



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ
ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**

ΕΤΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ: 2017

Συγγραφέας: Κωνσταντίνος Κουράκης

Επιβλέπων: Γιάννης Μαρινάκης

Σχολή: Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής: Σταυρουλάκης Γεώργιος, Μαρινάκης Ιωάννης,
Μαρινάκη Μάγδα

Περιεχόμενα

<u>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</u>	1
1.1 Εισαγωγή στην Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	1
<u>Κεφάλαιο 2: Χρονοπρογραμματισμός Εργασιών Παραγωγής</u>	3
2.1 Εισαγωγή στον Προγραμματισμό προσωπικού.....	3
2.2 Χρονικός Προγραμματισμός των εργασιών.....	4
2.3 Βελτιστοποίηση ακολουθίας εκτέλεσης εργασιών.....	7
2.3.1 Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής σε συστήματα κατά παραγγελία (Job-shop scheduling).....	8
<u>Κεφάλαιο 3: Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)</u>	
3.1 Γενική Περιγραφή.....	10
3.2 Βασικός Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης.....	11
<u>Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση Αλγορίθμου</u>	13
<u>Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων</u>	18
5.1 Πρόβλημα 15 εργασιών σε 15 μηχανήματα.....	18
5.2 Πρόβλημα 20 εργασιών σε 15 μηχανήματα.....	29
5.3 Πρόβλημα 20 εργασιών σε 20 μηχανήματα.....	34
5.4 Πρόβλημα 30 εργασιών σε 15 μηχανήματα.....	39
5.5 Πρόβλημα 30 εργασιών σε 20 μηχανήματα.....	44
5.6 Πρόβλημα 50 εργασιών σε 15 μηχανήματα.....	49
5.7 Πρόβλημα 50 εργασιών σε 20 μηχανήματα.....	54
5.8 Πρόβλημα 100 εργασιών σε 20 μηχανήματα.....	58

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική που πραγματοποιήθηκε γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας και στις έννοιες του χρονικού προγραμματισμού προσωπικού για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του χρόνου που διαθέτει μία επιχείρηση για την ολοκλήρωση μίας παραγωγικής διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα επιλύεται το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού των εργασιών που πραγματοποιούνται από έναν συγκεκριμένο αριθμό μηχανών μέσα σε μία επιχείρηση ούτως ώστε να γίνει ο καλύτερος δυνατός προγραμματισμός τους και να βρεθεί ο βέλτιστος χρόνος ολοκλήρωσης της παραγωγικής διαδικασίας. Στο πλαίσιο της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης σε τρεις τρόπους τοπικής αναζήτησης του βέλτιστου χρόνου ολοκλήρωσης της παραγωγικής διαδικασίας επιλύοντας διάφορα προβλήματα πολλών διαφορετικών αριθμών εργασιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν από 15 και 20 μηχανήματα που κατέχει μία επιχείρηση. Τα αποτελέσματα αναλύονται γραφικά βγάζοντας συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου προσομοιωμένης ανόπτησης.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στην εφοδιαστική αλυσίδα

Ο τεράστιος ανταγωνισμός και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών έχουν οδηγήσει τις επιχειρήσεις να στρέφονται όλο και περισσότερο σε τρόπους βελτίωσης της λειτουργίας του με σκοπό την αύξηση των κερδών τους. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα αποτελεί λοιπόν αδιαμφισβήτητο κομμάτι μιας επιχείρησης για την επίτευξη των στόχων της. Η ανάπτυξη μιας πλήρους και ανταποκρινόμενης Εφοδιαστικής Αλυσίδας λοιπόν κρίνεται αναγκαία για κάθε επιχείρηση.

Με τον όρο Εφοδιαστική Αλυσίδα εννοούμε όχι μόνο τη ροή υλικών από τον προμηθευτή πρώτων υλών ή τον κατασκευαστή μέχρι τον τελικό καταναλωτή, αλλά παράλληλα και τη ροή πληροφοριών μεταξύ των μελών της ίδιας αλυσίδας. Η διαχείριση της γίνεται σε δύο επίπεδα:

Επίπεδο προγραμματισμού: στο επίπεδο αυτό, αναλύονται τα δεδομένα προμηθειών, αναλώσεων παραγωγής, αποθεματοποίησης και πωλήσεων, γίνονται προβλέψεις και πλάνα στα οποία βασίζεται ο προγραμματισμός.

Επίπεδο εκτέλεσης: στο στάδιο αυτό εκτελείται το πλάνο που έχει καθοριστεί στο επίπεδο προγραμματισμού και παρακολουθείται η εξέλιξη του βάσει των δεδομένων και πληροφοριών που συλλέγονται από όλο το εύρος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Η Εφοδιαστική Αλυσίδα συνδέεται άμεσα με την εφαρμογή του μάνατζμεντ. Ασχολείται με τον σχεδιασμό και την υλοποίηση σημαντικών αποφάσεων, την μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων παραγωγής και μεταφορών και εμπλέκεται στην σωστή διαχείριση του ανθρώπινου και μηχανολογικού δυναμικού μιας επιχείρησης. Για την δημιουργία μιας ικανοποιητικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας πρέπει να ληφθούν υπόψη λοιπόν εκτός από την ικανότητα οργάνωσης ενός εκτενούς πληροφοριακού συστήματος και διοικητικές ικανότητες. Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία της Εφοδιαστικής Αλυσίδας λοιπόν που ακολουθείται σε κάθε εφαρμογή συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Εντοπισμός του προβλήματος και εφαρμογή των μεθόδων ανάλυσης για την οριοθέτηση των συστατικών του ή των παραγόντων που το επηρεάζουν και τον προσδιορισμό των στρατηγικών-επιχειρησιακών στόχων και των περιορισμών που το διέπουν.
2. Μαθηματική (π.χ γραμμικός-ακέραιος προγραμματισμός ή γραμμές αναμονής) ή συστημική (π.χ. προσομοίωση ή μοντελοποίηση επιχειρησιακών διαδικασιών) προτυποποίηση για την ορθολογιστική απεικόνιση του προβλήματος.
3. Ανάπτυξη (ή επιλογή υπαρχόντων) τεχνικών επίλυσης των προβλημάτων μέσω μαθηματικού προγραμματισμού, ευρετικών αλγορίθμων ή άλλων υπολογιστικών μεθόδων ώστε να είναι δυνατή η σύγκλιση σε μία εφικτή ή/και βέλτιστη λύση.
4. Υλοποίηση των τεχνικών επίλυσης σε κατάλληλη πλατφόρμα που εξαρτάται από την πληροφοριακή υποδομή της αντίστοιχης εταιρείας, την ύπαρξη πακέτων λογισμικού, και τις ανάγκες για αποτελεσματικότητα και ταχύτητα στην εξεύρεση λύσεων.
5. Σχεδιασμός και σύνθεση των υποστηρικτικών πληροφοριακών συστημάτων που ενσωματώνουν τις τεχνικές επίλυσης και επιτρέπουν την διεπαφή των μάνατζερ που πρέπει να λάβουν τις αποφάσεις και των συστημάτων που περιέχουν τα δεδομένα και τις αλγοριθμικές προσεγγίσεις.

Τα προβλήματα στα οποία εφαρμόζονται οι αρχές της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι εκτός των άλλων η Χρηματοοικονομική Διοίκηση, το μάρκετινγκ και πωλήσεις, μεταφορές και ανθρώπινοι πόροι.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στον όρο Εφοδιαστική Αλυσίδα συμπεριλαμβάνονται όλες οι επιμέρους εργασίες από την στιγμή της παραγγελίας μιας πρώτης ύλης ενός προμηθευτή από την εταιρεία, μέχρι την μεταφορά εν τέλει του τελικού προϊόντος στον εκάστοτε πελάτη της εταιρείας αυτής. [1]

Κεφάλαιο 2: Χρονοπρογραμματισμός Εργασιών Παραγωγής

2.1 Εισαγωγή στο χρονοπρογραμματισμό προσωπικού

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχει να επιλύσει μια επιχείρηση είναι ο χρονικός προγραμματισμός του έμψυχου και μηχανολογικού δυναμικού της. Κατά την διαδικασία αυτή η επιχείρηση πρέπει να λάβει υπόψη της τις δυνατότητες του κάθε ατόμου ούτως ώστε να μπορεί να γίνει η κατηγοριοποίηση των εργασιών. Ο κάθε εργαζόμενος πρέπει να ανατίθεται σε εργασίες που να μπορεί να φέρει εις πέρας και να μπορεί να προσφέρει τα μέγιστα για την επιχείρηση. Πολύ σημαντικός περιορισμός του χρονικού προγραμματισμού του προσωπικού είναι το εργατικό οχτάωρο που ορίζεται από την νομοθεσία. Καμία επιχείρηση δεν πρέπει να παραβιάζει τον κανόνα αυτόν δίχως κάποιο κόστος (π.χ. πληρωμή υπερωριών στον εργαζόμενο). Με τον χρονοπρογραμματισμό του προσωπικού η επιχείρηση αποσκοπεί στην καλύτερη λειτουργία του συστήματος παραγωγής της καθώς και στην αμεσότερη επίτευξη των στόχων της παραγωγής που έχουν τεθεί κατά τον αρχικό προγραμματισμό παραγωγής. Το προσωπικό λοιπόν κατανέμεται σε καθορισμένες εργασίες με βάση τις γνώσεις και την εμπειρία του με σκοπό να υπάρξει η μέγιστη απόδοση. Στον χρονοπρογραμματισμό του προσωπικού συμπεριλαμβάνονται βεβαίως και όλα τα μηχανήματα τα οποία θα χειριστεί το προσωπικό κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Για την αντιμετώπιση προβλημάτων προγραμματισμού προσωπικού θα μπορούσε η επιχείρηση να δημιουργήσει όλους τους συνδυασμούς εργασιών, τέτοιων που να μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά την διάρκεια του εργατικού οχταώρου. Σε ένα πρόβλημα λοιπόν όπου η επιχείρηση έχει έναν αριθμό εργασιών $j=1,2,\dots,n$ και χρόνου διεκπεραίωσης t_j και ένα αριθμό εργαζομένων $i=1,2,\dots,m$ και κόστους εργασίας c_{ij} , γνωρίζοντας ποιοι συνδυασμοί εργάτη-εργασίας μπορούν να διεκπεραιωθούν μπορεί να διατυπωθεί ένας πίνακας $A=[a_{ik}]_{m \times N}$, όπου

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{εάν μπορεί ο συνδιασμός } k \text{ να ανατεθεί στον } i \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall i, \forall k \end{cases}$$

και έναν πίνακα $\mathbf{B}=[b_{jk}]_{m \times N}$, όπου

$$b_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{εάν ο συνδυασμός } k \text{ περιλαμβάνει την εργασία } j \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall k, \forall j \end{cases}$$

Με αυτά τα δεδομένα υπολογίζουμε για κάθε συνδυασμό k το κόστος c_k που του αντιστοιχεί, και η απόφασή μας αφορά πλέον στο πώς να επιλέξουμε τους κατάλληλους συνδυασμούς για να καλύψουμε όλες τις εργασίες. Άρα οι μεταβλητές απόφασής μου θα είναι

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{εάν ο συνδυασμός } k \text{ επιλεγθεί} \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall k \end{cases}$$

και το μαθηματικό πρότυπο διαμορφώνεται ως εξής:

$$\min \sum_{k=1}^K c_k x_k$$

υπό

$$\sum_{k=1}^K a_{ik} x_k = 1, \forall i$$

$$\sum_{k=1}^K b_{jk} x_k = 1, \forall j$$

$$x_k \in \{0,1\}, \forall k$$

2.2 Χρονικός Προγραμματισμός των εργασιών

Αφού λοιπόν μια επιχείρηση κατανοήσει πλήρως τις δυνατότητες του προσωπικού της και μπορέσει να κατηγοριοποιήσει τον κάθε εργαζόμενο σε συγκεκριμένες εργασίες, έπεται ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών αυτών. Σε αυτό το στάδιο η επιχείρηση αποφασίζει την σειρά με την οποία θα γίνουν οι συγκεκριμένες εργασίες για την οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και επιλέγονται τα κατάλληλα μηχανήματα (και οι χειριστές τους) για την κάθε συγκεκριμένη εργασία.

Σαφώς και ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής έχει απαιτήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από την επιχείρηση για την καλύτερη δυνατή επίτευξή του:

1. Πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων, όπως προκύπτουν από τα φρασεολογία, τους πίνακες υλικών, τις προβλέψεις ή/και τις παραγγελίες των πελατών, οι οποίες μεταφράζονται σε απαιτήσεις για παραγωγικούς πόρους.
2. Περιορισμοί του συστήματος, που αφορούν την δυναμικότητα (διαθέσιμος παραγωγικός εξοπλισμός), την ακολουθία των δραστηριοτήτων που ορίζει η υπάρχουσα τεχνολογία, τις απαιτήσεις για συντήρηση των μηχανών, και τα δεδομένα του συγκεντρωτικού προγράμματος παραγωγής για το συνολικό επίπεδο της παραγωγής, του ανθρώπινου δυναμικού και των αποθεμάτων.
3. Βελτιστοποίηση συνάρτησης κόστους ή οφέλους (πλήρωση κάποιων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στην εξυπηρέτηση των πελατών, στο συνολικό κόστος λειτουργίας, στην αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας κλπ.)

Ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών του προσωπικού μπορεί να γίνει ευκολότερα κατανοητός με το παρακάτω παράδειγμα.

Έστω μια επιχείρηση η οποία διαθέτει J μηχανές οι οποίες πρέπει να προγραμματιστούν για την επεξεργασία ενός προϊόντος για ένα χρονικό ορίζοντα T . Η εταιρεία διαθέτει I χειριστές μηχανών οι οποίοι, λόγω συνδικαλιστικών συμφωνιών δεν μπορούν να χειριστούν την κάθε μηχανή πάνω από ένα όριο συνεχόμενων χρονικών περιόδων u_{ij} . Η επιχείρηση λοιπόν θέλει να ελαχιστοποιήσει την περίοδο που οι μηχανές θα βρίσκονται σε αδράνεια.

Υπάρχουν λοιπόν οι εξής μεταβλητές απόφασης:

x_{ijt}

$$= \begin{cases} 1, & \text{εάν η μηχανή } j \text{ διατείνεται στον χειριστή } i \text{ για την περίοδο } t \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall i, \forall j, \forall t \end{cases}$$

Επίσης οι περιορισμοί που θα εγγυώνται ότι μόνο ένας χρήστης το πολύ θα χρησιμοποιεί μία μηχανή και ότι μια μηχανή ανατίθεται μόνο σε ένα χρήστη κατά την διάρκεια μία χρονικής περιόδου διατυπώνονται ως εξής:

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} \leq 1, \forall j, \forall t$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ijt} \leq 1, \forall i, \forall t$$

Οι περιορισμοί που εκφράζουν την συμφωνία με τους συνδικαλιστικούς όρους :

$$\sum_{t=1}^T x_{ijt} \leq u_{ij}, \forall i, \forall j$$

Σαφώς και στην πραγματικότητα θα υπάρχουν πολλοί περισσότεροι περιορισμοί τους οποίους θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και να τους χρησιμοποιήσουμε με ανάλογο τρόπο.

Τέλος, πρέπει να διατυπωθεί μία αντικειμενική συνάρτηση η οποία θα ελαχιστοποιεί τον το σύνολο των περιόδων αδράνειας των μηχανών. Έστω λοιπόν ότι η επιχείρηση έχει υπολογίσει μία χρηματική ποινή για την μη λειτουργία της μηχανής j την περίοδο t , όπου συμβολίζεται με p_{jt} . Εάν η μηχανή j ανατεθεί για την χρονική περίοδο t στον χειριστή i τότε $\sum_{i=1}^I x_{ijt} = 1$, ενώ εάν δεν ανατεθεί σε κάποιον $\sum_{i=1}^I x_{ijt} = 0$. Έτσι λοιπόν μπορεί να εκφραστεί η ποινή ως

$$p_{jt}(1 - \sum_{i=1}^I x_{ijt})$$

Για την μηχανή j στην περίοδο t . Η έκφραση αυτή υπολογίζεται εύκολα αφού είναι p_{jt} για την περίπτωση που δεν χειρίζεται κάποιος την μηχανή και 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Άρα λοιπόν η αντικειμενική συνάρτηση διατυπώνεται ως

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J p_{jt}(1 - \sum_{i=1}^I x_{ijt})$$

και ισοδύναμα ως

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I p_{jt} x_{ijt}$$

Το αποτέλεσμα της παραπάνω αντικειμενικής είναι ένα γραμμικό πρότυπο ακεραίου προγραμματισμού.

2.3 Βελτιστοποίηση ακολουθίας εκτέλεσης εργασιών

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ανάθεσης των εργασιών στις μηχανές μία επιχείρησης. Στην παρούσα διπλωματική εφαρμόζεται ο αλγόριθμος χρονικού προγραμματισμού σε συστήματα κατά παραγγελία (job-shop scheduling) για τον οποίο υπάρχει εκτενής αναφορά σε επόμενο υποκεφάλαιο. Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης της ακολουθίας εργασιών (sequencing problem) αναφέρεται στο πώς μπορεί να προγραμματιστεί ένας μεγάλος αριθμός εργασιών με μια συγκεκριμένη σειρά ούτως ώστε να γίνει η βελτιστοποίηση κάποιου κριτηρίου που θα ενδιαφέρει την εκάστοτε επιχείρηση. Έχοντας λοιπόν κάθε εργασία έναν συγκεκριμένο χρόνο ολοκλήρωσης, το κριτήριο αυτό μπορεί να εκφραστεί κάθε φορά με διαφορετικούς τρόπους :

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης όλων των εργασιών (throughput time)
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου διάρκειας των εργασιών (makespan), δηλαδή του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση όλων των εργασιών
- Ελαχιστοποίηση της ολικής καθυστέρησης (lateness) ή της ποινής καθυστέρησης (lateness penalty) για όλες τις εργασίες.

Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν σε τέτοιου είδους προβλήματα. Μερικοί από αυτούς τους περιορισμούς είναι οι εξής:

- Σχέσεις μεταξύ των εργασιών, εάν υπάρχουν τέτοιες
- Ημερομηνίες προθεσμίας
- Δυνατότητες διάσπασης των εργασιών
- Περιορισμένοι πόροι

- Ταυτόχρονη ή μη εκτέλεση εργασιών [1]

2.3.1 Χρονικός Προγραμματισμός σε συστήματα κατά παραγγελία (Job-shop scheduling)

Στην υποπαράγραφο αυτή θα εξηγηθούν αναλυτικότερα τα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού σε συστήματα κατά παραγγελία. Στα προβλήματα αυτά δίδονται σαν δεδομένα οι μηχανές, το προσωπικό, οι εργασίες καθώς και η προκαθορισμένη σειρά των εργασιών που πρέπει να γίνει για την κατεργασία ενός προϊόντος με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εργασιών (makespan). Τα προβλήματα job-shop είναι προβλήματα με πολύ μεγάλο βαθμό δυσκολίας και πολυπλοκότητας που συχνά καθιστά αδύνατη ή εξαιρετικά δυσχερή την εξεύρεση μιας βέλτιστης λύσης. Ο βαθμός πολυπλοκότητας όπως λοιπόν γίνεται κατανοητό εκτός των άλλων αυξάνεται από το πλήθος των μηχανών επεξεργασίας που διαθέτει μια επιχείρηση, από τον αριθμό των εργασιών και των φάσεων που πρέπει να ολοκληρωθούν για να παραχθεί το τελικό προϊόν καθώς και από τον αριθμό κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση των εναλλακτικών προγραμμάτων. Στα προβλήματα για την περίπτωση M αριθμού επεξεργαστών και N αριθμού εργασιών, όπως και αυτό της παρούσας διπλωματικής, ο συνολικός αριθμός των δυνατών συνδυασμών για την εκτέλεση όλων των εργασιών είναι $(N!)^M$. Καταλαβαίνει κανείς ότι υπάρχει ένα τεράστιο πλήθος λύσεων ακόμα και για ένα πρόβλημα με πολύ μικρό αριθμό επεξεργαστών και εργασιών. Για παράδειγμα εάν το πλήθος των εργασιών είναι 5 και το πλήθος των επεξεργαστών είναι 3 τότε ο συνολικός αριθμός συνδυασμών είναι $(5!)^3 = 1,728,000!$ Είναι λοιπόν φανερό ότι η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού είναι εξαιρετικά δύσκολη ακόμα και για ένα τόσο μικρό πρόβλημα.

Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων απαιτούνται αλγόριθμοι που να δίνουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα την καλύτερη λύση. Τέτοιοι αλγόριθμοι υπάρχουν αλλά για ορισμένα απλά προβλήματα και όχι και πολύπλοκα και ιδιαίτερα σύνθετα προβλήματα που συναντώνται στην πραγματικότητα. Πολλά λοιπόν προβλήματα παραμένουν άλυτα σε βάθος βέλτιστης λύσης. Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος μπορεί να μειωθεί με την εισαγωγή ασθενών ή/και ισχυρών περιορισμών που θα ελέγχουν και θα μειώνουν τον αριθμό των διαθέσιμων λύσεων.

Στις περιπτώσεις σύνθετων προβλημάτων δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία επίλυσής τους. Συνήθως η εμπειρική γνώση μπορεί να δώσει μία πιο απλοποιημένη μορφή του προβλήματος, βρίσκοντας επίσης αποδεκτές αλλά υποβέλτιστες λύσεις , με την χρήση των κανόνων καθώς και κάποιων διαδικασιών προγραμματισμού και χρήση γραφικών. Στην περίπτωση γενικού job-shop, η διαδικασία εκπόνησης χρονικού προγράμματος παραγωγής περιλαμβάνει τη χρήση των ίδιων κανόνων δρομολόγησης των εργασιών στους επεξεργαστές. Για την εφαρμογή των κανόνων αυτών εξετάζονται οι εργασίες και οι επιμέρους φάσεις που περιλαμβάνουν, ο αντίστοιχος χρόνος επεξεργασίας και οι επεξεργαστές. Ο κανόνας δρομολόγησης εφαρμόζεται όταν δύο ή περισσότερες εργασίες αναμένουν για να δρομολογηθούν σε έναν επεξεργαστή, ώστε να βρεθεί ποια έχει προτεραιότητα. Όταν τελειώσει μια φάση μιας εργασίας, η εργασία αυτή προστίθεται στις άλλες που αναμένουν να πάρουν σειρά σε άλλον επεξεργαστή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε μονάδα χρόνου, μέχρι να δρομολογηθούν όλες οι εργασίες.

Σύμφωνα με τους J. Kanet, J. Hayya οι οποίοι επικεντρώθηκαν σε κανόνες που σχετίζονταν με την ημερομηνία παράδοσης, τα τρία κριτήρια που θα πρέπει να εκπληρώνει ο κανόνας που θα επιλεγεί για την επίλυση του προβλήματος θα πρέπει να είναι τα εξής:

- Να είναι σχετικά απλός, αφού υπάρχει τεράστιος αριθμός συνδυασμών που πρέπει να εξετασθούν για να προκύψει η βέλτιστη λύση.
- Να είναι ευέλικτος και να μπορεί να προσαρμοσθεί σε τυχόν αλλαγές που θα προκύψουν κατά την διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών
- Πρέπει να βασίζεται στο περιθώριο που έχει η κάθε εργασία, δηλαδή να επικεντρώνεται στο χρόνο που απομένει για την ημερομηνία παράδοσης του τελικού προϊόντος και στο χρόνο επεξεργασίας που απομένει για την εργασία.

[2]

Κεφάλαιο 3: Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)

3.1 Γενική Περιγραφή

Μία πολύ σημαντική μέθοδος επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης είναι και η προσομοιωμένη ανόπτηση. Ο όρος της ανόπτησης χρησιμοποιείται κυρίως στην θερμοδυναμική. Ανόπτηση σημαίνει ότι ένα στερεό υλικό θερμαίνεται μέχρι το σημείο τήξεώς του και στην συνέχεια ψύχεται αργά με σκοπό το υλικό να πέσει στο χαμηλότερο στάδιο ενέργειας όταν τελειώσει η ψύξη. Στην συνδυαστική βελτιστοποίηση αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί με την κίνηση κάποιου κριτηρίου στον εφικτό χώρο αναζήτησης ούτως ώστε όταν τελειώσει ο αλγόριθμος να έχουμε μία εφικτή λύση.

Η προσομοιωμένη ανόπτηση λοιπόν χρησιμοποιεί μία γειτονιά $N(s)$ καινούργιων καταστάσεων, που μπορεί να φτάσει κάποιος από την τρέχουσα κατάσταση s . Ο αλγόριθμος λειτουργεί παίρνοντας μία αρχική κατάσταση s_0 και μία τυχαία διαταραχή στην αρχική λύση αυτή, έτσι γεννιέται μία καινούργια λύση s' . Το αποτέλεσμα της αντικειμενικής αυτής συνάρτησης είναι το $\delta = f(s') - f(s_0)$. Εάν λοιπόν το $\delta < 0$ τότε η καινούργια κατάσταση είναι αποδεκτή, εάν δεν είναι αρνητική, τότε η νέα κατάσταση είναι αποδεκτή με κάποια πιθανότητα. Η πιθανότητα αυτή προέρχεται από τους νόμους της θερμοδυναμικής. Η πιθανότητα $p(\delta) = e^{-\delta/t}$ αύξησης στην ενέργεια της ποσότητας δ στη θερμοκρασία t (κανονικά η πιθανότητα είναι $p(\delta) = e^{-\delta/kt}$, με το k να αναφέρεται στην σταθερά Boltzmann αλλά στην συνδυαστική βελτιστοποίηση δεν χρησιμοποιείται και για αυτό τον λόγο μπορεί να αναιρεθεί). Η προσομοιωμένη ανόπτηση λοιπόν δίνει στο πρόγραμμα επίλυσής την δυνατότητα να αποδεχτεί ακόμα και κάποιες μικρές αυξήσεις στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά με κάποια συγκεκριμένη πιθανότητα. Με τον τρόπο αυτό η προσομοιωμένη ανόπτηση δίνει την δυνατότητα για την αποδοχή κάποιων μικρών αυξήσεων της αντικειμενικής ελέγχοντας την πιθανότητα αποδοχής διαμέσου της θερμοκρασίας. Έτσι λοιπόν σε υψηλότερες θερμοκρασίες είναι πιο πιθανό μια λύση με χειρότερη τιμή στη συνάρτηση κόστους να είναι αποδεκτή σαν η καινούργια κατάσταση του προβλήματος. Χρησιμοποιείται πάντα μια συνάρτηση μείωσης

θερμοκρασίας όπου σε κάθε επανάληψη μειώνει την εκάστοτε θερμοκρασία. Η συνάρτηση μαζί με την αρχική θερμοκρασία είναι τα δύο δεδομένα που καθορίζουν πότε και πόσο θα μειωθεί η θερμοκρασία, άρα και πότε θα βρεθεί τελικά το βέλτιστο τελικό αποτέλεσμα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι περιγραφής της συνάρτησης μείωσης της θερμοκρασίας, μερικοί από αυτούς είναι οι εξής:

- Εκθετική μείωση, συνάρτηση $\alpha(t)=t\alpha$, όπου $\alpha= 0.95$ ή $\alpha=0.98$
- Προσαρμοστικό πρόγραμμα ψύξης, όπου κάνει δυναμική επιλογή του t
- Καθορισμένου μήκους συνάρτηση $\alpha(t)=a*t$, όπου $0,8\leq\alpha\leq0,98$
- Λογαριθμική προσέγγιση

Υπάρχουν επίσης και κάποια κριτήρια σύγκλισης για την προσομοιωμένη ανόπτηση τα οποία είναι τα εξής:

- Όταν η θερμοκρασία έχει φτάσει σε ένα καθορισμένο χαμηλό επίπεδο
- Ένα καθορισμένος αριθμός επαναλήψεων έχει ολοκληρωθεί χωρίς να έχει υπάρξει κάποια αποδοχή στην αντικειμενική συνάρτηση
- Η αναλογία των αποδεχτών κινήσεων έχει πέσει κάτω από μία δεδομένη τιμή
- Ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων, που έχει καθοριστεί, έχει ολοκληρωθεί.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας της προσομοιωμένης ανόπτησης, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να ρυθμιστούν και να δοκιμαστούν. Ο καθορισμός της γειτονιάς που θα ψάξει να βρει βέλτιστο ο αλγόριθμος. Η συνάρτηση μείωσης της θερμοκρασίας και ο αριθμός των εσωτερικών επαναλήψεων είναι παράγοντες που μπορούν να αλλάξουν δραστικά την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα του αλγορίθμου. Είναι επίσης πιθανό να υπάρχει στρατηγική αύξησης της θερμοκρασίας ή να επιτρέπεται επιπλέον αναζήτηση σε ένα τοπικό ελάχιστο.

3.2 Βασικός Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης

Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζεται η βασική δομή του αλγορίθμου προσομοιωμένης ανόπτησης σε μορφή ψευδογλώσσας:

Διάλεξε μία αρχική λύση s_0

Διάλεξε μία αρχική θερμοκρασία t_0

Διάλεξε μία συνάρτηση μείωσης της θερμοκρασίας $a(t)$

Επανάλαβε

Επανάλαβε

Τυχαία επιλογή μιας γειτονιάς $s \in N(s_0)$

$$\delta = f(s) - f(s_0)$$

αν $\delta < 0$ τότε

$$s_0 = s$$

αλλιώς

δημιουργούμε τυχαία x , ομοιόμορφα κατανεμημένα στην ακτίνα $(0,1)$

αν $x < e^{-\delta/t}$ τότε

$$s_0 = s$$

τέλος αν

τέλος αν

μέχρις ότου ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ολοκληρωθεί

$$t = a(t)$$

μέχρις ότου κάποιο κριτήριο σταματήματος ικανοποιηθεί

Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος δημιουργήθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB R2011a. Ο αλγόριθμος έτρεξε σε υπολογιστή με επεξεργαστή AMD A6-6310 APU μνήμης RAM 6GB και κρίθηκε ιδιαίτερα γρήγορος βγάζοντας αρκετά συμπεράσματα. Ακολουθεί η εκτενής περιγραφή του καθώς και η παρουσίασή του σε μορφή ψευδοκώδικα.

Αρχικά ο αλγόριθμος διαβάζει τα δεδομένα που υπάρχουν στο εκάστοτε αρχείο .xls και τα τοποθετεί σε μεταβλητές όπου δίνουν τον αριθμό των μηχανημάτων και τον αριθμό των εργασιών για μία παραγωγική διαδικασία καθώς και την σειρά της εφικτής λύσης του προβλήματος. Στην συνέχεια καλεί την συνάρτηση επεξεργασίας και βελτίωσης της λύσης. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως είσοδο τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω και επιστρέφει το τελικό κόστος της παραγωγικής διαδικασίας (makespan) τον πίνακα με την σειρά των εργασιών που βρέθηκε το τελικό αποτέλεσμα καθώς και η θέση του βέλτιστου στον πίνακα αυτό.

Η συνάρτηση δημιουργεί αρχικά μία τυχαία λύση και την κάνει εφικτή ούτως ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα μηχανήματα στην πραγματικότητα. Έπειτα δημιουργεί ένα νέο πίνακα που θα αποθηκευτούν τα κόστη της αρχικής αυτής λύσης. Ακολουθεί η βελτιστοποίηση της τυχαίας λύσης με την χρήση τοπικής αναζήτησης “1-1 exchange”, δομή που αλλάζει 2 τυχαίες στήλες της λύσης μου μεταξύ τους δημιουργώντας μία νέα λύση (Παράδειγμα 1). Στην συνέχεια ακολουθεί η ίδια διαδικασία που προηγήθηκε για να γίνει αυτή η καινούργια λύση εφικτή και να βγάλει το τελικό της αποτέλεσμα. Έπειτα ακολουθεί η εφαρμογή της προσομοιωμένης ανόπτησης (όπου αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο) για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Μετά από την πρώτη προσομοιωμένη ανόπτηση ακολουθεί η εφαρμογή της τοπικής αναζήτησης “1-0 relocate”. Το “1-0 relocate” παίρνει μία τυχαία στήλη της αρχικής λύσης και την τοποθετεί σε μία άλλη θέση στήλης χωρίς να αλλάξει η υπόλοιπη διάταξη του πίνακα (Παράδειγμα 2). Και έπειτα ακολουθεί η διαδικασία για την μετατροπή της νέας λύσης σε εφικτή. Τέλος γίνεται εκ νέου η εφαρμογή της προσομοιωμένης ανόπτησης και βγαίνει το τελικό

αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 200 φορές κρατώντας κάθε φορά το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Παράδειγμα 1

Έστω μια σειρά 5 διαδικασιών:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Με την χρήση της “1-1 exchange” αν οι 2 διαδικασίες που θα εναλλαχθούν ήταν η 2 και 5 τότε η σειρά θα γινότανε:

1	5	3	4	2
---	---	---	---	---

Παράδειγμα 2

Έστω για την ίδια σειρά γινόταν η χρήση της “1-0 relocate” με την οποία η διαδικασία 2 πρέπει να πάει στην θέση της διαδικασίας 5. Η σειρά λοιπόν θα γινότανε:

1	3	4	5	2
---	---	---	---	---

Στην ουσία λοιπόν όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες πάνε μία θέση πίσω και η 1 μένει απaráλλακτη.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος καθώς και η συνάρτηση που καλεί για την επίλυση του προβλήματος σε μορφή ψευδογλώσσας:

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Αλγόριθμος diplwmatikh

Διάβασε αρχείο .xls με τα εκάστοτε δεδομένα για τον αριθμό μηχανών και εργασιών

Κάλεσε συνάρτηση jobshop

Τέλος diplwmatikh

Αλγόριθμος jobshop

Δημιούργησε τυχαία καινούργια λύση πίνακα $J \times M$ (εργασίες \times μηχανές)

Ταξινόμησε πίνακα τυχαίας λύσης

Δημιούργησε νέο πίνακα $J \times M$

Για i **από** 1 **μέχρι** J [με βήμα 1]

Για j **από** 1 **μέχρι** M [με βήμα 1]

Διάβασε μεταβλητή που θα διαβάζει την σειρά της κάθε εργασίας στην εκάστοτε μηχανή

Δημιούργησε πίνακα με την εφικτή λύση

Τέλος επανάληψης

Τέλος επανάληψης

Δημιούργησε πίνακα που θα αποθηκευτούν τα κόστη

Για k **από** 1 **έως** $J \times M$ [με βήμα 1]

