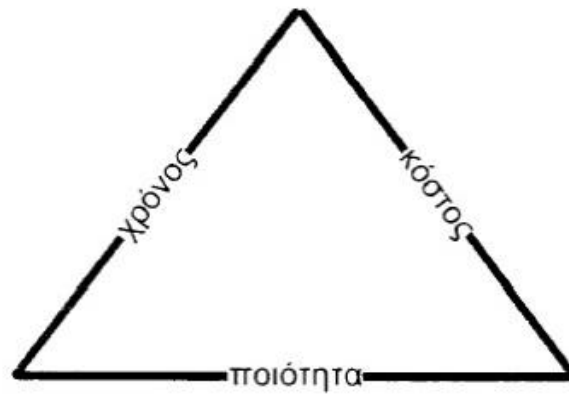
Ευχαριστίες	5
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1: Βασικές έννοιες στα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού συστημάτων παραγωγής.....	8
1.1 Βασικές Έννοιες	8
1.2 Ταξινόμηση συστημάτων παραγωγής.....	9
1.3 Εισαγωγή στη βελτιστοποίηση.....	10
1.4 Μαθηματική Διατύπωση Βελτιστοποίησης.....	11
1.5 Κατηγοριοποίηση μεθόδων βελτιστοποίησης	12
1.6 Βασικές αρχές τεχνικών βελτιστοποίησης.....	13
1.7 Γενετικοί αλγόριθμοι	14
1.7.1 Δομή γενετικού αλγόριθμου.....	15
1.8 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι.....	16
Κεφάλαιο 2: PSO (Particle Swarm Optimization) – Αλγόριθμος Σμήνους Σωματιδίων	18
2.1 Εισαγωγή	18
2.2 Περιγραφή αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων	18
2.3 Παράμετροι Ελέγχου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων	20
2.4 Μαθηματική Διατύπωση αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων	22
2.5 Ψευδοκώδικας PSO	26
2.6 Συνεισφορά του PSO	26
2.7 Διάγραμμα Gantt	29
Κεφάλαιο 3: Εκτέλεση αλγορίθμου	30
3.1 Βιομηχανία Χάρτινης συσκευασίας	30
3.2 Στάδια Επεξεργασίας Παραγγελίας	31
3.3 Εκτέλεση αλγορίθμου PSO.....	33
3.3.1 Σειρά Εκτέλεση Εργασιών ανά Παραγγελία.....	36
3.3.2 Αρχικοποίηση.....	41
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα	62
4.1 Βέλτιστη Σειρά Εκτέλεσης Εργασιών σύμφωνα με PSO.....	62
4.2 Βέλτιστη Λύση PSO	64
4.3 Παραλλαγές αλγορίθμου PSO	84
4.4 Προσομοίωση.....	89
4.5 Συμπεράσματα	93
Βιβλιογραφία:	94
Παράρτημα.....	97

Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή όπου ο ανταγωνισμός είναι μεγάλος, η επιτυχία κρίνεται από τις λεπτομέρειες και το κόστος και η μείωση του αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα, οι απαιτήσεις για «καλά και γρήγορα» αποτελέσματα ολοένα και αυξάνονται. Λύση στην κατάσταση αυτή έρχονται να δώσουν οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, που όπως δηλώνει και το όνομά τους, αναλαμβάνουν να βρουν την βέλτιστη ή τις βέλτιστες λύσεις σε δύσκολα προβλήματα.

Σκοπός της εργασίας είναι τόσο η μελέτη των συστημάτων παραγωγής και η δημιουργία προτάσεων για την επίλυση του προβλήματος χρονικού προγραμματισμού, όσο και η μοντελοποίηση ενός συστήματος παραγωγής της ελληνικής πραγματικότητας στο κλάδο της χάρτινης συσκευασίας με εφαρμογή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων PSO.

Ο αλγόριθμος έχει προγραμματιστεί στη γλώσσα προγραμματισμού Python, και έχουν εισαχθεί οι ρυθμοί παραγωγής από τα manuals των μηχανών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική μονάδα. Έχουν γίνει διάφορες παραλλαγές στην εξίσωση ταχύτητας ώστε να έχουμε συγκριτικά στοιχεία.



Σχήμα 1: Απεικόνιση της σχέσης: χρόνος- κόστος-ποιότητα

Κεφάλαιο 1: Βασικές έννοιες στα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού συστημάτων παραγωγής

1.1 Βασικές Έννοιες

Ο χρονικός προγραμματισμός επιδιώκει να μειώσει το χρόνο και τα κόστη παραγωγής βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητα των διάφορων λειτουργιών στις διεργασίες παραγωγής. Έχει δηλαδή τεράστια επιρροή στην αποτελεσματικότητα ενός συστήματος παραγωγής. Για αυτό το λόγο αποτελεί αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές και βρίσκεται συνεχώς στην επικαιρότητα.

Στη πράξη όμως τα συστήματα παραγωγής παρουσιάζουν διάφορους περιορισμούς τους οποίους τα θεωρητικά μοντέλα δε λαμβάνουν υπόψη. Είναι αρκετά περίπλοκο να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης εξαιτίας τις μεγάλης ποικιλίας περιορισμών που απαιτούνται ώστε να γίνει προσέγγιση ρεαλιστικών συστημάτων παραγωγής με θεωρητικά μοντέλα.

Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής επιδιώκει την αποτελεσματική χρησιμοποίηση μηχανών και προσωπικού, έτσι ώστε να επιτευχθούν στόχοι όπως η ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής

πελατών, του χρόνου αποθήκευσης, του χρόνου πραγματοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας κλπ. Στοχεύει λοιπόν στον προγραμματισμό ενός συνόλου εργασιών έτσι ώστε να βελτιστοποιούνται ορισμένα κριτήρια και να ικανοποιούνται συγκεκριμένοι περιορισμοί.

Η πλειοψηφία όμως των προβλημάτων χρονικού προγραμματισμού παραγωγής παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα στην επίλυση τους για την εύρεση της ολικής βέλτιστης λύσης. Έχει παρατηρηθεί ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος του προβλήματος τόσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα για την επίλυση του και μερικές φορές η επίλυση είναι πρακτικά αδύνατη.

1.2 Ταξινόμηση συστημάτων παραγωγής

Τα προβλήματα συστημάτων παραγωγής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορα κριτήρια. Τα πιο διαδεδομένα είναι: ο τρόπος άφιξης των παραγγελιών, η πολιτική αποθεμάτων, οι ιδιότητες των εργασιών και η δομή των συστημάτων (Zobolas et al, 2008).

Τα βασικότερα συστήματα παραγωγής σύμφωνα με τα οποία κατηγοριοποιούνται τα shop scheduling problems είναι τα ακόλουθα:

Συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop): κάθε εργασία αποτελείται από επιμέρους διεργασίες καθεμία από τις οποίες εκτελείται σε μία ορισμένη μηχανή και η σειρά εκτέλεσης των διεργασιών είναι διαφορετική για κάθε εργασία.

Σύστημα παραγωγής συνεχούς ροής (flow-shop): κάθε εργασία αποτελείται από επιμέρους διεργασίες καθεμία από τις οποίες εκτελείται σε ορισμένη μηχανή και η σειρά εκτέλεσης των διεργασιών για όλες τις εργασίες είναι η ίδια.

Σύστημα ανοιχτής παραγωγής (open-shop): κάθε εργασία αποτελείται από επιμέρους διεργασίες από τις οποίες εκτελείται σε ορισμένη μηχανή. Η σειρά εκτέλεσης των διεργασιών είναι διαφορετική για κάθε

εργασία και μια εργασία μπορεί να έχει παραπάνω από μία εναλλακτικές σειρές εκτέλεσης διεργασιών.

1.3 Εισαγωγή στη Βελτιστοποίηση

Με τον όρο βελτιστοποίηση αναφερόμαστε στην ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης. Η βελτιστοποίηση είναι η εύρεση των τιμών κάποιων παραμέτρων για τις οποίες η τιμή μιας συνάρτησης ελαχιστοποιείται ή μεγιστοποιείται. Οι προαναφερθέντες παράμετροι είναι οι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου που ορίζουν την τιμή της συνάρτησης.

Πολλά προβλήματα που εμφανίζονται σε εφαρμογές μπορούν να αναχθούν σε προβλήματα ολικής βελτιστοποίησης, δηλαδή προβλήματα όπου αναζητούμε το ολικό ελάχιστο ή μέγιστο μιας συνάρτησης με πολύπλοκη μορφή και πληθώρα ακροτάτων, εντός ενός χωρίου (χώρου αναζήτησης). Πολλές φορές είναι απαραίτητο οι λύσεις του προβλήματος βελτιστοποίησης να υπακούν επιπλέον σε συγκεκριμένους περιορισμούς και συνθήκες. Η μορφή της συνάρτησης παίζει καθοριστικό ρόλο στην ευκολία επίλυσης του προβλήματος.

Ο όρος «βελτιστοποίηση» ανταποκρίνεται στην περίπτωση της ελαχιστοποίησης αλλά και της μεγιστοποίησης. Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι ισοδύναμες, καθώς ένα ελάχιστο μιας συνάρτησης, f , αποτελεί το μέγιστο της $-f$ και αντίστροφα. Συνεπώς, με μια απλή αλλαγή του πρόσημου μπορούμε να μετατρέψουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης σε πρόβλημα μεγιστοποίησης και αντίστροφα. Συνεπώς, με μια απλή αλλαγή του προσήμου μπορούμε να μετατρέψουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης σε πρόβλημα μεγιστοποίησης και αντίστροφα.

1.4 Μαθηματική Διατύπωση Βελτιστοποίησης

Το πρόβλημα ελαχιστοποίησης (minimization problem) μπορεί να οριστεί ως:

Δοθείσης μιας $f: S \rightarrow \mathbb{R}$,

Βρες ένα $x^* \in S$, τέτοιο ώστε $f(x^*) \leq f(x)$, $\forall x \in S$,

Όπου $S \subseteq \mathbb{R}^n$ είναι ο χώρος αναζήτησης. Αν $S = \mathbb{R}^n$, τότε έχουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης χωρίς περιορισμούς (unconstrained minimization problem). Ωστόσο, σε πολλά προβλήματα, οι μεταβλητές πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. να είναι θετικές). Αυτά τα προβλήματα καλούνται προβλήματα ελαχιστοποίησης με περιορισμούς (constrained minimization problems) και συνήθως είναι πιο δύσκολο να επιλυθούν από τα αντίστοιχα προβλήματα χωρίς περιορισμούς. Η συνάρτηση f καλείται συνήθως αντικειμενική συνάρτηση. Το σημείο x^* καλείται ολικός ελαχιστοποιητής (global minimize) της f στο S και η τιμή του, $f^* = f(x^*)$, καλείται ολικό ελάχιστο (global minimum) της f . Αν για ένα σημείο $x' \in S$ ισχύει ότι,

$$f(x') \leq f(x), \forall x \in B,$$

όπου $B = \{x \in S: d(x, x') \leq \varepsilon\}$, με d μια μετρική απόστασης και ε μια θετική τιμή, τότε το x' καλείται τοπικός ελαχιστοποιητής (local minimize) της f και η τιμή του, $f' = f(x')$, καλείται τοπικό ελάχιστο (local minimum).

Οι αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τους τοπικούς και τους ολικούς αλγορίθμους. Τοπικοί είναι αυτοί που εγγυώνται την εύρεση ενός τοπικού ελαχιστοποιητή, $x' \in B$ (στην περίπτωση χωρίς περιορισμούς είναι $S = \mathbb{R}^n$). Αντίθετα οι ολικοί αλγόριθμοι εγγυώνται τον υπολογισμό ενός ολικού ελαχιστοποιητή της f στο S , ανεξαρτήτως αρχικού σημείου, $x_0 \in S$.

Το ολικό ελάχιστο ή μέγιστο ονομάζεται γενικά ολικό ακρότατο. Μια συνάρτηση μπορεί να έχει ένα ή και περισσότερα ολικά ακρότατα.

Σκοπός της ολικής βελτιστοποίησης δεν είναι να βρει όλα τα ακρότατα, αλλά τουλάχιστον ένα απ' αυτά.

Καθώς αναζητείται ένα ολικό ακρότατο, μπορεί να ο αλγόριθμος να οδηγηθεί σε τοπικά ακρότατα τα οποία πρέπει να προσπεράσει επιτυχώς ώστε να οδηγηθεί στο ολικό ακρότατο. Υπάρχει περίπτωση όμως κάποιες φορές, ανάλογα τη τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί η αναζήτηση να παγιδευτεί σε κάποιο τοπικό ακρότατο. Όταν αυτό συμβαίνει, τότε η τεχνική χαρακτηρίζεται ως μη αποδοτική μιας και έχει οδηγηθεί σε αποτυχία.

Για την υλοποίηση βελτιστοποίησης έχουν προταθεί διάφοροι μεθευρετικοί αλγόριθμοι με ικανοποιητική αποδοτικότητα. Τέτοιοι είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms), οι αλγόριθμοι διαφορικής εξέλιξης (differential evolution algorithms) και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (particle swarm optimization algorithms) και άλλοι.

Εκτός από τον διαχωρισμό των μεθόδων βελτιστοποίησης σε ολικές και τοπικές υπάρχουν και διάφοροι άλλοι τρόποι κατηγοριοποίησης τους, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν παραγώγους, αν χρησιμοποιούν πληθυσμούς, αν είναι αλγοριθμικές και να έχουν εγγυημένη σύγκλιση και ακρίβεια.

1.5 Κατηγοριοποίηση μεθόδων βελτιστοποίησης

Σύμφωνα με τους Beasley, Bull και Martin, η κατηγοριοποίηση για τις μεθόδους βελτιστοποίησης είναι η εξής:

- ❖ Μέθοδοι βασισμένες στο λογισμό (calculus-based method)
- ❖ Μέθοδοι τυχαίας αναζήτησης (random search methods)
- ❖ Μέθοδοι επαναλαμβανόμενης αναζήτησης (iterated search methods)
- ❖ Μέθοδοι προσομοιωμένης απόψησης (simulated annealing)
- ❖ Δυναμικός προγραμματισμός (dynamic programming)
- ❖ Ευρετικές μέθοδοι (heuristic methods)

Ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό για τα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού είναι το κριτήριο βελτιστοποίησης. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα κριτήρια:

Όνομα κριτηρίου	Επεξήγηση	Ερευνητές
makespan	Χρόνος περάτωσης τελευταίας διεργασίας	Tasgetiren et al(2004) Pan et al(2007)
Total flow time	Συνολικός χρόνος ροής	Costa et al (2011)
Total Completion time	Συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης	Aydilek & Allahverdi (2006)
Maximum tardiness	Μέγιστη βραδύτερη περάτωση	Vallada & Ruiz (2010)
Earliness- tardiness	Χρόνοι νωρίτερης-βραδύτερης περάτωσης	Zhonghua et al(2009)
Multi-Criteria	Συνδυασμός Κριτηρίων	Eren (2007)

1.6 Βασικές αρχές τεχνικών βελτιστοποίησης

Παρακάτω γίνεται μια αναφορά σε βασικές αρχές που διέπουν τις τεχνικές βελτιστοποίησης:

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι πληθυσμιακοί αλγόριθμοι, βασίζονται δηλαδή στη συμπεριφορά μιας ομάδας στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά έχουν διαφορετική ονομασία ανάλογα με την τεχνική βελτιστοποίησης. Στους γενετικούς αλγόριθμους και στους αλγόριθμους διαφορικής εξέλιξης ονομάζονται άτομα (individuals), ενώ στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων ονομάζονται σωματίδια (particles). Τα στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και όλα μαζί συγκλίνουν προς μία θεωρητικά βέλτιστη τιμή.

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι επαναληπτικοί. Αυτό σημαίνει ότι για να ολοκληρωθεί η αναζήτηση, ο αλγόριθμος θα πρέπει να κάνει πολλαπλές αξιολογήσεις του προβλήματος με διαφορετικές τιμές στις μεταβλητές εισόδου. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν ως σκοπό να καθοδηγήσουν τις τιμές των μεταβλητών βήμα προς βήμα προς τις βέλτιστες τιμές με βάση τις προηγούμενες αξιολογήσεις. Συνήθως ο τερματισμός του αλγόριθμου έχει οριστεί εξ αρχής ως συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων. Η επανάληψη ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία όλα τα στοιχεία του πληθυσμού αξιολογούνται και ανανεώνεται η θέση τους ή η κατάσταση τους με βάση κάποιους κανόνες. Στην πρώτη επανάληψη τα στοιχεία τίθενται σε τυχαίες θέσεις.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την καταλληλότητα του κάθε στοιχείου του πληθυσμού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ο καλύτερος τρόπος έκφρασης της καταλληλότητας ενός στοιχείου είναι η αντιστοίχιση του στοιχείου με την τιμή της συνάρτησης f , η συνάρτηση η οποία πρόκειται να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί. Επειδή η συνάρτηση αυτή εκφράζει την καταλληλότητα των στοιχείων, η f παίρνει την ονομασία fitness function (συνάρτηση καταλληλότητας) ή cost function (συνάρτηση κόστους) ή objective function (αντικειμενική συνάρτηση).

Κάποιοι αλγόριθμοι λειτουργούν με πραγματικούς αριθμούς κι άλλοι με δυαδική κωδικοποίηση αριθμών. Η κωδικοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία κάθε αριθμός εκφράζεται υπό μορφή συρμού δυαδικών ψηφίων (bit string). Για κάθε τεχνική βελτιστοποίησης υπάρχει συνήθως η έκδοση με πραγματικούς αριθμούς και η έκδοση με δυαδική κωδικοποίηση. Έκτος από την δυαδική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και άλλου είδους κωδικοποίηση όπως π.χ. η οκταδική ή η δεκαεξαδική.

1.7 Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια ιδέα του John Holland. Η σκέψη του ήταν να μετατρέψει ένα βιολογικό μηχανισμό της φύσης σε διαδικασία επίλυσης δύσκολων προβλημάτων. Αυτή η ιδέα βασίζεται στην θεωρία

της εξέλιξης των ειδών που έχει αναπτυχθεί από το Δαρβίνο, και το κεντρικό της στοιχείο είναι η επιβίωση του ισχυρότερου.

Αν έχουμε για παράδειγμα σε ένα πληθυσμό από ζώα κάποια απ'αυτά έχουν ισχυρά χαρακτηριστικά που τους επιτρέπουν την επιβίωση ενώ κάποια άλλα είναι πιο αδύναμα με συνέπεια να μην επιβιώνουν είτε γιατί δεν μπορούν να αναζητήσουν την τροφή τους είτε γιατί τα ίδια αυτά ζώα αποτέλεσμα τροφή για κάποιο άλλο. Τα ζώα που κατάφεραν να επιβιώσουν ως την αναπαραγωγική ηλικία είναι αυτά που θα αναμειχθούν μεταξύ τους και θα δώσουν τις επόμενες γενιές. Κατά την διαδικασία της αναπαραγωγής συνδέονται κομμάτια χρωμοσωμάτων από τους δύο γονείς ώστε να προκύψει ένα καινούργιο. Υπάρχει η περίπτωση να προκύψουν μεταλλάξεις και να αλλάξει η δομή του καινούργιου άλλοτε προς το καλύτερο και άλλοτε προς το χειρότερο.

1.7.1 Δομή γενετικού αλγόριθμου

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια στοχαστική τεχνική βελτιστοποίησης η οποία χρησιμοποιείται όταν ο έλεγχος όλου του πεδίου ορισμού ενός προβλήματος είναι αδύνατος. Η βελτιστοποίηση βασίζεται στην εξέλιξη των ειδών που περιγράφηκε παραπάνω. Ο πυρήνας του γενετικού αλγόριθμου είναι η αναζήτηση ευεργετικών προσαρμογών σε πολύπλοκα και ασταθή περιβάλλοντα. Οι προσαρμογές προκύπτουν με την αλλαγή των χρωμοσωμάτων των ατόμων του πληθυσμού. Η διασταύρωση συνενώνει κάποια στοιχεία των δύο γονέων σε έναν απόγονο. Τα στοιχεία αυτά είναι τα γονίδια. Έτσι το άτομο που προκύπτει έχει κάποια γονίδια του ενός γονέα και κάποια του άλλου. Η διαδικασία αυτή έχει ως σκοπό να ενώσει δυο καλά μέρη ώστε να προκύψει το καλύτερο. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έχει η μετάλλαξη η οποία έχει σκοπό να προσδώσει κάποια τελείως καινούργια χαρακτηριστικά στο άτομο του πληθυσμού με την ελπίδα να είναι ωφέλιμα.

1.8 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms- EA) βασίζονται στη μελέτη οργανισμών ή διαδικασιών που παρατηρούνται στη φύση. Η μελέτη και η προσομοίωσή τους οδηγεί στην δημιουργία αλγορίθμων ικανών να εξελίσσονται και να προσαρμόζονται με τρόπο ανάλογο με αυτόν του οργανισμού τον οποίο μιμούνται.

Έχουν κατά καιρούς εμφανιστεί και προταθεί διάφορων ειδών EA. Ένας από τους πρώτους αλγορίθμους που έγινε ιδιαίτερα γνωστός στα μέσα της δεκαετίας του 1970 (John Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 1975) που έθεσε και τις βάσεις για τη συνέχεια σε αυτού του είδους τους αλγορίθμους ήταν οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms). Αυτοί, εμπνευσμένοι από την πρόταση για την εξέλιξη των ειδών σύμφωνα με τη Δαρβινική θεωρία, προσομοιώνουν τη διαδικασία του ανασυνδυασμού μεταξύ γονέων (χρωμοσωμάτων) που έχουν επιλεγεί ως πιο ικανοί για επιβίωση (ή αλλιώς, προσέφεραν καλύτερες λύσεις στο πρόβλημα που επιλύεται) και με τη μέθοδο της μετάλλαξης και με το πέρασμα των γενεών προσδοκούν στην εύρεση μιας βέλτιστης λύσης.

Ακόμα, εμφανίστηκαν αλγόριθμοι που μιμούνται πλήθη ζώων ή και εντόμων με αντικείμενο την προσομοίωση της κοινωνικής τους δράσης και με χαρακτηριστικό τους τις αξιοθαύμαστες μεθόδους που χρησιμοποιούν αυτοί οι οργανισμοί για να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να σχηματίζουν οργανωμένους οικισμούς. Αυτοί οι αλγόριθμοι ανήκουν στην κατηγορία της Νοημοσύνης των Σμηνών (Swarm Intelligence) και πιο γνωστοί εκπρόσωποι τους είναι η Αποικία των μυρμηγκιών (Ant Colony), η Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization), η Αποικία των Μελισσών (Bee Colony Algorithm) αλλά και η αναζήτηση της Μαϊμούς (Monkey Search).

Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι εκμεταλλεύονται τους τρόπους επικοινωνίας των οργανισμών από τους οποίους πηγάζει η έμπνευσή τους και καταφέρνουν με εύκολο υπολογιστικά και γρήγορο τρόπο να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε προβλήματα βελτιστοποίησης.

Έτσι μια γενική εικόνα ενός ΕΑ αποτελείται από:

- ❖ Τη διαδικασία της δημιουργίας ενός τυχαίου αρχικού πληθυσμού, που αποτελεί ένα πλήθος πιθανών λύσεων του προβλήματος
- ❖ Τη διαδικασία της αξιολόγησης που με βάση την αντικειμενική συνάρτηση (fitness function) που έχει οριστεί για το κάθε πρόβλημα, κρίνει την καταλληλότητα της κάθε λύσης
- ❖ Τη διαδικασία του ανασυνδυασμού όπου ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του κάθε αλγορίθμου δημιουργούνται οι απόγονοι, με βάση την προηγούμενη γενιά
- ❖ Τη διαδικασία της μετάλλαξης όπου προστίθεται η «τυχειότητα» και παραποιοούνται οι απόγονοι
- ❖ Και τέλος τη διαδικασία της επιλογής όπου καθαρίζονται ποιοι «γονείς» θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία της επόμενης γενιάς

Το χαρακτηριστικό των ΕΑ που τους κάνει να προτιμούνται από άλλες κλασικές μεθόδους βελτιστοποίησης όπως οι μέθοδοι quasi-Monte-Carlo, είναι το ότι είναι στοχαστικές ευρεστικές μέθοδοι ή αλλιώς μεθευρετικοί αλγόριθμοι. Αυτό σημαίνει πως ο αλγόριθμος έχει ελάχιστη ή καθόλου γνώση του προβλήματος ή της συνάρτησης που καλείται να λύσει και δεν χρειάζεται παραγώγους ή άλλες πολύπλοκα υπολογιζόμενες παραμέτρους. Εξετάζει ένα πληθυσμό λύσεων ταυτόχρονα αντί για ένα μόνο σημείο λύσης και γι' αυτό μπορεί να ψάξει μεταξύ ενός τεραστίου πλήθους λύσεων για τις βέλτιστες. Από την άλλη όμως λόγω της στοχαστικότητας που τους διακρίνει δεν μπορούν να εγγυηθούν πως θα βρουν το ολικό βέλτιστο.

Κεφάλαιο 2: PSO (Particle Swarm Optimization) – Αλγόριθμος Σμήνους Σωματιδίων

2.1 Εισαγωγή

Οι ακούσιοι κανόνες που ακολουθούν τα μέλη σμηνών στην φύση και τους επιτρέπουν να κινούνται συγχρονισμένα, χωρίς συγκρούσεις, σε εντυπωσιακούς σχηματισμούς αποτέλεσαν πηγή έρευνας και προσομοιώσεων.

Αρκετοί νόμοι από αυτούς που διέπουν την κοινωνική συμπεριφορά των ζώων παρατηρούνται και σε ομάδες ανθρώπων. Στην περίπτωση των ανθρώπων τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα, καθώς οι άνθρωποι κινούνται τόσο στον τρισδιάστατο χώρο (περιβάλλον), όσο και στο χώρο των ιδεών. Στο περιβάλλον δεν έχουμε συγκρούσεις, αλλά στο χώρο των ιδεών μπορεί να καταλαμβάνουν τις ίδιες θέσεις (αρκετοί άνθρωποι μοιράζονται τις ίδιες ιδέες).

Οι ιδέες που αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης για την ανάπτυξη του αλγορίθμου πηγάζουν από τις φυσικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο DNA των έμβιων οργανισμών και έχουν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη των ειδών, αλλά από την κοινωνική δυναμική ομάδων και πληθυσμών. Άλλωστε, προάγγελος της μεθόδου ήταν ένας εξομοιωτής της κίνησης και των αλληλεπιδράσεων πληθυσμών σε κλειστά περιβάλλοντα.

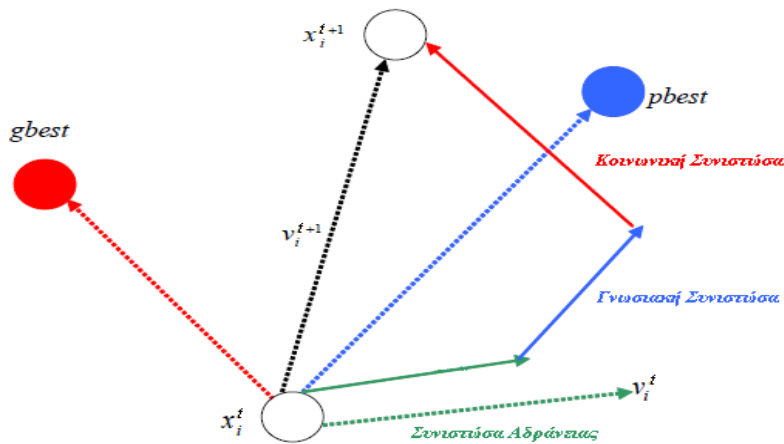
2.2 Περιγραφή αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων

Ο αλγόριθμος του σμήνους σωματιδίων προτάθηκε από τους Kennedy και Eberhart, ως αλγόριθμος ολικής βελτιστοποίησης με σκοπό να προσομοιωθεί η κοινωνική συμπεριφορά ορισμένων οργανισμών. Η ιδέα ήταν να προσομοιωθεί γραφικά η κίνηση του σμήνους των πουλιών, να βρεθούν και να αναλυθούν οι κανόνες που οδηγούν τα πουλιά να κινούνται σε αυτό το σχηματισμό και ενώ αλλάζουν

κατεύθυνση παραμένει ο σχηματισμός αυτός. Ο αλγόριθμος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συμβιωτικός συνεργατικός μιας και οι αλλαγές ενός σωματιδίου μέσα στο σμήνος επηρεάζονται από την εμπειρία και τις γνώσεις των γειτονικών του σωματιδίων.

Η βελτιστοποίηση σωματιδίων σμήνους παρουσιάζει πολλά κοινά με τους εξελικτικούς αλγόριθμους. Πρόκειται για μια στοχαστική μέθοδο, που χρησιμοποιεί πληθυσμούς για την αναζήτηση λύσεων εντός του χώρου αναζήτησης. Ωστόσο, μια μεγάλη διαφορά με τους εξελικτικούς αλγορίθμους είναι η κίνηση κάθε μέλους του πληθυσμού με μια προσαρμόσιμη ταχύτητα (*adaptable velocity*) στον χώρο αναζήτησης. Επιπλέον, κάθε μέλος του πληθυσμού έχει μια μνήμη στην οποία διατηρεί την καλύτερη θέση που επισκέφτηκε ποτέ. Σε προβλήματα ελαχιστοποίησης αυτή η θέση είναι το σημείο του χώρου με την μικρότερη συναρτησιακή τιμή που έχει επισκεφτεί ποτέ το μέλος του πληθυσμού. Επιπλέον τα μέλη του πληθυσμού ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορία σχετικά με την καλύτερη θέση (μνήμη) που έχει το καθένα. Έτσι, ορίζοντας γειτονιές μεταξύ των μελών του πληθυσμού, υπάρχει ροή πληροφορίας μεταξύ των μελών που τις απαρτίζουν και η κίνηση του σμήνους είναι απόρροια της στοχαστικής επιτάχυνσης των μελών του προς τις προσωπικές καλύτερες θέσεις τους και προς τις καλύτερες θέσεις των γειτόνων τους.

Η ιδέα των «γειτονιών» μεταξύ των σωματιδίων του σμήνους οδήγησε στην ανάπτυξη δύο βασικών παραλλαγών της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων, την βελτιστοποίηση με ολική γειτονιά (*global neighborhood*) ή ολική βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων, και την τοπική γειτονιά (*local neighborhood*) ή τοπική βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων, οι οποίες στη βιβλιογραφία συχνά συμβολίζονται και ως *gbest* και *lbest*, αντίστοιχα.



Σχήμα2: Διάγραμμα κίνησης του σωματιδίου στο χώρο αναζήτησης

2.3 Παράμετροι Ελέγχου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων

Η βασική τεχνική βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων επηρεάζεται από ένα σύνολο παραμέτρων ελέγχου. Αυτές είναι το μέγεθος του σμήνους, η μέγιστη ταχύτητα, ο αριθμός των επαναλήψεων, οι συντελεστές επιτάχυνσης και ο συντελεστής αδράνειας.

- ❖ Μέγεθος σμήνους : (swarm size) αφορά το πλήθος των σωματιδίων σε αυτό. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος, τόσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά των σωματιδίων στο χώρο αναζήτησης, δεδομένης μιας ομοιόμορφης κατανομής στο χώρο. Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί ότι καθώς το σμήνος αυξάνεται, μεγαλώνει και η υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγόριθμου, ενώ δεν συνεπάγεται κατά ανάγκη βελτίωση της επίδοσης της μεθόδου.
- ❖ Μέγιστη Ταχύτητα: καθορίζει τη μέγιστη μεταβολή που μπορεί να δεχθεί ένα σωματίδιο στη θέση του σε μια επανάληψη και χρησιμοποιείται για να αποφεύγεται η άσκοπη κίνηση των σωματιδίων εκτός των ορίων αναζήτησης. Συνήθως ορίζεται ίση με το επιτρεπτό εύρος τιμών της θέσης του σωματιδίου.

- ❖ Αριθμός Επαναλήψεων: για να επιτευχθεί μια καλή λύση ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται εξαρτάται από το πρόβλημα. Λίγες επαναλήψεις πιθανόν να τερματίζουν την αναζήτηση πριν την ώρα της, δηλαδή πριν βρεθεί μια ικανοποιητική λύση. Αντίθετα, ένας μεγάλος αριθμός θα είχε ως συνέπεια περιττές επαναλήψεις κάτι που σημαίνει αυξημένη υπολογιστική πολυπλοκότητα χωρίς λόγο.
- ❖ Συντελεστές Επιτάχυνσης: είναι οι τιμές c_1, c_2 . Οι τιμές αυτές πολλαπλασιάζονται αντίστοιχα με τις τυχαίες μεταβλητές r_1 και r_2 και συνιστούν σε κάθε επανάληψη τους στοχαστικούς συντελεστές βαρύτητας της γνωσιακής και κοινωνικής συνιστώσας. Ο συντελεστής c_1 θα μπορούσε να ονομαστεί ως η εμπιστοσύνη που έχει το σωματίδιο στον εαυτό του ενώ ο συντελεστής c_2 η εμπιστοσύνη που έχει ως προς το υπόλοιπο σμήνος. Οι Kennedy και Eberhart αποκάλεσαν τον συντελεστή c_1 ως «νοσταλγία» (nostalgia) ενώ τον συντελεστή c_2 ως «φθόνο» (envy). Έτσι λοιπόν, όταν $c_2=0$ και το $c_1 > 0$ τότε χάνεται η κοινωνική συνοχή μεταξύ των σωματιδίων και κάθε ένα αναζητά την λύση αυτόνομα και τοπικά. Όταν ισχύει το αντίθετο, δηλαδή όταν $c_1 = 0$ και $c_2 > 0$, τότε χάνεται η ατομική πρωτοβουλία και το σμήνος λειτουργεί ως μία ενιαία οντότητα η οποία έλκεται από το ολικό βέλτιστο. Παρατηρούμε από τις δύο παραπάνω ακραίες περιπτώσεις ότι οι τιμές και η αναλογία των συντελεστών καθορίζουν τη συμπεριφορά του σμήνους. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι τιμές των δυο συντελεστών εξισώνονται τότε τα σωματίδια κατευθύνονται προς το μέσο όρο του προσωπικού βέλτιστου και του ολικού βέλτιστου.
- ❖ Συντελεστής Αδράνειας: (inertia weight, w), χρησιμοποιήθηκε για να ελέγξει την ορμή (momentum), του σωματιδίου, λειτουργώντας ως συντελεστής βαρύτητας στη συνεισφορά της

προηγούμενης ταχύτητας. Ουσιαστικά ο συντελεστής αυτός ελέγχει πόση μνήμη από την προηγούμενη πορεία του σωματιδίου θα επηρεάσει τη νέα ταχύτητα.