Βρές κάθε φορά τον αριθμό k στον νέο πίνακα με την εφικτή λύση

Βρές μέγιστο και ελάχιστο κάθε γραμμής και κάθε στήλης του αριθμού k

Αν μέγιστο στήλης $>$ μέγιστο γραμμής **τότε**

Πρόσθεσε στο σημείο k το μέγιστο στήλης με το σημείο κόστους που αντιστοιχεί στο k

Αν μέγιστο στήλης $<$ μέγιστο γραμμής **τότε**

Πρόσθεσε στο σημείο k το μέγιστο γραμμής με το σημείο κόστους που αντιστοιχεί στο k

Τέλος αν

Τέλος επανάληψης

Βρές το μέγιστο του πίνακα με τα κόστη

Βρές την θέση μεγίστου από τον πίνακα με την σειρά των εργασιών

Δημιούργησε νέα λύση σειράς εργασιών Knew2 με αρχικοποίηση από την προηγούμενη

Δημιούργησε μεταβλητή makespanvel αρχικοποιώντας την με το προηγούμενο makespan

Δημιούργησε μεταβλητή θερμοκρασίας temp

Δημιούργησε μεταβλητή μείωσης θερμοκρασίας f

Δημιούργησε μεταβλητή επανάληψης h=2

Δημιούργησε πίνακα 1x200 για την αποθήκευση όλων των makespan

Για h από 2 έως 200

Επέλεξε 2 τυχαίες στήλες sthlh1 και sthlh2

Αντιμετάθεσε τις δύο αυτές στήλες μεταξύ τους

Δημιούργησε καινούργιο πίνακα με τις στήλες που έχουν αντιμετατεθεί

Ταξινόμησε τον πίνακα με την αντιμετάθεση

Δημιούργησε νέο μηδενικό πίνακα JxM Knew4

Για i από 1 μέχρι J [με βήμα 1]

Για j από 1 μέχρι M [με βήμα 1]

Διάβασε μεταβλητή που θα διαβάζει την σειρά της κάθε εργασίας στην εκάστοτε μηχανή

Δημιούργησε πίνακα με την εφικτή λύση

Τέλος επανάληψης

Τέλος επανάληψης

Δημιούργησε πίνακα που θα αποθηκευτούν τα κόστη

Για k από 1 έως J*M [με βήμα 1]

Βρές κάθε φορά τον αριθμό k στον νέο πίνακα με την εφικτή λύση

Βρές μέγιστο και ελάχιστο κάθε γραμμής και κάθε στήλης του αριθμού k

Αν μέγιστο στήλης $>$ μέγιστο γραμμής **τότε**

Πρόσθεσε στο σημείο k το μέγιστο στήλης με το σημείο κόστους που αντιστοιχεί στο k

Αν μέγιστο στήλης $<$ μέγιστο γραμμής **τότε**

Πρόσθεσε στο σημείο k το μέγιστο γραμμής με το σημείο κόστους που αντιστοιχεί στο k

Τέλος αν

Τέλος επανάληψης

Βρές το μέγιστο του πίνακα με τα κόστη `makespan2`

Βρές την θέση μεγίστου από τον πίνακα με την σειρά των εργασιών `makespanPos2`

Δημιούργησε μεταβλητή d με την διαφορά του `makespan2-makespanvel`

Αν $d < 0$

Εκχώρησε $K_{vel} = K_{new4}$

Εκχώρησε K_{new4} στον πίνακα που είχε γίνει η αντιμετάθεση στηλών

Εκχώρησε `makespanvel` στον πίνακα με τα `makespan` που δημιουργήθηκε

Αλλιώς

Δημιούργησε τυχαία μεταβλητή διαστήματος $(0,1)$

Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με την χρήση του ανωτέρου αλγορίθμου στα προβλήματα που τέθηκαν. Θα αναδειχθούν αναλυτικά οι πίνακες των τελικών αποτελεσμάτων και η θέση του. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε 5 φορές σε κάθε πρόβλημα βγάζοντας χρήσιμα συμπεράσματα. Βάσει λοιπόν των αποτελεσμάτων ο αλγόριθμος κρίθηκε ιδιαίτερα γρήγορος και σταθερός, όμως υπήρξε αρκετά μεγάλη απόκλιση από το βέλτιστο ακόμα και για έναν πάρα πολύ μεγάλο αριθμό επαναλήψεων της τοπικής αναζήτησης. Επίσης δοκιμάστηκε η επίλυση είτε με τοπική αναζήτηση “1-1 exchange“, είτε μόνο με “1-0 relocate”, βγάζοντας τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα.

Υπήρξαν 8 τύποι προβλημάτων με διαφορετικό αριθμό μηχανημάτων και εργασιών. Σε κάθε ένα από τους τύπους αυτούς υπήρξαν 10 διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος, όπου η κάθε μία έχει διαφορετική βέλτιστη λύση. Ακολουθούν τα προβλήματα και τα αποτελέσματα του κάθε ενός:

5.1 Προβλήματα 15 εργασιών σε 15 μηχανήματα

Στο πρόβλημα αυτό υπάρχουν 15 μηχανήματα τα οποία πρέπει να εκτελέσουν 15 εργασίες. Κάθε μηχανήμα έχει την δικιά του σειρά που εκτελεί κάθε εργασία. Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων για το 1^ο πρόβλημα αυτής της κατηγορίας:

Πρόβλημα 1

Times

94	66	10	53	26	15	65	82	10	27	93	92	96	70	83
74	31	88	51	57	78	8	7	91	79	18	51	18	99	33
4	82	40	86	50	54	21	6	54	68	82	20	39	35	68
73	23	30	30	53	94	58	93	32	91	30	56	27	92	9
78	23	21	60	36	29	95	99	79	76	93	42	52	42	96
29	61	88	70	16	31	65	83	78	26	50	87	62	14	30
18	75	20	4	91	68	19	54	85	73	43	24	37	87	66
32	52	9	49	61	35	99	62	6	62	7	80	3	57	7
85	30	96	91	13	87	82	83	78	56	85	8	66	88	15
5	59	30	60	41	17	66	89	78	88	69	45	82	6	13
90	27	1	8	91	80	89	49	32	28	90	93	6	35	73
47	43	75	8	51	3	84	34	28	60	69	45	67	58	87
65	62	97	20	31	33	33	77	50	80	48	90	75	96	44
28	21	51	75	17	89	59	56	63	18	17	30	16	7	35
57	16	42	34	37	26	68	73	5	8	12	87	83	20	97

Machines

7	13	5	8	4	3	11	12	9	15	10	14	6	1	2
5	6	8	15	14	9	12	10	7	11	1	4	13	2	3
2	9	10	13	7	12	14	6	1	3	8	11	5	4	15
6	3	10	7	11	1	14	5	8	15	12	9	13	2	4
8	9	7	11	5	10	3	15	13	6	2	14	12	1	4
6	4	13	14	12	5	15	8	3	2	11	1	10	7	9
13	4	8	9	15	7	2	12	5	6	3	11	1	14	10
12	6	1	8	13	14	15	2	3	9	5	4	10	7	11
11	12	7	15	1	2	3	6	13	5	9	8	10	14	4
7	12	10	3	9	1	14	4	11	8	2	13	15	5	6
5	8	14	1	6	13	7	9	15	11	4	2	12	10	3
3	15	1	13	7	11	8	6	9	10	14	2	4	12	5
6	9	11	3	4	7	10	1	14	5	2	12	13	8	15
9	15	5	14	6	7	10	2	13	8	12	11	4	3	1
11	9	13	7	5	2	14	15	12	1	8	4	3	10	6

Όπου **times** ο πίνακας με το χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας από κάθε μηχανή και **machines** ο πίνακας με την σειρά εκτέλεσης της κάθε εργασίας από κάθε μηχανή. Με βέλτιστη λύση 1231

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο επίλυσης τοπικής αναζήτησης “1-1 exchange” είχαμε τα εξής αποτελέσματα για κάθε μία από τις επαναλήψεις.

Επανάληψη 1

Έστω ότι η αρχική τυχαία λύση είναι

99	55	30	147	86	89	195	193	139	106	37	26	82	132	122
174	68	135	74	107	76	47	98	169	188	61	200	126	225	95
91	112	140	184	78	187	145	14	97	177	183	15	141	65	167
119	166	186	150	134	202	151	144	208	48	21	189	36	222	57
40	165	115	211	70	172	223	197	8	142	49	87	71	75	20
34	121	176	45	129	81	131	198	67	5	178	130	116	85	10
152	148	218	217	51	205	28	213	83	209	52	94	137	153	168
170	127	105	113	221	103	194	46	93	53	64	50	1	4	206
123	96	11	163	196	58	120	56	181	179	185	102	203	207	154
190	136	54	219	72	42	128	155	90	108	109	124	73	114	9
146	3	133	214	33	159	41	80	117	29	31	192	23	191	66
175	35	149	171	212	38	164	63	104	201	25	19	173	158	13
92	160	101	216	182	157	17	156	138	210	110	43	199	24	12
22	6	69	60	7	100	220	111	204	59	88	161	125	18	118
32	16	224	77	62	143	162	180	84	79	27	44	215	2	39

Μετά από την χρήση του αλγορίθμου ο πίνακας βέλτιστης σειράς εργασιών είναι:

99	97	31	114	127	65	178	190	156	116	101	17	38	106	164
185	104	107	67	138	61	84	49	179	162	132	212	56	216	161
66	120	143	150	118	175	115	5	88	152	211	8	100	60	187
109	215	169	124	177	183	133	95	221	57	3	191	19	213	128
53	186	80	170	85	174	218	192	12	149	119	59	20	83	77
47	122	165	39	158	64	103	207	24	15	193	140	42	96	45
136	148	188	196	43	202	23	209	29	204	126	105	74	147	199
173	137	79	98	222	121	176	16	78	76	144	55	1	32	220
129	108	28	135	194	44	86	18	184	160	223	110	201	198	167
225	142	63	214	92	30	94	111	73	134	180	113	37	102	11
131	21	90	182	36	154	75	46	125	52	89	205	7	197	159
208	50	157	139	210	13	151	34	112	203	4	10	117	172	71
69	166	70	195	181	153	2	123	155	224	189	27	130	41	62
22	25	68	51	6	82	217	81	200	87	168	171	54	40	163
33	26	219	72	48	141	146	145	58	93	9	35	206	14	91

Makespan=1901

Makespan Position=219

Βλέπουμε λοιπόν ότι η λύση μας έχει απόκλιση 54,42% .

Επανάληψη 2

Πίνακας βέλτιστης σειράς εργασιών:

91	111	20	69	124	98	210	178	168	65	47	50	70	136	138
156	118	97	19	148	67	53	73	171	116	93	222	94	196	95
71	155	161	130	122	190	137	7	102	89	183	24	164	62	158
96	223	193	113	174	192	153	84	207	17	11	214	41	195	85
52	213	63	141	92	169	225	201	45	82	75	127	46	131	31
29	166	184	1	170	80	114	205	57	12	173	160	76	133	10
149	204	206	194	61	200	40	217	66	177	78	128	152	139	215
154	172	39	56	209	125	208	8	99	36	135	123	21	32	224
105	140	14	115	181	30	107	18	197	103	221	142	203	182	146
216	185	33	199	110	5	112	100	83	74	157	151	49	134	9
119	58	72	143	59	162	42	64	129	13	35	218	22	159	87
167	108	180	121	198	2	189	60	109	120	15	26	188	144	27
88	211	38	186	179	150	3	106	145	187	165	86	191	54	25
16	68	37	4	48	101	212	81	202	51	147	163	90	44	126
28	104	219	43	77	132	176	175	79	55	23	117	220	6	34

Makespan=2019

Makespan Position=219

Η απόκλιση αυτή τη φορά είναι 64,01%

Επανάληψη 3

Πίνακας βέλτιστης σειράς εργασιών:

89	73	24	122	144	75	166	205	183	113	47	18	58	109	165
161	86	130	41	150	40	50	129	184	163	87	222	123	218	132
66	95	138	154	119	175	93	12	141	127	215	8	149	85	174
94	225	162	128	179	185	108	168	213	33	7	212	30	211	106
20	189	115	173	83	152	224	206	2	121	68	57	35	91	72
15	112	160	1	169	51	67	209	23	6	208	178	99	101	4
133	156	167	204	60	201	39	217	38	188	74	69	140	118	177
155	117	111	76	221	79	146	17	96	56	90	53	22	44	202
98	88	11	131	207	37	61	55	187	139	216	78	199	181	172
198	153	25	223	110	26	63	170	82	116	171	92	54	104	3
105	21	125	192	27	147	48	124	148	31	45	219	29	180	126
191	71	145	142	214	9	137	107	143	176	16	13	157	158	65
81	164	103	195	194	134	19	182	151	203	190	34	186	70	49
5	36	97	28	10	77	196	159	193	84	114	200	102	64	135
14	42	210	52	62	120	136	197	59	100	32	46	220	43	80

Makespan=2043

Makespan Position=216

Σε αυτή την επανάληψη η απόκλιση είναι 65,96%

Επανάληψη 4

Πίνακας βέλτιστης σειράς εργασιών:

86	74	50	93	92	48	195	145	157	89	95	12	52	148	129
187	76	163	49	125	44	64	91	168	179	182	222	96	220	110
63	104	169	158	88	112	139	13	119	144	212	6	159	34	166
113	216	205	109	147	160	151	115	214	42	5	181	31	207	85
61	204	154	164	66	103	209	170	19	140	131	97	43	37	82
38	120	199	32	130	46	126	178	27	18	201	132	68	98	29
152	155	213	202	30	218	22	224	36	198	134	99	108	165	171
153	127	150	80	215	60	190	25	116	69	183	75	2	11	217
137	102	28	111	176	35	78	39	188	156	223	121	193	203	142
225	128	72	211	70	23	106	117	107	138	189	122	45	101	7
149	9	162	174	14	94	53	79	136	20	59	210	16	177	105
219	55	186	124	196	4	173	77	123	194	26	8	175	172	62
81	185	141	180	161	90	17	118	146	206	197	21	191	33	41
1	40	135	47	10	51	208	100	192	71	184	133	87	15	114
24	54	221	67	65	73	167	143	58	84	57	56	200	3	83

Makespan=2024

Makespan Position=224

Απόκλιση επανάληψης 64,41%

Επανάληψη 5

Πίνακας βέλτιστης σειράς εργασιών:

153	49	20	101	168	78	197	193	181	97	81	28	73	182	159
201	55	84	31	169	60	54	63	185	137	123	171	105	215	140
99	112	110	131	152	195	122	9	69	118	183	21	136	114	194
160	190	167	102	192	210	133	106	224	41	4	127	45	203	134
98	176	76	141	121	178	205	196	3	107	86	58	62	128	46
92	113	138	7	172	66	95	199	37	2	179	111	79	142	29
180	145	198	158	71	219	24	212	43	156	91	80	125	184	206
187	117	68	59	222	132	161	11	61	57	139	51	13	18	225
162	94	6	115	213	50	74	22	189	119	208	87	217	200	173
223	130	27	211	150	39	88	108	53	100	175	90	67	170	5
163	1	82	143	14	164	42	48	96	38	72	157	25	191	135
216	26	124	129	214	15	151	35	83	146	34	23	202	186	32
109	174	56	155	207	149	17	126	165	188	177	33	209	89	30
77	12	40	19	10	93	204	64	221	65	166	120	103	36	148
85	16	220	44	104	144	147	154	52	75	70	47	218	8	116

Makespan=2017

Makespan Position=224

Απόκλιση επανάληψης 63,85%

Βρήκαμε λοιπόν μετά από 5 επαναλήψεις ένα βέλτιστο 1901 που έχει απόκλιση 54,42%

Στην συνέχεια θα δοκιμαστεί η μέθοδος επίλυσης με αριθμό επαναλήψεων τοπικής αναζήτησης 10000 και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Ο πίνακας βέλτιστης λύσης σε αυτή την περίπτωση είναι

67	79	12	107	142	113	170	213	175	66	87	23	65	94	153
169	80	93	24	152	99	56	68	179	151	110	207	130	164	146
48	84	106	141	136	197	119	4	143	101	198	10	188	78	177
134	224	190	108	200	202	137	111	219	27	5	166	18	163	131
40	218	69	145	98	192	217	214	43	86	91	88	25	83	51
14	109	178	3	172	103	116	216	58	7	185	135	96	90	21
159	193	201	199	73	205	52	223	61	184	104	89	167	100	204
161	129	44	77	220	128	162	22	75	37	118	74	1	31	210
138	82	9	125	206	70	102	38	186	105	208	115	196	157	171
225	158	26	221	114	41	112	124	64	85	156	123	33	92	20
139	8	81	154	60	174	53	57	155	17	55	182	15	122	144
222	76	168	126	209	39	148	45	149	165	6	13	191	117	36
63	194	35	180	203	150	19	181	173	211	176	32	195	49	30
2	71	34	16	50	127	183	97	187	42	132	160	121	47	147
11	72	212	46	95	133	140	189	62	59	28	54	215	29	120

Makespan=1920

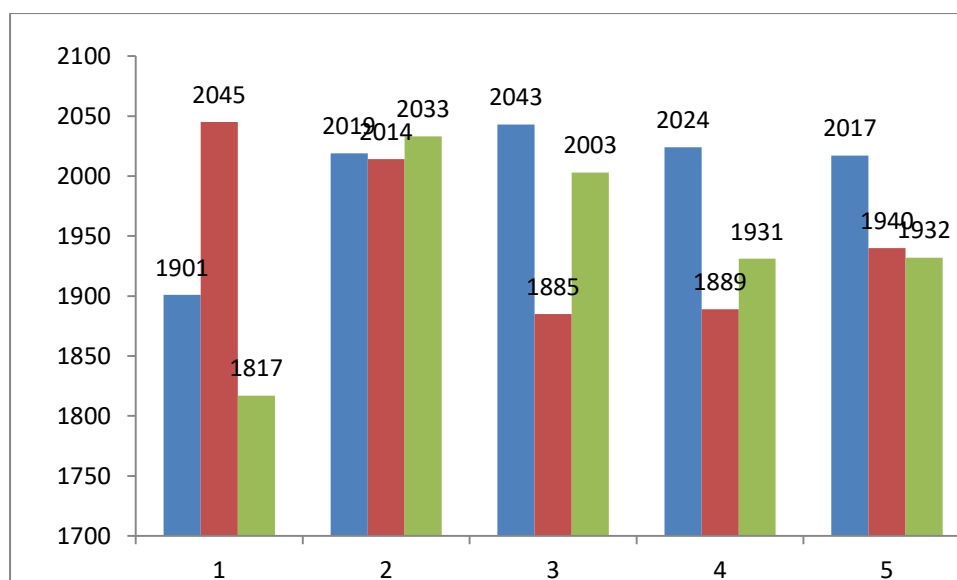
Makespan Position=224

Απόκλιση 55,97%

Παρατηρούμε λοιπόν ότι και με έναν τεράστιο αριθμό επαναλήψεων για την τοπική αναζήτηση η λύση μας παραμένει στα ίδια επίπεδα, ενώ ο χρόνος που απαιτείται για να εξάγουμε αποτέλεσμα με τόσες επαναλήψεις είναι πάρα πολύ

μεγαλύτερος. Κρίνεται λοιπόν ασύμφορο να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο με αυτό τον τρόπο αφού για μεγαλύτερα προβλήματα που θα συναντήσουμε στη συνέχεια θα είναι αδύνατο να βγάλουμε αποτέλεσμα σε επιθυμητό χρόνο.