- ❖ Κριτήριο Τερματισμού: σημαντικό ζήτημα στην υλοποίηση της μεθόδου της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων όπως και σε κάθε άλλη επαναληπτική μέθοδο, συνιστούν τα κριτήρια τερματισμού της επαναληπτικής διαδικασίας αναζήτησης. Ένα σύνηθες κριτήριο τερματισμού είναι η χρήση ενός μέγιστου αριθμού επαναλήψεων. Όταν η διαδικασία ολοκληρώσει ένα προκαθορισμένο πλήθος επαναλήψεων τότε αυτή τερματίζεται.

2.4 Μαθηματική Διατύπωση αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων

Κάθε σωματίδιο, εκτός από την προσωπική του καλύτερη θέση, γνωρίζει και την καλύτερη θέση που έχει ποτέ επισκεφτεί οποιοδήποτε άλλο σωματίδιο του σμήνους, δηλαδή την καλύτερη λύση που έχει βρεθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή στον χώρο αναζήτησης. Στην τοπική παραλλαγή, ένας αριθμός σωματιδίων (συνήθως μικρός) ορίζονται ως γειτονιά ενός σωματιδίου και το σωματίδιο αυτό, εκτός από την προσωπική του καλύτερη θέση, γνωρίζει την καλύτερη θέση που έχει επισκεφτεί οποιοδήποτε άλλο σωματίδιο της γειτονιάς του. Προφανώς, η ολική παραλλαγή αποτελεί ειδική περίπτωση της τοπικής, αλλά αντιμετωπίζονται σας ξεχωριστές περιπτώσεις λόγω έντονων διαφορών που παρουσιάζονται στις ιδιότητες του αλγορίθμου.

Έστω,

$$f : S \subset \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R},$$

η αντικειμενική συνάρτηση και

$$S = \{x_1, x_2, \dots, x_N\},$$

Όπου S ένα σμήνος αποτελούμενο από N σωματίδια. Κάθε σωματίδιο είναι ένα n -διάστατο διάνυσμα,

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T \in S, \quad i = 1, \dots, N$$

Η ταχύτητα του i -οστού σωματιδίου είναι επίσης ένα n -διάστατο διάνυσμα,

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T,$$

Και η καλύτερη θέση του,

$$p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})^T, \in S.$$

Ο δείκτης g_i είναι ο δείκτης του καλύτερου σωματιδίου στη γειτονιά x_i και επίσης θεωρούμε t τον μετρητή επαναλήψεων του αλγορίθμου. Σε κάθε επανάληψη το σμήνος ανανεώνεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + cr_1(p_i(t) - x_i(t)) + cr_2(p_{gi}(t) - x_i(t)),$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

Όπου $i = 1, 2, \dots, N$ και c μία θετική σταθερά επιτάχυνσης (acceleration constant) και r_1, r_2 , διανύσματα τυχαίων αριθμών, ομοιόμορφα κατανεμημένων εντός του $[0,1]$. Όλες οι πράξεις μεταξύ διανυσμάτων γίνονται κατά συνιστώσες. Για μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος αντί της σταθεράς c και στους δύο όρους των παρενθέσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυο διαφορετικές σταθερές c_1 και c_2 .

Αν και τα αποτελέσματα με τις παραπάνω εξισώσεις ήταν καλά, δεν υπήρχε κάποιος μηχανισμός ελέγχου των ταχυτήτων των σωματιδίων και ως εκ τούτου υπήρχε μειωμένη απόδοση του αλγορίθμου σε σχέση με τους υπόλοιπους εξελικτικούς αλγόριθμους. Αυτό που είχε παρατηρηθεί ήταν ότι ενώ η περιοχή του ολικού ελαχίστου εντοπιζόταν πολύ γρήγορα, οι ταχύτητες μπορούσαν να πάρουν αυθαίρετα μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα την απόκλιση του σμήνους και κατά συνέπεια την

αδυναμία επίτευξης ικανοποιητικής ακρίβειας στην εύρεση λύσης. Έτσι το πρόβλημα λύθηκε με την εισαγωγή μιας παραμέτρου, V_{max} , που θα λειτουργήσει ως φράγμα στην απόλυτη τιμή της ταχύτητας ενός σωματιδίου. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονταν οι ταχύτητες και αποφεύγονταν οι εκρήξεις του σμήνους (swarm explosions) που οδηγούν σε απόκλιση. Προκειμένου να ενισχυθεί ο έλεγχος επί των ταχυτήτων των σωματιδίων προτάθηκε μία νέα έκδοση του αλγορίθμου:

$$v_i(t+1) = w v_i(t) + c r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c r_2 (p_{gi}(t) - x_i(t)),$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

Όπου η νέα παράμετρος w ονομάζεται βάρος αδράνειας (inertia weight), και c_1, c_2 , θετικές παράμετροι που προέκυψαν από την σταθερά επιτάχυνσης και ονομάζονται γνωστική (cognitive) και κοινωνική (social) παράμετρος, αντίστοιχα.

Η χρησιμότητα του βάρους αδράνειας w είναι για τον έλεγχο της επίδρασης της ιστορίας των ταχυτήτων στη σύγκλιση της βελτιστοποίησης του σμήνους σωματιδίων και ως εκ τούτου στην εξισορρόπηση μεταξύ ολικής και τοπικής αναζήτησης της μεθοδολογίας. Οι μεγάλες τιμές του βάρους αδράνειας διευκολύνουν την ολική αναζήτηση (εξερεύνηση νέων περιοχών στο χώρο αναζήτησης), ενώ οι μικρές τιμές διευκολύνουν την πιο λεπτομερή τοπική αναζήτηση. Η κατάλληλη τιμή του w είναι αυτή που παρέχει στον αλγόριθμο την απαραίτητη ισορροπία μεταξύ ολικής και τοπικής αναζήτησης, η οποία είναι απαραίτητη για να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση.

Μια άλλη εκδοχή από τους Clerc και Kennedy, η οποία νέα έκδοση είναι αλγεβρικά ισοδύναμη με την βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων με βάρος αδράνειας είναι και η επικρατέστερη είναι η ακόλουθη:

$$v_i(t+1) = x [v_i(t) + c_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (p_{gi}(t) - x_i(t))],$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

Όπου χ είναι η θετική παράμετρος που ονομάζεται παράγοντας περιορισμού (constriction factor). Αυτή η εκδοχή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων έχει αποδειχθεί ένα από τα αποδοτικότερα σχήματα της μεθόδου.

Ο παράγοντας περιορισμού είναι μία παράμετρος παρόμοια με το βάρος αδράνειας. Η διαφορά τους είναι στο τρόπο που επιλέγεται η τιμή τους. Το βάρος αδράνειας επιλέγεται εμπειρικά, ενώ ο παράγοντας περιορισμού υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\chi = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}$$

Οι πέντε βασικές αρχές όπως ορίστηκαν από τον Millonas, πάνω στις οποίες βασίζεται η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων είναι οι εξής:

- 1). Γειτνίαση (proximity): η ικανότητα του σμήνους να πραγματοποιεί απλούς χρονικούς και χωρικούς υπολογισμούς
- 2). Ποιότητα (quality): η ικανότητα του σμήνους να αντιδρά σε ποιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος
- 3). Ποικιλία αντιδράσεων (diverse response): το σμήνος πρέπει να έχει ευρύ φάσμα αντιδράσεων
- 4). Ευστάθεια (stability): το σμήνος δεν πρέπει να αλλάζει την συμπεριφορά του με μια αμελητέα αλλαγή στο περιβάλλον
- 5). Προσαρμοστικότητα (adaptability): το σμήνος πρέπει να αλλάζει την συμπεριφορά του όταν το κόστος δεν είναι απαγορευτικό.

2.5 Ψευδοκώδικας PSO

Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων είναι ο ακόλουθος:

Αρχικοποίηση

Επιλογή του αριθμού των σμηνών (πλήθος επαναλήψεων)

Επιλογή του αριθμού των σωματιδίων σε κάθε σμήνος (πλήθος λύσεων)

Αρχικοποίηση της θέσης και της ταχύτητας κάθε σωματιδίου

Εύρεση βέλτιστου σωματιδίου ολόκληρου του σμήνους

Εύρεση βέλτιστης λύσης κάθε σωματιδίου

Do until (δεν έχει φτάσει στο μέγιστο αριθμό επαναλήψεων)

Υπολογισμός της ταχύτητας του κάθε σωματιδίου

Υπολογισμός της νέας θέσης του κάθε σωματιδίου

Υπολογισμός της νέας συνάρτησης ποιότητας του κάθε σωματιδίου

Ενημέρωση της βέλτιστης λύσης του κάθε σωματιδίου

Εύρεση του βέλτιστου σωματιδίου ολόκληρου του σμήνους

Enddo

Επιστροφή βέλτιστου σωματιδίου (βέλτιστης λύσης)

2.6 Συνεισφορά του PSO

Η αρχή λειτουργίας του μηχανισμού αναζήτησης της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ μελών του πληθυσμού και στην αξιοποίηση της μνήμης τους. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται συνδυαζόμενες σε στοχαστικές

εξισώσεις που συμπεριλαμβάνουν διαφορές μεταξύ διανυσμάτων-μελών του πληθυσμού και οι οποίες δίνουν τα νέα μέλη του πληθυσμού.

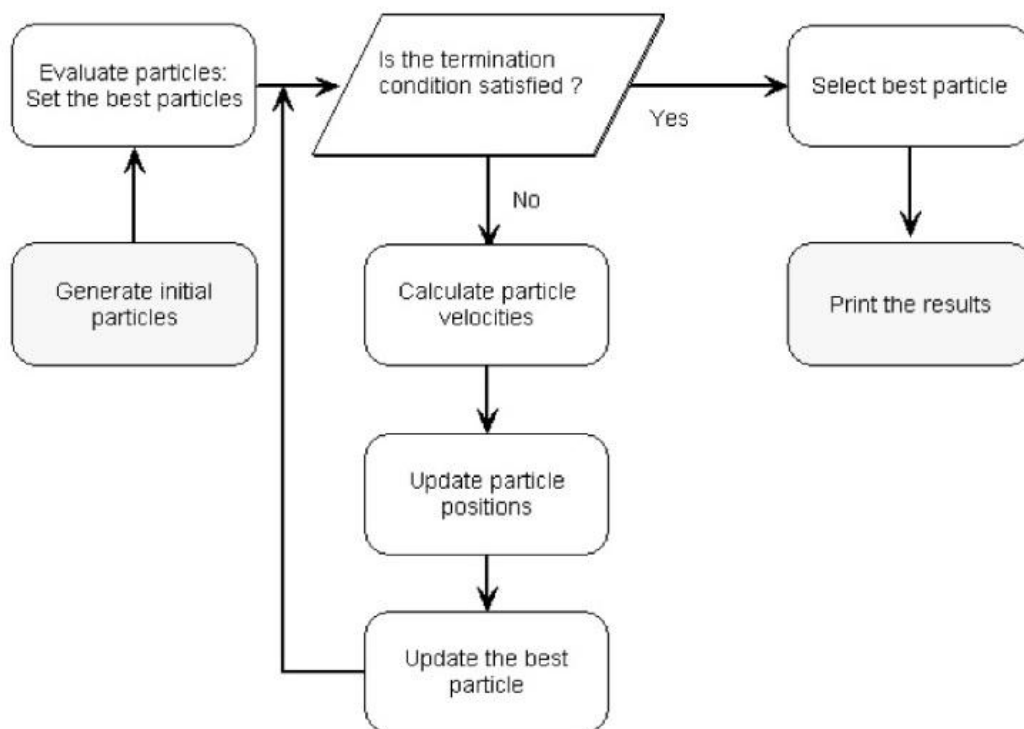
Η χρησιμότητα αυτού του αλγόριθμου έχει αποδειχτεί πολύ μεγάλη, λόγω της εύκολης υλοποίησής της και των πολύ καλών αποτελεσμάτων που έχει δώσει στα προβλήματα που έχει χρησιμοποιηθεί, ιδιαίτερα σε προβλήματα που έχουν συνεχείς μεταβλητές. Τα τελευταία χρόνια η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμοστεί και σε προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης.

Η απλότητα στην χρήση και η ύπαρξη μονάχα λίγων παραμέτρων που ρυθμίζουν την απόδοση του αλγορίθμου κατέστησαν την βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων μια πολύ δημοφιλή μέθοδο. Το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας έδωσε ώθηση στην έρευνα, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί μια πληθώρα βελτιώσεων και εφαρμογών της μεθόδου.

Αρχικά, δημιουργείται ένας αριθμός από σωματίδια όπου το κάθε ένα από αυτά έχει μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο λύσεων και κινείται με μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Η θέση που έχει το κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη λύση στο πρόβλημα και η απόδοσή της εκτιμάται από μια προκαθορισμένη συνάρτηση ποιότητας (fitness function). Έτσι, κάθε σωματίδιο τοποθετείται, αρχικά, τυχαία σε ένα n -διαστάσεων χώρο ως μια υποψήφια λύση. Η ταχύτητα, αντιπροσωπεύει τις αλλαγές που θα γίνουν για να κινηθεί το σωματίδιο από τη μια θέση στην άλλη. Η κατεύθυνση όπου θα κινηθεί το σωματίδιο υπολογίζεται από τη δυναμική αλληλεπίδραση της δικής του εμπειρίας και της εμπειρίας ολόκληρου του σμήνους. Το κάθε σωματίδιο έχει τρεις πιθανότητες για να αναπροσαρμόσει την τροχιά του κατά τη διάρκεια της κίνησής του. Η πρώτη είναι να ακολουθήσει μια δική του διαδρομή, η δεύτερη να κινηθεί προς τη βέλτιστη θέση που είχε κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων και η τρίτη είναι να κινηθεί προς τη θέση που έχει το βέλτιστο σωματίδιο στον πληθυσμό.

Στις περισσότερες παραλλαγές του αλγορίθμου, η τροχιά των σωματιδίων επηρεάζεται μόνο από τη δική του παρελθούσα

συμπεριφορά και τη συμπεριφορά του καλύτερου σωματιδίου στο σμήνος. Υπάρχει όμως η δυνατότητα όλα τα υπόλοιπα σωματίδια (ή μερικά που βρίσκονται πάρα πολύ κοντά) να επηρεάσουν την τροχιά κάποιου άλλου σωματιδίου. Αυτή η παραλλαγή ονομάζεται Πλήρως Ενημερωμένος Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Full Informed Particle Swarm).



Σχήμα 3: Δομή PSO

Συνήθως σε κάθε Αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων ένα μόνο σμήνος χρησιμοποιείται. Υπάρχει φυσικά, η δυνατότητα να υπάρχουν χωριστά σμήνη που είτε να ενεργούν χωριστά χωρίς να αλληλεπιδρά το ένα με το άλλο σε χωριστά σημεία του χώρου λύσεων και με αυτό τον τρόπο να αυξάνουν τις ικανότητες αναζήτησης της μεθόδου είτε να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να αρχίσουν από κάποιο σημείο και έπειτα να συγκλίνουν προς κάποιο βέλτιστο. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα τα σμήνη να δρουν ανταγωνιστικά το ένα με το άλλο ή να κυνηγάει κατά κάποιο τρόπο ένα σμήνος ισχυρότερων ατόμων ένα άλλο σμήνος ή κάποιο σμήνος αν όλα τα άτομα που

βρίσκονται σε αυτό έχουν κακή λύση ως προς τις λύσεις των άλλων σημνών να διαγράφεται κ.τ.λ. Ο αλγόριθμος έχει εφαρμοστεί στο πρόβλημα της αξιολόγησης του πιστωτικού κινδύνου, σε προβλήματα σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, στο πρόβλημα ταξινόμησης των κυττάρων που λαμβάνονται κατά το τεστ Παπανικολάου και σε προβλήματα ομαδοποίησης.

2.7 Διάγραμμα Gantt

Παρότι ο Henry Gantt θεωρείται ο πατέρας των τεχνικών σχεδιασμού και ελέγχου, είναι κοινά αποδεκτό ότι η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνικών παρατηρήθηκε στα πλαίσια των στρατιωτικών και αεροδιαστημικών έργων που υλοποιήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Μεγάλη Βρετανία κατά τις δεκαετίες του 1950 και του 1960. Η σύγχρονη ιστορία της διαχείρισης έργου όμως αρχίζει με την ανάπτυξη του γραμμικού διαγράμματος στις αρχές της δεκαετίας του 1900. Η τεχνική της κατασκευής γραμμικών διαγραμμάτων εγκαινιάστηκε κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν ο Αμερικανός Henry Gantt (1861-1918) επινόησε το γραμμικό διάγραμμα ως εποπτικό εργαλείο προγραμματισμού και ελέγχου των ναυπηγικών έργων με τα οποία ασχολούνταν. Η συμβολή του στη διαχείριση έργου είχε ως αποτέλεσμα τα γραμμικά διαγράμματα προγραμματισμού να ονομάζονται διαγράμματα Gantt.

Το διάγραμμα Gantt αποτελεί μια μορφή γραφικής αναπαράστασης ενός χρονο-διαγράμματος. Η σύνταξη του διαγράμματος είναι η εξής: αναλύει όλο το έργο σε επί μέρους εργασίες, καθορίζοντας διάρκεια, χρόνο έναρξης και χρόνο λήξης της επεξεργασίας.

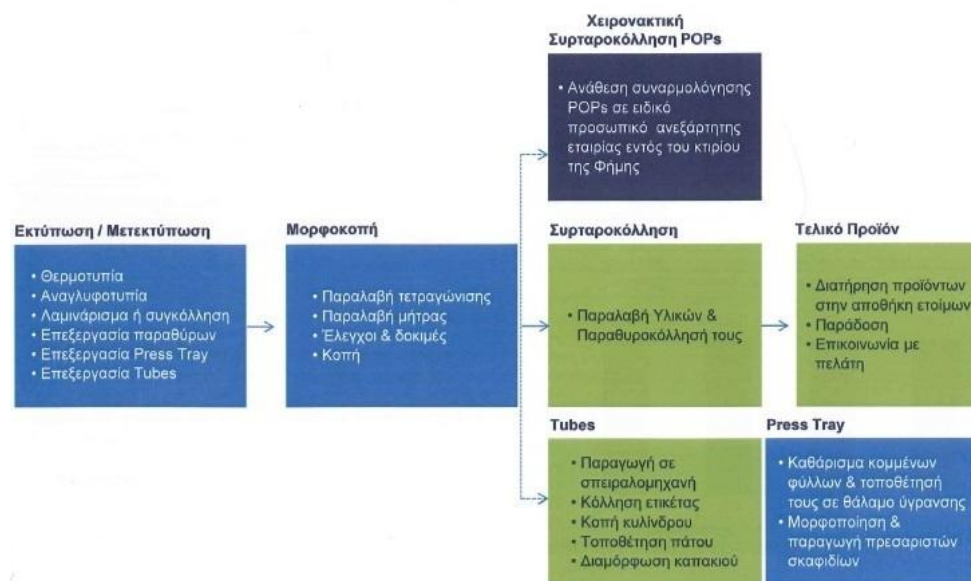
Κεφάλαιο 3: Εκτέλεση αλγορίθμου

3.1 Βιομηχανία Χάρτινης συσκευασίας

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας έγινε στο παράδειγμα βιομηχανίας χάρτινης συσκευασίας. Στη παρακάτω παράγραφο θα αναφερθούμε σε μια σύντομη περιγραφή της ροής της εργασίας.

Η βιομηχανία χάρτινης συσκευασίας επεξεργάζεται το χαρτί και το χαρτόνι. Η πρώτη ύλη θα υποστεί κατάλληλες επεξεργασίες και θα καταλήξει σε τελικό προϊόν. Το τελικό προϊόν δεν είναι ένα αλλά περισσότερα και εξαρτάται από τα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τη ροή εργασίας:



Σχήμα 4: Ροή εργασίας

3.2 Στάδια Επεξεργασίας Παραγγελίας


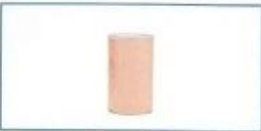


Τα στάδια επεξεργασίας είναι τα ακόλουθα:

1	Κοπή POLAR
2	Εκτύπωση
3	Θερμοτυπία
4	Πλαστικοποίηση
5	Λαμινάρισμα 1
6	Λαμινάρισμα 2
7	Μορφοκοπή
8	Πρέσα Gralex
9	Παραθυροκόλληση
10	Συρταροκόλληση
11	Κωνική κόλληση
12	Παλετοποίηση
13	Σήμανση
14	Αποστολή

Δεν είναι απαραίτητο να περάσει μία παραγγελία από όλα τα στάδια. Το εργοστάσιο παραλαμβάνει φύλλα χαρτιού ώστε να ξεκινήσει την διαδικασία. Πολλές φορές το μέγεθος του φύλλου πρέπει πρώτα να κοπεί προκειμένου να φτάσει το επιθυμητό μέγεθος. Αφού έχει πάρει το φύλλο τις κατάλληλες διαστάσεις εκτυπώνεται, ουσιαστικά δέχεται το χρώμα και το μήνυμα που έχει επιλέξει ο πελάτης. Ανάλογα την παραγγελία μπορεί το φύλλο να πρέπει να περάσει και από την θερμοτυπία για να αποκτήσει ανάγλυφη υφή. Το χαρτί έχει συγκεκριμένες ιδιότητες για να του προσθέσουμε και άλλες (πχ. Αδιαβροχοποίηση) το πλαστικοποιούμε. Όταν ολοκληρωθεί και η πλαστικοποίηση, τότε τα φύλλα οδηγούνται στο λαμινάρισμα. Το λαμινάρισμα είναι η διαδικασία κατά την οποία το φύλλο κολλάτε με άλλο χαρτόνι (οντουλέ), ώστε να του προσθέσουμε ιδιότητες αντοχής. Τα λαμιναρισμένα φύλλα οδηγούνται σε μήτρες κοπής. Κοπτικά

οδηγούνται κάθετα στο φύλλα και προκύπτει το ανάπτυγμα του κουτιού. Αν πρόκειται για κωνικό κουτί πρέπει να περάσει στο επόμενο στάδιο που είναι η κωνική μηχανή. Αν το κουτί έχει διάφανη μεμβράνη (παράθυρο), ώστε να είναι ευδιάκριτο το εσωτερικό του τότε πρέπει να περάσει από την παραθυρομηχανή. Το επόμενο στάδιο είναι η συρταροκόλληση. Σε αυτή την επεξεργασία το κουτί με τη βοήθεια οδηγών παίρνει την τελική μορφή του και κολλάτε ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν.

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται κάποιες οικογένειες τελικών προϊόντων.

Προϊοντική Κατηγορία	Περιγραφή Κατηγορίας
	<ul style="list-style-type: none">• Γενικές Συσκευασίες <p>• Οι γενικές συσκευασίες προορίζονται για τρόφιμα, ποτά, καταναλωτικά αγαθά και άλλα προϊόντα που εναρμονίζονται με την στρατηγική μάρκετινγκ του εκάστοτε προϊόντος. Η διαφοροποίηση, ο υψηλός επιπέδου σχεδιασμός και η συμπαγής κατασκευή αποτελούν το συγκριτικό τους πλεονέκτημα, προβάλλοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος.</p>
	<ul style="list-style-type: none">• Tubes <p>• Οι χάρτινοι κυλινδρικοί περιέκτες είναι μια πρωτότυπη συσκευασία για τρόφιμα και ποτά. Χαρακτηρίζονται ως οικολογική και ανακυκλώσιμη συσκευασία και έχουν δυνατότητα κλεισίματος στη βάση ή στο καπάκι με "easy open", λευκοσίδηρο, αλουμίνιο, πλαστικά πώματα και με χάρτινη μεμβράνη ή μεμβράνη αλουμινίου.</p>
	<ul style="list-style-type: none">• Press Tray <p>• Ειδικά σχεδιασμένα για τρόφιμα και έτοιμα φαγητά που πρόκειται να καταψυχθούν, να μαγειρευτούν, να αναθερμανθούν ή και να καταναλωθούν μέσα στη συσκευασία τους. Έχουν ειδικές προδιαγραφές υγιεινής και αντοχή σε θερμοκρασίες κατάψυξης και θέρμανσης. Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα.</p>
	<ul style="list-style-type: none">• POPs <p>• Καλύπτουν όλες τις ανάγκες προώθησης διαφόρων κατηγοριών προϊόντων στα σημεία πώλησης. Κατασκευάζονται με ειδικές προδιαγραφές ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Με την παράλληλη χρησιμοποίηση υλικών όπως ξύλο, μέταλλο, πlexi τοποθετούνται σε σουπερμάρκετ, φαρμακεία, εμπορικά καταστήματα, κάβες, κλπ.</p>

Σχήμα 5: Κατηγορίες Τελικών Προϊόντων

3.3 Εκτέλεση αλγορίθμου PSO

Θεωρούμε μία στιγμή με τις εξής παραγγελίες προς εκτέλεση:

A/A	ΕΡΓΑΣΙΕΣ
1	Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)
2	Καπάκι για press tray 850gr
3	Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)
4	Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία
5	Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)
6	Κουτί κωνικό
7	Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέρασμα)- κολλημένο
8	Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)
9	Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)
10	Κουτί με χρυσοτυπία
11	Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη
12	Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) – κολλημένο
13	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία
14	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
15	Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση
16	Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο
17	Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση
18	Κουτί κωνικό με παράθυρο
19	Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
20	Κουτί

Οι 20 παραγγελίες προς εκτέλεση έχουν διαφορετικά στάδια επεξεργασίας και διαφορετικές ποσότητες. Έστω ότι οι ποσότητες των παραγγελιών είναι οι ακόλουθες:

A/A	ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕ Σ
1	Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)	60.000
2	Καπάκι για press tray 850gr	80.000
3	Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)	90.000
4	Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία	70.000
5	Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)	50.000
6	Κουτί κωνικό	60.000
7	Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέρασμα)- κολλημένο	40.000
8	Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)	50.000
9	Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)	70.000
10	Κουτί με χρυσοτυπία	20.000
11	Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη	40.000
12	Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο	30.000
13	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία	50.000
14	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα	30.000
15	Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση	20.000
16	Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο	35.000
17	Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση	40.000
18	Κουτί κωνικό με παράθυρο	20.000
19	Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα	35.000
20	Κουτί	20.000

Πρέπει να συμπεριληφθεί ο παράγοντας φθοράς που στο τομέα της χάρτινης συσκευασίας υπολογίζεται εμπειρικά περίπου στο 5%. Όταν η ποσότητα της παραγγελίας που είναι προς παράδοση είναι πχ. 20.000 τμχ., πρέπει να μετατραπεί σε φύλλα, (ανάλογα με την διάσταση του κουτιού και τη διάσταση του φύλλου). Στα φύλλα που θα υπολογισθούν να προσθέσουμε την φθορά ώστε να καταλήξουμε στην Α΄ ύλη που θα επεξεργαστούμε.

Για να υπολογίσουμε τους ρυθμούς με τους οποίους θα εκτελεστεί κάθε ένα στάδιο επεξεργασίας από τις μηχανές εισάγουμε τον ρυθμό παραγωγής ανά μηχανή. Τα στάδια επεξεργασίας είναι συνολικά 14:

A/A	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΡΥΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ(/ώρα)
1	Κοπή POLAR	5000 φύλλα/ώρα
2	Εκτύπωση	3.000 φύλλα/ώρα
3	Θερμοτυπία	900 φύλλα/ώρα
4	Πλαστικοποίηση	2.000 φύλλα/ώρα
5	Λαμινάρισμα 1	2.000 φύλλα/ώρα
6	Λαμινάρισμα 2	1.800 φύλλα/ώρα
7	Μορφοκοπή	2.000 φύλλα/ώρα
8	Πρέσα Gralex	900τμχ./ώρα
9	Παραθυροκόλληση	7.000 τμχ. /ώρα
10	Συρταροκόλληση	4.000 τμχ. /ώρα
11	Κωνική κόλληση	4.000 τμχ./ώρα
12	Παλετοποίηση	≈ 3 ώρες
13	Σήμανση	≈ 2 ώρες
14	Αποστολή	≈ 4 ώρες

Γνωρίζοντας τους ρυθμούς παραγωγής κάθε μηχανής, μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί κάθε στάδιο παραγωγής των 20 παραγγελιών προς εκτέλεση. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που παρουσιάζει το χρόνο (χρονικές μονάδες) ανά επεξεργασία:

A/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Κοπή POLAR	3,15			4,90		2,52		5,25			4,20		1,75		2,10			1,05		
Εκτύπωση	5,25	7,00	15,75	8,17	4,38	4,20	7,00	8,75	6,13	0,88	7,00	2,10	2,92	1,31		2,45	4,67	1,75	2,04	2,33
Θερμοτυπία				27,22						2,92			9,72	4,38		8,17			6,81	
Πλαστικοποίηση								13,13	9,19				4,38	1,97	5,25		7,00			
Λαμινάρισμα 1							10,50				10,50	3,15		1,97		3,68			3,06	3,50
Λαμινάρισμα 2												3,50								
Μορφοκοπή	7,88	10,50	23,63	12,25	6,56	6,30	10,50	13,13	9,19	1,31	10,50	3,15	4,38	1,97	5,25	3,68	7,00	2,63	3,06	3,50
Πρέσα Gralex	70,00		105,00																	
Παραθυροκόλληση					26,25											5,25	6,00	3,00		
Συρταροκόλληση							10,50		18,38			7,88		7,88		9,19		5,25		5,25
Κωνική κόλληση						3,15									5,25			5,25	9,19	
Παλετοποίηση	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Σήμανση	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Αποστολή	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

3.3.1 Σειρά Εκτέλεση Εργασιών ανά Παραγγελία

Στη βιομηχανία χάρτινης συσκευασίας τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν προέρχονται από διαφορετικές επεξεργασίες. Δηλαδή οι 20 παραγγελίες που έχουμε προς εκτέλεση θα περάσουν από διαφορετικά στάδια παραγωγής. Επομένως έχουμε ότι:

Παραγγελία 1:



Παραγγελία 2:



Παραγγελία 3:



Παραγγελία 4:



Παραγγελία 5:



Παραγγελία 6:



Παραγγελία 7:



Παραγγελία 8:



Παραγγελία 9:



Παραγγελία 10:



Παραγγελία 11:



Παραγγελία 12:



Παραγγελία 13:



Παραγγελία 14:



Παραγγελία 15:



Παραγγελία 16:



Παραγγελία 17:



Παραγγελία 18:



Παραγγελία 19:



Παραγγελία 20:



Για να κάνουμε χρήση του αλγόριθμου πρέπει να τον αρχικοποιήσουμε με μία τυχαία σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών. Η σειρά που επιλέγουμε είναι η εξής:

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20.