Τώρα θα επιδειχθούν σε σχεδιαγράμματα τα αποτελέσματα 5 επαναλήψεων των τριών μεθόδων επίλυσης που χρησιμοποιήθηκαν



Μπορούμε λοιπόν να διακρίνουμε ότι για την τρίτη συνδυασμένη μέθοδο τα αποτελέσματα είναι πιο κοντινά στο βέλτιστο (1817) αλλά και πάλι με μία απόκλιση της τάξης του 50%. Στην συνέχεια θα επιδειχθούν τα υπόλοιπα προβλήματα με αυτό τον τρόπο γραφημάτων που είναι ιδιαίτερα απλά και κατανοητά. Οι θέσεις των βέλτιστων είναι διάφορες και μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε θέση του πίνακα.

Πρόβλημα 2

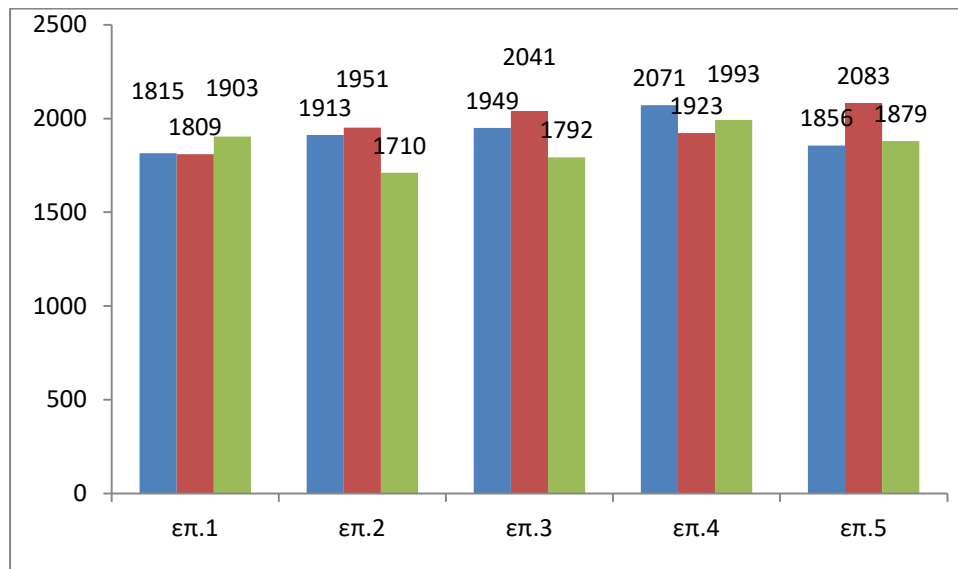
Times

86	60	10	59	65	94	71	25	98	49	43	8	90
68	28	38	36	93	35	37	28	62	86	65	11	20
33	67	96	91	83	81	60	88	20	62	22	79	38
13	14	73	88	24	16	78	70	53	68	73	90	58
93	52	63	13	19	41	71	59	19	60	85	99	73
62	60	93	16	10	72	88	69	58	41	46	63	76
50	68	90	34	44	5	8	25	70	53	78	92	62
60	64	92	44	63	91	21	1	96	19	59	12	41
93	46	51	37	91	90	63	40	68	13	16	83	49
5	35	21	14	66	3	6	98	63	64	76	94	17
35	42	62	68	73	27	52	39	41	25	9	34	50
23	32	35	10	29	68	20	8	58	62	39	32	8
28	31	3	28	66	59	24	45	81	8	44	42	2
11	93	27	59	62	23	23	7	77	64	60	97	36
36	98	38	24	84	47	72	1	91	85	68	42	20

Machines

10	15	5	14	11	4	8	9	1	6	2	3	13
11	9	12	15	4	14	10	8	5	3	7	2	6
8	1	7	6	15	14	3	12	5	13	2	10	4
10	12	15	1	2	9	6	11	13	5	14	4	7
12	5	14	4	9	2	11	13	3	15	7	8	1
6	3	2	11	1	5	9	15	7	4	10	8	12
6	11	14	1	10	9	2	12	15	8	13	3	7
13	1	10	4	14	7	6	8	3	15	12	9	11
12	11	6	14	2	10	9	8	4	7	1	3	15
3	15	4	11	7	2	1	14	12	5	6	9	8
12	15	14	6	5	10	2	7	13	1	3	9	11
13	4	11	9	5	8	14	12	15	2	3	1	6
9	14	6	1	12	10	5	13	2	11	7	3	8
3	6	5	4	10	2	12	14	8	7	11	15	1
2	11	5	3	1	8	7	10	12	13	6	15	4

Σε αυτό το πρόβλημα η βέλτιστη λύση που έχει βρεθεί είναι 1244



Και σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε ότι το βέλτιστο μας το βρίσκει ο συνδυαστικός αλγόριθμος 1710 με απόκλιση από το βέλτιστο 37,45%, καθώς και ότι τα αποτελέσματά του έχουν την μικρότερη απόκλιση μεταξύ τους.

Πρόβλημα 3

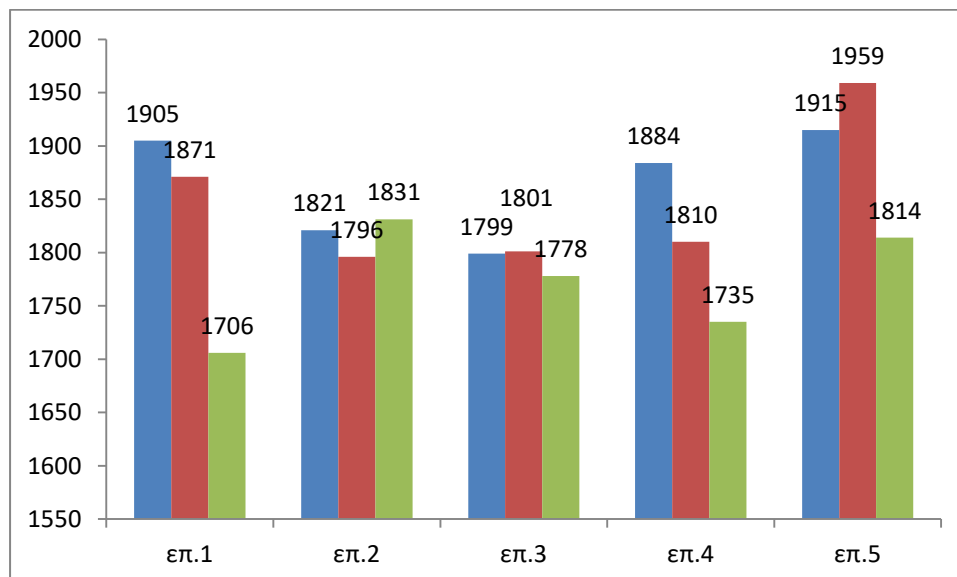
Σε αυτό το πρόβλημα το βέλτιστο που έχει βρεθεί είναι 1222



Το βέλτιστο λοιπόν του αλγορίθμου είναι 1831 με απόκλιση από το βέλτιστο 49,83%.

Πρόβλημα 4

Σε αυτό το πρόβλημα το βέλτιστο που έχει βρεθεί είναι 1183



Το βέλτιστο του αλγορίθμου είναι 1706 με απόκλιση από το βέλτιστο 44,21%.

Πρόβλημα 5

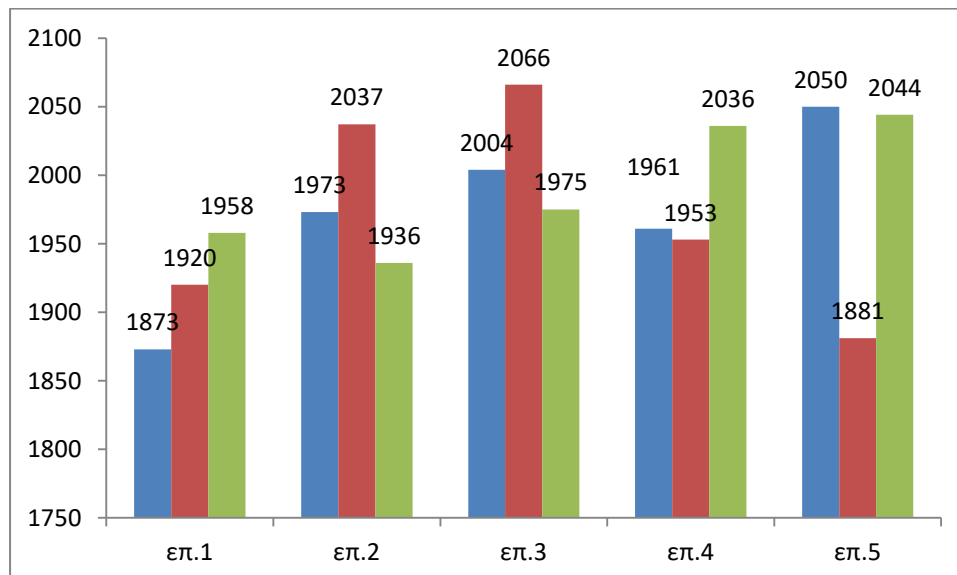
Σε αυτό το πρόβλημα το βέλτιστο που έχει βρεθεί είναι 1233



Με βέλτιστο αλγορίθμου 1836 και απόκλιση από το βέλτιστο 48,9%.

Πρόβλημα 6

Σε αυτό το πρόβλημα το βέλτιστο που έχει βρεθεί είναι 1243

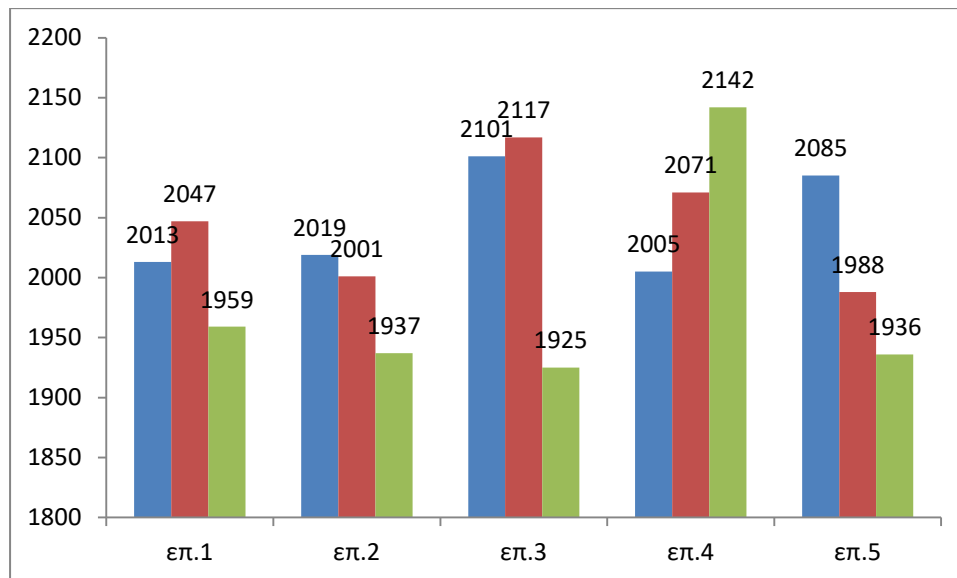


Το βέλτιστο του αλγορίθμου είναι 1873 με απόκλιση 50,68%.

Σε αυτό το πρόβλημα βρέθηκε το βέλτιστο κατά την χρήση του αλγορίθμου με “1-1 exchange”.

Πρόβλημα 7

Το βέλτιστο του προβλήματος είναι 1228



Το βέλτιστο του αλγορίθμου είναι 1925 με απόκλιση από το βέλτιστο 56,75%.

Πρόβλημα 8

Το βέλτιστο του προβλήματος είναι 1220



Με βέλτιστο αλγορίθμου 1832 και απόκλιση από το βέλτιστο 50,16%. Το βέλτιστο αυτή τη φορά βρέθηκε στην χρήση του αλγορίθμου με το “1-0 relocate”.

Πρόβλημα 9

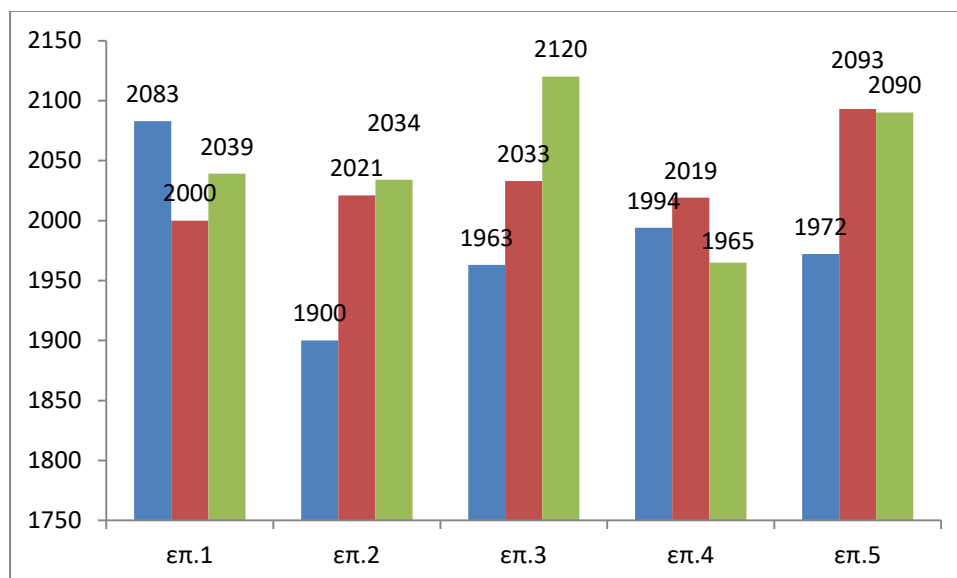
Το βέλτιστο του προβλήματος είναι 1282



Με βέλτιστο αλγορίθμου 1943 και απόκλιση από το βέλτιστο 51,56% και εύρεση του από το “1-0 relocate”.

Πρόβλημα 10

Το βέλτιστο του προβλήματος είναι 1259



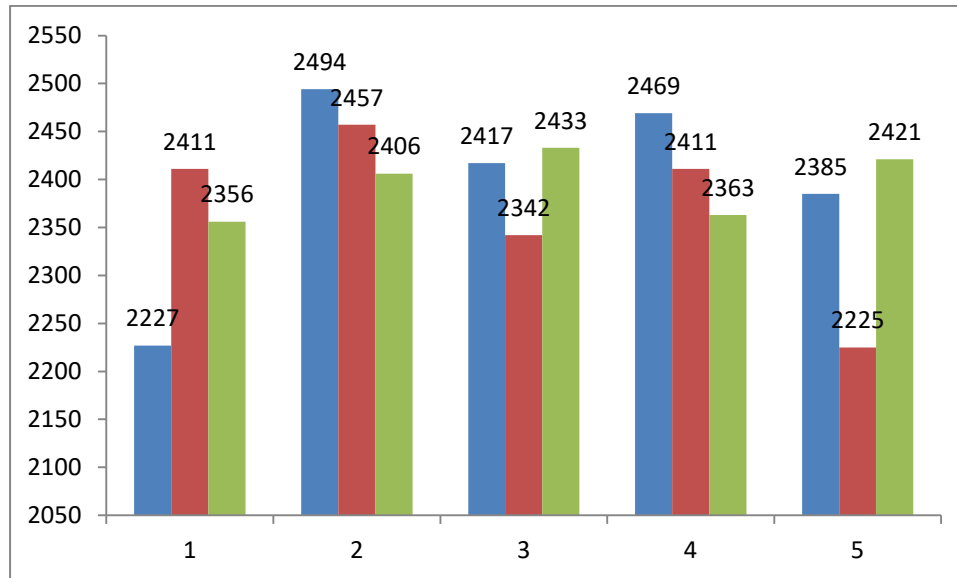
Το βέλτιστο του αλγορίθμου είναι 1900 με απόκλιση από το βέλτιστο 50,91%. Το βέλτιστο βρέθηκε με την χρήση “1-1 exchange”.