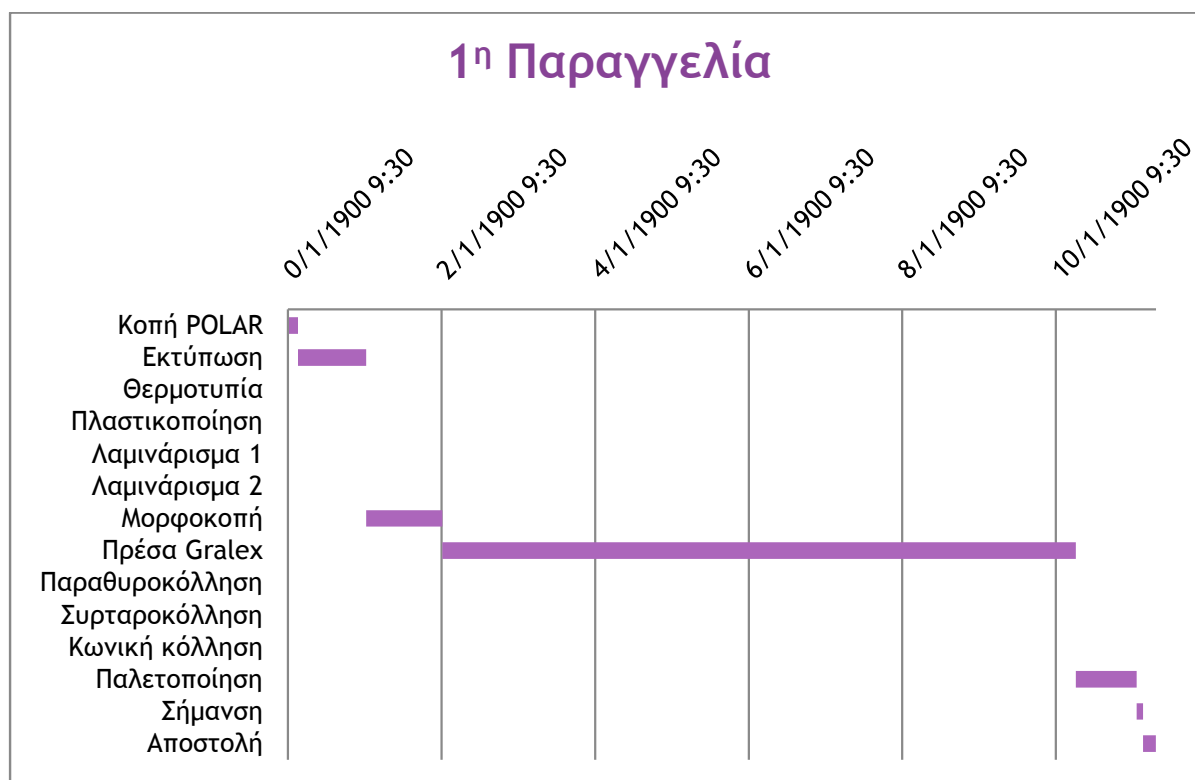
Δηλαδή η σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών είναι η ακόλουθη:

A/A	ΕΡΓΑΣΙΕΣ
1	Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)
2	Καπάκι για press tray 850gr
3	Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)
4	Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία
5	Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)
6	Κουτί κωνικό
7	Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέρασμα)- κολλημένο
8	Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)
9	Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)
10	Κουτί με χρυσοτυπία
11	Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη
12	Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο
13	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία
14	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
15	Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση
16	Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο
17	Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση
18	Κουτί κωνικό με παράθυρο
19	Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
20	Κουτί

3.3.2 Αρχικοποίηση

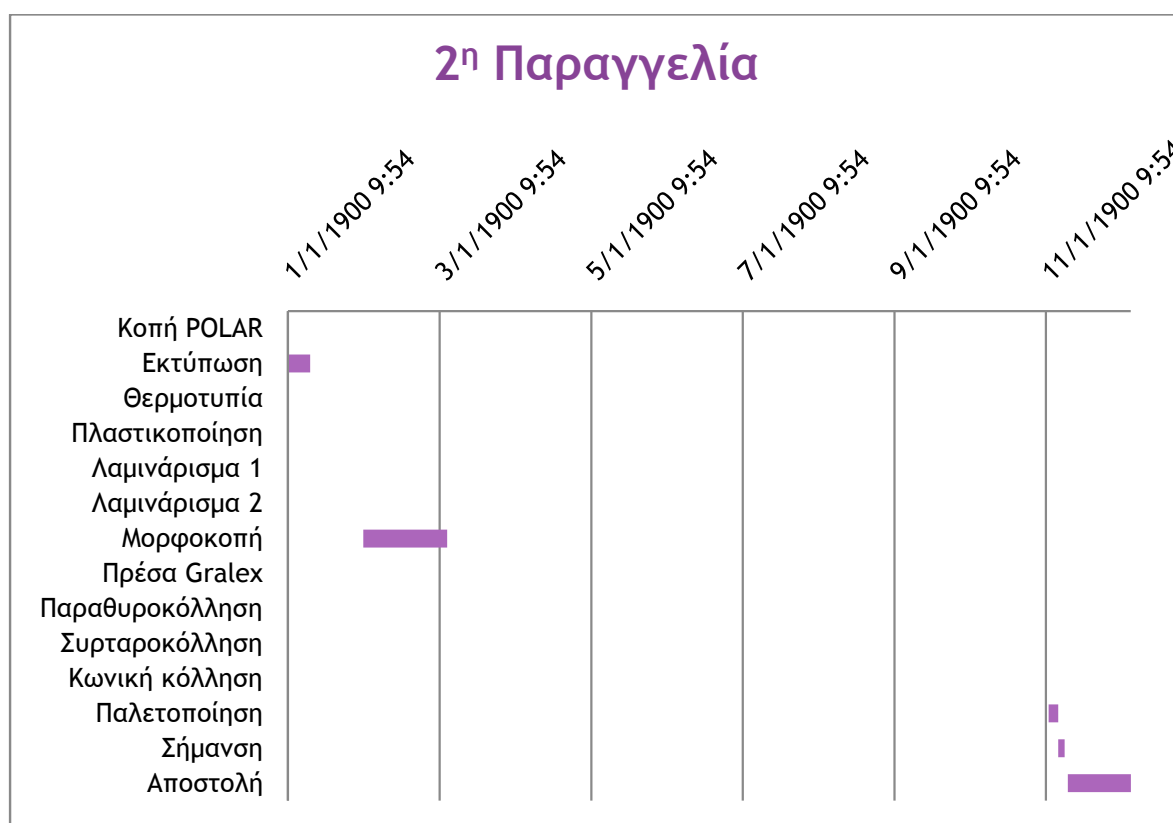
Παραγγελία 1: Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)

1 ^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 9:30	3:09:00	0/1/1900 12:39
A2	Εκτύπωση	0/1/1900 12:39	21:15:00	1/1/1900 9:54
A3	Θερμοτυπία	1/1/1900 9:54	0:00:00	1/1/1900 9:54
A4	Πλαστικοποίηση	1/1/1900 9:54	0:00:00	1/1/1900 9:54
A5	Λαμινάρισμα 1	1/1/1900 9:54	0:00:00	1/1/1900 9:54
A6	Λαμινάρισμα 2	1/1/1900 9:54	0:00:00	1/1/1900 9:54
A7	Μορφοκοπή	1/1/1900 9:54	23:52:30	2/1/1900 9:46
A8	Πρέσα Gralex	2/1/1900 9:46	198:00:00	10/1/1900 15:46
A9	Παραθυροκόλληση	10/1/1900 15:46	0:00:00	10/1/1900 15:46
A10	Συρταροκόλληση	10/1/1900 15:46	0:00:00	10/1/1900 15:46
A11	Κωνική κόλληση	10/1/1900 15:46	0:00:00	10/1/1900 15:46
A12	Παλετοποίηση	10/1/1900 15:46	19:00:00	11/1/1900 10:46
A13	Σήμανση	11/1/1900 10:46	2:00:00	11/1/1900 12:46
A14	Αποστολή	11/1/1900 12:46	4:00:00	11/1/1900 16:46



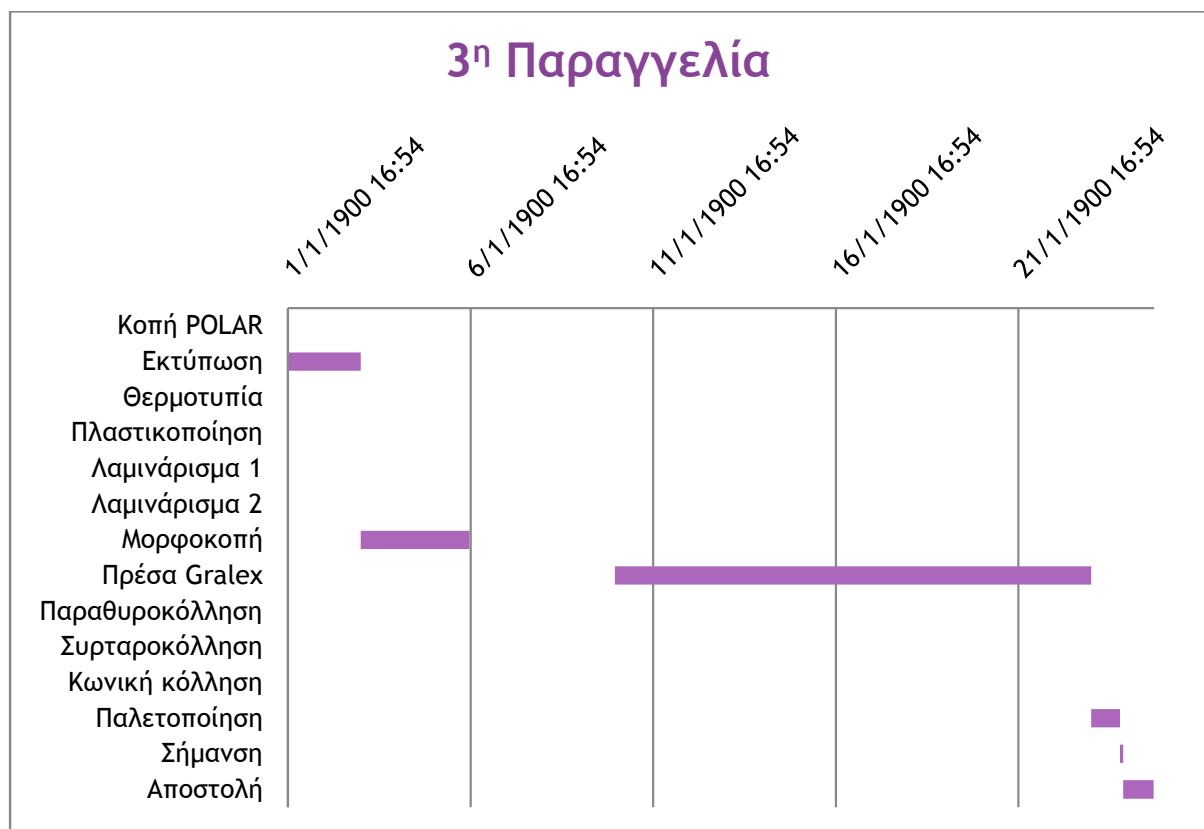
Παραγγελία 2: Καπάκι για press tray 850gr

2^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 9:54	0:00:00	1/1/1900 9:54
A2	Εκτύπωση	1/1/1900 9:54	7:00:00	1/1/1900 16:54
A3	Θερμοτυπία	1/1/1900 16:54	0:00:00	1/1/1900 16:54
A4	Πλαστικοποίηση	1/1/1900 16:54	0:00:00	1/1/1900 16:54
A5	Λαμινάρισμα 1	1/1/1900 16:54	0:00:00	1/1/1900 16:54
A6	Λαμινάρισμα 2	1/1/1900 16:54	0:00:00	1/1/1900 16:54
A7	Μορφοκοπή	2/1/1900 9:46	26:30:00	3/1/1900 12:16
A8	Πρέσα Gralex	3/1/1900 12:16	0:00:00	3/1/1900 12:16
A9	Παραθυροκόλληση	3/1/1900 12:16	0:00:00	3/1/1900 12:16
A10	Συρταροκόλληση	3/1/1900 12:16	0:00:00	3/1/1900 12:16
A11	Κωνική κόλληση	3/1/1900 12:16	0:00:00	3/1/1900 12:16
A12	Παλετοποίηση	11/1/1900 10:46	3:00:00	11/1/1900 13:46
A13	Σήμανση	11/1/1900 13:46	2:00:00	11/1/1900 15:46
A14	Αποστολή	11/1/1900 16:46	20:00:00	12/1/1900 12:46



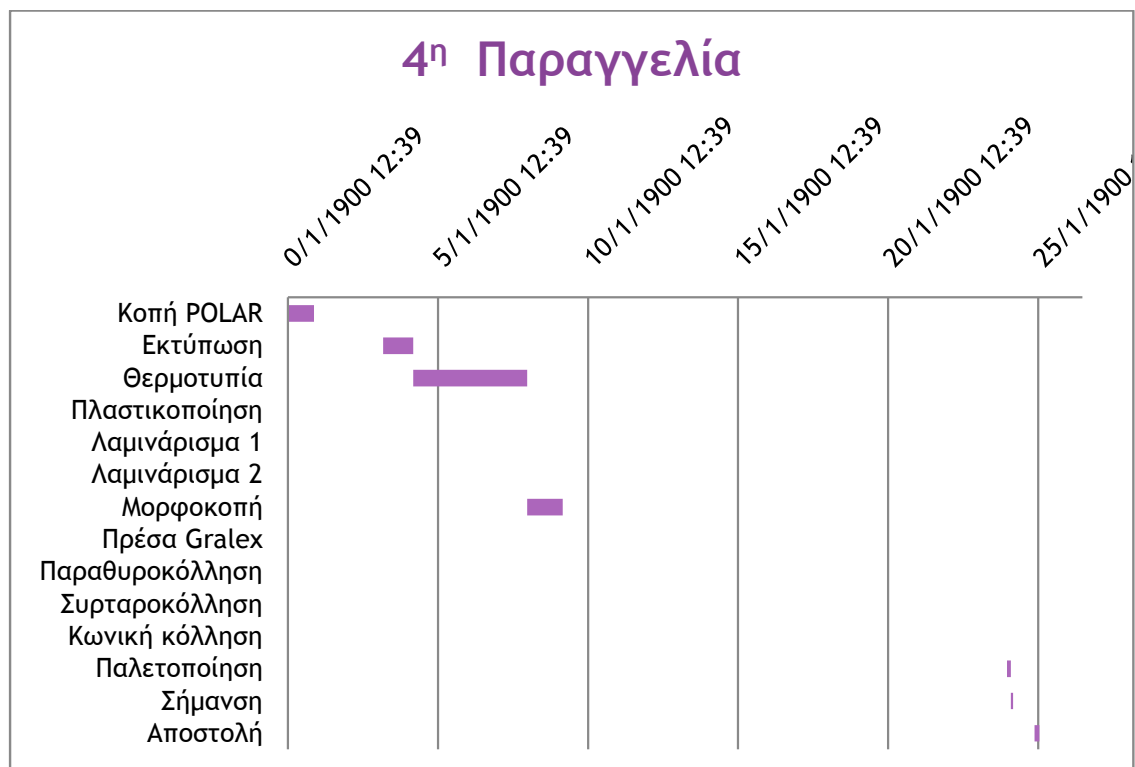
Παραγγελία 3: Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)

3^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 16:54	0:00:00	1/1/1900 16:54
A2	Εκτύπωση	1/1/1900 16:54	47:45:00	3/1/1900 16:39
A3	Θερμοτυπία	3/1/1900 16:39	0:00:00	3/1/1900 16:39
A4	Πλαστικοποίηση	3/1/1900 16:39	0:00:00	3/1/1900 16:39
A5	Λαμινάρισμα 1	3/1/1900 16:39	0:00:00	3/1/1900 16:39
A6	Λαμινάρισμα 2	3/1/1900 16:39	0:00:00	3/1/1900 16:39
A7	Μορφοκοπή	3/1/1900 16:39	71:37:30	6/1/1900 16:16
A8	Πρέσα Gralex	10/1/1900 15:46	313:00:00	23/1/1900 16:46
A9	Παραθυροκόλληση	23/1/1900 16:46	0:00:00	23/1/1900 16:46
A10	Συρταροκόλληση	23/1/1900 16:46	0:00:00	23/1/1900 16:46
A11	Κωνική κόλληση	23/1/1900 16:46	0:00:00	23/1/1900 16:46
A12	Παλετοποίηση	23/1/1900 16:46	19:00:00	24/1/1900 11:46
A13	Σήμανση	24/1/1900 11:46	2:00:00	24/1/1900 13:46
A14	Αποστολή	24/1/1900 13:46	20:00:00	25/1/1900 9:46



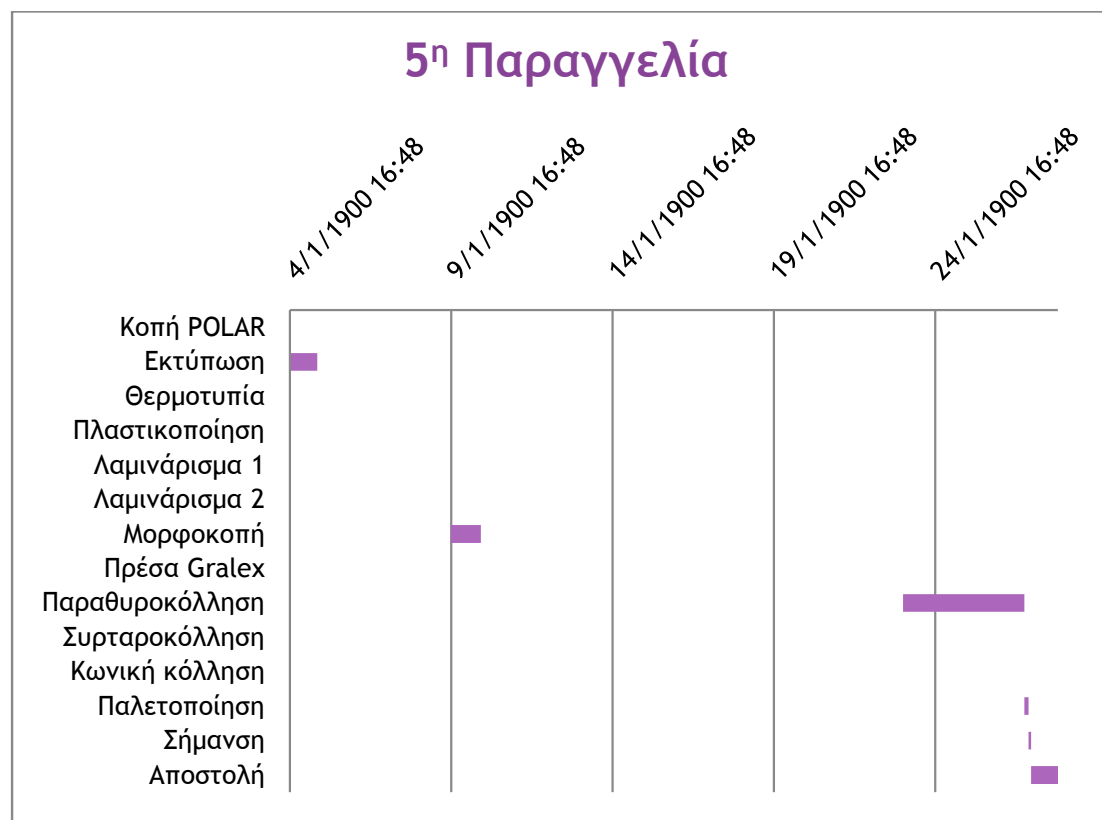
Παραγγελία 4: Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία

4^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 12:39	20:54:00	1/1/1900 9:33
A2	Εκτύπωση	3/1/1900 16:39	24:10:00	4/1/1900 16:49
A3	Θερμοτυπία	4/1/1900 16:49	91:13:20	8/1/1900 12:02
A4	Πλαστικοποίηση	8/1/1900 12:02	0:00:00	8/1/1900 12:02
A5	Λαμινάρισμα 1	8/1/1900 12:02	0:00:00	8/1/1900 12:02
A6	Λαμινάρισμα 2	8/1/1900 12:02	0:00:00	8/1/1900 12:02
A7	Μορφοκοπή	8/1/1900 12:02	28:15:00	9/1/1900 16:17
A8	Πρέσα Gralex	9/1/1900 16:17	0:00:00	9/1/1900 16:17
A9	Παραθυροκόλληση	9/1/1900 16:17	0:00:00	9/1/1900 16:17
A10	Συρταροκόλληση	9/1/1900 16:17	0:00:00	9/1/1900 16:17
A11	Κωνική κόλληση	9/1/1900 16:17	0:00:00	9/1/1900 16:17
A12	Παλετοποίηση	24/1/1900 11:46	3:00:00	24/1/1900 14:46
A13	Σήμανση	24/1/1900 14:46	2:00:00	24/1/1900 16:46
A14	Αποστολή	25/1/1900 9:46	4:00:00	25/1/1900 13:46



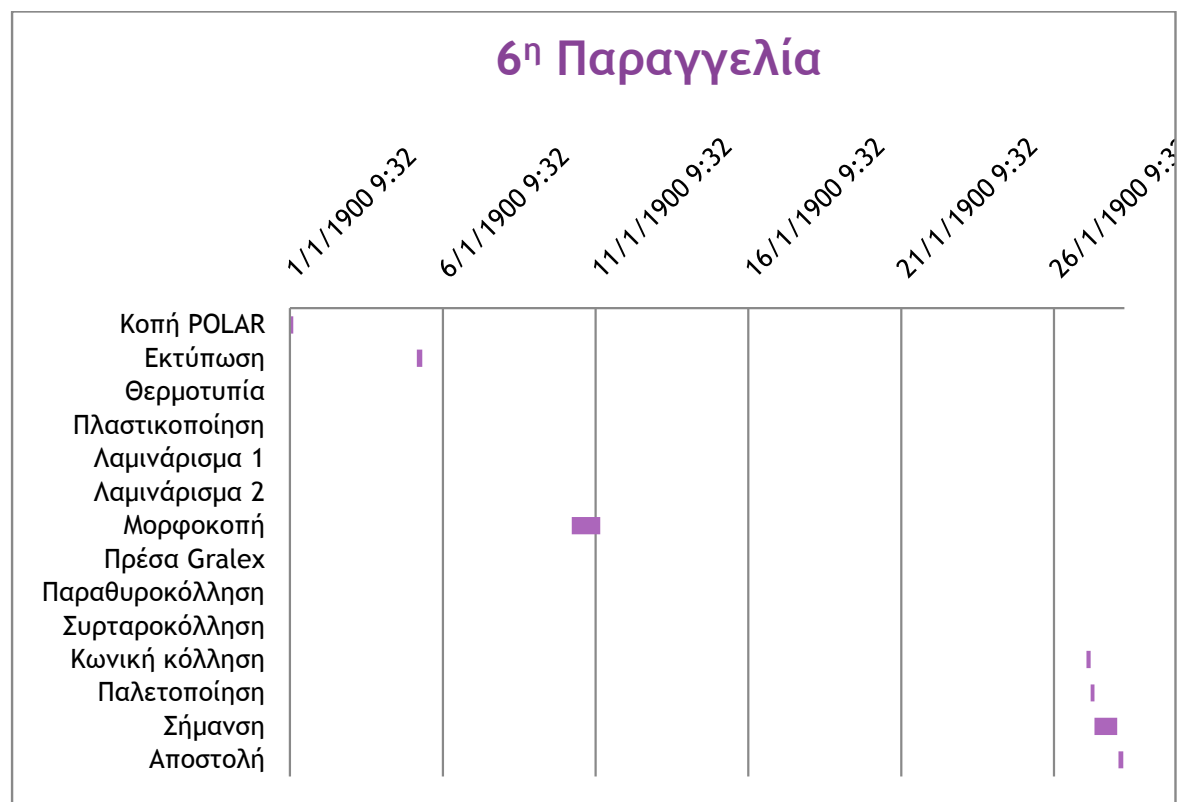
Παραγγελία 5: Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)

5^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	4/1/1900 16:49	0:00:00	4/1/1900 16:49
A2	Εκτύπωση	4/1/1900 16:49	20:22:30	5/1/1900 13:11
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 13:11	0:00:00	5/1/1900 13:11
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 13:11	0:00:00	5/1/1900 13:11
A5	Λαμινάρισμα 1	5/1/1900 13:11	0:00:00	5/1/1900 13:11
A6	Λαμινάρισμα 2	5/1/1900 13:11	0:00:00	5/1/1900 13:11
A7	Μορφοκοπή	9/1/1900 16:17	22:33:45	10/1/1900 14:51
A8	Πρέσα Gralex	10/1/1900 14:51	0:00:00	10/1/1900 14:51
A9	Παραθυροκόλληση	23/1/1900 16:46	90:15:00	27/1/1900 11:01
A10	Συρταροκόλληση	27/1/1900 11:01	0:00:00	27/1/1900 11:01
A11	Κωνική κόλληση	27/1/1900 11:01	0:00:00	27/1/1900 11:01
A12	Παλετοποίηση	27/1/1900 11:01	3:00:00	27/1/1900 14:01
A13	Σήμανση	27/1/1900 14:01	2:00:00	27/1/1900 16:01
A14	Αποστολή	27/1/1900 16:01	20:00:00	28/1/1900 12:01



Παραγγελία 6: Κουτί κωνικό

6^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 9:33	2:31:12	1/1/1900 12:04
A2	Εκτύπωση	5/1/1900 13:11	4:12:00	5/1/1900 17:23
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 17:23	0:00:00	5/1/1900 17:23
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 17:23	0:00:00	5/1/1900 17:23
A5	Λαμινάρισμα 1	5/1/1900 17:23	0:00:00	5/1/1900 17:23
A6	Λαμινάρισμα 2	5/1/1900 17:23	0:00:00	5/1/1900 17:23
A7	Μορφοκοπή	10/1/1900 14:51	22:18:00	11/1/1900 13:09
A8	Πρέσα Gralex	11/1/1900 13:09	0:00:00	11/1/1900 13:09
A9	Παραθυροκόλληση	11/1/1900 13:09	0:00:00	11/1/1900 13:09
A10	Συρταροκόλληση	11/1/1900 13:09	0:00:00	11/1/1900 13:09
A11	Κωνική κόλληση	27/1/1900 11:01	3:09:00	27/1/1900 14:10
A12	Παλετοποίηση	27/1/1900 14:10	3:00:00	27/1/1900 17:10
A13	Σήμανση	27/1/1900 17:10	18:00:00	28/1/1900 11:10
A14	Αποστολή	28/1/1900 12:01	4:00:00	28/1/1900 16:01



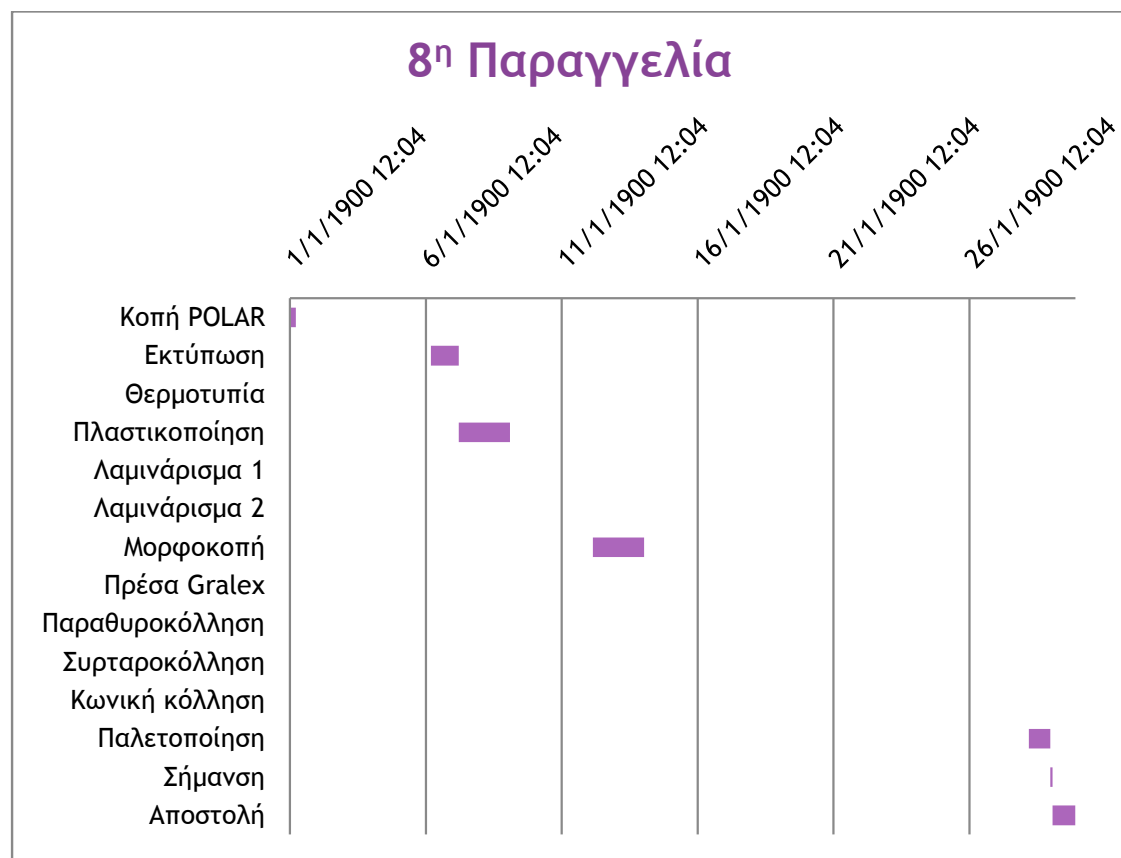
Παραγγελία 7: Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέρασμα)- κολλημένο

7^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	5/1/1900 17:23	0:00:00	5/1/1900 17:23
A2	Εκτύπωση	5/1/1900 17:23	23:00:00	6/1/1900 16:23
A3	Θερμοτυπία	6/1/1900 16:23	0:00:00	6/1/1900 16:23
A4	Πλαστικοποίηση	6/1/1900 16:23	0:00:00	6/1/1900 16:23
A5	Λαμινάρισμα 1	8/1/1900 12:02	26:30:00	9/1/1900 14:32
A6	Λαμινάρισμα 2	9/1/1900 14:32	0:00:00	9/1/1900 14:32
A7	Μορφοκοπή	11/1/1900 13:09	26:30:00	12/1/1900 15:39
A8	Πρέσα Gralex	12/1/1900 15:39	0:00:00	12/1/1900 15:39
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 15:39	0:00:00	12/1/1900 15:39
A10	Συρταροκόλληση	27/1/1900 11:01	26:30:00	28/1/1900 13:31
A11	Κωνική κόλληση	28/1/1900 13:31	0:00:00	28/1/1900 13:31
A12	Παλετοποίηση	28/1/1900 13:31	3:00:00	28/1/1900 16:31
A13	Σήμανση	28/1/1900 16:31	18:00:00	29/1/1900 10:31
A14	Αποστολή	29/1/1900 10:31	4:00:00	29/1/1900 14:31



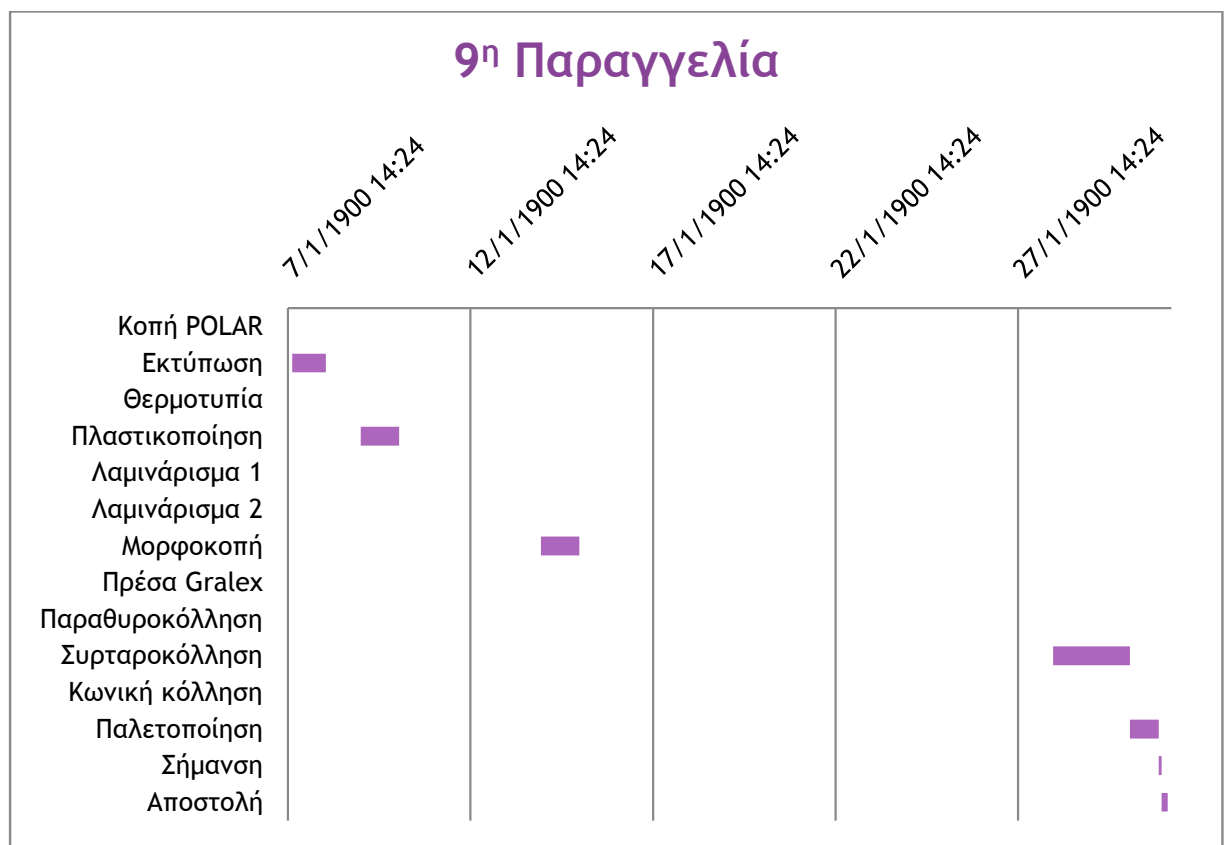
Παραγγελία 8: Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)

8^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 12:04	5:15:00	1/1/1900 17:19
A2	Εκτύπωση	6/1/1900 16:23	24:45:00	7/1/1900 17:08
A3	Θερμοτυπία	7/1/1900 17:08	0:00:00	7/1/1900 17:08
A4	Πλαστικοποίηση	7/1/1900 17:08	45:07:30	9/1/1900 14:16
A5	Λαμινάρισμα 1	9/1/1900 14:16	0:00:00	9/1/1900 14:16
A6	Λαμινάρισμα 2	9/1/1900 14:16	0:00:00	9/1/1900 14:16
A7	Μορφοκοπή	12/1/1900 15:39	45:07:30	14/1/1900 12:46
A8	Πρέσα Gralex	14/1/1900 12:46	0:00:00	14/1/1900 12:46
A9	Παραθυροκόλληση	14/1/1900 12:46	0:00:00	14/1/1900 12:46
A10	Συρταροκόλληση	14/1/1900 12:46	0:00:00	14/1/1900 12:46
A11	Κωνική κόλληση	14/1/1900 12:46	0:00:00	14/1/1900 12:46
A12	Παλετοποίηση	28/1/1900 16:31	19:00:00	29/1/1900 11:31
A13	Σήμανση	29/1/1900 11:31	2:00:00	29/1/1900 13:31
A14	Αποστολή	29/1/1900 13:31	20:00:00	30/1/1900 9:31



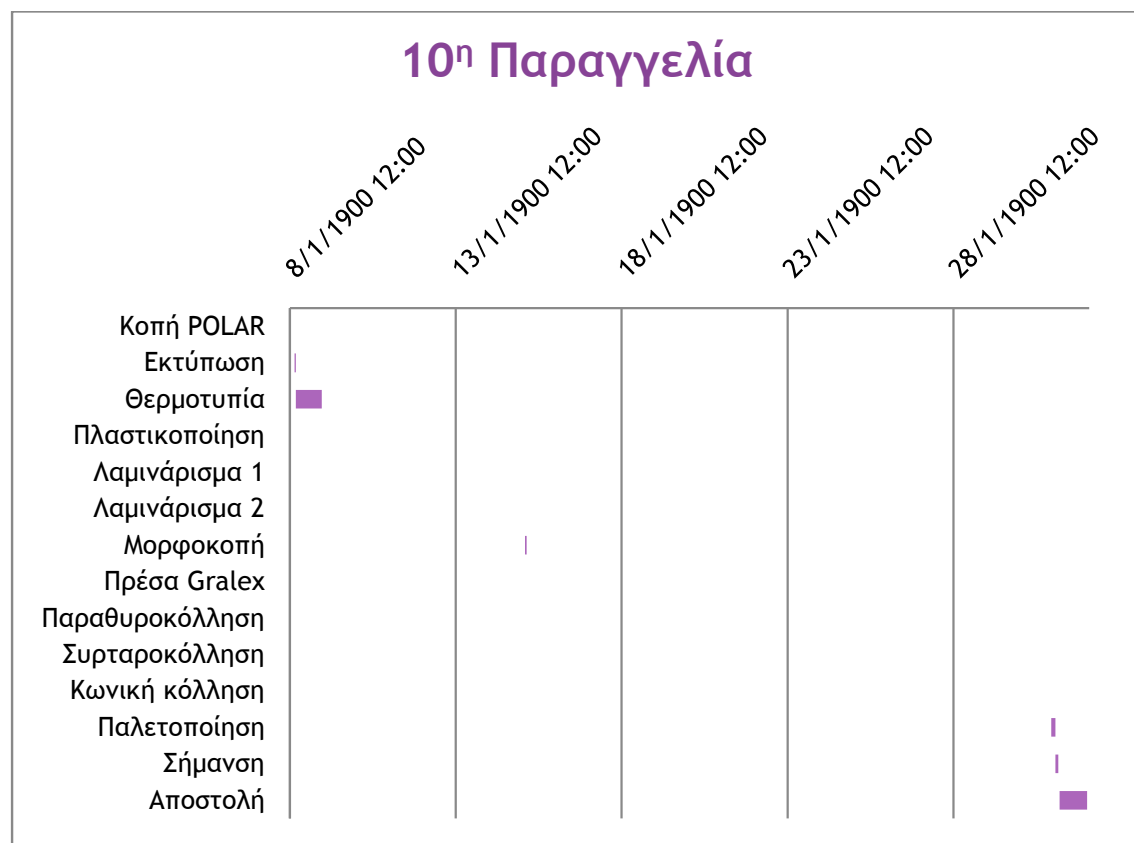
Παραγγελία 9: Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)

9^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	7/1/1900 17:08	0:00:00	7/1/1900 17:08
A2	Εκτύπωση	7,714236111	22:07:30	8/1/1900 15:16
A3	Θερμοτυπία	8/1/1900 15:16	0:00:00	8/1/1900 15:16
A4	Πλαστικοποίηση	9/1/1900 14:16	25:11:15	10/1/1900 15:27
A5	Λαμινάρισμα 1	10/1/1900 15:27	0:00:00	10/1/1900 15:27
A6	Λαμινάρισμα 2	10/1/1900 15:27	0:00:00	10/1/1900 15:27
A7	Μορφοκοπή	14/1/1900 12:46	25:11:15	15/1/1900 13:57
A8	Πρέσα Gralex	15/1/1900 13:57	0:00:00	15/1/1900 13:57
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 13:57	0:00:00	15/1/1900 13:57
A10	Συρταροκόλληση	28/1/1900 13:31	50:22:30	30/1/1900 15:54
A11	Κωνική κόλληση	30/1/1900 15:54	0:00:00	30/1/1900 15:54
A12	Παλετοποίηση	30/1/1900 15:54	19:00:00	31/1/1900 10:54
A13	Σήμανση	31/1/1900 10:54	2:00:00	31/1/1900 12:54
A14	Αποστολή	31/1/1900 12:54	4:00:00	31/1/1900 16:54



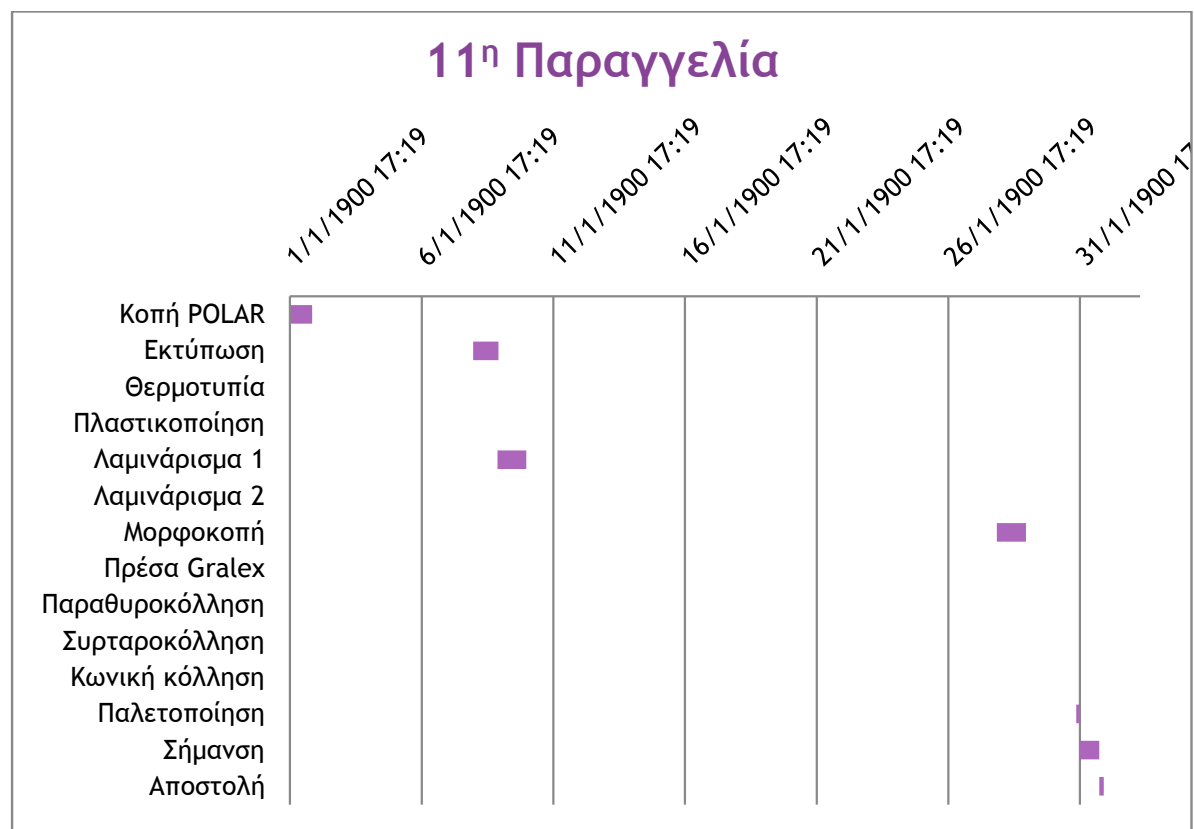
Παραγγελία 10: Κουτί με χρυσοτυπία

10^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	8/1/1900 15:16	0:00:00	8/1/1900 15:16
A2	Εκτύπωση	8/1/1900 15:16	0:52:30	8/1/1900 16:08
A3	Θερμοτυπία	8/1/1900 16:08	18:55:00	9/1/1900 11:03
A4	Πλαστικοποίηση	9/1/1900 11:03	0:00:00	9/1/1900 11:03
A5	Λαμινάρισμα 1	9/1/1900 11:03	0:00:00	9/1/1900 11:03
A6	Λαμινάρισμα 2	9/1/1900 11:03	0:00:00	9/1/1900 11:03
A7	Μορφοκοπή	15/1/1900 13:57	1:18:45	15/1/1900 15:16
A8	Πρέσα Gralex	15/1/1900 15:16	0:00:00	15/1/1900 15:16
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 15:16	0:00:00	15/1/1900 15:16
A10	Συρταροκόλληση	15/1/1900 15:16	0:00:00	15/1/1900 15:16
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 15:16	0:00:00	15/1/1900 15:16
A12	Παλετοποίηση	31/1/1900 10:54	3:00:00	31/1/1900 13:54
A13	Σήμανση	31/1/1900 13:54	2:00:00	31/1/1900 15:54
A14	Αποστολή	31/1/1900 16:54	20:00:00	1/2/1900 12:54



Παραγγελία 11: Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη

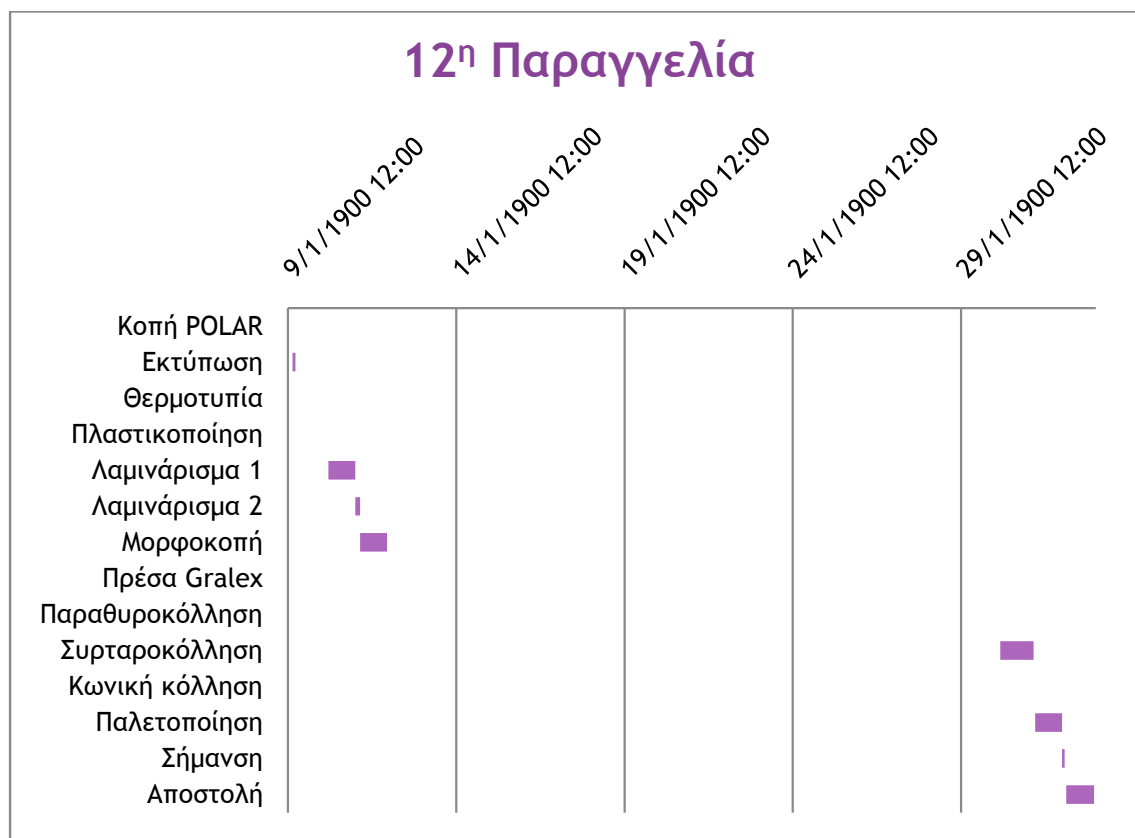
11^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 17:19	20:12:00	2/1/1900 13:31
A2	Εκτύπωση	8/1/1900 16:08	23:00:00	9/1/1900 15:08
A3	Θερμοτυπία	9/1/1900 15:08	0:00:00	9/1/1900 15:08
A4	Πλαστικοποίηση	9/1/1900 15:08	0:00:00	9/1/1900 15:08
A5	Λαμινάρισμα 1	9/1/1900 14:16	26:30:00	10/1/1900 16:46
A6	Λαμινάρισμα 2	10/1/1900 16:46	0:00:00	10/1/1900 16:46
A7	Μορφοκοπή	28/1/1900 13:31	26:30:00	29/1/1900 16:01
A8	Πρέσα Gralex	29/1/1900 16:01	0:00:00	29/1/1900 16:01
A9	Παραθυροκόλληση	29/1/1900 16:01	0:00:00	29/1/1900 16:01
A10	Συρταροκόλληση	29/1/1900 16:01	0:00:00	29/1/1900 16:01
A11	Κωνική κόλληση	29/1/1900 16:01	0:00:00	29/1/1900 16:01
A12	Παλετοποίηση	31/1/1900 13:54	3:00:00	31/1/1900 16:54
A13	Σήμανση	31/1/1900 16:54	18:00:00	1/2/1900 10:54
A14	Αποστολή	1/2/1900 10:54	4:00:00	1/2/1900 14:54



Παραγγελία 12: Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο

12η Παραγγελία

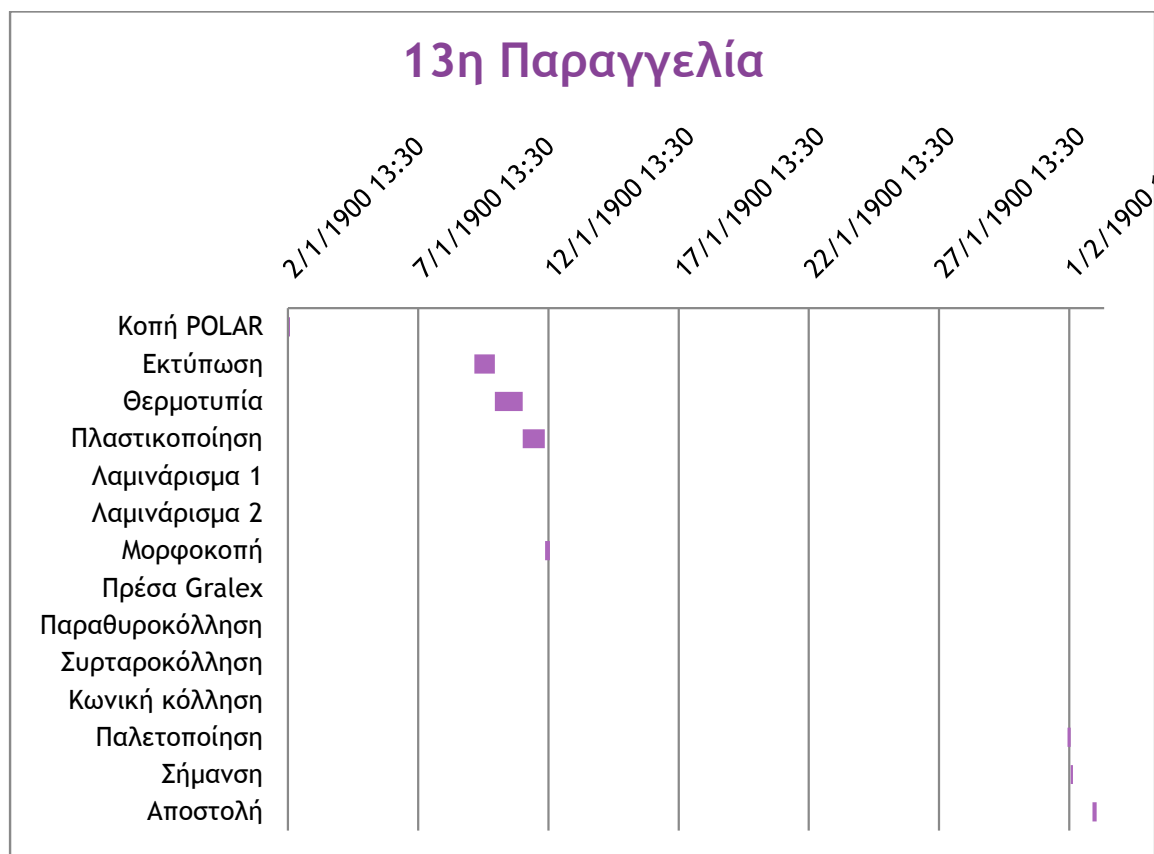
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	9/1/1900 15:08	0:00:00	9/1/1900 15:08
A2	Εκτύπωση	9/1/1900 15:08	2:06:00	9/1/1900 17:14
A3	Θερμοτυπία	9/1/1900 17:14	0:00:00	9/1/1900 17:14
A4	Πλαστικοποίηση	9/1/1900 17:14	0:00:00	9/1/1900 17:14
A5	Λαμινάρισμα 1	10/1/1900 16:46	19:09:00	11/1/1900 11:55
A6	Λαμινάρισμα 2	11/1/1900 11:55	3:30:00	11/1/1900 15:25
A7	Μορφοκοπή	11/1/1900 15:25	19:09:00	12/1/1900 10:34
A8	Πρέσα Gralex	12/1/1900 10:34	0:00:00	12/1/1900 10:34
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 10:34	0:00:00	12/1/1900 10:34
A10	Συρταροκόλληση	30/1/1900 15:54	23:52:30	31/1/1900 15:46
A11	Κωνική κόλληση	31/1/1900 15:46	0:00:00	31/1/1900 15:46
A12	Παλετοποίηση	31/1/1900 16:54	19:00:00	1/2/1900 11:54
A13	Σήμανση	1/2/1900 11:54	2:00:00	1/2/1900 13:54
A14	Αποστολή	1/2/1900 14:54	20:00:00	2/2/1900 10:54



Παραγγελία 13: Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία

13^η Παραγγελία

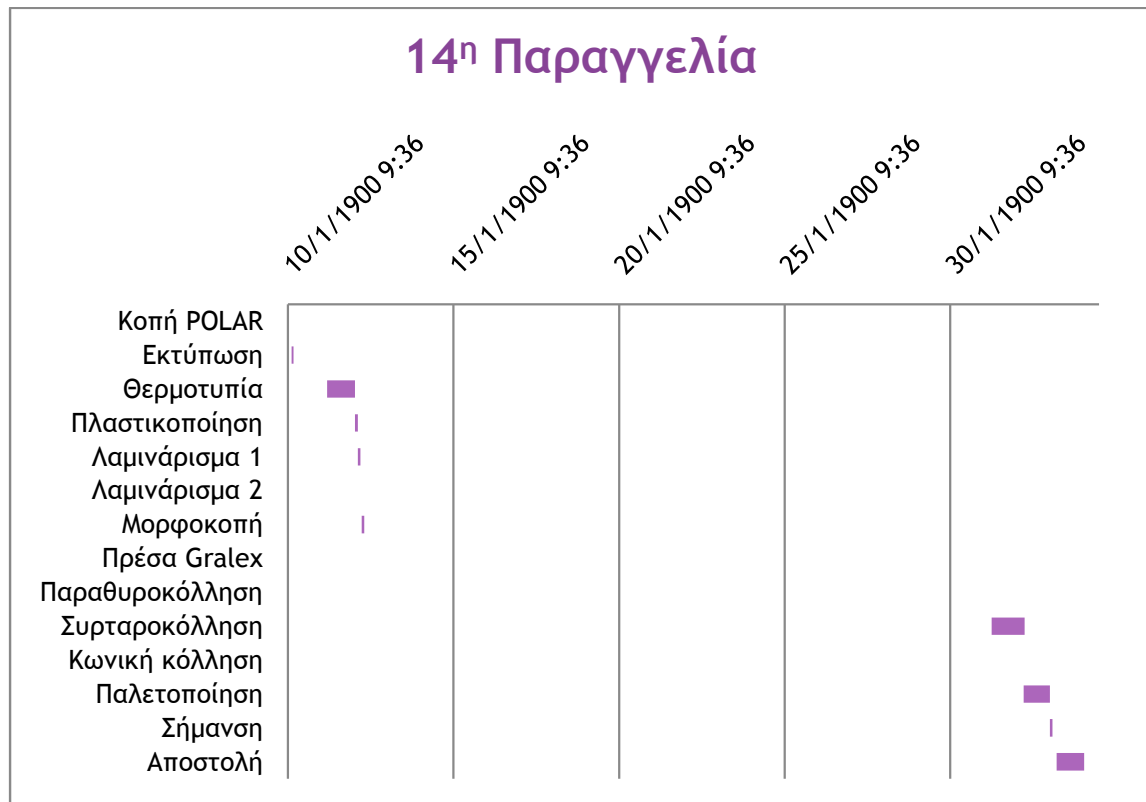
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	2/1/1900 13:31	1:45:00	2/1/1900 15:16
A2	Εκτύπωση	9/1/1900 17:14	18:55:00	10/1/1900 12:09
A3	Θερμοτυπία	10/1/1900 12:09	25:43:20	11/1/1900 13:52
A4	Πλαστικοποίηση	11/1/1900 13:52	20:22:30	12/1/1900 10:15
A5	Λαμινάρισμα 1	12/1/1900 10:15	0:00:00	12/1/1900 10:15
A6	Λαμινάρισμα 2	12/1/1900 10:15	0:00:00	12/1/1900 10:15
A7	Μορφοκοπή	12/1/1900 10:34	4:22:30	12/1/1900 14:56
A8	Πρέσα Gralex	12/1/1900 14:56	0:00:00	12/1/1900 14:56
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 14:56	0:00:00	12/1/1900 14:56
A10	Συρταροκόλληση	12/1/1900 14:56	0:00:00	12/1/1900 14:56
A11	Κωνική κόλληση	12/1/1900 14:56	0:00:00	12/1/1900 14:56
A12	Παλετοποίηση	1/2/1900 11:54	3:00:00	1/2/1900 14:54
A13	Σήμανση	1/2/1900 14:54	2:00:00	1/2/1900 16:54
A14	Αποστολή	2/2/1900 10:54	4:00:00	2/2/1900 14:54



Παραγγελία 14: Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα

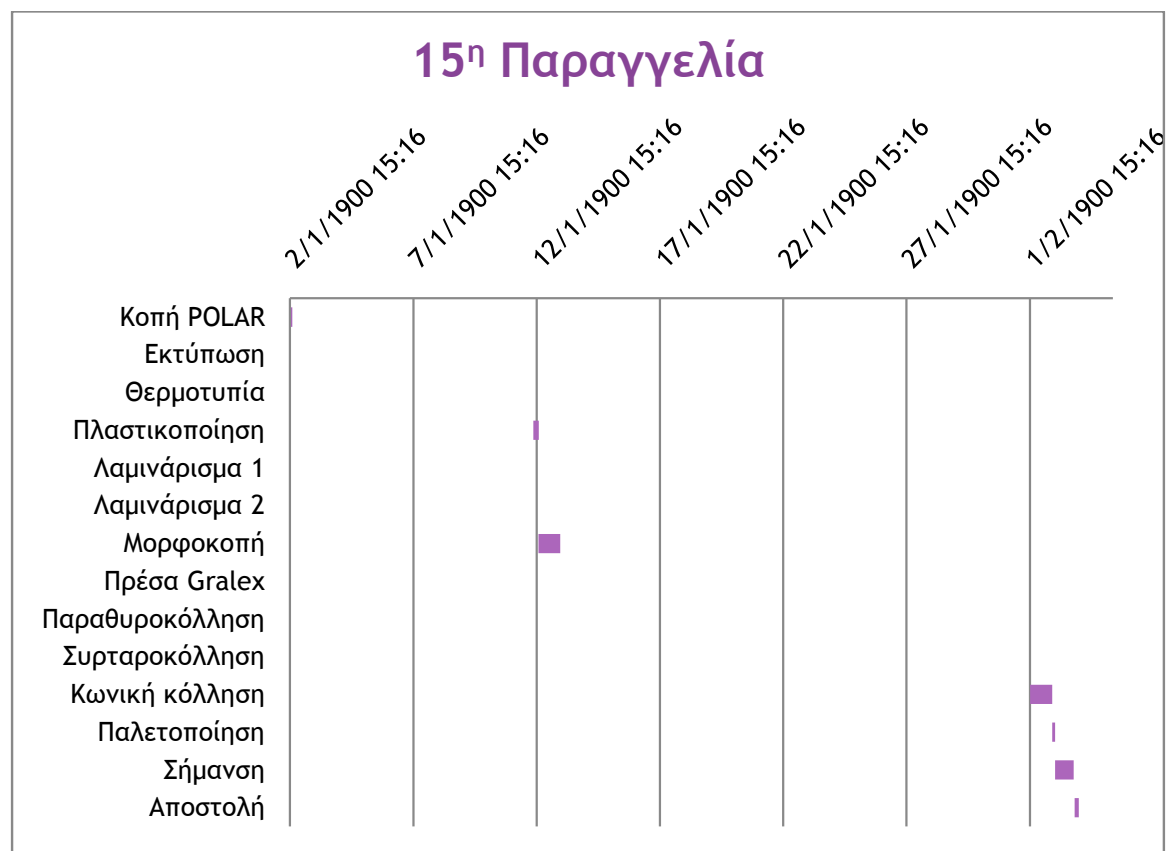
14^η Παραγγελία

A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	10/1/1900 12:09	0:00:00	10/1/1900 12:09
A2	Εκτύπωση	10,50659722	1:18:45	10/1/1900 13:28
A3	Θερμοτυπία	11/1/1900 13:52	20:22:30	12/1/1900 10:15
A4	Πλαστικοποίηση	12/1/1900 10:15	1:58:07	12/1/1900 12:13
A5	Λαμινάρισμα 1	12/1/1900 12:13	1:58:07	12/1/1900 14:11
A6	Λαμινάρισμα 2	12/1/1900 14:11	0:00:00	12/1/1900 14:11
A7	Μορφοκοπή	12/1/1900 14:56	1:58:07	12/1/1900 16:54
A8	Πρέσα Gralex	12/1/1900 16:54	0:00:00	12/1/1900 16:54
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 16:54	0:00:00	12/1/1900 16:54
A10	Συρταροκόλληση	31/1/1900 15:46	23:52:30	1/2/1900 15:39
A11	Κωνική κόλληση	1/2/1900 15:39	0:00:00	1/2/1900 15:39
A12	Παλετοποίηση	1/2/1900 14:54	19:00:00	2/2/1900 9:54
A13	Σήμανση	2/2/1900 9:54	2:00:00	2/2/1900 11:54
A14	Αποστολή	2/2/1900 14:54	20:00:00	3/2/1900 10:54



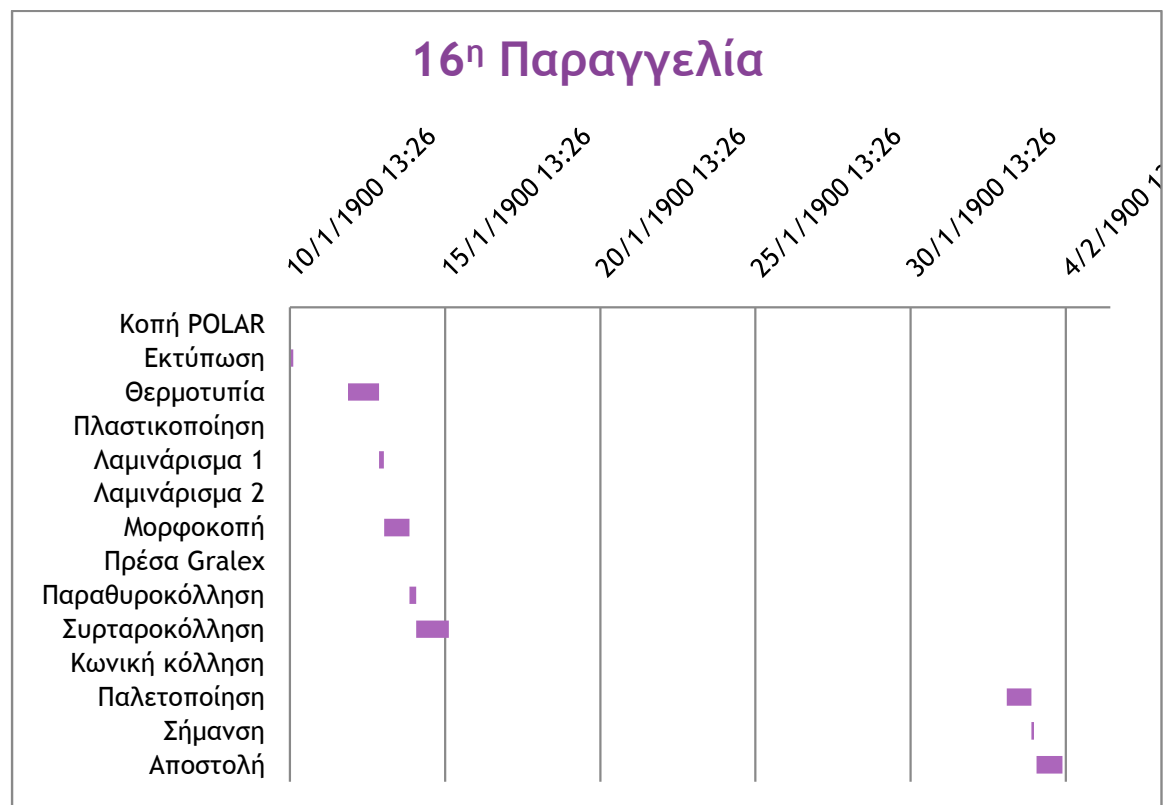
Παραγγελία 15: Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση

15 ^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	2/1/1900 15:16	2:06:00	2/1/1900 17:22
A2	Εκτύπωση	2/1/1900 17:22	0:00:00	2/1/1900 17:22
A3	Θερμοτυπία	2/1/1900 17:22	0:00:00	2/1/1900 17:22
A4	Πλαστικοποίηση	12/1/1900 12:13	5:14:59	12/1/1900 17:28
A5	Λαμινάρισμα 1	12/1/1900 17:28	0:00:00	12/1/1900 17:28
A6	Λαμινάρισμα 2	12/1/1900 17:28	0:00:00	12/1/1900 17:28
A7	Μορφοκοπή	12/1/1900 16:54	21:15:00	13/1/1900 14:09
A8	Πρέσα Gralex	13/1/1900 14:09	0:00:00	13/1/1900 14:09
A9	Παραθυροκόλληση	13/1/1900 14:09	0:00:00	13/1/1900 14:09
A10	Συρταροκόλληση	13/1/1900 14:09	0:00:00	13/1/1900 14:09
A11	Κωνική κόλληση	1/2/1900 15:39	21:15:00	2/2/1900 12:54
A12	Παλετοποίηση	2/2/1900 12:54	3:00:00	2/2/1900 15:54
A13	Σήμανση	2/2/1900 15:54	18:00:00	3/2/1900 9:54
A14	Αποστολή	3/2/1900 10:54	4:00:00	3/2/1900 14:54



Παραγγελία 16: Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο

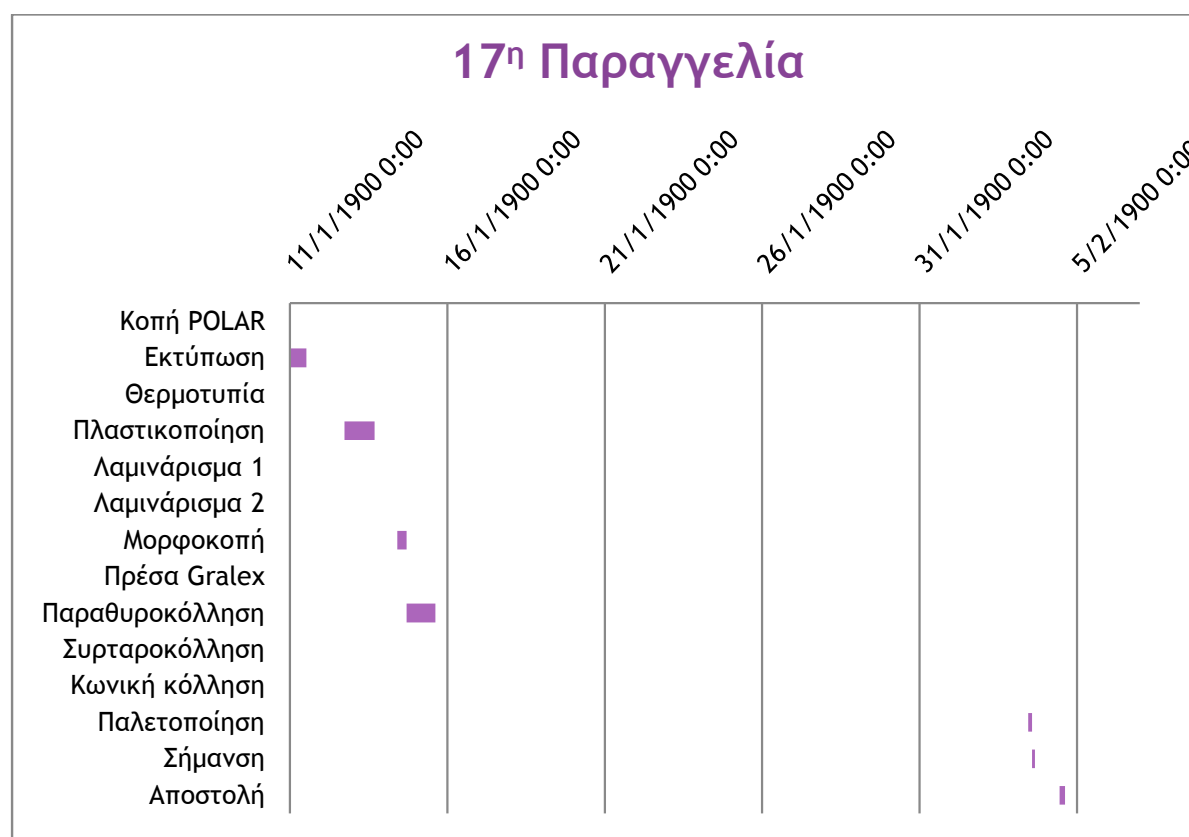
16 ^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	10/1/1900 13:28	0:00:00	10/1/1900 13:28
A2	Εκτύπωση	10/1/1900 13:28	2:27:00	10/1/1900 15:55
A3	Θερμοτυπία	12/1/1900 10:15	24:10:00	13/1/1900 10:25
A4	Πλαστικοποίηση	13/1/1900 10:25	0:00:00	13/1/1900 10:25
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 10:25	3:40:30	13/1/1900 14:05
A6	Λαμινάρισμα 2	13/1/1900 14:05	0:00:00	13/1/1900 14:05
A7	Μορφοκοπή	13/1/1900 14:09	19:40:30	14/1/1900 9:50
A8	Πρέσα Gralex	14/1/1900 9:50	0:00:00	14/1/1900 9:50
A9	Παραθυροκόλληση	14/1/1900 9:50	5:15:00	14/1/1900 15:05
A10	Συρταροκόλληση	14/1/1900 15:05	25:11:15	15/1/1900 16:16
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 16:16	0:00:00	15/1/1900 16:16
A12	Παλετοποίηση	2/2/1900 15:54	19:00:00	3/2/1900 10:54
A13	Σήμανση	3/2/1900 10:54	2:00:00	3/2/1900 12:54
A14	Αποστολή	3/2/1900 14:54	20:00:00	4/2/1900 10:54



Παραγγελία 17: Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση

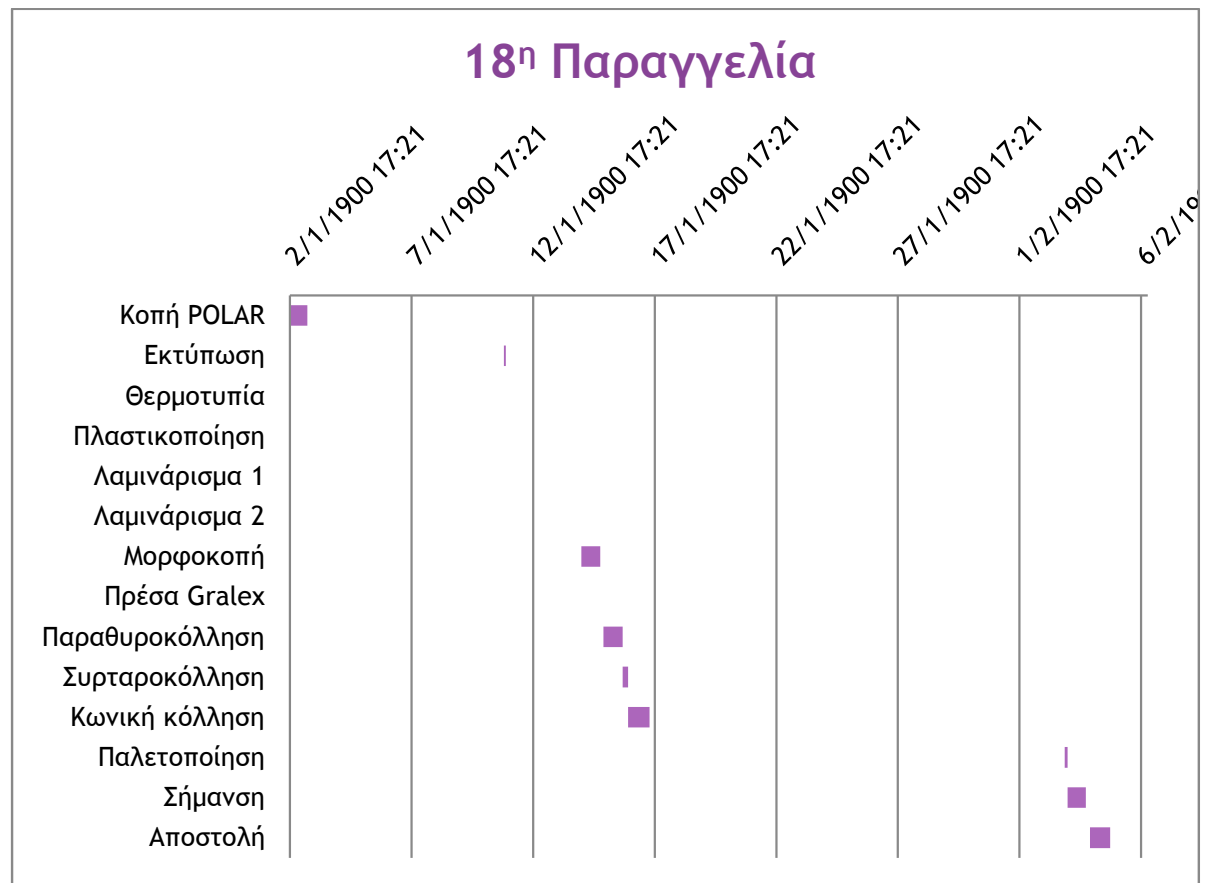
17^η Παραγγελία

A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	10/1/1900 15:55	0:00:00	10/1/1900 15:55
A2	Εκτύπωση	10,66336806	20:40:00	11/1/1900 12:35
A3	Θερμοτυπία	11/1/1900 12:35	0:00:00	11/1/1900 12:35
A4	Πλαστικοποίηση	12/1/1900 17:28	23:00:00	13/1/1900 16:28
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 16:28	0:00:00	13/1/1900 16:28
A6	Λαμινάρισμα 2	13/1/1900 16:28	0:00:00	13/1/1900 16:28
A7	Μορφοκοπή	14/1/1900 9:50	7:00:00	14/1/1900 16:50
A8	Πρέσα Gralex	14/1/1900 16:50	0:00:00	14/1/1900 16:50
A9	Παραθυροκόλληση	14/1/1900 16:50	22:00:00	15/1/1900 14:50
A10	Συρταροκόλληση	15/1/1900 14:50	0:00:00	15/1/1900 14:50
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 14:50	0:00:00	15/1/1900 14:50
A12	Παλετοποίηση	3/2/1900 10:54	3:00:00	3/2/1900 13:54
A13	Σήμανση	3/2/1900 13:54	2:00:00	3/2/1900 15:54
A14	Αποστολή	4/2/1900 10:54	4:00:00	4/2/1900 14:54