5.2 Προβλήματα 20 εργασιών σε 15 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή εμφανίζονται προβλήματα που για την παραγωγή ενός προϊόντος απαιτούνται 20 εργασίες από το καθένα από τα 15 μηχανήματα που υπάρχουν.

Πρόβλημα 1

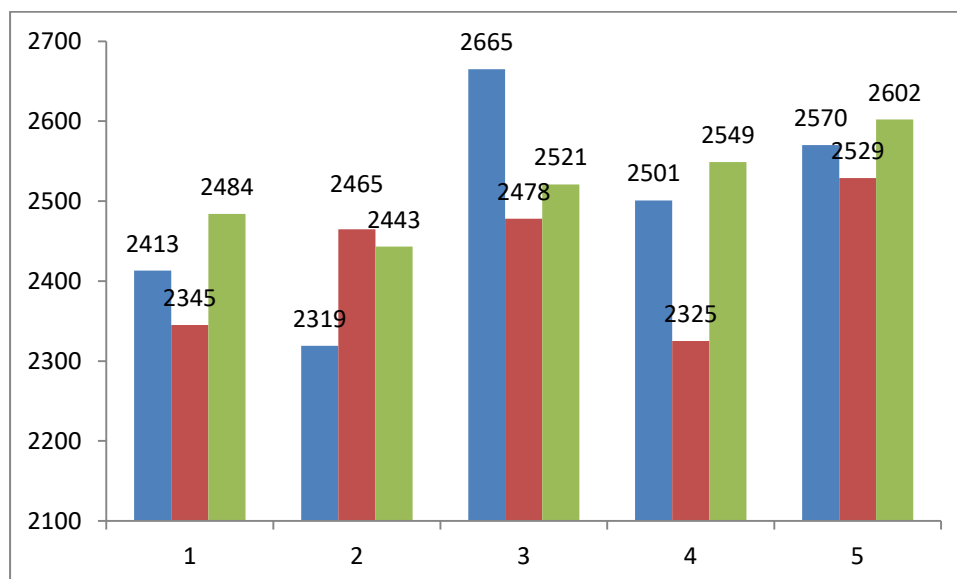
Στο πρόβλημα αυτό το βέλτιστο που έχει βρεθεί είναι 1376



Το βέλτιστο που βρήκε ο αλγόριθμος μετά από τις επαναλήψεις είναι 2225 με απόκλιση από το βέλτιστο 61,7%.

Πρόβλημα 2

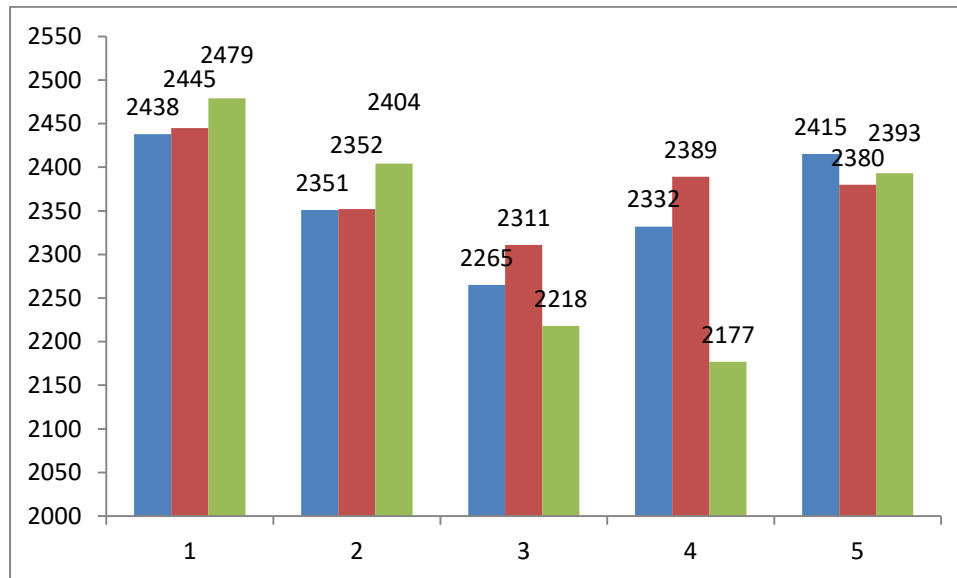
Το βέλτιστο που έχει βρεθεί για το πρόβλημα αυτό είναι 1377



Ο αλγόριθμος βρίσκει βέλτιστο σε 5 επαναλήψεις 2319 με απόκλιση 68,41%. Μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι το βέλτιστο το αλγορίθμου βρέθηκε με την χρήση του “1-1 exchange”.

Πρόβλημα 3

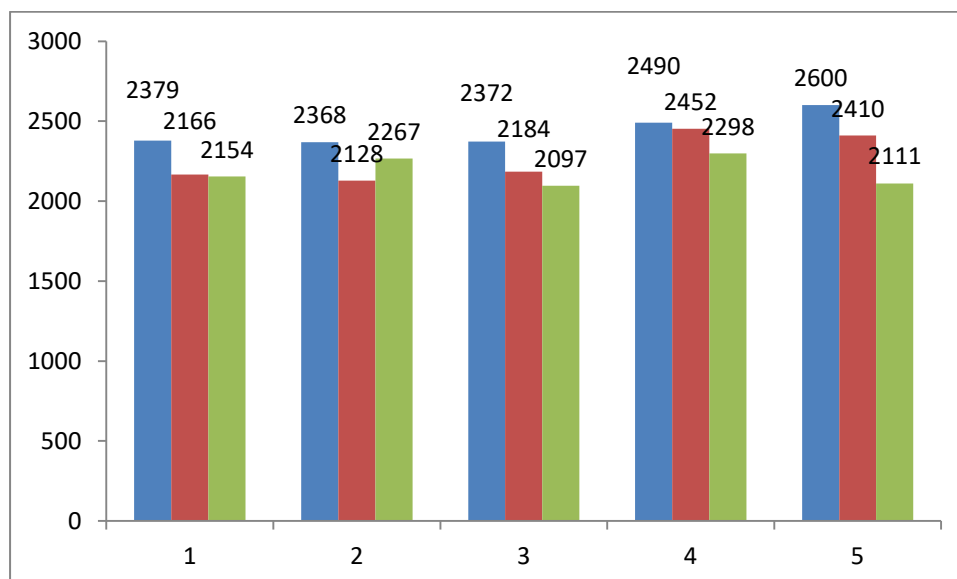
Το βέλτιστο που έχει βρεθεί για το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι 1367



Το βέλτιστο που βρέθηκε από τον αλγόριθμο είναι 2177 με απόκλιση από το βέλτιστο 59,25%.

Πρόβλημα 4

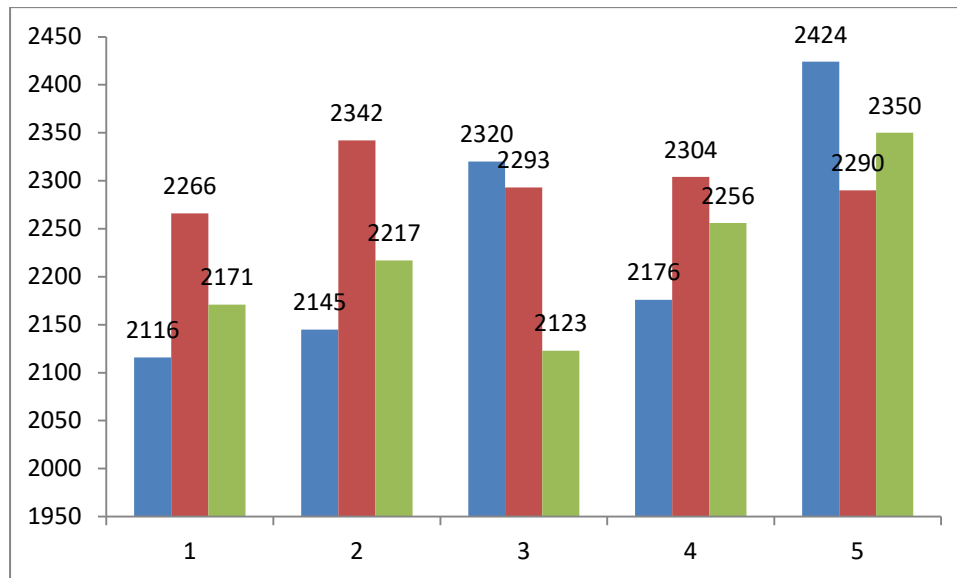
Βέλτιστο προβλήματος 1345



Βέλτιστο που βρέθηκε από αλγόριθμο 2097 με απόκλιση από το βέλτιστο 55,91%.

Πρόβλημα 5

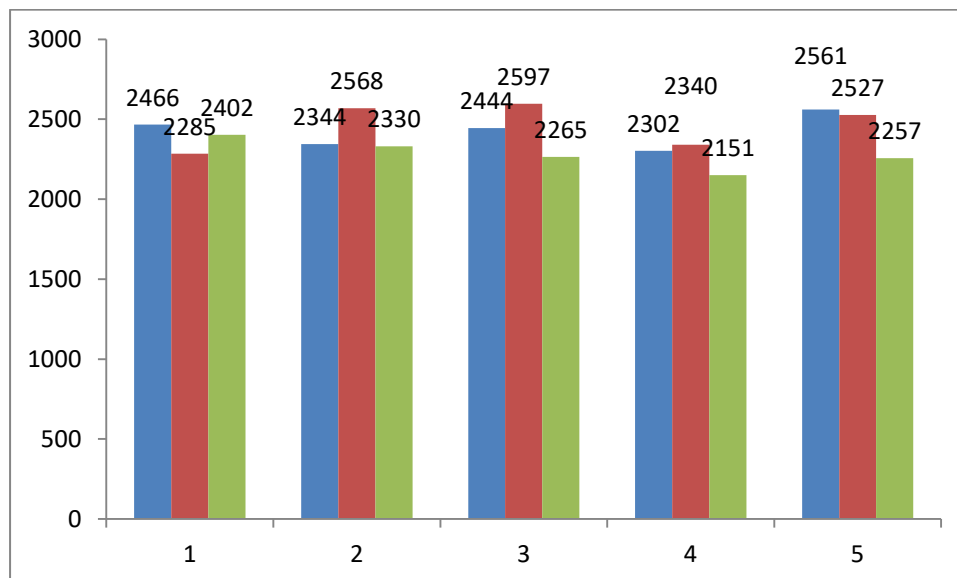
Βέλτιστο προβλήματος 1366



Βέλτιστο αλγορίθμου 2116 με απόκλιση από το βέλτιστο 54,9%.

Πρόβλημα 6

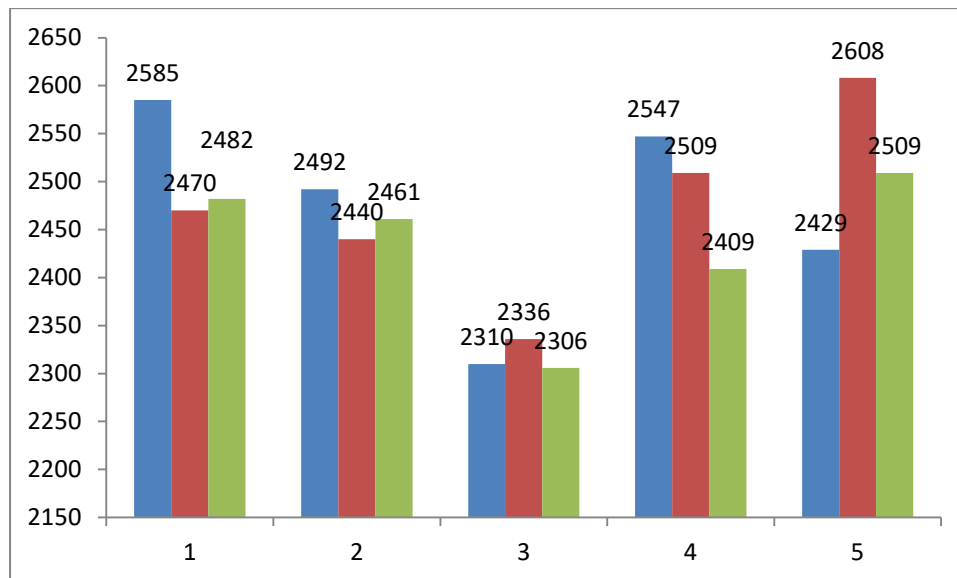
Βέλτιστο προβλήματος 1371



Βέλτιστο αλγορίθμου 2151 με απόκλιση από το βέλτιστο 56,89%.

Πρόβλημα 7

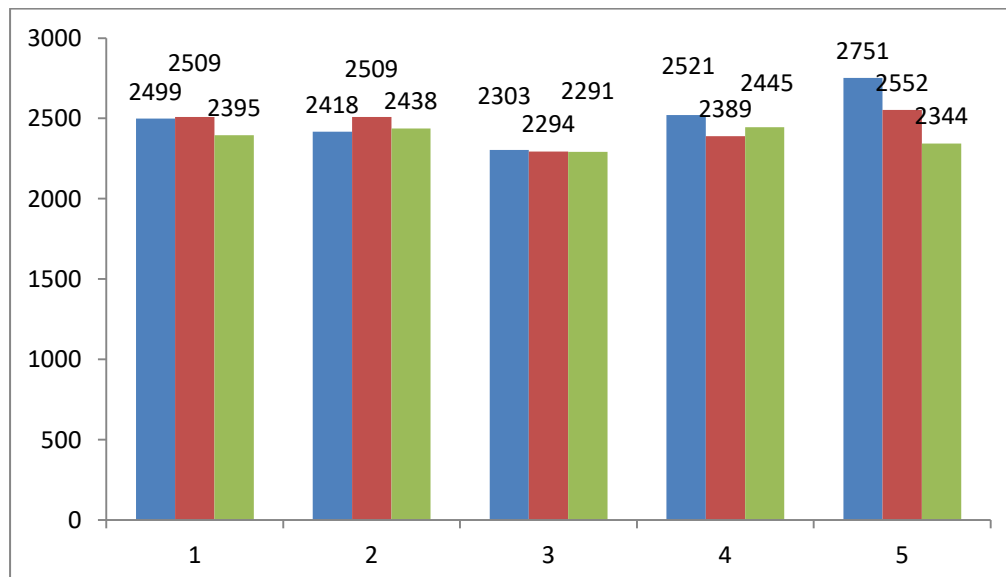
Βέλτιστο προβλήματος 1480



Βέλτιστο αλγορίθμου 2306 με απόκλιση 55,81%.

Πρόβλημα 8

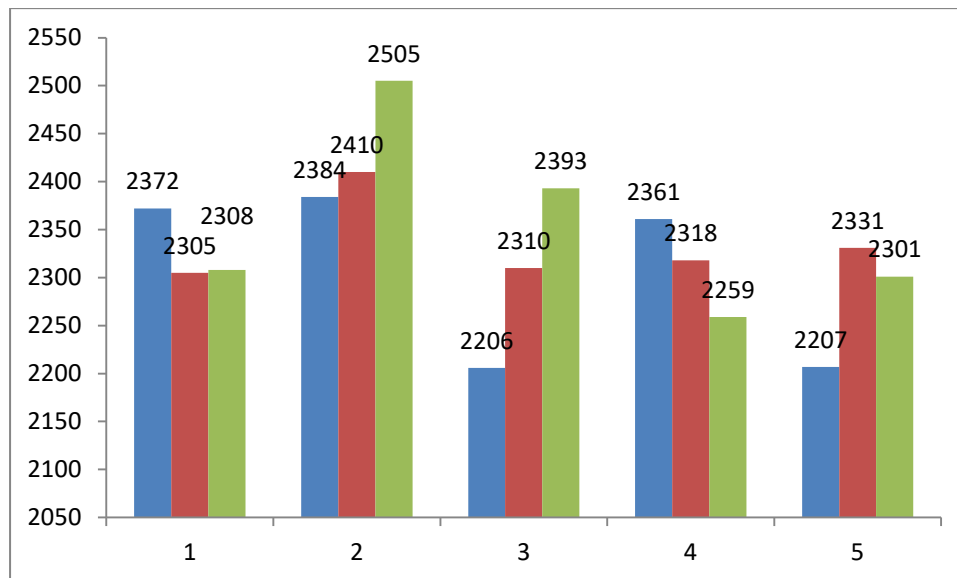
Βέλτιστο προβλήματος 1413



Βέλτιστο αλγορίθμου 2291 με απόκλιση 62,13%.