Παραγγελία 18: Κουτί κωνικό με παράθυρο

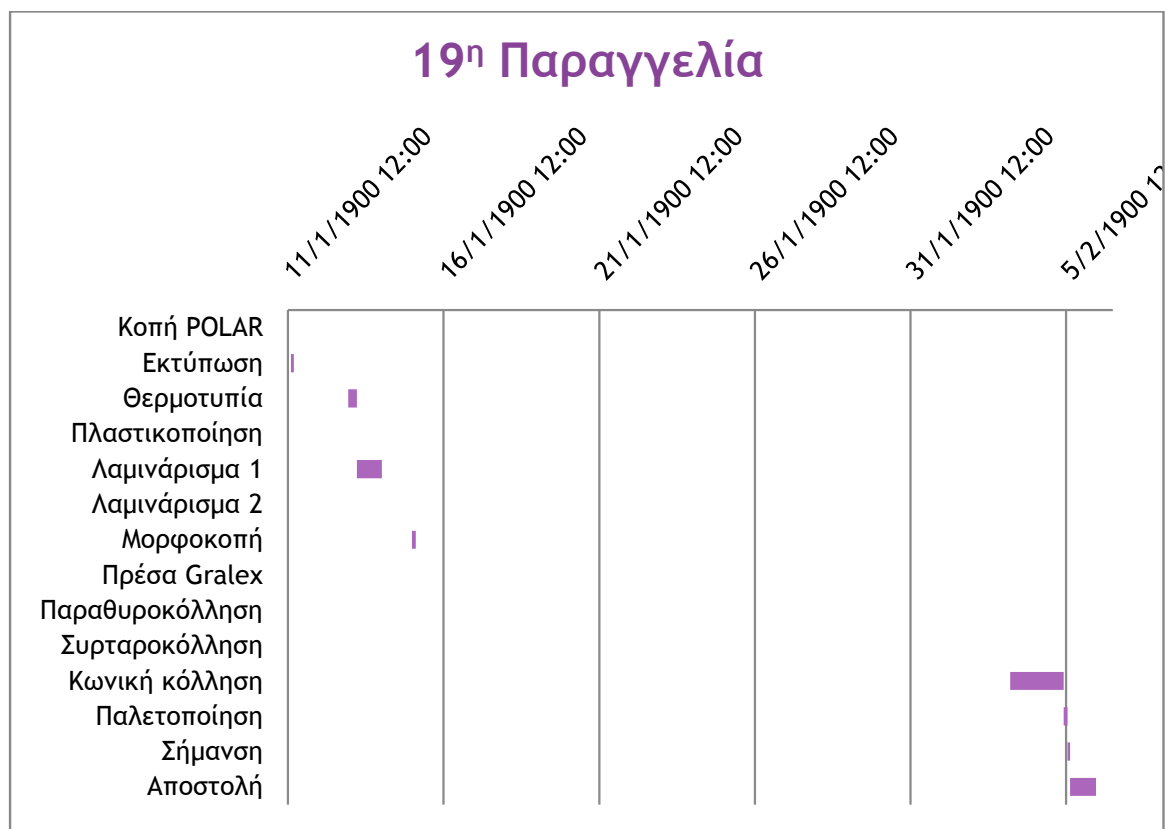
18^η Παραγγελία				
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	2/1/1900 17:22	17:03:00	3/1/1900 10:25
A2	Εκτύπωση	11/1/1900 12:35	1:45:00	11/1/1900 14:20
A3	Θερμοτυπία	11/1/1900 14:20	0:00:00	11/1/1900 14:20
A4	Πλαστικοποίηση	11/1/1900 14:20	0:00:00	11/1/1900 14:20
A5	Λαμινάρισμα 1	11/1/1900 14:20	0:00:00	11/1/1900 14:20
A6	Λαμινάρισμα 2	11/1/1900 14:20	0:00:00	11/1/1900 14:20
A7	Μορφοκοπή	14/1/1900 16:50	18:37:30	15/1/1900 11:27
A8	Πρέσα Gralex	15/1/1900 11:27	0:00:00	15/1/1900 11:27
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 14:50	19:00:00	16/1/1900 9:50
A10	Συρταροκόλληση	16/1/1900 9:50	5:15:00	16/1/1900 15:05
A11	Κωνική κόλληση	16/1/1900 15:05	21:15:00	17/1/1900 12:20
A12	Παλετοποίηση	3/2/1900 13:54	3:00:00	3/2/1900 16:54
A13	Σήμανση	3/2/1900 16:54	18:00:00	4/2/1900 10:54
A14	Αποστολή	4/2/1900 14:54	20:00:00	5/2/1900 10:54



Παραγγελία 19: Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα

19^η Παραγγελία

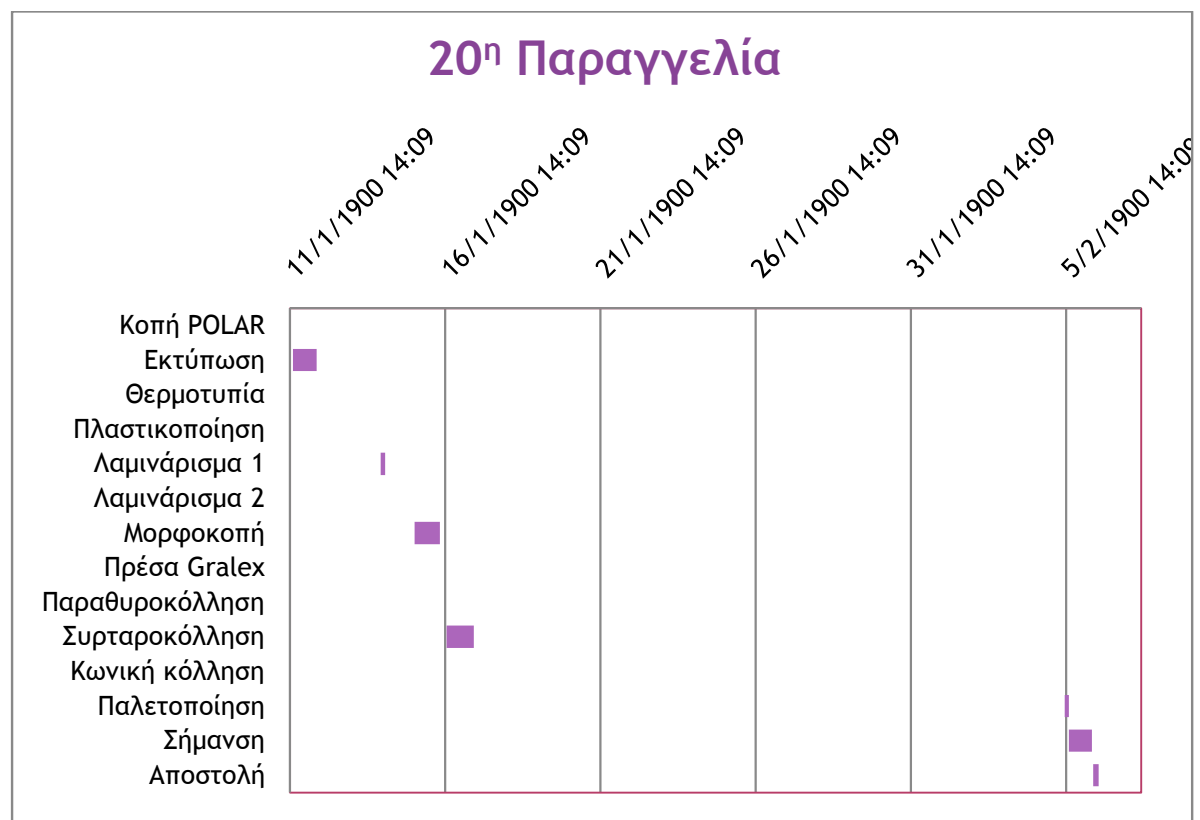
A/A		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	11/1/1900 14:20	0:00:00	11/1/1900 14:20
A2	Εκτύπωση	11/1/1900 14:20	2:02:30	11/1/1900 16:22
A3	Θερμοτυπία	13/1/1900 10:25	6:48:20	13/1/1900 17:13
A4	Πλαστικοποίηση	13/1/1900 17:13	0:00:00	13/1/1900 17:13
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 17:13	19:03:45	14/1/1900 12:17
A6	Λαμινάρισμα 2	14/1/1900 12:17	0:00:00	14/1/1900 12:17
A7	Μορφοκοπή	15/1/1900 11:27	3:03:45	15/1/1900 14:31
A8	Πρέσα Gralex	15/1/1900 14:31	0:00:00	15/1/1900 14:31
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 14:31	0:00:00	15/1/1900 14:31
A10	Συρταροκόλληση	15/1/1900 14:31	0:00:00	15/1/1900 14:31
A11	Κωνική κόλληση	3/2/1900 16:54	41:11:15	5/2/1900 10:05
A12	Παλετοποίηση	5/2/1900 10:05	3:00:00	5/2/1900 13:05
A13	Σήμανση	5/2/1900 13:05	2:00:00	5/2/1900 15:05
A14	Αποστολή	5/2/1900 15:05	20:00:00	6/2/1900 11:05

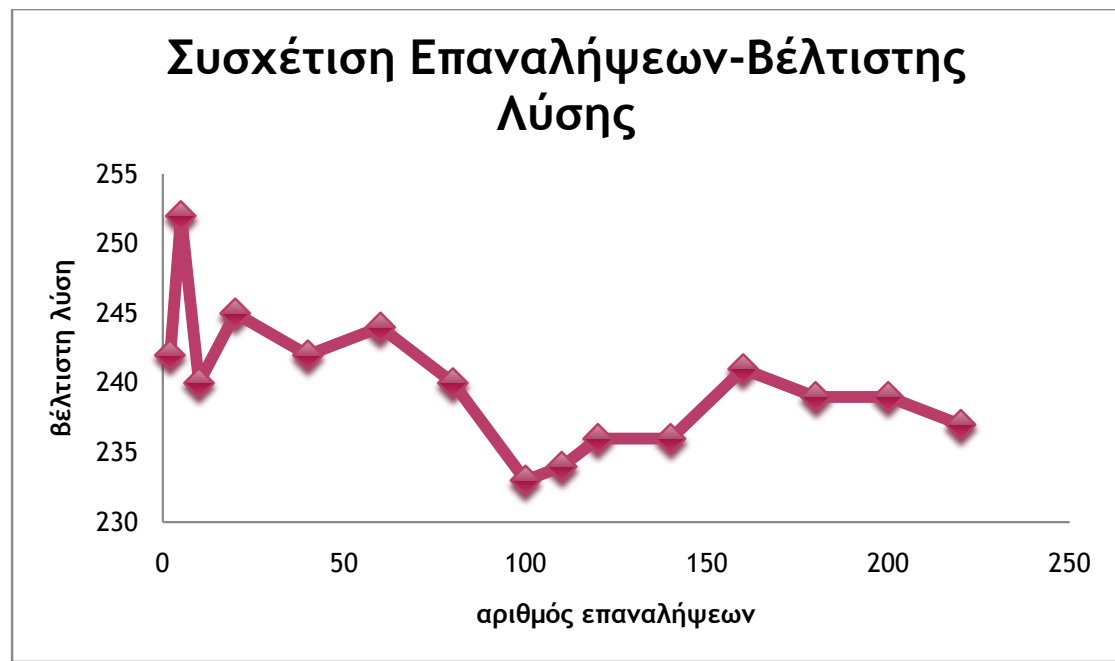


Παραγγελία 20: Κουτί

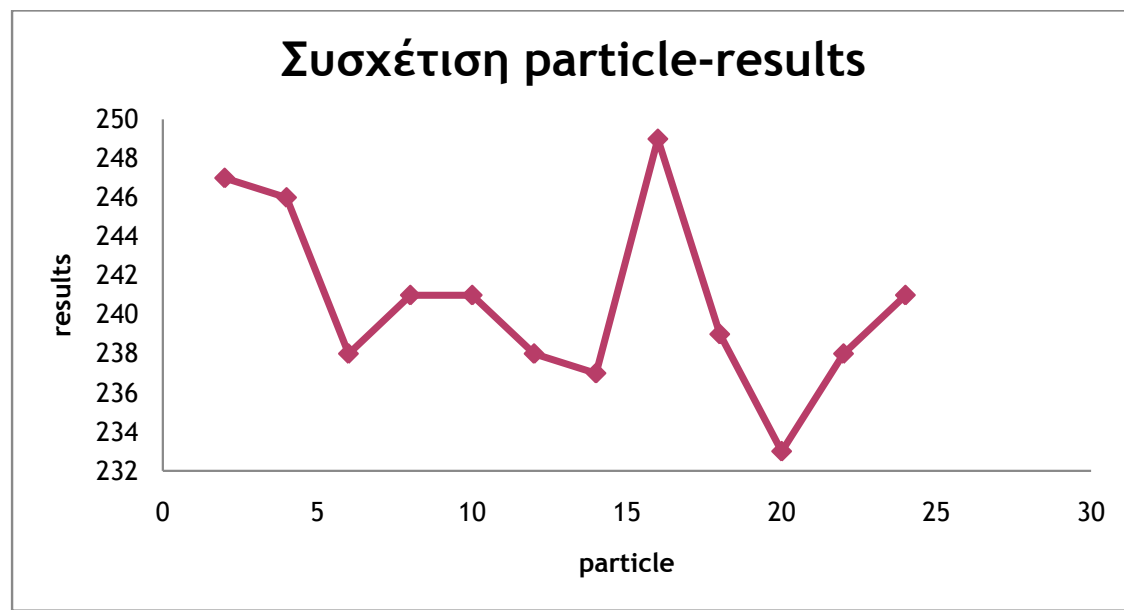
20^η Παραγγελία

		Start	DURATION (h)	END
A1	Κοπή POLAR	11/1/1900 16:22	0:00:00	11/1/1900 16:22
A2	Εκτύπωση	11/1/1900 16:22	18:20:00	12/1/1900 10:42
A3	Θερμοτυπία	12/1/1900 10:42	0:00:00	12/1/1900 10:42
A4	Πλαστικοποίηση	12/1/1900 10:42	0:00:00	12/1/1900 10:42
A5	Λαμινάρισμα 1	14/1/1900 12:17	3:30:00	14/1/1900 15:47
A6	Λαμινάρισμα 2	14/1/1900 15:47	0:00:00	14/1/1900 15:47
A7	Μορφοκοπή	15/1/1900 14:31	19:30:00	16/1/1900 10:01
A8	Πρέσα Gralex	16/1/1900 10:01	0:00:00	16/1/1900 10:01
A9	Παραθυροκόλληση	16/1/1900 10:01	0:00:00	16/1/1900 10:01
A10	Συρταροκόλληση	16/1/1900 15:05	21:15:00	17/1/1900 12:20
A11	Κωνική κόλληση	17/1/1900 12:20	0:00:00	17/1/1900 12:20
A12	Παλετοποίηση	5/2/1900 13:05	3:00:00	5/2/1900 16:05
A13	Σήμανση	5/2/1900 16:05	18:00:00	6/2/1900 10:05
A14	Αποστολή	6/2/1900 11:05	4:00:00	6/2/1900 15:05





Πίνακας 2 : Επαναλήψεις – Χρόνος Εκτέλεσης Παραγγελιών

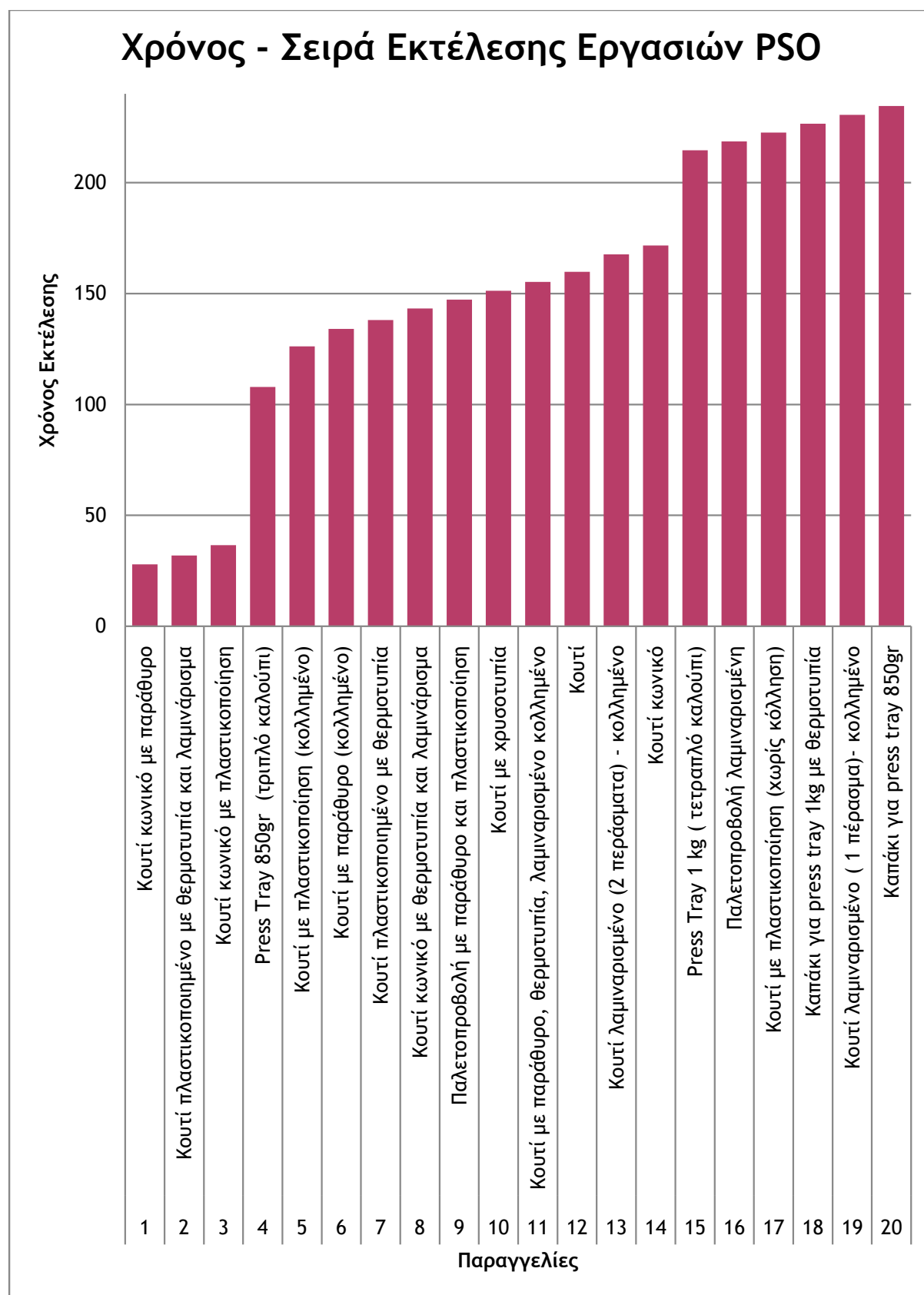


Πίνακας 3: Particles – Χρόνος Εκτέλεσης Παραγγελιών

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Βέλτιση Σειρά Εκτέλεσης Εργασιών σύμφωνα με PSO

A/A	ΕΡΓΑΣΙΕΣ
1	Κουτί κωνικό με παράθυρο
2	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
3	Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση
4	Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)
5	Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)
6	Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)
7	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία
8	Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
9	Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση
10	Κουτί με χρυσοτυπία
11	Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο
12	Κουτί
13	Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο
14	Κουτί κωνικό
15	Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)
16	Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη
17	Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)
18	Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία
19	Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέραςμα)- κολλημένο
20	Καπάκι για press tray 850gr



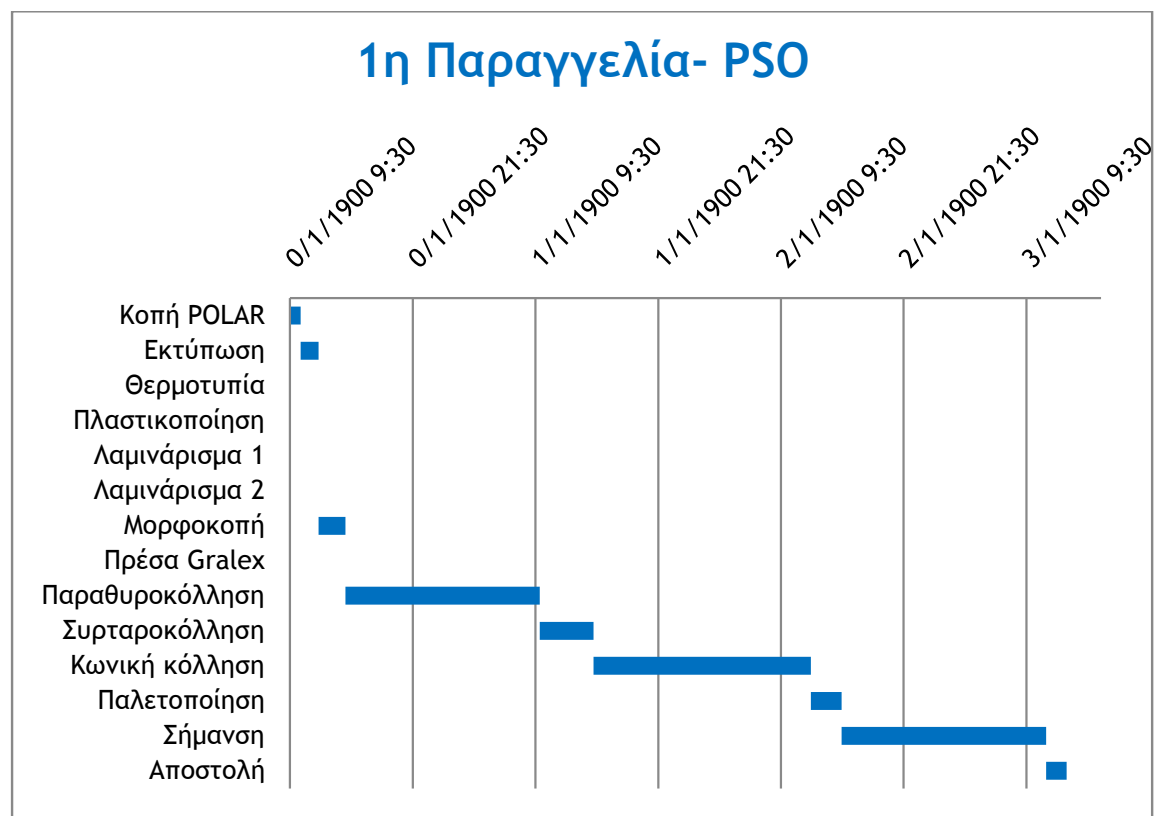
Πίνακας 4: Σειρά - Χρόνος Εκτέλεσης Παραγγελιών PSO

4.2 Βέλτιστη Λύση PSO

Παραγγελία 1: Κουτί κωνικό με παράθυρο

1η Παραγγελία - PSO

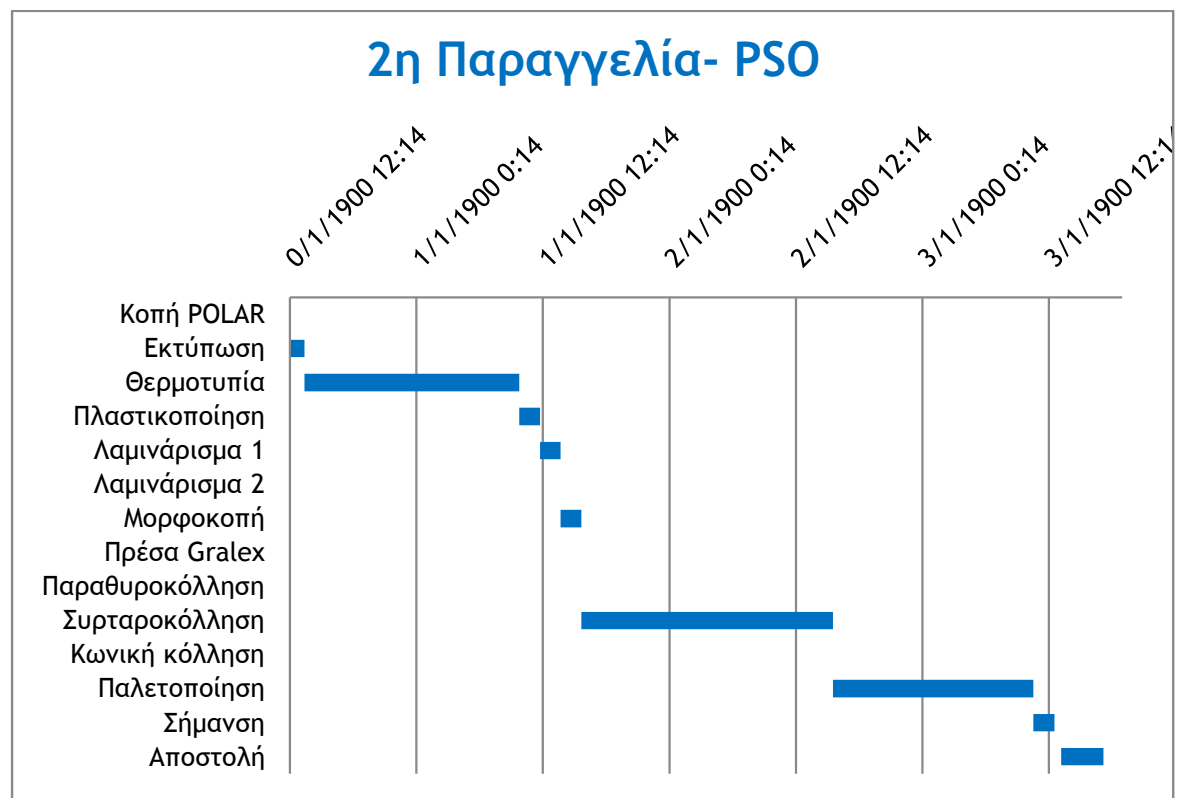
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 9:30	1:03:00	0/1/1900 10:33
A2	Εκτύπωση	0/1/1900 10:33	1:45:00	0/1/1900 12:18
A3	Θερμοτυπία	0/1/1900 12:18	0:00:00	0/1/1900 12:18
A4	Πλαστικοποίηση	0/1/1900 12:18	0:00:00	0/1/1900 12:18
A5	Λαμινάρισμα 1	0/1/1900 12:18	0:00:00	0/1/1900 12:18
A6	Λαμινάρισμα 2	0/1/1900 12:18	0:00:00	0/1/1900 12:18
A7	Μορφοκοπή	0/1/1900 12:18	2:37:48	0/1/1900 14:55
A8	Πρέσα Gralex	0/1/1900 14:55	0:00:00	0/1/1900 14:55
A9	Παραθυροκόλληση	0/1/1900 14:55	19:00:00	1/1/1900 9:55
A10	Συρταροκόλληση	1/1/1900 9:55	5:15:00	1/1/1900 15:10
A11	Κωνική κόλληση	1/1/1900 15:10	21:15:00	2/1/1900 12:25
A12	Παλετοποίηση	2/1/1900 12:25	3:00:00	2/1/1900 15:25
A13	Σήμανση	2/1/1900 15:25	20:00:00	3/1/1900 11:25
A14	Αποστολή	3/1/1900 11:25	2:00:00	3/1/1900 13:25



Παραγγελία 2: Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα

2η Παραγγελία - PSO

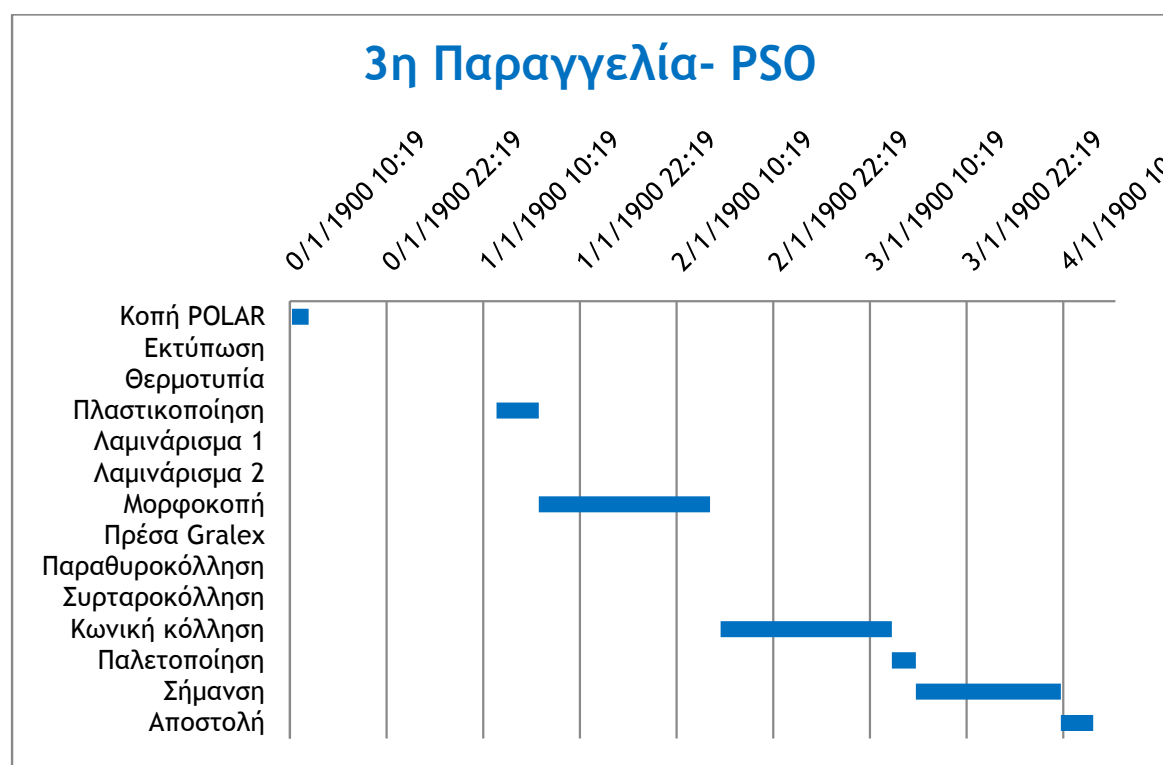
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 12:18	0:00:00	0/1/1900 12:18
A2	Εκτύπωση	0/1/1900 12:18	1:18:45	0/1/1900 13:36
A3	Θερμοτυπία	0/1/1900 13:36	20:22:30	1/1/1900 9:59
A4	Πλαστικοποίηση	1/1/1900 9:59	1:58:07	1/1/1900 11:57
A5	Λαμινάρισμα 1	1/1/1900 11:57	1:58:08	1/1/1900 13:55
A6	Λαμινάρισμα 2	1/1/1900 13:55	0:00:00	1/1/1900 13:55
A7	Μορφοκοπή	1/1/1900 13:55	1:58:07	1/1/1900 15:53
A8	Πρέσα Gralex	1/1/1900 15:53	0:00:00	1/1/1900 15:53
A9	Παραθυροκόλληση	1/1/1900 15:53	0:00:00	1/1/1900 15:53
A10	Συρταροκόλληση	1/1/1900 15:53	23:52:30	2/1/1900 15:46
A11	Κωνική κόλληση	2/1/1900 15:46	0:00:00	2/1/1900 15:46
A12	Παλετοποίηση	2/1/1900 15:46	19:00:00	3/1/1900 10:46
A13	Σήμανση	3/1/1900 10:46	2:00:00	3/1/1900 12:46
A14	Αποστολή	3/1/1900 13:25	4:00:00	3/1/1900 17:25



Παραγγελία 3: Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση

3η Παραγγελία - PSO

A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 10:33	2:06:00	0/1/1900 12:39
A2	Εκτύπωση	0/1/1900 12:39	0:00:00	0/1/1900 12:39
A3	Θερμοτυπία	0/1/1900 12:39	0:00:00	0/1/1900 12:39
A4	Πλαστικοποίηση	1/1/1900 11:57	5:15:00	1/1/1900 17:12
A5	Λαμινάρισμα 1	1/1/1900 17:12	0:00:00	1/1/1900 17:12
A6	Λαμινάρισμα 2	1/1/1900 17:12	0:00:00	1/1/1900 17:12
A7	Μορφοκοπή	1/1/1900 17:12	21:15:00	2/1/1900 14:27
A8	Πρέσα Gralex	2/1/1900 14:27	0:00:00	2/1/1900 14:27
A9	Παραθυροκόλληση	2/1/1900 14:27	0:00:00	2/1/1900 14:27
A10	Συρταροκόλληση	2/1/1900 14:27	0:00:00	2/1/1900 14:27
A11	Κωνική κόλληση	2/1/1900 15:46	21:15:00	3/1/1900 13:01
A12	Παλετοποίηση	3/1/1900 13:01	3:00:00	3/1/1900 16:01
A13	Σήμανση	3/1/1900 16:01	18:00:00	4/1/1900 10:01
A14	Αποστολή	4/1/1900 10:01	4:00:00	4/1/1900 14:01



Παραγγελία 4: Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)

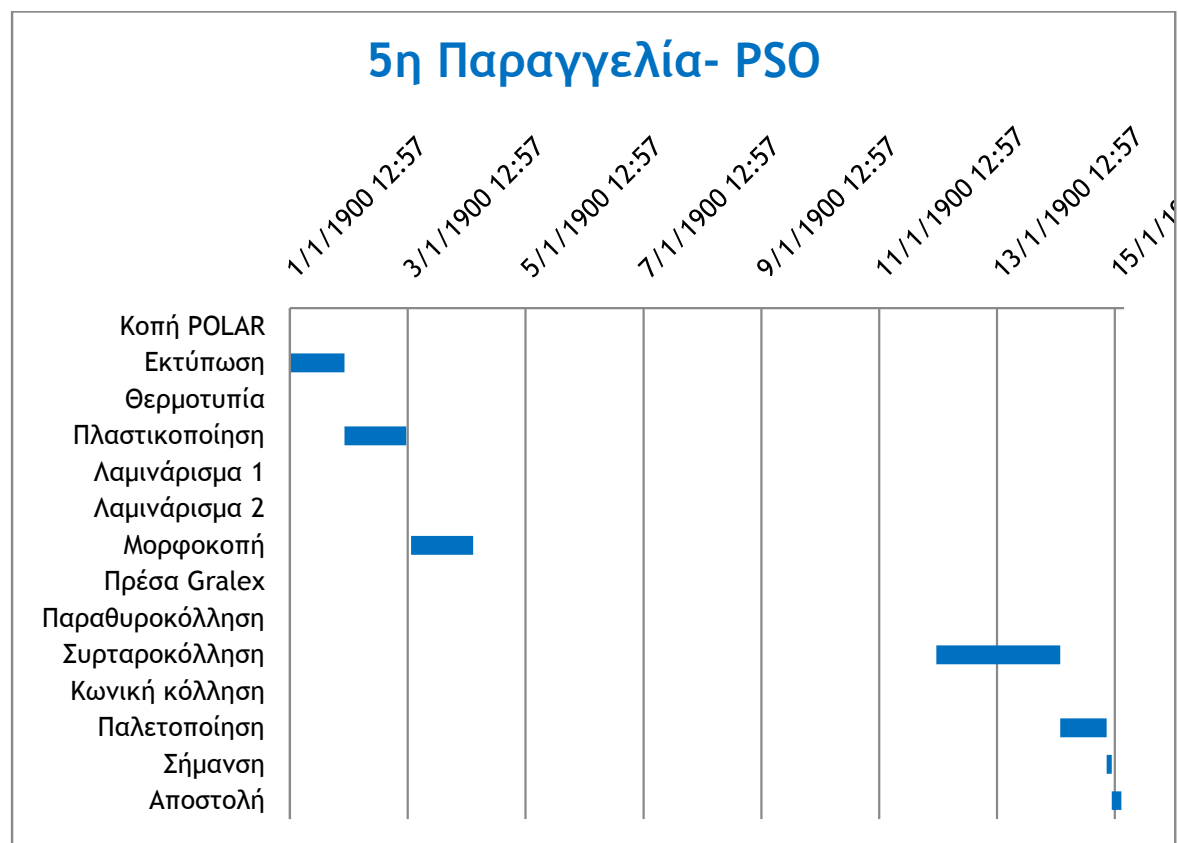
4η Παραγγελία – PSO

A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 12:39	3:09:00	0/1/1900 15:48
A2	Εκτύπωση	0/1/1900 15:48	21:15:00	1/1/1900 13:03
A3	Θερμοτυπία	1/1/1900 13:03	0:00:00	1/1/1900 13:03
A4	Πλαστικοποίηση	1/1/1900 13:03	0:00:00	1/1/1900 13:03
A5	Λαμινάρισμα 1	1/1/1900 13:03	0:00:00	1/1/1900 13:03
A6	Λαμινάρισμα 2	1/1/1900 13:03	0:00:00	1/1/1900 13:03
A7	Μορφοκοπή	2/1/1900 14:27	23:52:30	3/1/1900 14:19
A8	Πρέσα Gralex	3/1/1900 14:19	214:00:00	12/1/1900 12:19
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 12:19	0:00:00	12/1/1900 12:19
A10	Συρταροκόλληση	12/1/1900 12:19	0:00:00	12/1/1900 12:19
A11	Κωνική κόλληση	12/1/1900 12:19	0:00:00	12/1/1900 12:19
A12	Παλετοποίηση	12/1/1900 12:19	3:00:00	12/1/1900 15:19
A13	Σήμανση	12/1/1900 15:19	2:00:00	12/1/1900 17:19
A14	Αποστολή	12/1/1900 17:19	20:00:00	13/1/1900 13:19



Παραγγελία 5: Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)

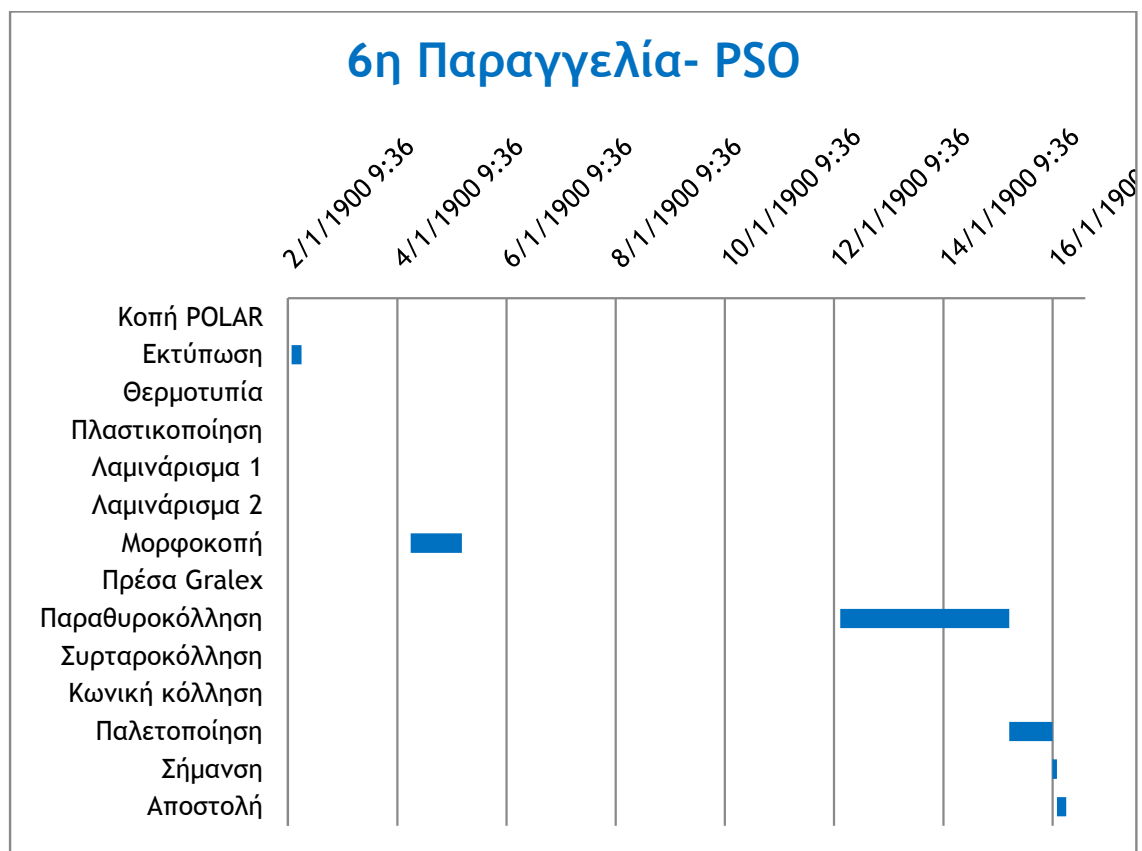
5η Παραγγελία – PSO				
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 13:03	0:00:00	1/1/1900 13:03
A2	Εκτύπωση	1/1/1900 13:03	22:07:30	2/1/1900 11:10
A3	Θερμοτυπία	2/1/1900 11:10	0:00:00	2/1/1900 11:10
A4	Πλαστικοποίηση	2/1/1900 11:10	25:11:15	3/1/1900 12:21
A5	Λαμινάρισμα 1	3/1/1900 12:21	0:00:00	3/1/1900 12:21
A6	Λαμινάρισμα 2	3/1/1900 12:21	0:00:00	3/1/1900 12:21
A7	Μορφοκοπή	3/1/1900 14:19	25:11:15	4/1/1900 15:31
A8	Πρέσα Gralex	4/1/1900 15:31	0:00:00	4/1/1900 15:31
A9	Παραθυροκόλληση	4/1/1900 15:31	0:00:00	4/1/1900 15:31
A10	Συρταροκόλληση	12/1/1900 12:19	50:22:30	14/1/1900 14:42
A11	Κωνική κόλληση	14/1/1900 14:42	0:00:00	14/1/1900 14:42
A12	Παλετοποίηση	14/1/1900 14:42	19:00:00	15/1/1900 9:42
A13	Σήμανση	15/1/1900 9:42	2:00:00	15/1/1900 11:42
A14	Αποστολή	15/1/1900 11:42	4:00:00	15/1/1900 15:42



Παραγγελία 6: Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)

6η Παραγγελία – PSO

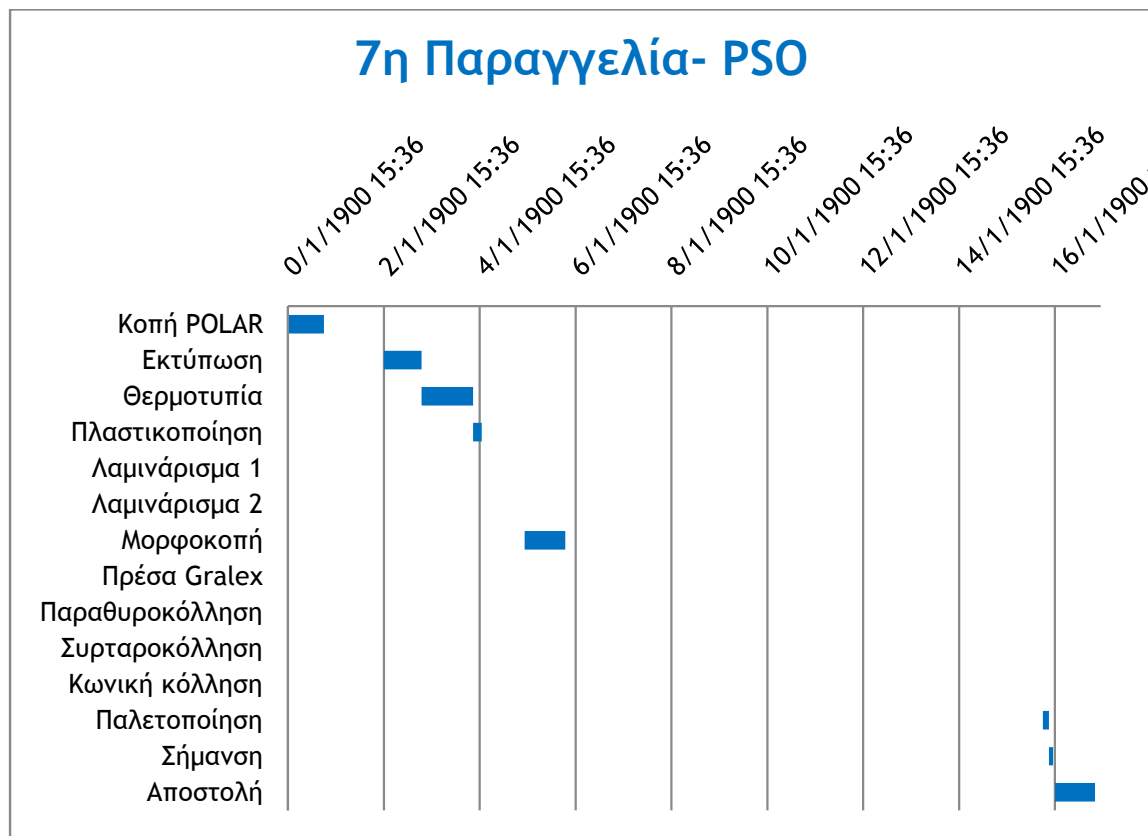
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	2/1/1900 11:10	0:00:00	2/1/1900 11:10
A2	Εκτύπωση	2/1/1900 11:10	4:22:30	2/1/1900 15:33
A3	Θερμοτυπία	2/1/1900 15:33	0:00:00	2/1/1900 15:33
A4	Πλαστικοποίηση	2/1/1900 15:33	0:00:00	2/1/1900 15:33
A5	Λαμινάρισμα 1	2/1/1900 15:33	0:00:00	2/1/1900 15:33
A6	Λαμινάρισμα 2	2/1/1900 15:33	0:00:00	2/1/1900 15:33
A7	Μορφοκοπή	4/1/1900 15:31	22:33:45	5/1/1900 14:04
A8	Πρέσα Gralex	5/1/1900 14:04	0:00:00	5/1/1900 14:04
A9	Παραθυροκόλληση	12/1/1900 12:19	74:15:00	15/1/1900 14:34
A10	Συρταροκόλληση	15/1/1900 14:34	0:00:00	15/1/1900 14:34
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 14:34	0:00:00	15/1/1900 14:34
A12	Παλετοποίηση	15/1/1900 14:34	19:00:00	16/1/1900 9:34
A13	Σήμανση	16/1/1900 9:34	2:00:00	16/1/1900 11:34
A14	Αποστολή	16/1/1900 11:34	4:00:00	16/1/1900 15:34



Παραγγελία 7: Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία

7η Παραγγελία – PSO

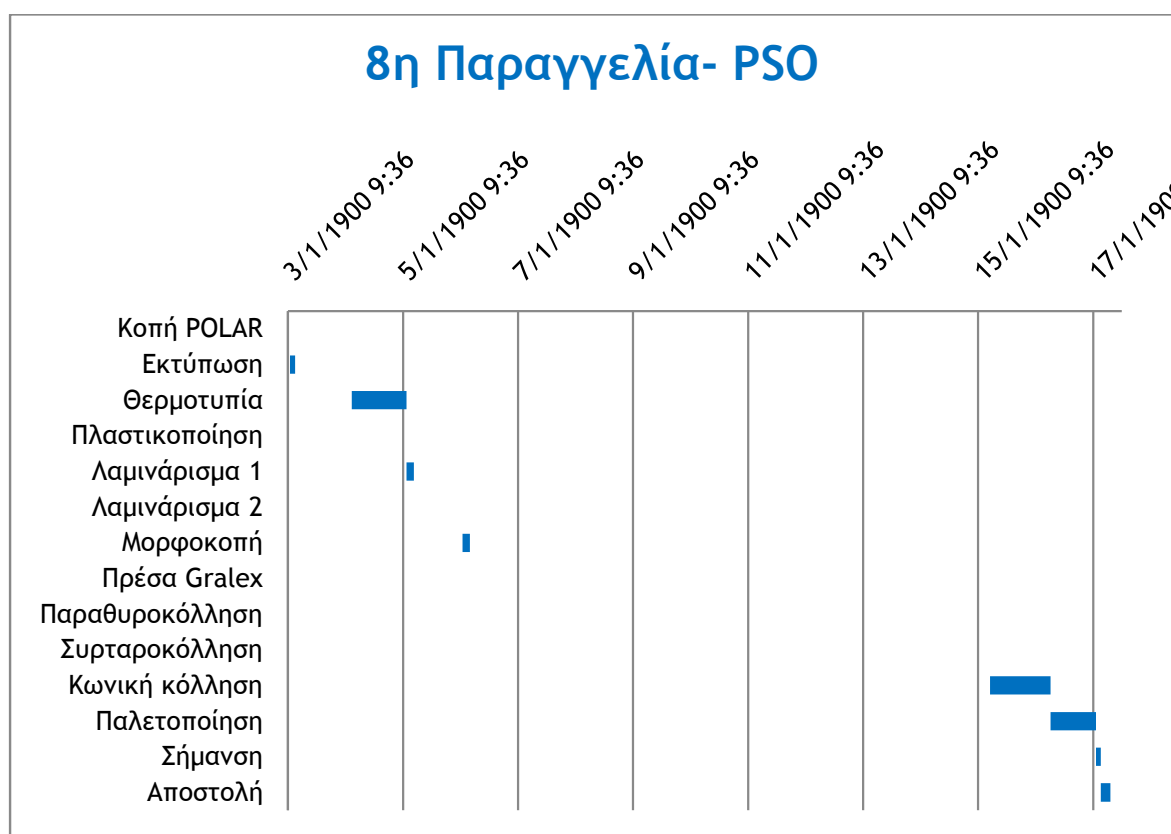
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	0/1/1900 15:48	17:45:00	1/1/1900 9:33
A2	Εκτύπωση	2/1/1900 15:33	18:55:00	3/1/1900 10:28
A3	Θερμοτυπία	3/1/1900 10:28	25:43:20	4/1/1900 12:11
A4	Πλαστικοποίηση	4/1/1900 12:11	4:22:30	4/1/1900 16:33
A5	Λαμινάρισμα 1	4/1/1900 16:33	0:00:00	4/1/1900 16:33
A6	Λαμινάρισμα 2	4/1/1900 16:33	0:00:00	4/1/1900 16:33
A7	Μορφοκοπή	5/1/1900 14:04	20:22:30	6/1/1900 10:27
A8	Πρέσα Gralex	6/1/1900 10:27	0:00:00	6/1/1900 10:27
A9	Παραθυροκόλληση	6/1/1900 10:27	0:00:00	6/1/1900 10:27
A10	Συρταροκόλληση	6/1/1900 10:27	0:00:00	6/1/1900 10:27
A11	Κωνική κόλληση	6/1/1900 10:27	0:00:00	6/1/1900 10:27
A12	Παλετοποίηση	16/1/1900 9:34	3:00:00	16/1/1900 12:34
A13	Σήμανση	16/1/1900 12:34	2:00:00	16/1/1900 14:34
A14	Αποστολή	16/1/1900 15:34	20:00:00	17/1/1900 11:34



Παραγγελία 8: Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα

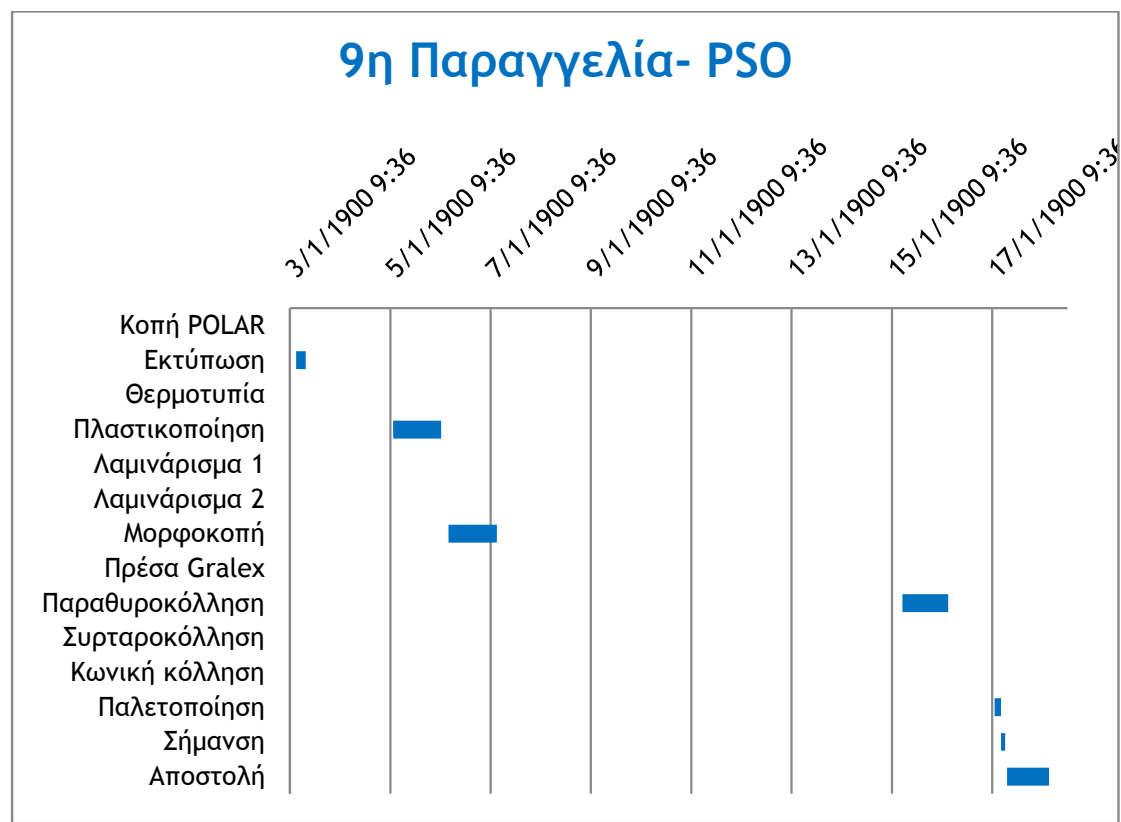
8η Παραγγελία – PSO

A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	3/1/1900 10:28	0:00:00	3/1/1900 10:28
A2	Εκτύπωση	3/1/1900 10:28	2:02:30	3/1/1900 12:30
A3	Θερμοτυπία	4/1/1900 12:11	22:48:20	5/1/1900 10:59
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 10:59	0:00:00	5/1/1900 10:59
A5	Λαμινάρισμα 1	5/1/1900 10:59	3:03:45	5/1/1900 14:03
A6	Λαμινάρισμα 2	5/1/1900 14:03	0:00:00	5/1/1900 14:03
A7	Μορφοκοπή	6/1/1900 10:27	3:03:45	6/1/1900 13:31
A8	Πρέσα Gralex	1/1/1900 15:53	0:00:00	1/1/1900 15:53
A9	Παραθυροκόλληση	1/1/1900 15:53	0:00:00	1/1/1900 15:53
A10	Συρταροκόλληση	1/1/1900 15:53	0:00:00	1/1/1900 15:53
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 14:34	25:11:15	16/1/1900 15:46
A12	Παλετοποίηση	16/1/1900 15:46	19:00:00	17/1/1900 10:46
A13	Σήμανση	17/1/1900 10:46	2:00:00	17/1/1900 12:46
A14	Αποστολή	17/1/1900 12:46	4:00:00	17/1/1900 16:46



Παραγγελία 9: Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση

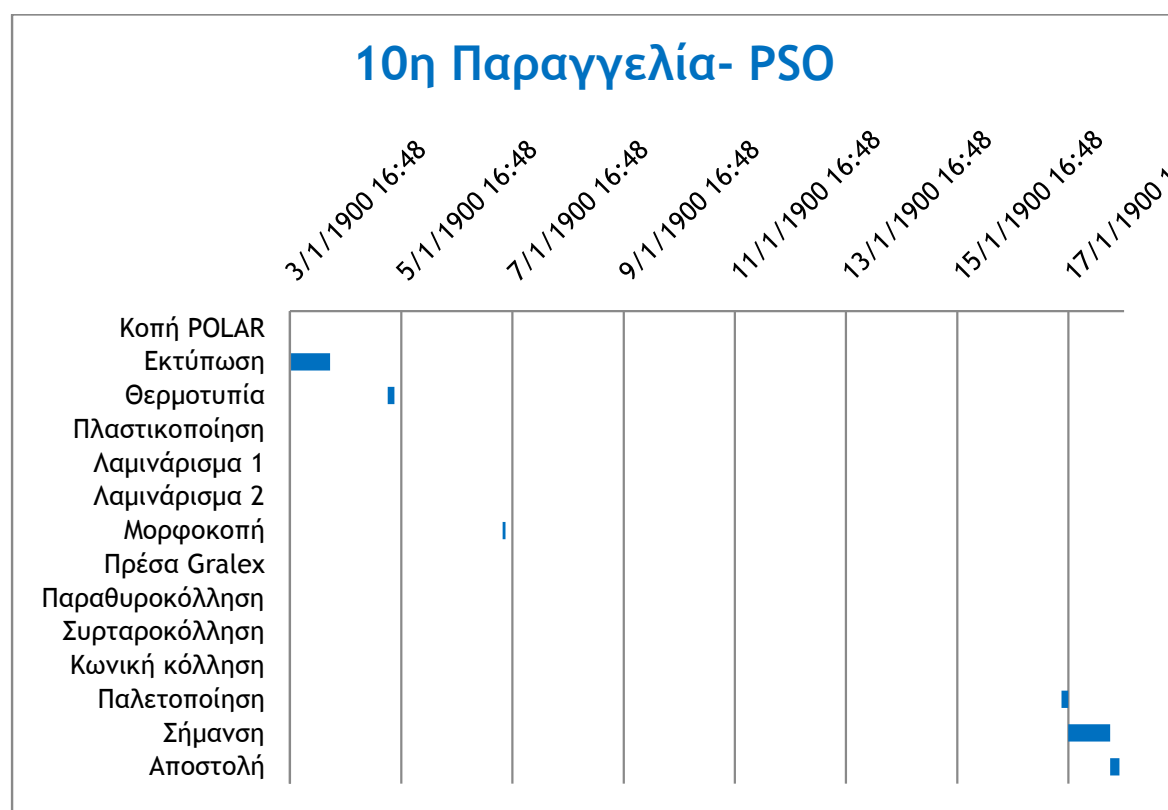
9η Παραγγελία – PSO				
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	3/1/1900 10:28	0:00:00	3/1/1900 10:28
A2	Εκτύπωση	3/1/1900 12:30	4:40:00	3/1/1900 17:10
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 10:59	0:00:00	5/1/1900 10:59
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 10:59	23:00:00	6/1/1900 9:59
A5	Λαμινάρισμα 1	6/1/1900 9:59	0:00:00	6/1/1900 9:59
A6	Λαμινάρισμα 2	6/1/1900 9:59	0:00:00	6/1/1900 9:59
A7	Μορφοκοπή	6/1/1900 13:31	23:00:00	7/1/1900 12:31
A8	Πρέσα Gralex	7/1/1900 12:31	0:00:00	7/1/1900 12:31
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 14:34	22:00:00	16/1/1900 12:34
A10	Συρταροκόλληση	16/1/1900 12:34	0:00:00	16/1/1900 12:34
A11	Κωνική κόλληση	16/1/1900 12:34	0:00:00	16/1/1900 12:34
A12	Παλετοποίηση	17/1/1900 10:46	3:00:00	17/1/1900 13:46
A13	Σήμανση	17/1/1900 13:46	2:00:00	17/1/1900 15:46
A14	Αποστολή	17/1/1900 16:46	20:00:00	18/1/1900 12:46



Παραγγελία 10: Κουτί με χρυστυπία

10η Παραγγελία – PSO

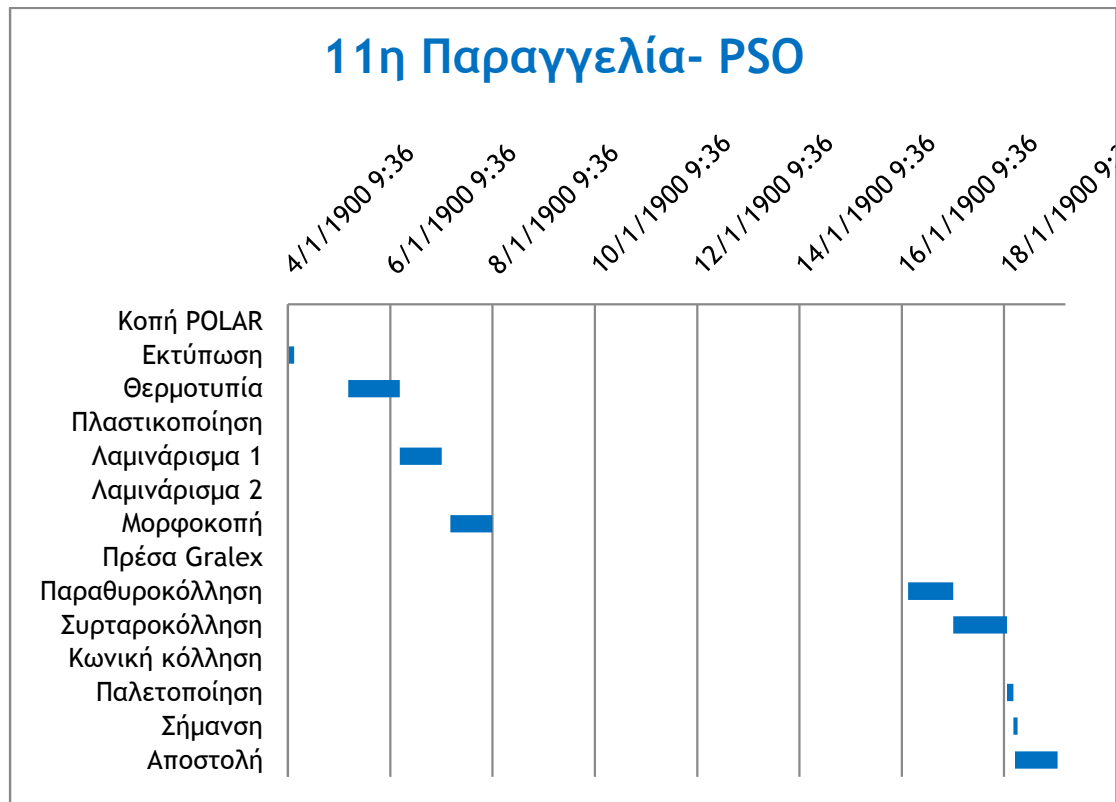
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	3/1/1900 10:28	0:00:00	3/1/1900 10:28
A2	Εκτύπωση	3/1/1900 17:10	16:52:30	4/1/1900 10:03
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 10:59	2:55:00	5/1/1900 13:54
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 13:54	0:00:00	5/1/1900 13:54
A5	Λαμινάρισμα 1	5/1/1900 13:54	0:00:00	5/1/1900 13:54
A6	Λαμινάρισμα 2	5/1/1900 13:54	0:00:00	5/1/1900 13:54
A7	Μορφοκοπή	7/1/1900 12:31	1:18:45	7/1/1900 13:49
A8	Πρέσα Gralex	7/1/1900 13:49	0:00:00	7/1/1900 13:49
A9	Παραθυροκόλληση	7/1/1900 13:49	0:00:00	7/1/1900 13:49
A10	Συρταροκόλληση	7/1/1900 13:49	0:00:00	7/1/1900 13:49
A11	Κωνική κόλληση	7/1/1900 13:49	0:00:00	7/1/1900 13:49
A12	Παλετοποίηση	17/1/1900 13:46	3:00:00	17/1/1900 16:46
A13	Σήμανση	17/1/1900 16:46	18:00:00	18/1/1900 10:46
A14	Αποστολή	18/1/1900 10:46	4:00:00	18/1/1900 14:46



Παραγγελία 11: Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο

11η Παραγγελία – PSO

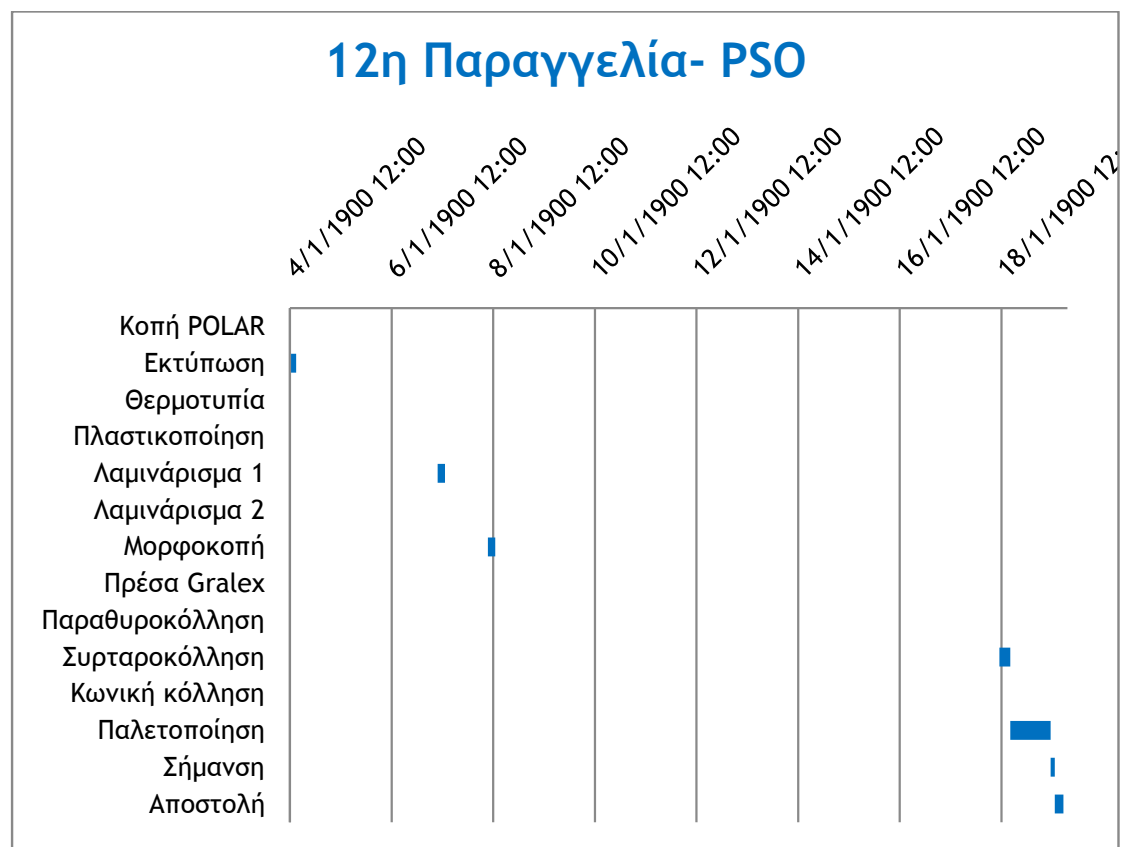
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	4/1/1900 10:03	0:00:00	4/1/1900 10:03
A2	Εκτύπωση	4/1/1900 10:03	2:27:00	4/1/1900 12:30
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 13:54	24:10:00	6/1/1900 14:04
A4	Πλαστικοποίηση	6/1/1900 14:04	0:00:00	6/1/1900 14:04
A5	Λαμινάρισμα 1	6/1/1900 14:04	19:40:30	7/1/1900 9:45
A6	Λαμινάρισμα 2	7/1/1900 9:45	0:00:00	7/1/1900 9:45
A7	Μορφοκοπή	7/1/1900 13:49	19:40:30	8/1/1900 9:30
A8	Πρέσα Gralex	8/1/1900 9:30	0:00:00	8/1/1900 9:30
A9	Παραθυροκόλληση	16/1/1900 12:34	21:15:00	17/1/1900 9:49
A10	Συρταροκόλληση	17/1/1900 9:49	25:11:15	18/1/1900 11:01
A11	Κωνική κόλληση	18/1/1900 11:01	0:00:00	18/1/1900 11:01
A12	Παλετοποίηση	18/1/1900 11:01	3:00:00	18/1/1900 14:01
A13	Σήμανση	18/1/1900 14:01	2:00:00	18/1/1900 16:01
A14	Αποστολή	18/1/1900 14:46	20:00:00	19/1/1900 10:46