Πρόβλημα 9

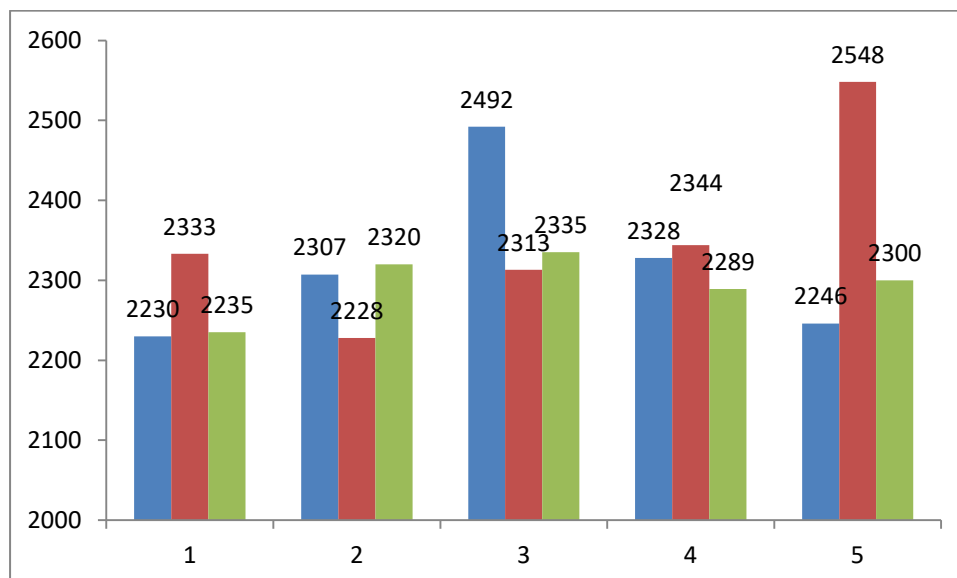
Βέλτιστο προβλήματος 1352



Βέλτιστο αλγορίθμου 2206 με απόκλιση 63,16%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 1362



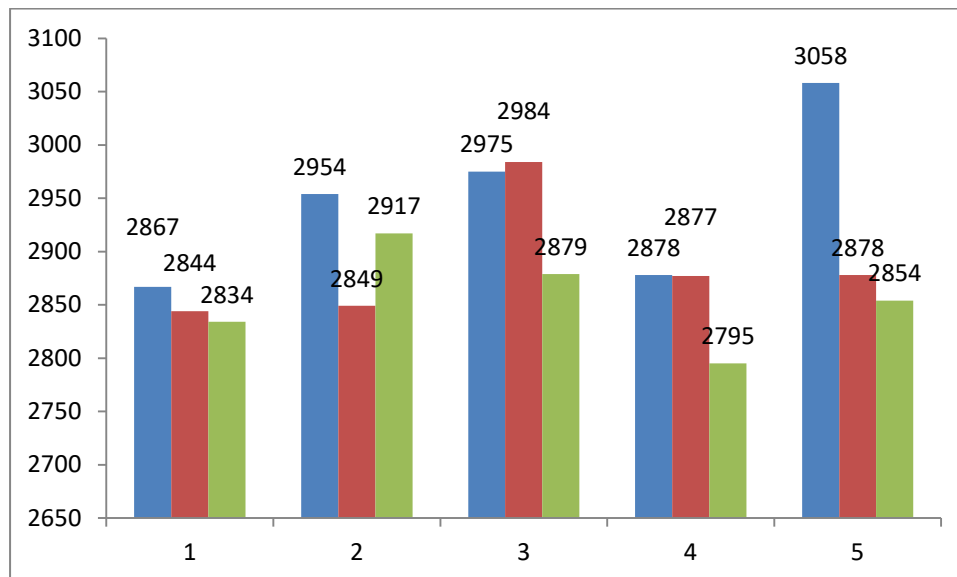
Βέλτιστο αλγορίθμου 2228 με απόκλιση από το βέλτιστο 63,58%.

5.3 Προβλήματα 20 εργασιών σε 20 μηχανήματα

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν προβλήματα 20 εργασιών σε 20 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

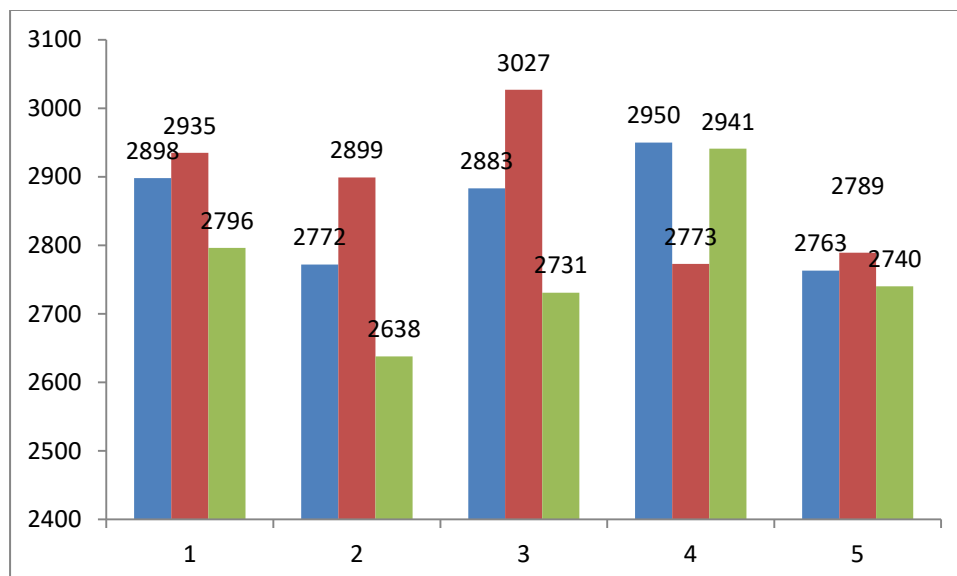
Βέλτιστο προβλήματος είναι 1663



Το βέλτιστο που βρήκε ο αλγόριθμος 2795 με απόκλιση από το βέλτιστο 68,7%.

Πρόβλημα2

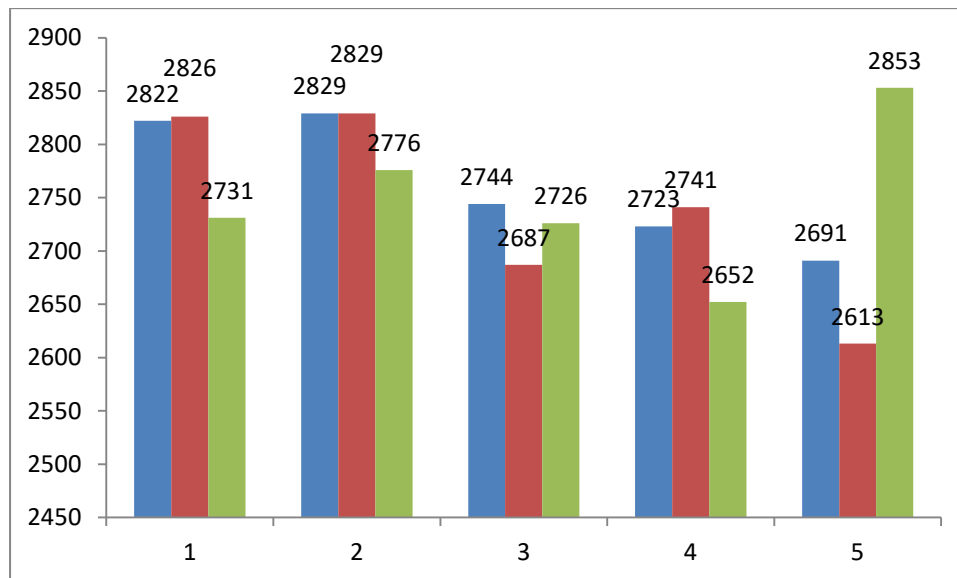
Βέλτιστο προβλήματος 1626



Βέλτιστο αλγόριθμου 2638 με απόκλιση από το βέλτιστο 62,23%

Πρόβλημα 3

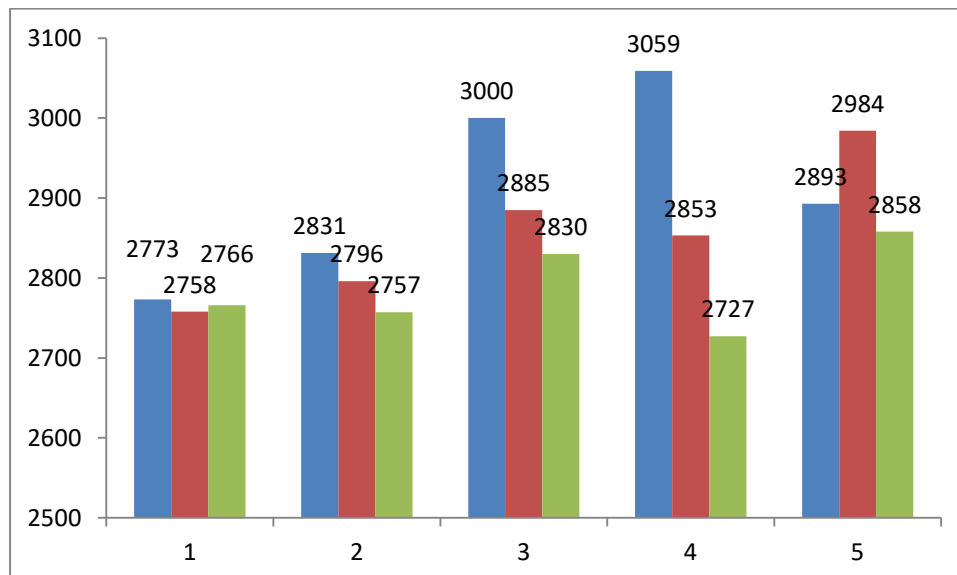
Βέλτιστο προβλήματος 1574



Βέλτιστο αλγορίθμου 2613 με απόκλιση από το βέλτιστο 66,01%.

Πρόβλημα 4

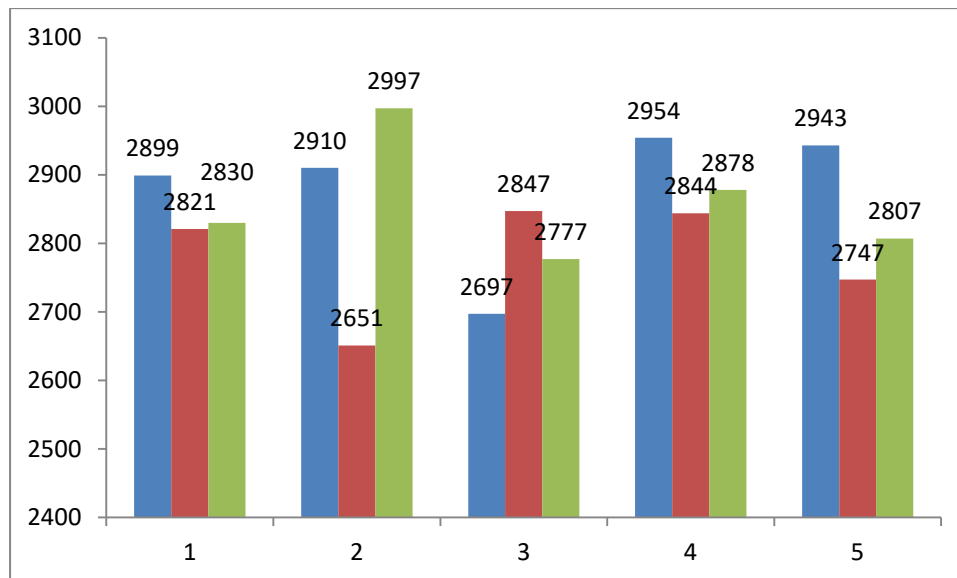
Βέλτιστο προβλήματος 1660



Βέλτιστο αλγορίθμου 2727 με απόκλιση από το βέλτιστο 64,27%.

Πρόβλημα 5

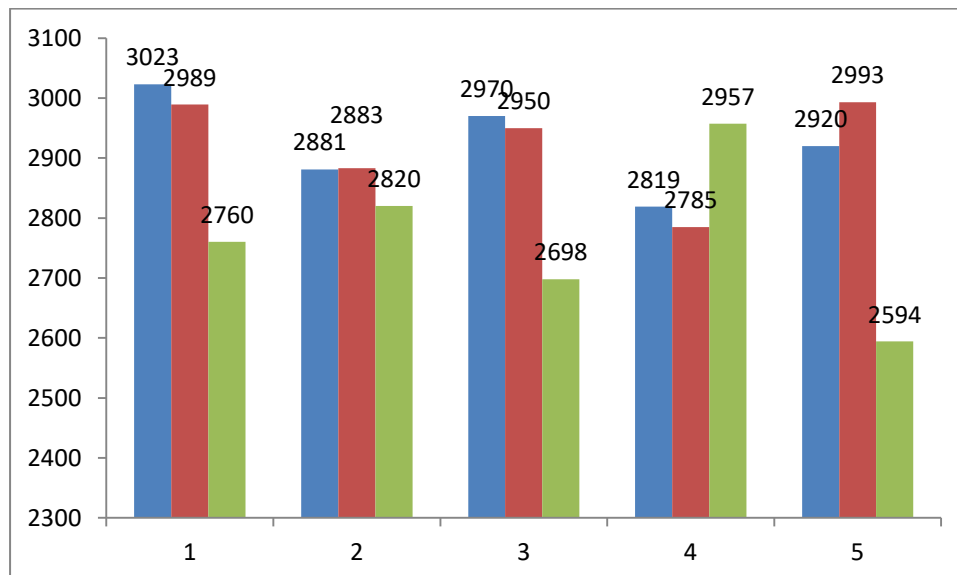
Βέλτιστο προβλήματος 1598



Βέλτιστο αλγορίθμου 2651 με απόκλιση από το βέλτιστο 65,89%.

Πρόβλημα 6

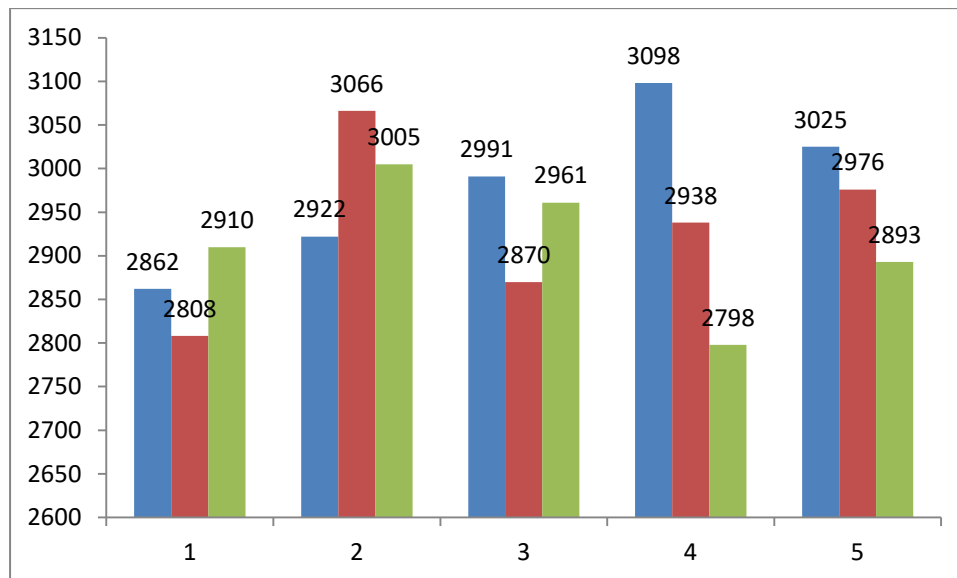
Βέλτιστο προβλήματος 1657



Βέλτιστο αλγορίθμου 2594 με απόκλιση από το βέλτιστο 56,54%.

Πρόβλημα 7

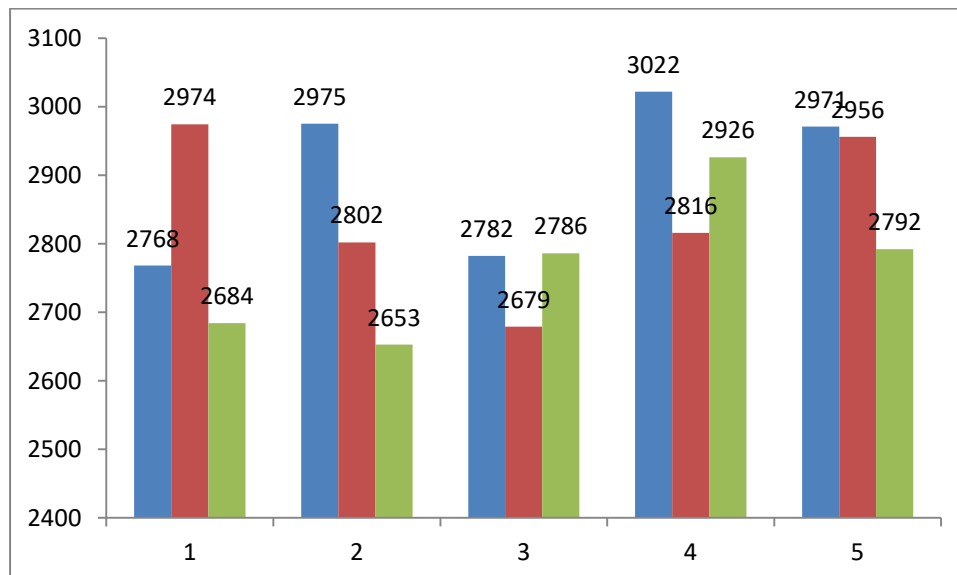
Βέλτιστο προβλήματος 1704



Βέλτιστο αλγορίθμου 2798 με απόκλιση 64,20%.

Πρόβλημα 8

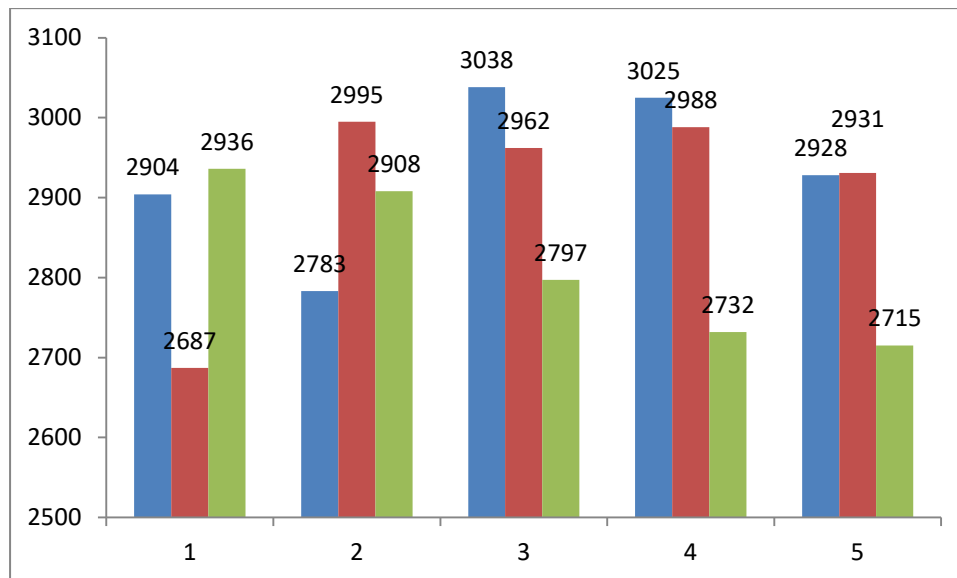
Βέλτιστο προβλήματος 1626



Βέλτιστο αλγορίθμου 2653 με απόκλιση από το βέλτιστο 63,16%.

Πρόβλημα 9

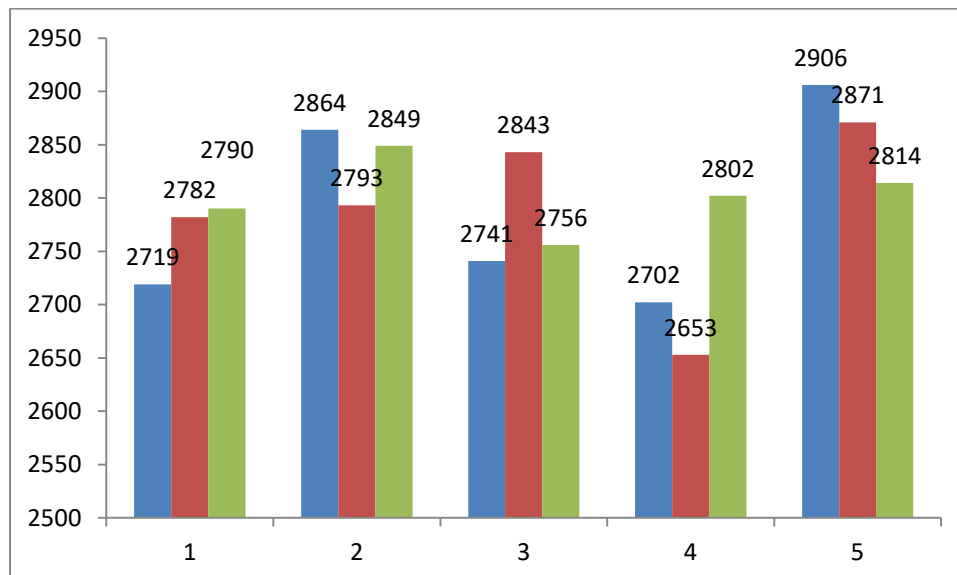
Βέλτιστο προβλήματος 1629



Βέλτιστο αλγορίθμου 2687 με απόκλιση από το βέλτιστο 64,94%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 1614



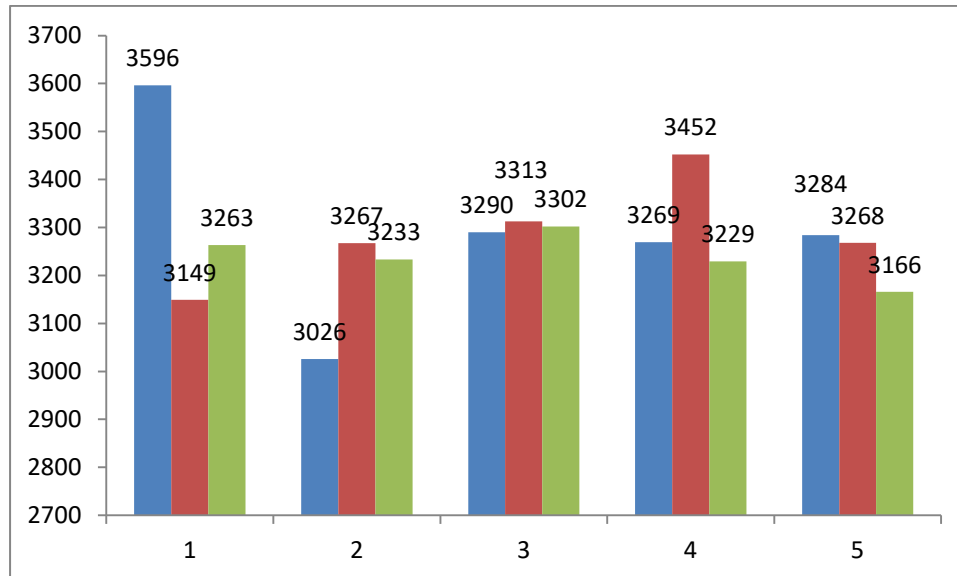
Βέλτιστο αλγορίθμου 2653 με απόκλιση από το βέλτιστο 64,37%.

5.4 Προβλήματα 30 εργασιών σε 15 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε προβλήματα 30 εργασιών σε 15 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

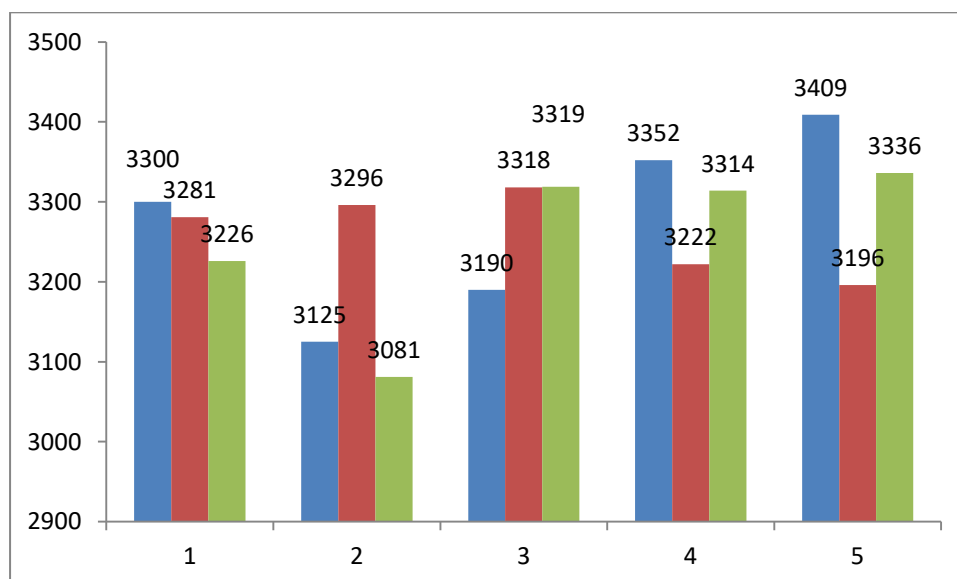
Βέλτιστο πρόβληματος 1770



Βέλτιστο αλγόριθμου 3026 με απόκλιση από το βέλτιστο 70,96%.

Πρόβλημα 2

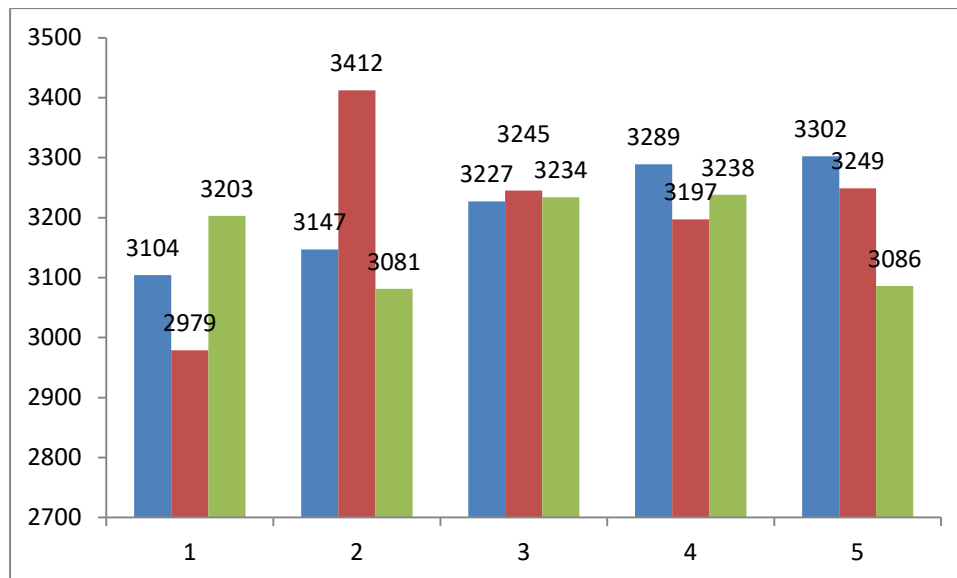
Βέλτιστο πρόβληματος 1841



Βέλτιστο αλγόριθμου 3081 με απόκλιση από το βέλτιστο 67,35%.

Πρόβλημα 3

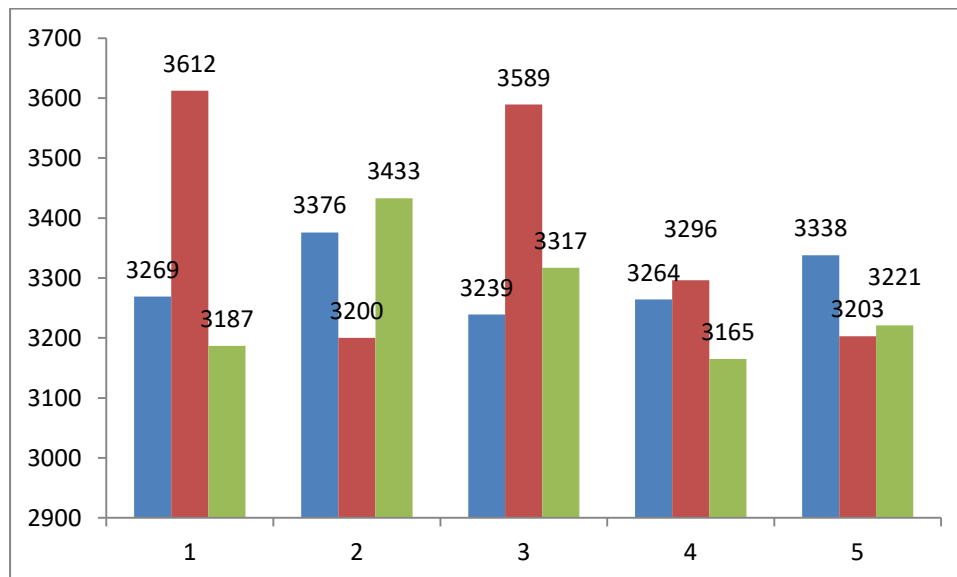
Βέλτιστο προβλήματος 1832



Βέλτιστο αλγορίθμου 2979 με απόκλιση από το βέλτιστο 62,60%.

Πρόβλημα 4

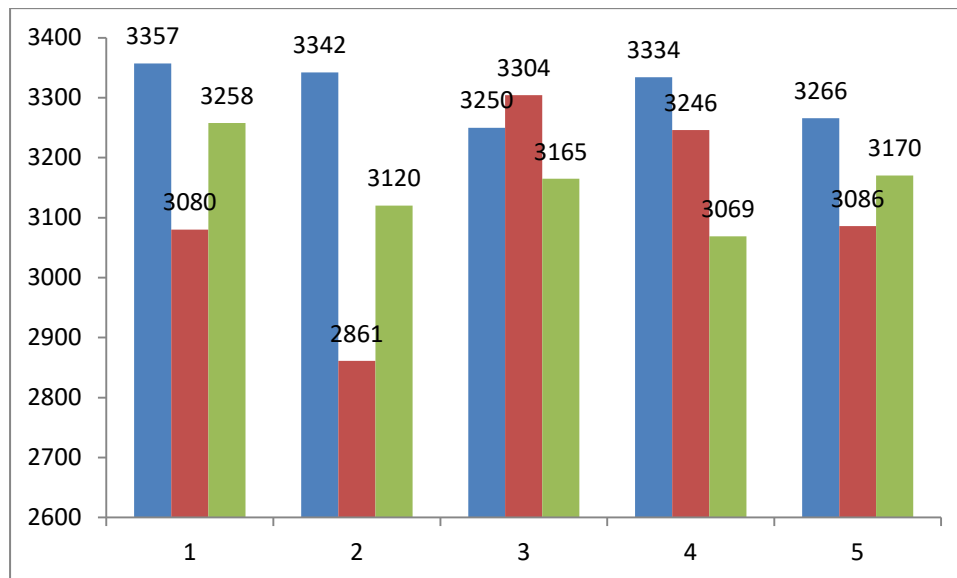
Βέλτιστο προβλήματος 1851



Βέλτιστο αλγορίθμου 3165 με απόκλιση από το βέλτιστο 70,99%.

Πρόβλημα 5

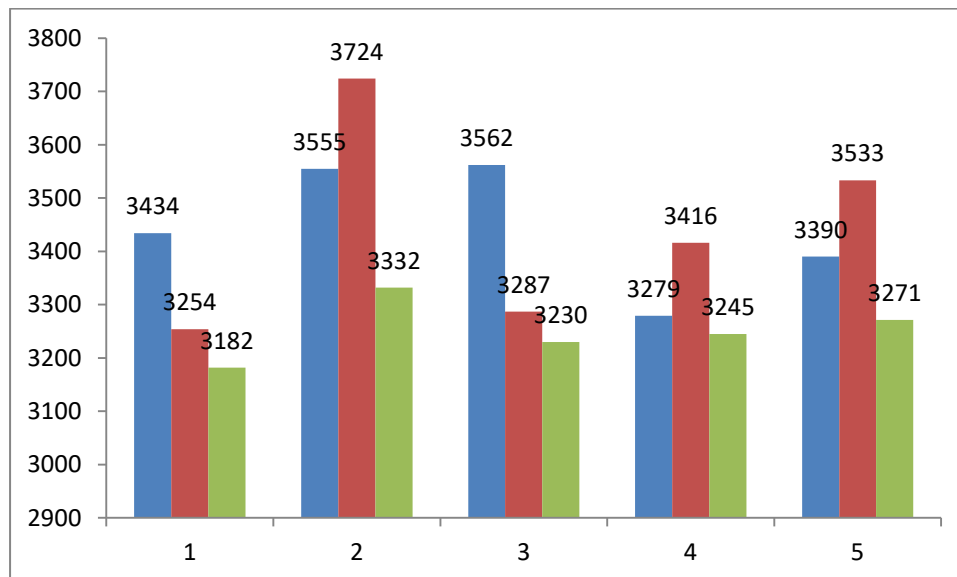
Βέλτιστο προβλήματος 2007



Βέλτιστο αλγορίθμου 2861 με απόκλιση από το βέλτιστο 42,55%.