Παραγγελία 12: Κουτί

12η Παραγγελία – PSO

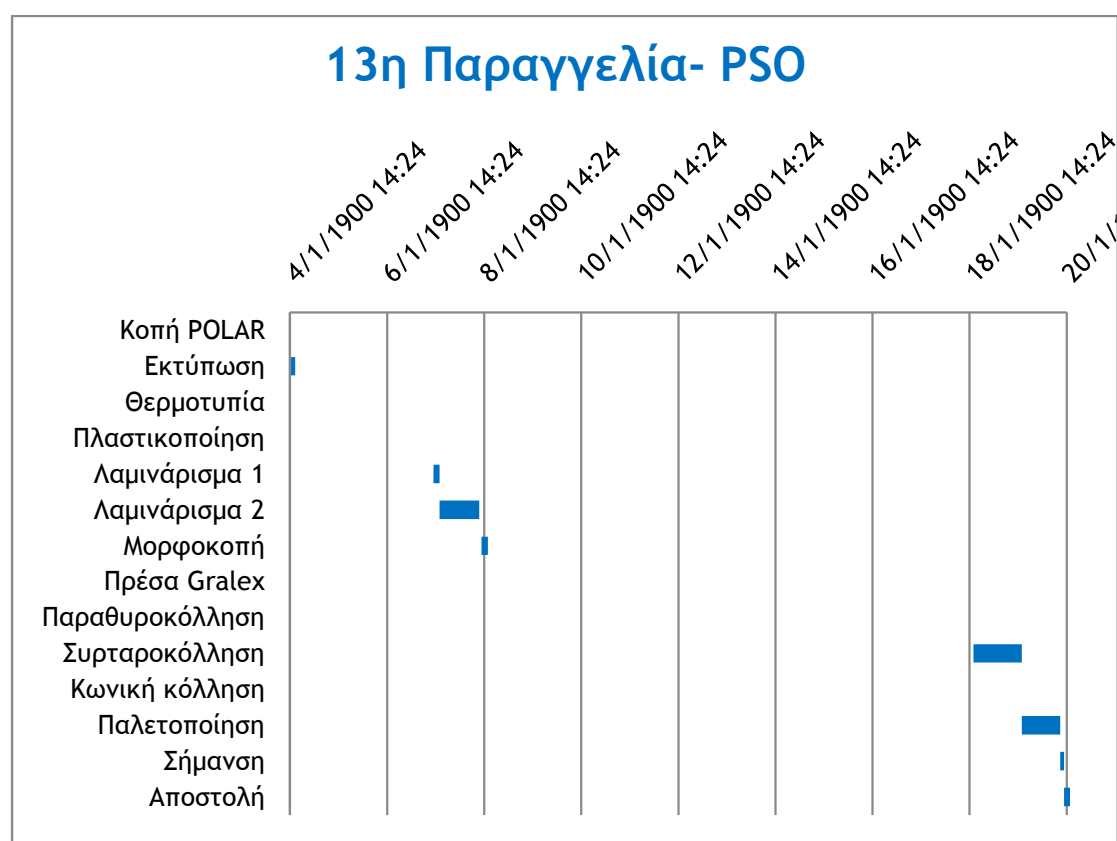
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	4/1/1900 12:30	0:00:00	4/1/1900 12:30
A2	Εκτύπωση	4/1/1900 12:30	2:20:00	4/1/1900 14:50
A3	Θερμοτυπία	4/1/1900 14:50	0:00:00	4/1/1900 14:50
A4	Πλαστικοποίηση	4/1/1900 14:50	0:00:00	4/1/1900 14:50
A5	Λαμινάρισμα 1	7/1/1900 9:45	3:30:00	7/1/1900 13:15
A6	Λαμινάρισμα 2	7/1/1900 13:15	0:00:00	7/1/1900 13:15
A7	Μορφοκοπή	8/1/1900 9:30	3:30:00	8/1/1900 13:00
A8	Πρέσα Gralex	8/1/1900 13:00	0:00:00	8/1/1900 13:00
A9	Παραθυροκόλληση	8/1/1900 13:00	0:00:00	8/1/1900 13:00
A10	Συρταροκόλληση	18/1/1900 11:01	5:15:00	18/1/1900 16:16
A11	Κωνική κόλληση	18/1/1900 16:16	0:00:00	18/1/1900 16:16
A12	Παλετοποίηση	18/1/1900 16:16	19:00:00	19/1/1900 11:16
A13	Σήμανση	19/1/1900 11:16	2:00:00	19/1/1900 13:16
A14	Αποστολή	19/1/1900 13:16	4:00:00	19/1/1900 17:16



Παραγγελία 13: Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο

13η Παραγγελία - PSO

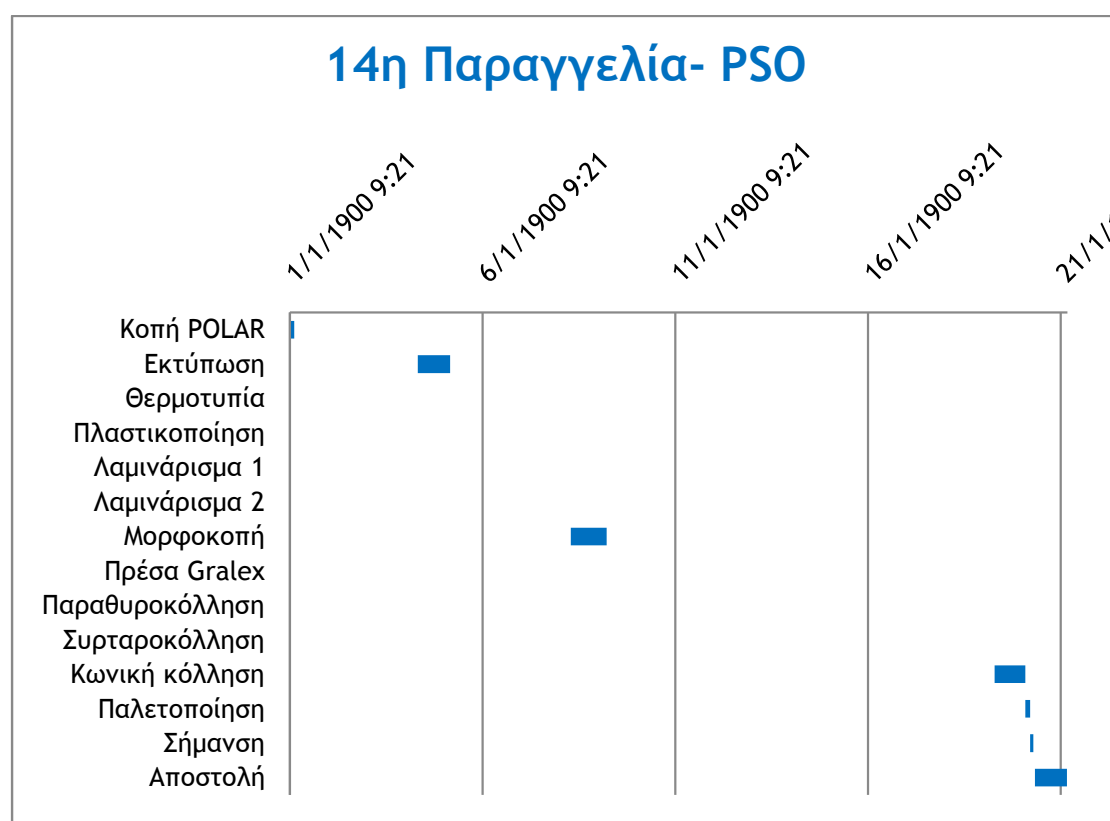
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	4/1/1900 14:50	0:00:00	4/1/1900 14:50
A2	Εκτύπωση	4/1/1900 14:50	2:06:00	4/1/1900 16:56
A3	Θερμοτυπία	4/1/1900 16:56	0:00:00	4/1/1900 16:56
A4	Πλαστικοποίηση	4/1/1900 16:56	0:00:00	4/1/1900 16:56
A5	Λαμινάρισμα 1	7/1/1900 13:15	3:09:00	7/1/1900 16:24
A6	Λαμινάρισμα 2	7/1/1900 16:24	19:30:00	8/1/1900 11:54
A7	Μορφοκοπή	8/1/1900 13:00	3:09:00	8/1/1900 16:09
A8	Πρέσα Gralex	8/1/1900 16:09	0:00:00	8/1/1900 16:09
A9	Παραθυροκόλληση	8/1/1900 16:09	0:00:00	8/1/1900 16:09
A10	Συρταροκόλληση	18/1/1900 16:16	23:52:30	19/1/1900 16:08
A11	Κωνική κόλληση	19/1/1900 16:08	0:00:00	19/1/1900 16:08
A12	Παλετοποίηση	19/1/1900 16:08	19:00:00	20/1/1900 11:08
A13	Σήμανση	20/1/1900 11:08	2:00:00	20/1/1900 13:08
A14	Αποστολή	20/1/1900 13:08	4:00:00	20/1/1900 17:08



Παραγγελία 14: Κουτί κωνικό

14η Παραγγελία – PSO

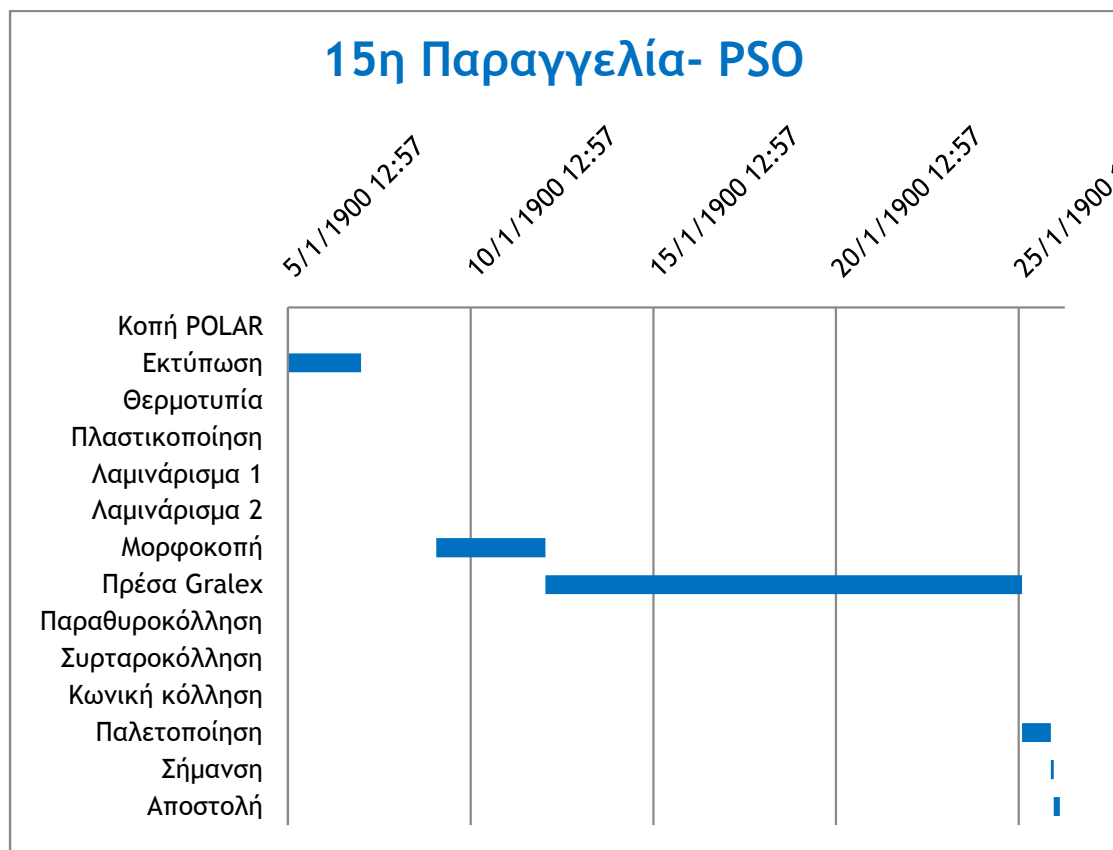
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 9:33	2:31:12	1/1/1900 12:04
A2	Εκτύπωση	4/1/1900 16:56	20:12:00	5/1/1900 13:08
A3	Θερμοτυπία	5/1/1900 13:08	0:00:00	5/1/1900 13:08
A4	Πλαστικοποίηση	5/1/1900 13:08	0:00:00	5/1/1900 13:08
A5	Λαμινάρισμα 1	5/1/1900 13:08	0:00:00	5/1/1900 13:08
A6	Λαμινάρισμα 2	5/1/1900 13:08	0:00:00	5/1/1900 13:08
A7	Μορφοκοπή	8/1/1900 16:09	22:18:00	9/1/1900 14:27
A8	Πρέσα Gralex	9/1/1900 14:27	0:00:00	9/1/1900 14:27
A9	Παραθυροκόλληση	9/1/1900 14:27	0:00:00	9/1/1900 14:27
A10	Συρταροκόλληση	9/1/1900 14:27	0:00:00	9/1/1900 14:27
A11	Κωνική κόλληση	19/1/1900 16:08	19:09:00	20/1/1900 11:17
A12	Παλετοποίηση	20/1/1900 11:17	3:00:00	20/1/1900 14:17
A13	Σήμανση	20/1/1900 14:17	2:00:00	20/1/1900 16:17
A14	Αποστολή	20/1/1900 17:08	20:00:00	21/1/1900 13:08



Παραγγελία 15: Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)

15η Παραγγελία - PSO

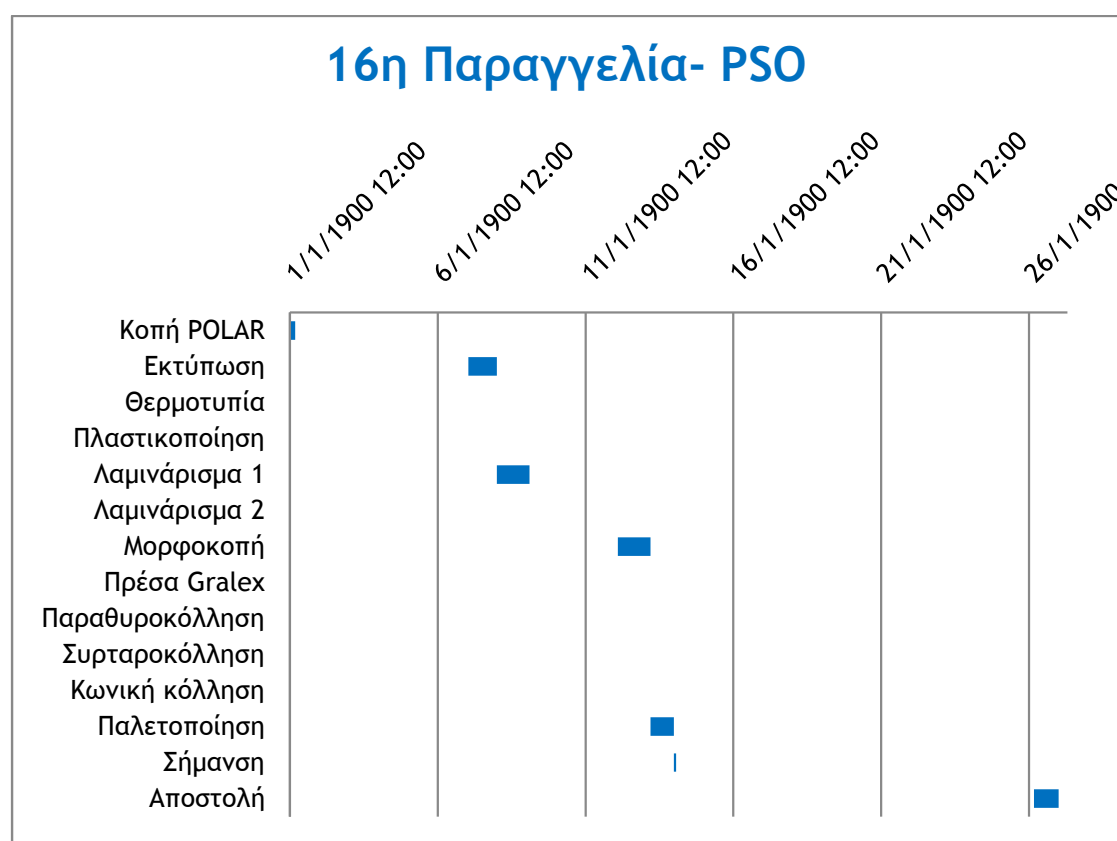
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	5/1/1900 13:08	0:00:00	5/1/1900 13:08
A2	Εκτύπωση	5/1/1900 13:08	47:45:00	7/1/1900 12:53
A3	Θερμοτυπία	7/1/1900 12:53	0:00:00	7/1/1900 12:53
A4	Πλαστικοποίηση	7/1/1900 12:53	0:00:00	7/1/1900 12:53
A5	Λαμινάρισμα 1	7/1/1900 12:53	0:00:00	7/1/1900 12:53
A6	Λαμινάρισμα 2	7/1/1900 12:53	0:00:00	7/1/1900 12:53
A7	Μορφοκοπή	9/1/1900 14:27	71:37:30	12/1/1900 14:04
A8	Πρέσα Gralex	12/1/1900 14:04	313:00:00	25/1/1900 15:04
A9	Παραθυροκόλληση	25/1/1900 15:04	0:00:00	25/1/1900 15:04
A10	Συρταροκόλληση	25/1/1900 15:04	0:00:00	25/1/1900 15:04
A11	Κωνική κόλληση	25/1/1900 15:04	0:00:00	25/1/1900 15:04
A12	Παλετοποίηση	25/1/1900 15:04	19:00:00	26/1/1900 10:04
A13	Σήμανση	26/1/1900 10:04	2:00:00	26/1/1900 12:04
A14	Αποστολή	26/1/1900 12:04	4:00:00	26/1/1900 16:04



Παραγγελία 16: Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη

16η Παραγγελία – PSO

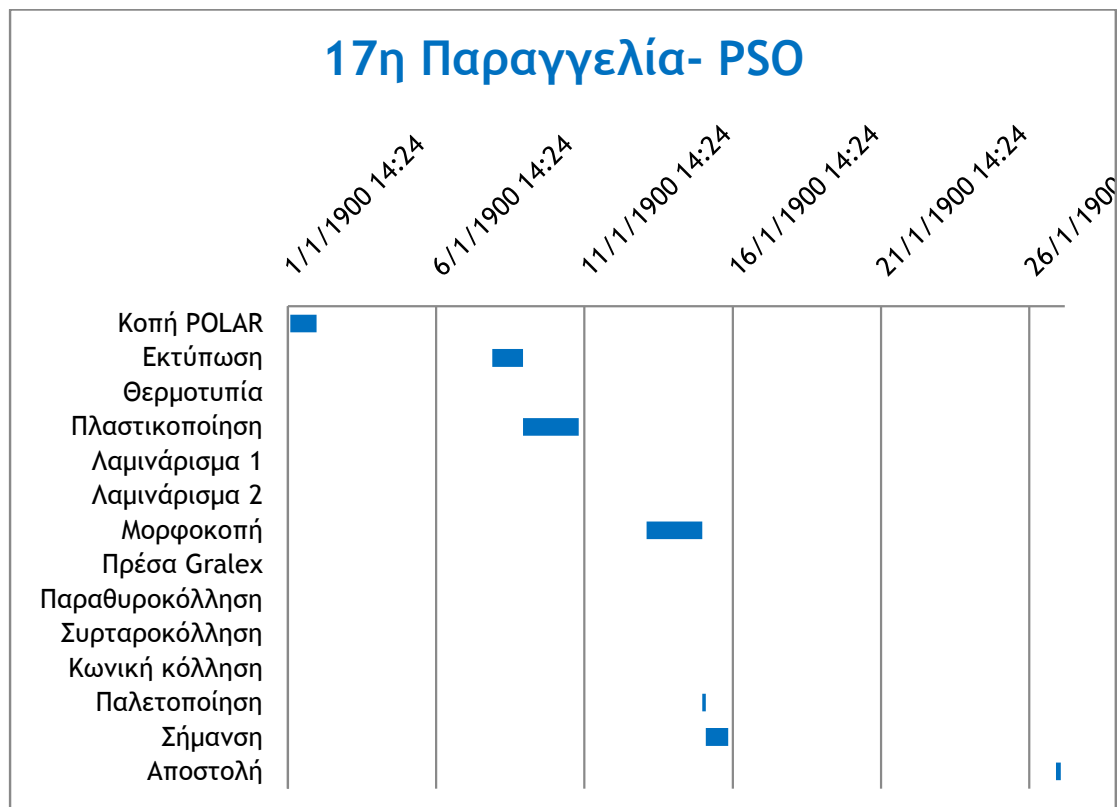
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 12:04	4:12:00	1/1/1900 16:16
A2	Εκτύπωση	7/1/1900 12:53	23:00:00	8/1/1900 11:53
A3	Θερμοτυπία	8/1/1900 11:53	0:00:00	8/1/1900 11:53
A4	Πλαστικοποίηση	8/1/1900 11:53	0:00:00	8/1/1900 11:53
A5	Λαμινάρισμα 1	8/1/1900 11:53	26:30:00	9/1/1900 14:23
A6	Λαμινάρισμα 2	9/1/1900 14:23	0:00:00	9/1/1900 14:23
A7	Μορφοκοπή	12/1/1900 14:04	26:30:00	13/1/1900 16:34
A8	Πρέσα Gralex	13/1/1900 16:34	0:00:00	13/1/1900 16:34
A9	Παραθυροκόλληση	13/1/1900 16:34	0:00:00	13/1/1900 16:34
A10	Συρταροκόλληση	13/1/1900 16:34	0:00:00	13/1/1900 16:34
A11	Κωνική κόλληση	13/1/1900 16:34	0:00:00	13/1/1900 16:34
A12	Παλετοποίηση	13/1/1900 16:34	19:00:00	14/1/1900 11:34
A13	Σήμανση	14/1/1900 11:34	2:00:00	14/1/1900 13:34
A14	Αποστολή	26/1/1900 16:04	20:00:00	27/1/1900 12:04



Παραγγελία 17: Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)

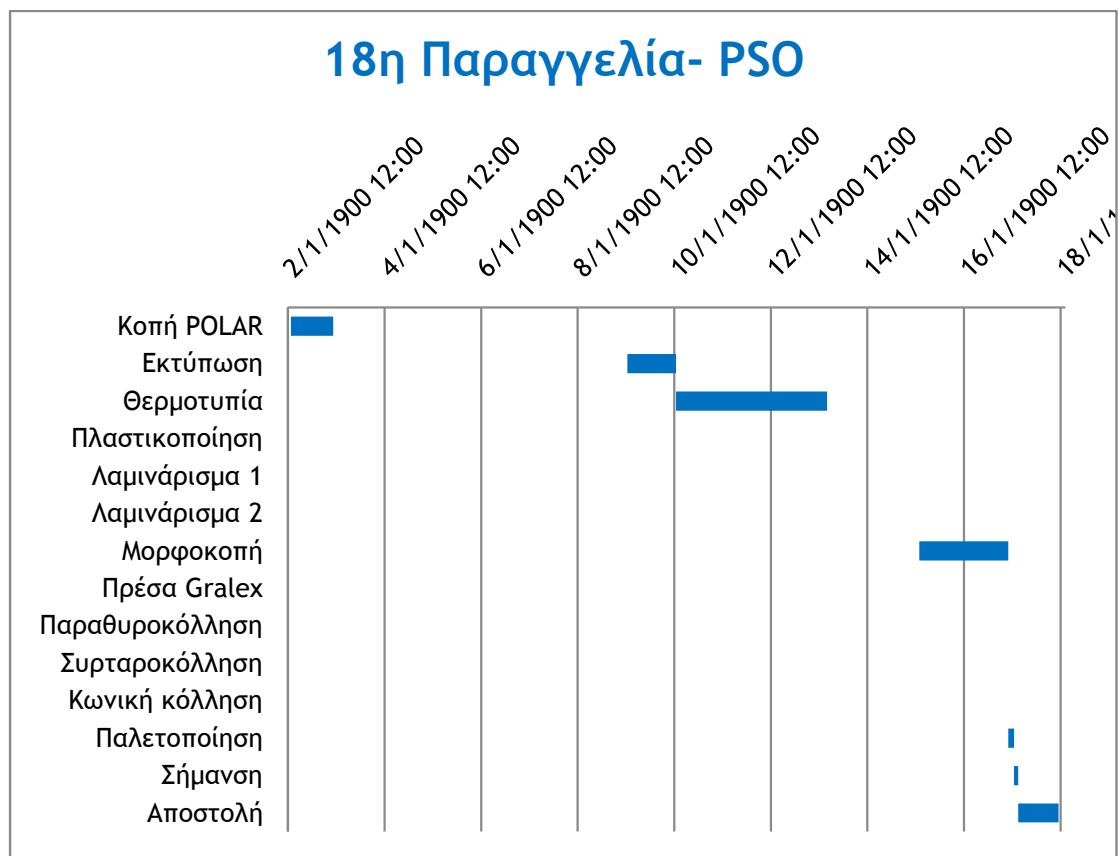
17η Παραγγελία – PSO

A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	1/1/1900 16:16	21:15:00	2/1/1900 13:31
A2	Εκτύπωση	8/1/1900 11:53	24:45:00	9/1/1900 12:38
A3	Θερμοτυπία	9/1/1900 12:38	0:00:00	9/1/1900 12:38
A4	Πλαστικοποίηση	9/1/1900 12:38	45:07:30	11/1/1900 9:45
A5	Λαμινάρισμα 1	11/1/1900 9:45	0:00:00	11/1/1900 9:45
A6	Λαμινάρισμα 2	11/1/1900 9:45	0:00:00	11/1/1900 9:45
A7	Μορφοκοπή	13/1/1900 16:34	45:07:30	15/1/1900 13:42
A8	Πρέσα Gralex	15/1/1900 13:42	0:00:00	15/1/1900 13:42
A9	Παραθυροκόλληση	15/1/1900 13:42	0:00:00	15/1/1900 13:42
A10	Συρταροκόλληση	15/1/1900 13:42	0:00:00	15/1/1900 13:42
A11	Κωνική κόλληση	15/1/1900 13:42	0:00:00	15/1/1900 13:42
A12	Παλετοποίηση	15/1/1900 13:42	3:00:00	15/1/1900 16:42
A13	Σήμανση	15/1/1900 16:42	18:00:00	16/1/1900 10:42
A14	Αποστολή	27/1/1900 12:04	4:00:00	27/1/1900 16:04



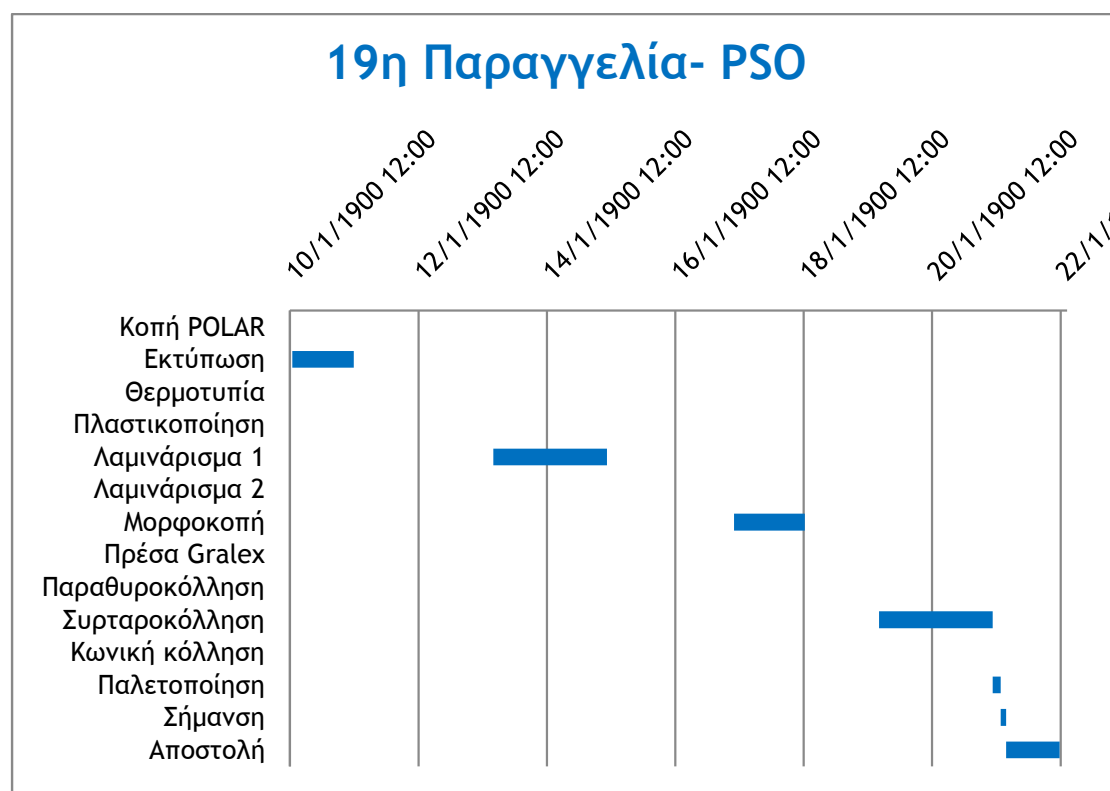
Παραγγελία 18: Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία

18η Παραγγελία – PSO				
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	2/1/1900 13:31	20:54:00	3/1/1900 10:25
A2	Εκτύπωση	9/1/1900 12:38	24:10:00	10/1/1900 12:48
A3	Θερμοτυπία	10/1/1900 12:48	75:13:20	13/1/1900 16:01
A4	Πλαστικοποίηση	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A6	Λαμινάρισμα 2	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A7	Μορφοκοπή	15/1/1900 13:42	44:15:00	17/1/1900 9:57
A8	Πρέσα Gralex	17/1/1900 9:57	0:00:00	17/1/1900 9:57
A9	Παραθυροκόλληση	17/1/1900 9:57	0:00:00	17/1/1900 9:57
A10	Συρταροκόλληση	17/1/1900 9:57	0:00:00	17/1/1900 9:57
A11	Κωνική κόλληση	17/1/1900 9:57	0:00:00	17/1/1900 9:57
A12	Παλετοποίηση	17/1/1900 9:57	3:00:00	17/1/1900 12:57
A13	Σήμανση	17/1/1900 12:57	2:00:00	17/1/1900 14:57
A14	Αποστολή	17/1/1900 14:57	20:00:00	18/1/1900 10:57



Παραγγελία 19: Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέρασμα)- κολλημένο

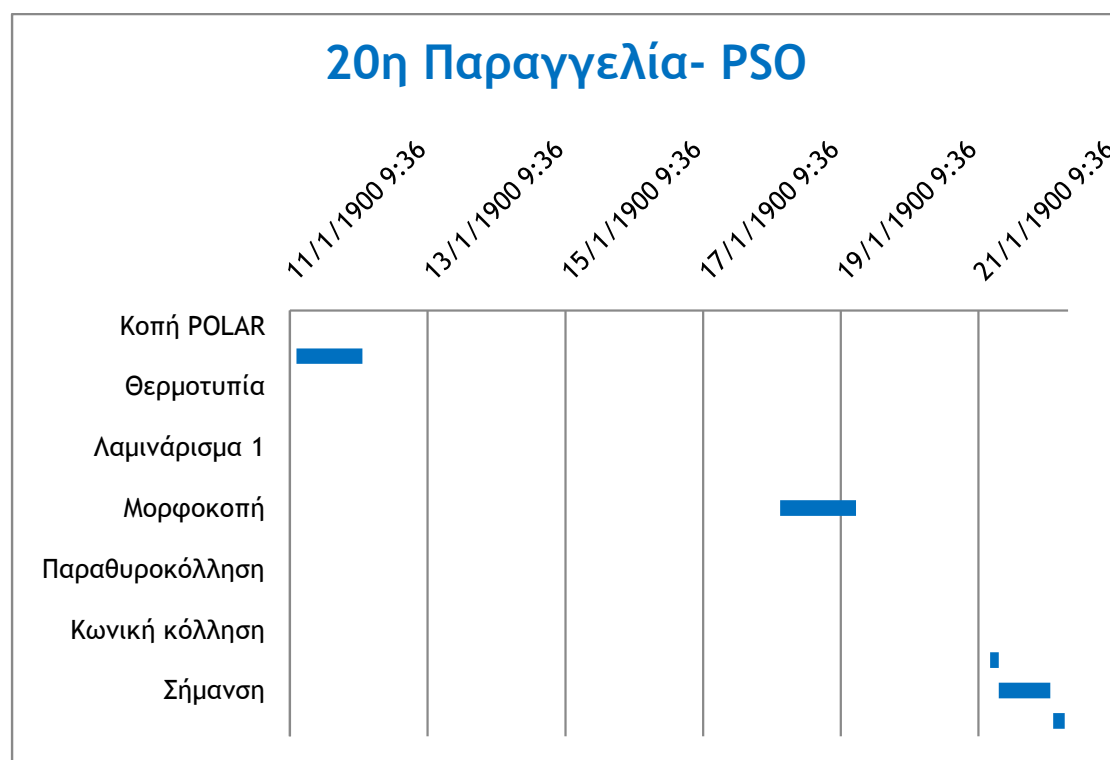
19η Παραγγελία – PSO				
A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	10/1/1900 12:48	0:00:00	10/1/1900 12:48
A2	Εκτύπωση	10/1/1900 12:48	23:00:00	11/1/1900 11:48
A3	Θερμοτυπία	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A4	Πλαστικοποίηση	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 16:01	42:30:00	15/1/1900 10:31
A6	Λαμινάρισμα 2	15/1/1900 10:31	0:00:00	15/1/1900 10:31
A7	Μορφοκοπή	17/1/1900 9:57	26:30:00	18/1/1900 12:27
A8	Πρέσα Gralex	18/1/1900 12:27	0:00:00	18/1/1900 12:27
A9	Παραθυροκόλληση	18/1/1900 12:27	0:00:00	18/1/1900 12:27
A10	Συρταροκόλληση	19/1/1900 16:08	42:30:00	21/1/1900 10:38
A11	Κωνική κόλληση	21/1/1900 10:38	0:00:00	21/1/1900 10:38
A12	Παλετοποίηση	21/1/1900 10:38	3:00:00	21/1/1900 13:38
A13	Σήμανση	21/1/1900 13:38	2:00:00	21/1/1900 15:38
A14	Αποστολή	21/1/1900 15:38	20:00:00	22/1/1900 11:38



Παραγγελία 20: Καπάκι για press tray 850gr

20η Παραγγελία – PSO

A/A		Start	DURATION (h)	End
A1	Κοπή POLAR	11/1/1900 11:48	0:00:00	11/1/1900 11:48
A2	Εκτύπωση	11/1/1900 11:48	23:00:00	12/1/1900 10:48
A3	Θερμοτυπία	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A4	Πλαστικοποίηση	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A5	Λαμινάρισμα 1	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A6	Λαμινάρισμα 2	13/1/1900 16:01	0:00:00	13/1/1900 16:01
A7	Μορφοκοπή	18/1/1900 12:27	26:30:00	19/1/1900 14:57
A8	Πρέσα Gralex	19/1/1900 14:57	0:00:00	19/1/1900 14:57
A9	Παραθυροκόλληση	19/1/1900 14:57	0:00:00	19/1/1900 14:57
A10	Συρταροκόλληση	19/1/1900 14:57	0:00:00	19/1/1900 14:57
A11	Κωνική κόλληση	19/1/1900 14:57	0:00:00	19/1/1900 14:57
A12	Παλετοποίηση	21/1/1900 13:38	3:00:00	21/1/1900 16:38
A13	Σήμανση	21/1/1900 16:38	18:00:00	22/1/1900 10:38
A14	Αποστολή	22/1/1900 11:38	4:00:00	22/1/1900 15:38



4.3 Παραλλαγές αλγορίθμου PSO

Παραλλαγές του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων

Στο πέρασμα των χρόνων προτάθηκαν αρκετές παραλλαγές της αρχικής μορφής του αλγορίθμου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες παραλλαγές οι οποίες εφαρμόστηκαν στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών στο κλάδο της χάρτινης συσκευασίας με σκοπό να παρατηρήσουμε σε ποια παραλλαγή ο αλγόριθμος δίνει καλύτερα αποτελέσματα, *min makespan*.

❖ Α΄ Παραλλαγή

Η Α΄ παραλλαγή προτάθηκε από τους Shi και Eberhart. Πρότειναν να εισάγουν στην εξίσωση ταχύτητας ένα βάρος αδράνειας w . Αυτό που κάνει το βάρος αδράνειας είναι να ελέγχει την επιρροή των προηγούμενων ταχυτήτων ενός σωματιδίου στην τρέχουσα ταχύτητα. Η εξίσωση της ταχύτητας του σωματιδίου είναι η ακόλουθη:

$$u_{ij}(t+1) = w * u_{ij}(t) + c_1 * \text{rand}_1 * (pbest_{ij} - x_{ij}(t)) + c_2 * \text{rand}_2 * (gbest_j - x_{ij}(t))$$

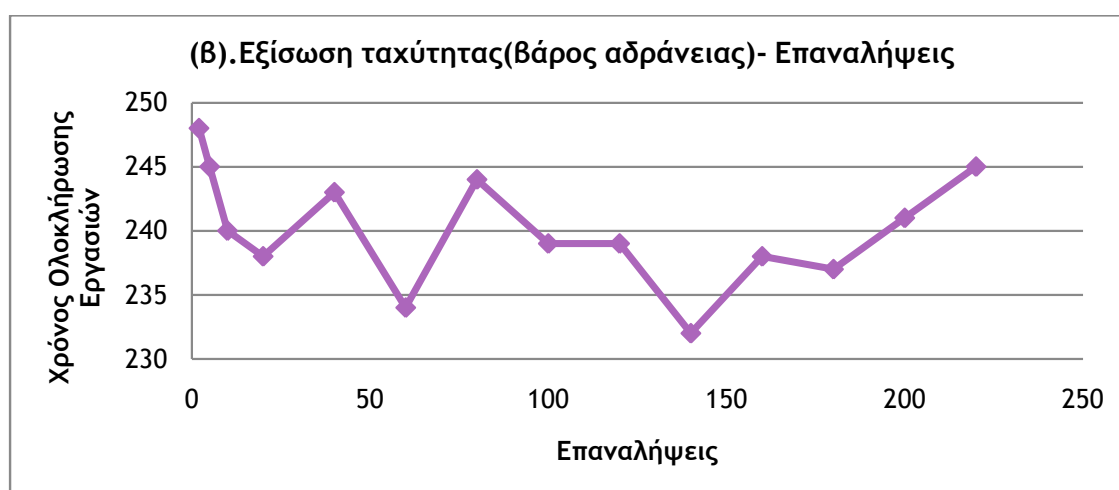
Το βάρος αδράνειας υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$w = w_{max} - (w_{max} - w_{min}) / \text{iter}_{max} * t$$

Όπου w_{min} , w_{max} , είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του βάρους αδράνειας και iter_{max} είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων.



Πίνακας 4: Εξίσωση ταχύτητας – επαναλήψεις (α)



Πίνακας 5: Εξίσωση ταχύτητας – επαναλήψεις (β)



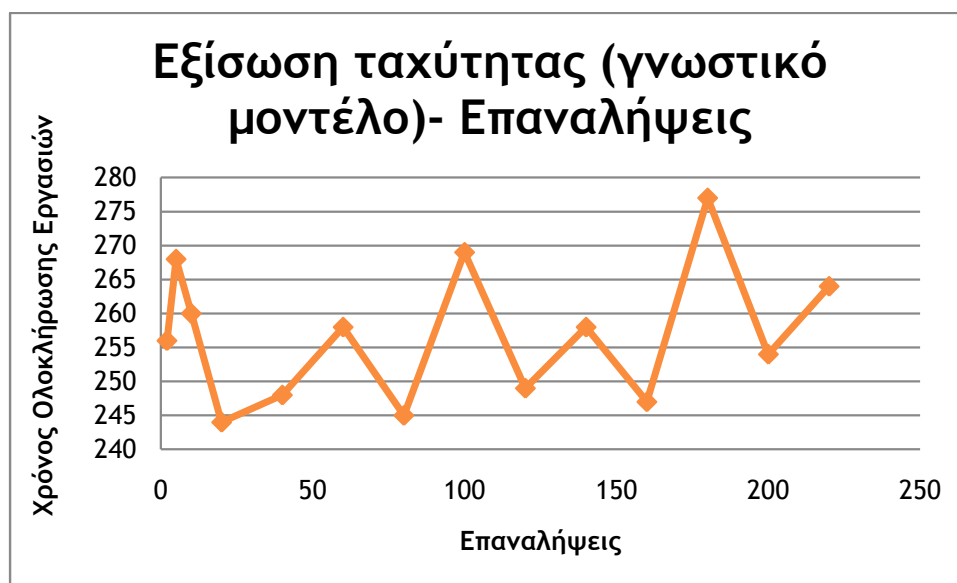
Πίνακας 6: Σύγκριση βαρών αδράνειας

Ο συντελεστής αδράνειας (inertia weight, w) εισήχθη με σκοπό να ελέγξει την ορμή (momentum) του σωματιδίου, λειτουργώντας ως συντελεστής βαρύτητας στη συνεισφορά της προηγούμενης ταχύτητας. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής αυτός ελέγχει πόση μνήμη από την προηγούμενη πορεία του σωματιδίου θα επηρεάσει τη νέα ταχύτητα. Έτσι, εάν $w \ll 1$, λίγη μόνο ορμή διατηρείται από την προηγούμενη κίνηση του σωματιδίου, και κατά συνέπεια, απότομες αλλαγές στην κατεύθυνση του είναι εφικτές με τη ρύθμιση αυτή. Ωστόσο, μικρές τιμές του w έχουν ως συνέπεια να μειώνεται η ικανότητα του σμήνους στην εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης. Η έννοια της αδράνειας χάνεται τελείως όταν θεωρηθεί ότι $w=0$. Αν αντιθέτως, θεωρηθούν μεγάλες τιμές για τον συντελεστή αδράνειας ($w > 10$, τότε παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο με την ανάθεση μικρών τιμών στους συντελεστές επιτάχυνσης. Τα σωματίδια είναι μεν δύσκολο να αλλάξουν απότομα κατεύθυνση ή να περιστραφούν (λόγω μεγάλης ορμής), ωστόσο καλύπτουν μεγαλύτερο τμήμα του χώρου αναζήτησης με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διασπορά του σμήνους και να ευνοείται έτσι η εξερευνητική ικανότητά του. Σε αυτή την περίπτωση τα σωματίδια εμφανίζονται απρόθυμα να συγκλίνουν προς το βέλτιστο.

❖ Β' Παραλλαγή

Η Β' παραλλαγή προτάθηκε από τον Kennedy, ο οποίος πρότεινε την παρακάτω εξίσωση ταχύτητας στην οποία υπολόγιζε ξεχωριστά το γνωστικό- μόνο μοντέλο χωρίς να χρησιμοποιεί καθόλου τον κοινωνικό παράγοντα της ταχύτητας. Έτσι η μορφή της εξίσωσης παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$u_{ij}(t+1) = u_{ij}(t) + c_1 * \llbracket rand \rrbracket_1 * (\llbracket pbest \rrbracket_{ij} - x_{ij}(t))$$

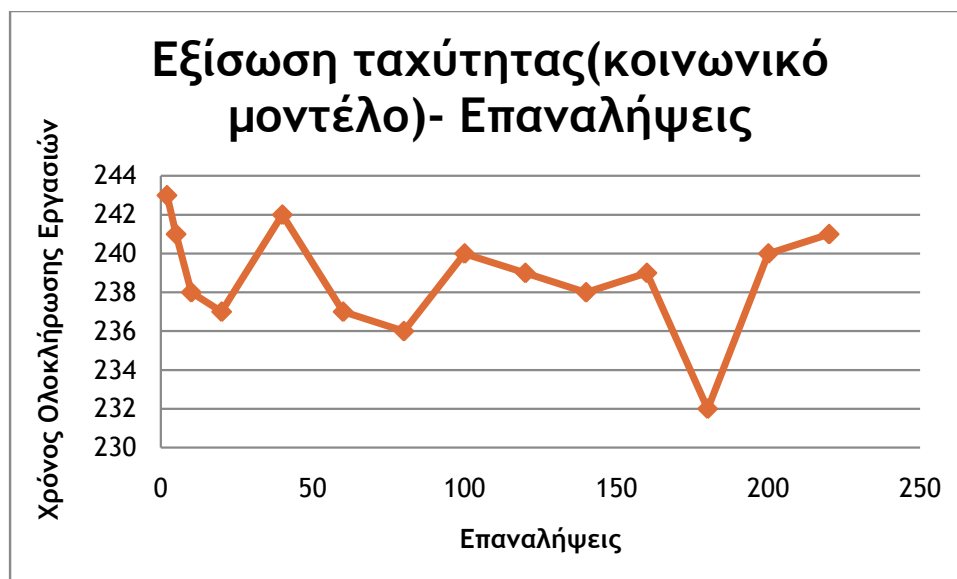


Πίνακας 7: Εξίσωση Ταχυτήτων – Επαναλήψεις

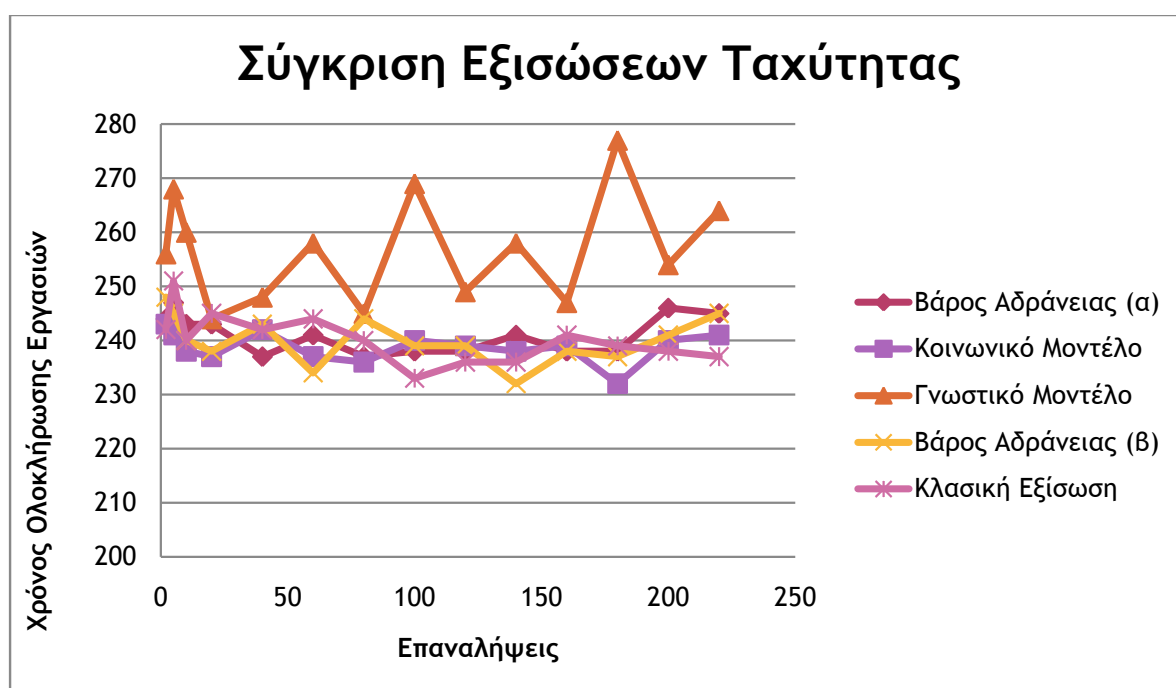
• Γ' Παραλλαγή

Η Τρίτη παραλλαγή περιλαμβάνει αποκλειστικά τον κοινωνικό παράγοντα χωρίς να περιλαμβάνει το γνωστικό παράγοντα. Η εξίσωση της ταχύτητας αυτής της παραλλαγής είναι η ακόλουθη:

$$u_{ij}(t+1) = u_{ij}(t) + c_2 * \llbracket rand \rrbracket_2 * (\llbracket gbest \rrbracket_j - x_{ij}(t))$$



Πίνακας 8: Εξίσωση ταχύτητας(κοινωνικό μοντέλο)- επαναλήψεις



Πίνακας 9: Συγκριτικά εξισώσεων ταχύτητας

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως συμπεριφέρονται διαφορετικές εξισώσεις ταχύτητας εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η

εξίσωση ταχύτητας του γνωστικού μοντέλου δίνει διαφορετικά αποτελέσματα από ότι οι άλλες 3 εξισώσεις.

4.4 Προσομοίωση

Στην ιδεατή περίπτωση που ο υπεύθυνος προμηθειών έχει μεριμνήσει και υπάρχουν όλες οι Α' ύλεις που απαιτούνται ώστε να εκτελεστούν οι 20 παραγγελίες που υπάρχουν στο σύστημα, τότε θα εφαρμοστούν κάποιοι εμπειρικοί κανόνες όπως πχ. Προτεραιότητα εκτέλεσης παραγγελιών με μεγάλο τιράζ, ώστε να αποδεσμευτεί ο χώρος αποθήκευσης των Α' υλών να μη δεσμεύεται τόσος χώρος, και εν συνεχεία να παραδοθούν στο πελάτη και να γίνει είσπραξη.

Κάποιοι άλλοι εμπειρικοί κανόνες που εφαρμόζονται είναι να εκτελούνται διαδοχικά παραγγελίες με παρόμοια στάδια επεξεργασίας. Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύονται το χρόνο του set-up και του set-down. Ο χρόνος αυτός μεταφράζεται σε κόστος, δηλαδή βάρδιες-εργατοώρες.

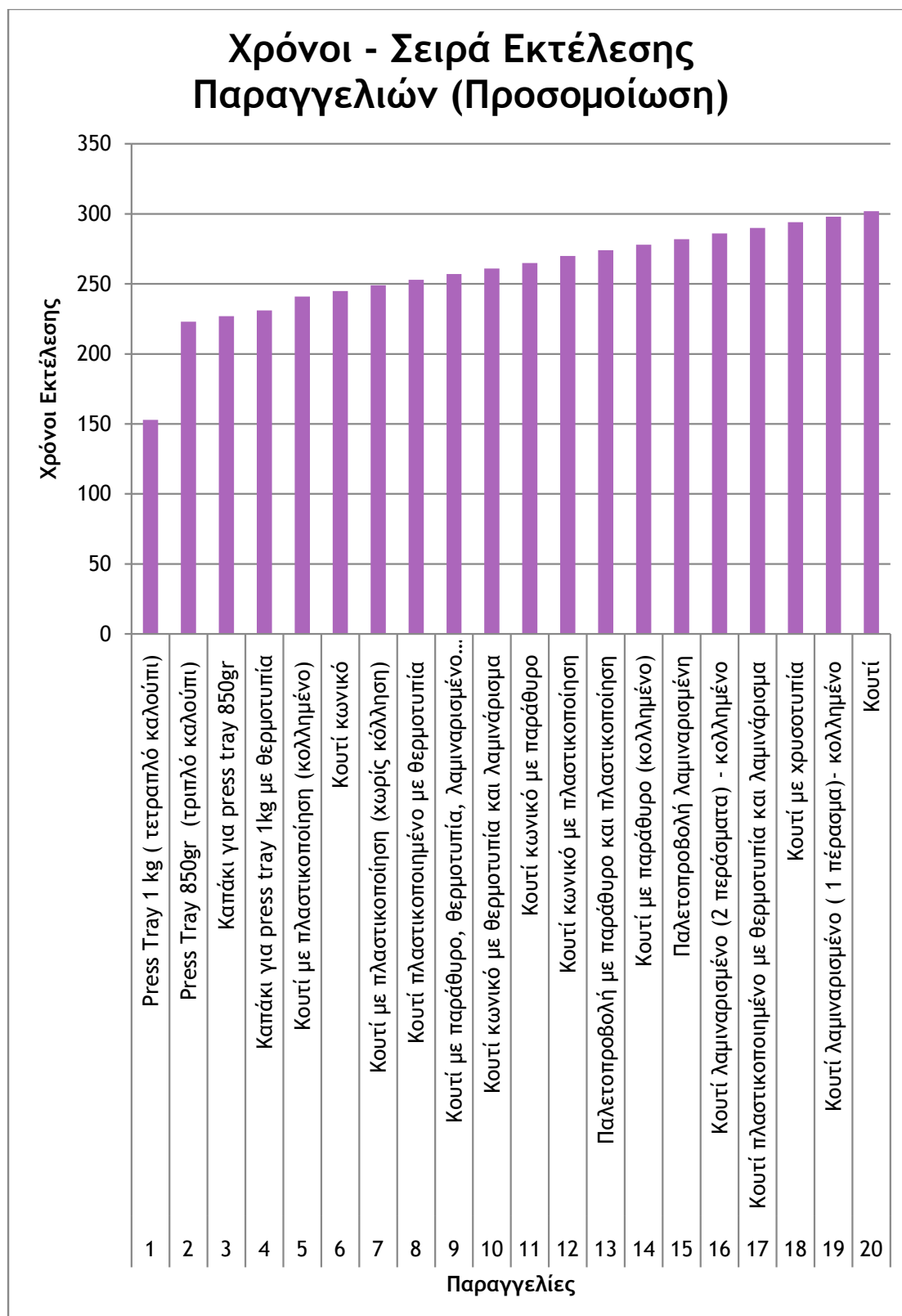
Ένας άλλος κανόνας είναι να εκτελούνται ενωρίτερα οι παραγγελίες που είναι εξαγωγές σε χώρες και μετά οι εγχώριες. Ο λόγος είναι ότι μεσολαβούν αρκετές μέρες μέχρι να παραδοθούν στο πελάτη.

Επίσης, σημαντικό ρόλο στο προγραμματισμό παραγωγής παίζει ο τρόπος αποπληρωμής της παραγγελίας. Αν η συμφωνία με το πελάτη είναι της μετρητοίς έχει προτεραιότητα έναντι της παραγγελίας από την οποία η εξόφληση θα γίνει με 3μηνη επιταγή.

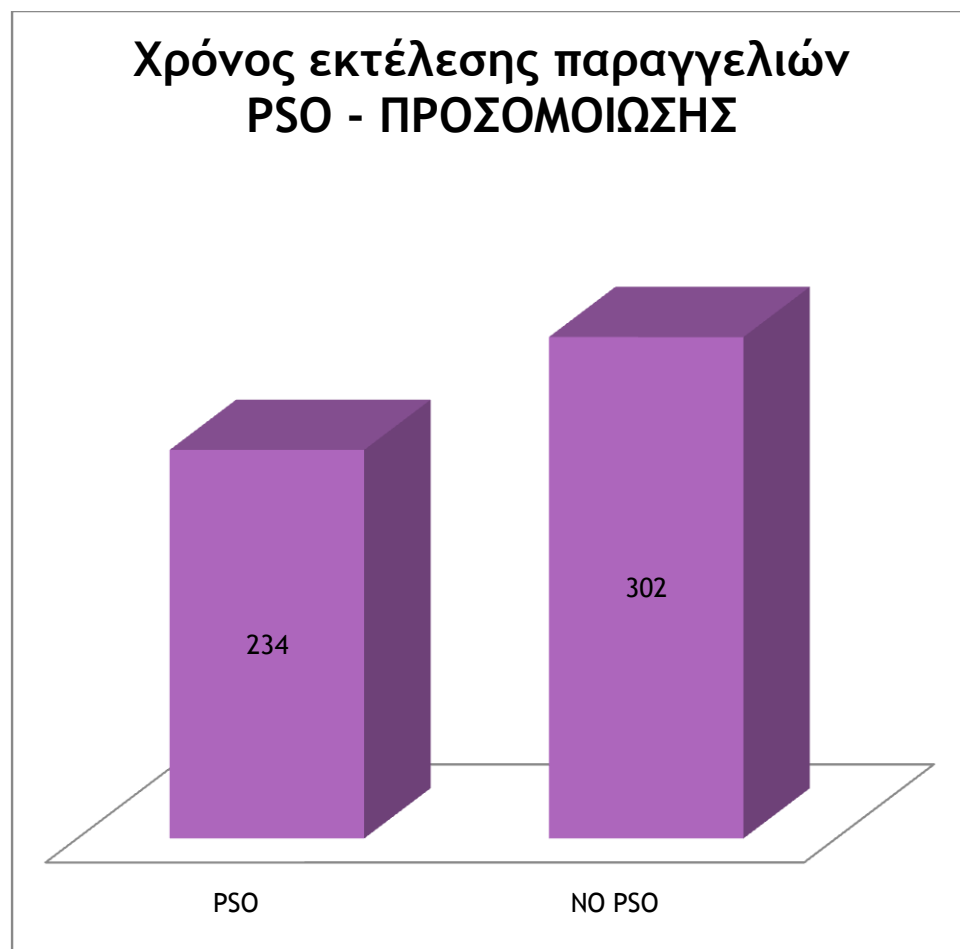
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ένας ακόμη παράγοντας που συνυπολογίζεται στο τρόπο εκτέλεσης των εργασιών και δεν είναι άλλος από το χτίσιμο σχέσεων εμπιστοσύνης. Οι μακροχρόνιες συνεργασίες με πελάτες με επαναλαμβανόμενες παραγγελίες έχουν άτυπα προτεραιότητα έναντι νέων.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω προκύπτει η παρακάτω σειρά εκτέλεσης παραγγελιών:

A/A	ΕΡΓΑΣΙΕΣ
1	Press Tray 1 kg (τετραπλό καλούπι)
2	Press Tray 850gr (τριπλό καλούπι)
3	Καπάκι για press tray 850gr
4	Καπάκι για press tray 1kg με θερμοτυπία
5	Κουτί με πλαστικοποίηση (κολλημένο)
6	Κουτί κωνικό
7	Κουτί με πλαστικοποίηση (χωρίς κόλληση)
8	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία
9	Κουτί με παράθυρο, θερμοτυπία, λαμιναρισμένο κολλημένο
10	Κουτί κωνικό με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
11	Κουτί κωνικό με παράθυρο
12	Κουτί κωνικό με πλαστικοποίηση
13	Παλετοπροβολή με παράθυρο και πλαστικοποίηση
14	Κουτί με παράθυρο (κολλημένο)
15	Παλετοπροβολή λαμιναρισμένη
16	Κουτί λαμιναρισμένο (2 περάσματα) - κολλημένο
17	Κουτί πλαστικοποιημένο με θερμοτυπία και λαμινάρισμα
18	Κουτί με χρυσοτυπία
19	Κουτί λαμιναρισμένο (1 πέραςμα)- κολλημένο
20	Κουτί

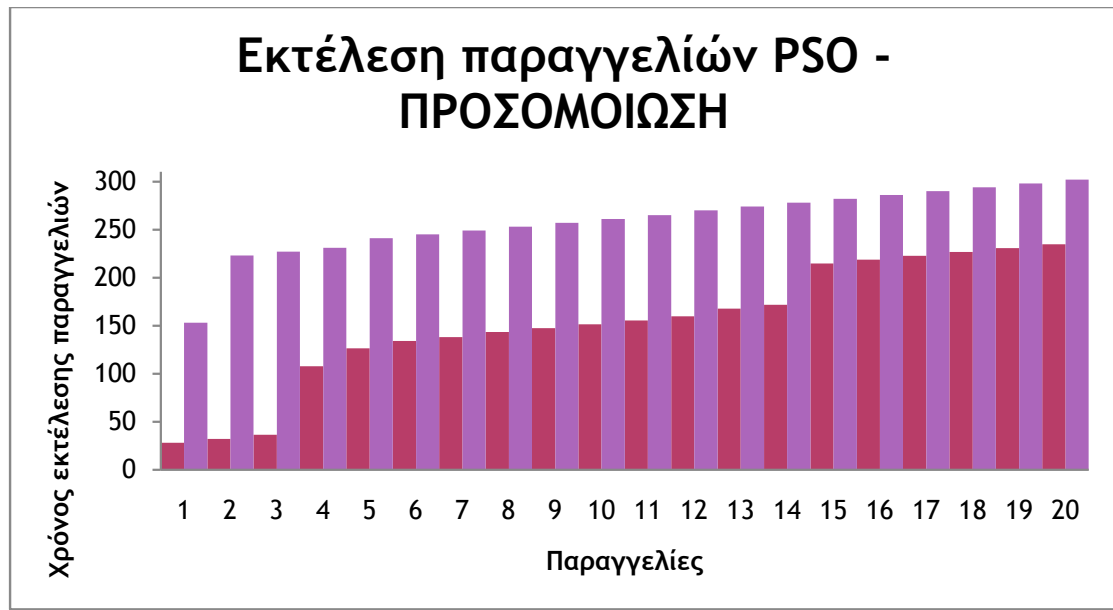


Πίνακας 10: Χρόνος-Σειρά Εκτέλεσης Προσομοίωση



Πίνακας 11: Χρόνος εκτέλεσης PSO - Προσομοίωση

Αυτό που παρατηρούμαι είναι ότι η χρήση του αλγόριθμου δίνει αποτέλεσμα 234 ώρες, ενώ η προσομοίωση δίνει αποτέλεσμα 302 ώρες. Το αποτέλεσμα είναι συνεχόμενες ώρες εργασίας. Δηλαδή το όφελος της χρήσης του είναι 68 ώρες εργασίας, που σημαίνει 8,5 ημέρες συνεχόμενης εργασίας. Το αποτέλεσμα αυτό μεταφράζεται σε κόστος, δηλαδή εργατικά κόστη.



Πίνακας 12: Συγκριτικά PSO- Προσομοίωση

4.5 Συμπεράσματα

Σε αυτή την μεταπτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού της παραγωγής σε μια παραγωγική μονάδα στην Ελλάδα στο κλάδο της χάρτινης συσκευασίας. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων προγραμματίσαμε με ποια σειρά και σε πόσο χρόνο θα εκτελεστούν οι 20 παραγγελίες που υπήρχαν στο σύστημα με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του χρόνου.

Συγκρίναμε τα αποτελέσματα που μας δίνει ο αλγόριθμος με την κατάσταση που επικρατεί στην πραγματικότητα. Ουσιαστικά προσομοιώσαμε την δεδομένη στιγμή της εργοστασιακής μονάδας. Παρατηρήσαμε ότι η χρήση της PSO δίνει εμφανώς πολύ μικρότερο χρόνο παραγωγής.

Οι ρυθμοί παραγωγής σε κάθε ένα στάδιο επεξεργασίας αντικατοπτρίζουν πραγματικές τιμές που βρίσκονται στα εγχειρίδια των μηχανών της βιομηχανικής μονάδας.

Παρατηρήσαμε ότι όσο αυξάνονταν ο αριθμός των επαναλήψεων και ο αριθμός του σμήνους τόσο αυξάνονται ο χρόνος υπολογισμού του βέλτιστου. Έγιναν κάποιες παραλλαγές στις εξισώσεις ταχύτητας και καταλήξαμε ότι καλύτερα αποτελέσματα δίνει η κλασική διατύπωση της εξίσωσης.

Βιβλιογραφία:

<http://www.epistimonikomarketing.gr>

D. Beasley, D. Bull, and R. Martin. An overview of genetic algorithms: Part I, fundamentals. *University Computing*, 15(2):58.69, 1993

R. C. Eberhart, P. Simpson, and R. Dobbins. *Computational Intelligence PC Tools*. Academic Press, 1996.

J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, volume IV, pages 1942.1948, Piscataway, NJ, 1995. IEEE Service Center.

Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995) "Particle swarm optimization". *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, pp.1942-1948

J. Kennedy, R.C. Eberhart, Y. Shi., "Swarm Intelligence", Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2001

M. Clerc and J. Kennedy. The particle swarm.explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 6(1):58.73, 2002.

M. Clerc and J. Kennedy. The particle swarm.explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 6(1):58.73, 2002.

R. C. Eberhart, P. Simpson, and R. Dobbins. *Computational Intelligence PC Tools*. Academic Press, 1996.

Zhang, X., Gao, X., and Wang, Z., "Blind paralind multiuser detection for smart antenna CDMA system over multipath fading channel," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 89, 23-38, 2009.

Y. Shi, R. C. Eberhart, "Empirical Study of Particle Swarm Optimization," in *Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, vol.3, pp 1945-1950.

A. Ratnaweera, S. K. Halgamuge, H. C. Watson, "Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer with Time-Varying Acceleration Coefficients," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 8, no3 pp. 240-255, June 2004.

Zobolas, G., Tarantilis, C., & Ioannou, G. (2008). Exact, Heuristic and meta-heuristic algorithms for solvings shop scheduling problems. Στο F. Xhafa, & A. Abraham, *Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications* (σ. 346). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Magdalene Marinaki, Yannis Marinakis, Georgios E. Stavroulakis, "Fuzzy control optimized by a Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm for vibration suppression of smart structures", @Springer-Verlag 2010 Tasgetiren,

Yannis Marinakis, Magdalene Marinaki, "Particle swarm optimization with expanding neighborhood topology for the permutation flowshop scheduling problem", @Springer, 2013

M. F., Liang, Y. C., Sevki, M., & Gencyilmaz, G. (2004). Differential evolution algorithm for permutation flowshop sequencing problem with makespan criterion. *4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, (σσ. 442 - 452). Sakarya, Turkey.

Pan, Q. K., Tasgetiren, M. F., & Liang, Y. C. (2007). A discrete differential evolution algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. *Genetic and Evolutionary Computation Conference 2007*, (σσ. 126 - 133). London, England.

Costa, W. E., Goldbarg, M. C., & Goldbarg, E. G. (2011). *GRASP with path-relinking adapted to total flowtime permutational flowshop scheduling problem*. Technical Report, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Informática e Matemática Aplicada.

Aydilek, H., & Allahverdi, A. (2006). Two-machine flowshop scheduling problem with bounded processing times to minimize total completion time. *International Journal of Production Economics*, 103 (1), 286-400.

A. Shtub, J. Bard and S. Globerson (2004). *Project Management*. 2nd ed. Pearson.

Vallada, E., & Ruiz, R. (2010). Genetic algorithms with path relinking for the minimum tardiness permutation flowshop problem. *Omega*, 38, 57 - 67.

Zhonghua, H., Haibo, S., & Chang, L. (2009). Differential evolution algorithm for the earliness/tardiness hybrid flow-shop. *Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*. 2, σσ. 188 - 193. Piscataway, New Jersey: IEEE Conference Publications

Eren, T. (2007). A multicriteria flowshop scheduling problem with setup times. *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 60-65.

B.P. Lientz and K.P. Rea (1995). *Project Management for the 21st Century*. Academic Press.

Μαρινάκης, Ι., & Μυγδαλάς, Α. (2008). *Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας*. Θεσσαλονίκη: Σοφία.

Μαρινάκης, Ι., Μαρινάκη, Μ., Ματσατσίνης, Ν., & Ζοπουνίδης, Κ. (2011). *Μεθευρετικοί και εξελικτικοί αλγόριθμοι σε προβλήματα διοικητικής επιστήμης*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.

Σ.Δ. Λυκοθανάσης και Γ.Ν. Μπεληγιάννης. Υπολογιστική Νοημοσύνη | |. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 1999

Παράρτημα

Α.

		ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗ																			
A/A	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Κοπή POLAR	✓			✓		✓		✓			✓		✓		✓			✓		
2	Εκτύπωση	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
3	Θερμοτυπία				✓						✓			✓	✓		✓			✓	
4	Πλαστικοποίηση								✓	✓				✓	✓	✓		✓			
5	Λαμινάρισμα 1							✓				✓	✓		✓		✓			✓	✓
6	Λαμινάρισμα 2												✓								
7	Μορφοκοπή	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Πρέσα Gralex	✓		✓																	
9	Παραθυροκόλληση					✓											✓	✓	✓		
10	Συρταροκόλληση					✓		✓		✓			✓		✓		✓		✓		✓
11	Κωνική κόλληση						✓									✓			✓	✓	
12	Παλετοποίηση	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	Σήμανση	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	Αποστολή	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Β.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	3,15	3,15		4,9	8,05		2,52	10,57		5,25	15,8		4,2	20,02		1,75	21,77		2,1	23,87
2	5,25	8,4	7	15,4	15,8	31,2	8,167	39,32	4,375	43,69	4,2	47,89	7	54,89	8,75	63,6	6,125	69,77	0,875	70,64
3				27,22	66,54							2,917	73,56			9,722	92,38	4,375	96,76	
4								13,1	76,8	9,188	85,95				4,375	96,76	1,969	98,72	5,25	104
5							10,5	77,04				10,5	96,45	3,15	99,6		1,969	100,7		3,675
6												3,5	103,1							
7	7,88	16,3	10,5	26,8	54,8	12,25	78,79	6,563	85,35	6,3	91,65	10,5	102,2	13,1	115	9,188	124,5	1,313	125,8	10,5
8	70	86,3		105	191								136,3	3,15	139,4	4,375	143,8	1,969	145,8	5,25
9					26,25	217,5											5,25	159,9	6	167,7
10							10,5	228		18,38	246,4			7,875	254,3		7,875	262,2		5,25
11						3,15	220,7									5,25	267,4			
12	3	89,3	3	92,3	3	194	3	197,3	3	220,5	3	223,7	3	231	3	234	3	249,4	3	252,4
13	2	91,3	2	94,3	2	196	2	199,3	2	222,5	2	225,7	2	233	2	236	2	251,4	2	254,4
14	4	95,3	4	99,3	4	200	4	204,3	4	226,5	4	230,5	4	237	4	241	4	255,4	4	259,4