Πρόβλημα 6

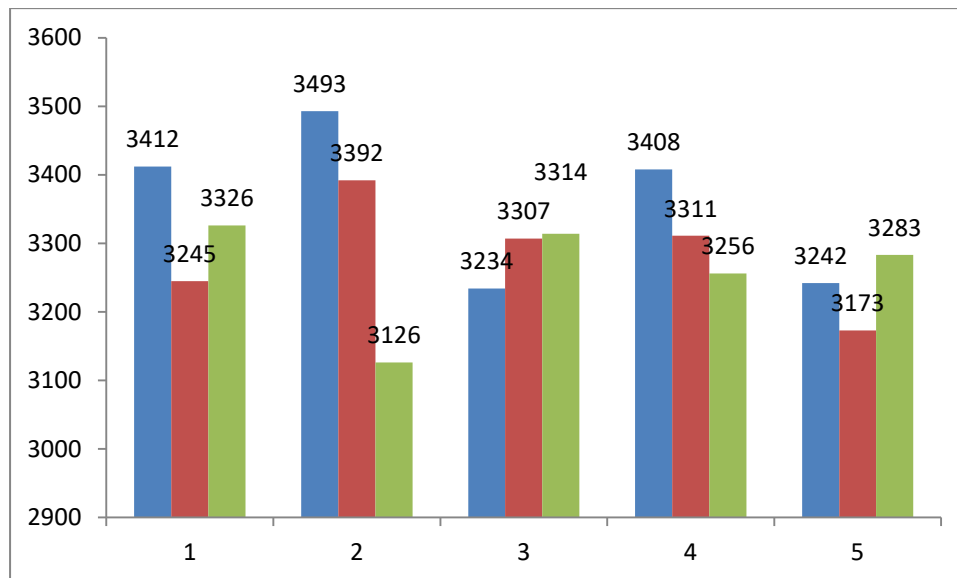
Βέλτιστο προβλήματος 1844



Βέλτιστο αλγορίθμου 3182 με απόκλιση από το βέλτιστο 72,55%.

Πρόβλημα 7

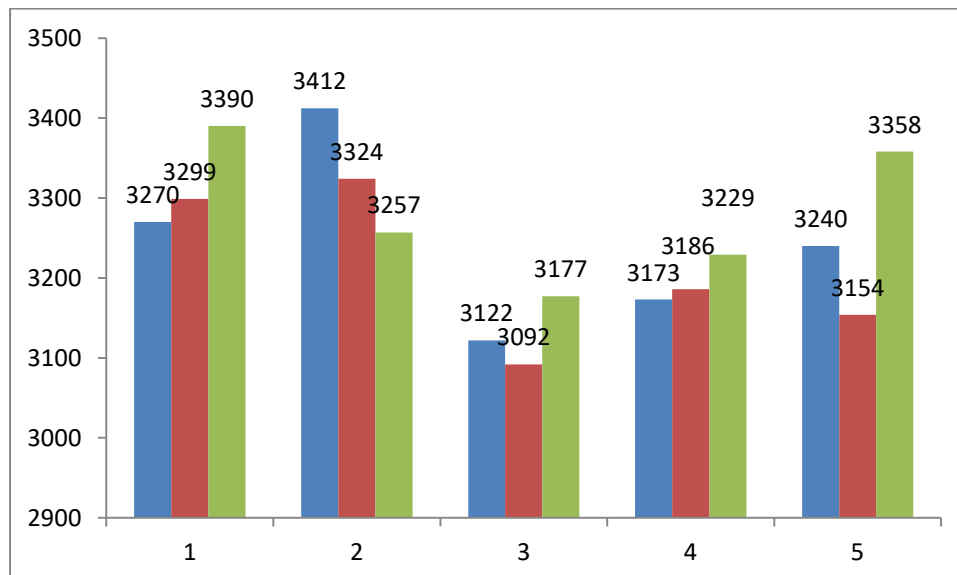
Βέλτιστο προβλήματος 1815



Βέλτιστο αλγορίθμου 3126 με απόκλιση 72,23%.

Πρόβλημα 8

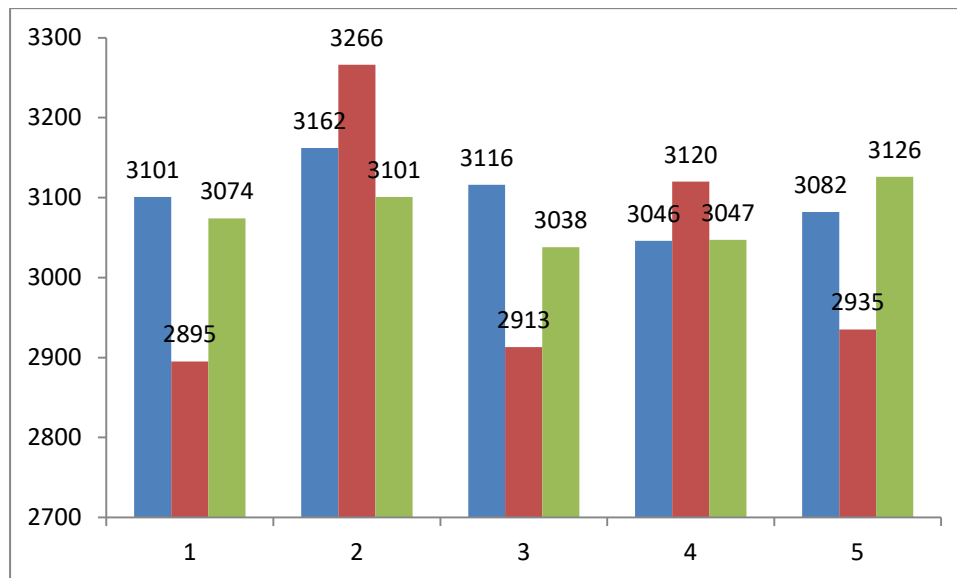
Βέλτιστο προβλήματος 1700



Βέλτιστο αλγορίθμου 3092 με απόκλιση 81,88%. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος έβγαλε πολύ κακό αποτέλεσμα συγκριτικά με τα υπόλοιπα που η απόκλιση είναι της τάξης του 50-70%.

Πρόβλημα 9

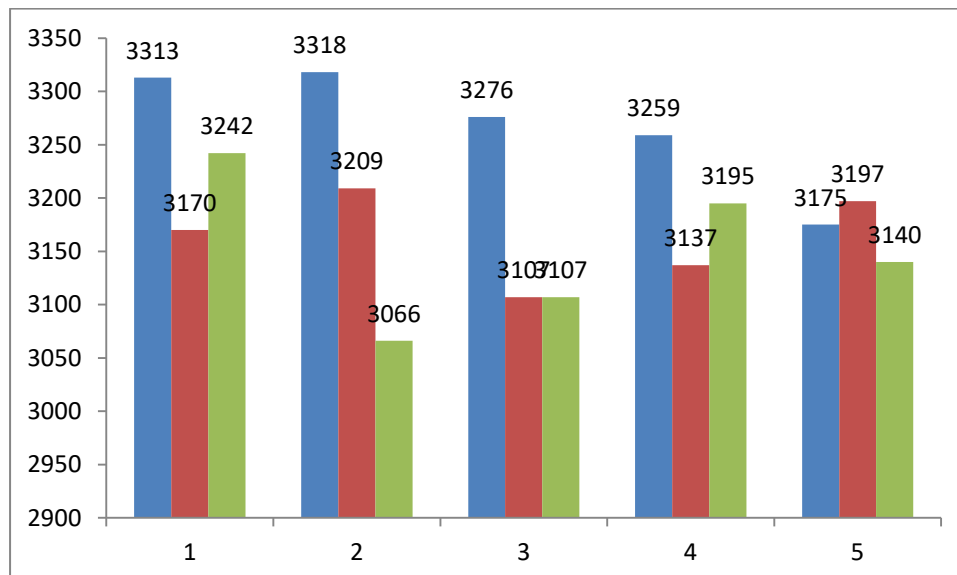
Βέλτιστο προβλήματος 1811



Βέλτιστο αλγορίθμου 2895 με απόκλιση 59,85%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 1720



Βέλτιστο αλγορίθμου 3066 με απόκλιση 78,25%.

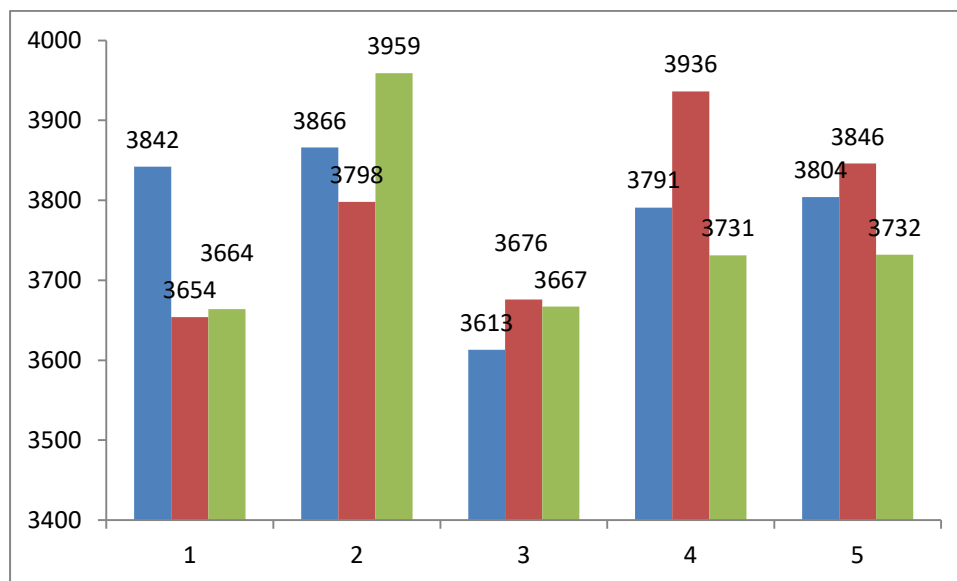
Σε αυτή την σειρά προβλημάτων ο αλγόριθμος δεν λειτούργησε ιδιαίτερα αποδοτικά και βρέθηκαν αποτελέσματα με απόκλιση μεγαλύτερης του 70% ακόμη και μετά από 5 εφαρμογές του στο εκάστοτε πρόβλημα.

5.5 Προβλήματα 30 εργασιών σε 20 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε προβλήματα 30 εργασιών σε 20 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

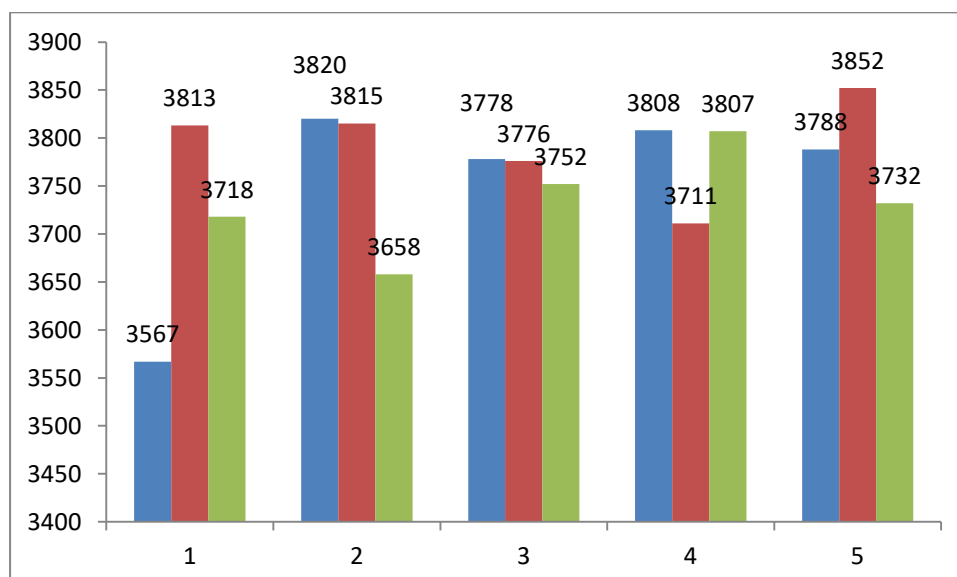
Το βέλτιστο του προβλήματος είναι 2064



Το βέλτιστο του αλγορίθμου είναι 3613 με απόκλιση από το βέλτιστο 75,04%.

Πρόβλημα 2

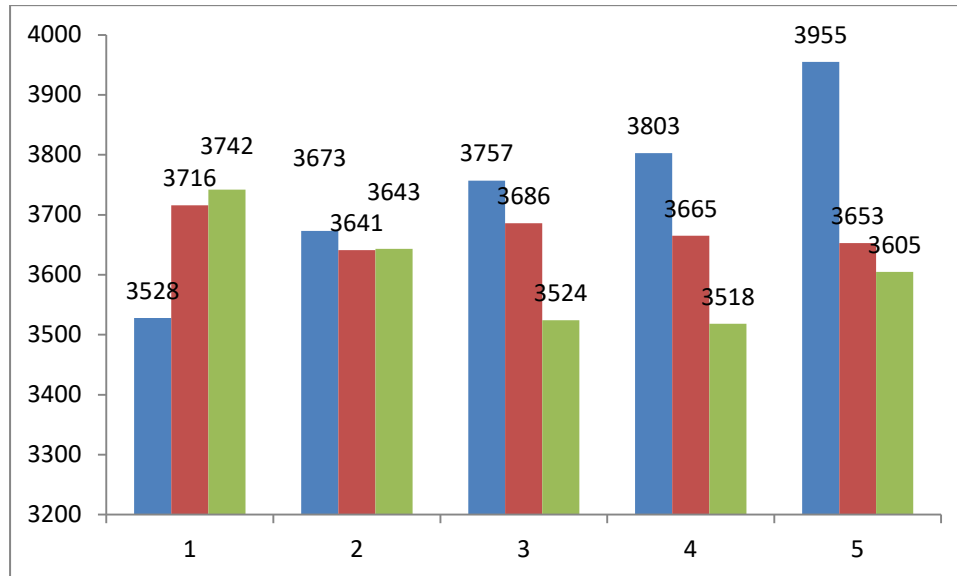
Βέλτιστο προβλήματος 1983



Βέλτιστο αλγορίθμου 3567 με απόκλιση από το βέλτιστο 79,87%.

Πρόβλημα3

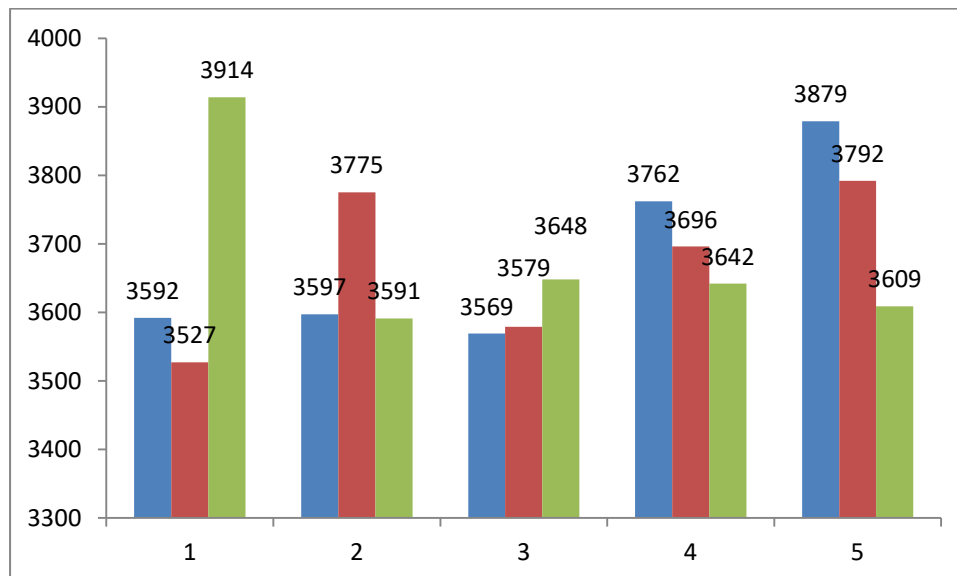
Βέλτιστο προβλήματος 1896



Βέλτιστο αλγορίθμου 3518 με απόκλιση από το βέλτιστο 85,54%.

Πρόβλημα 4

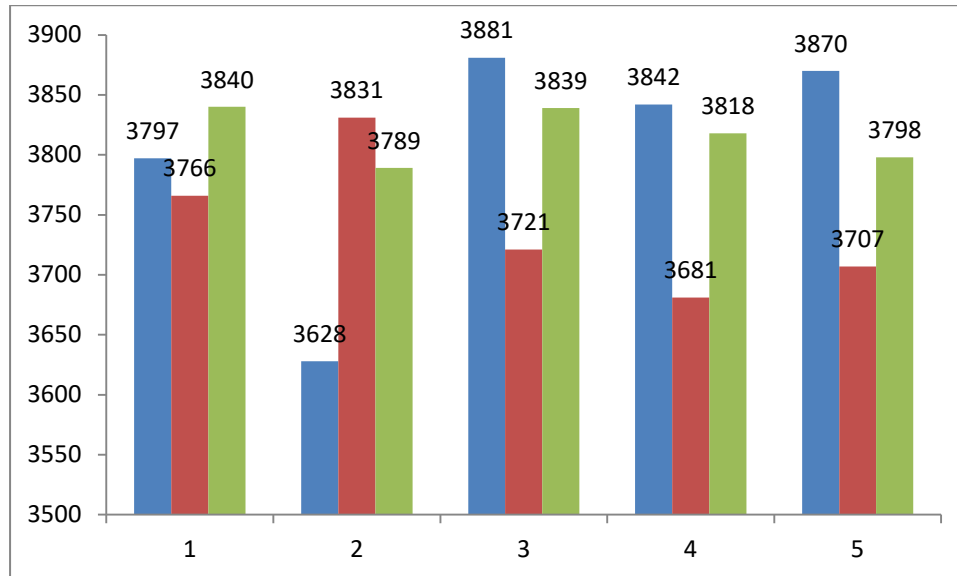
Βέλτιστο προβλήματος 2031



Βέλτιστο αλγορίθμου 3527 με απόκλιση από το βέλτιστο 73,65%.

Πρόβλημα 5

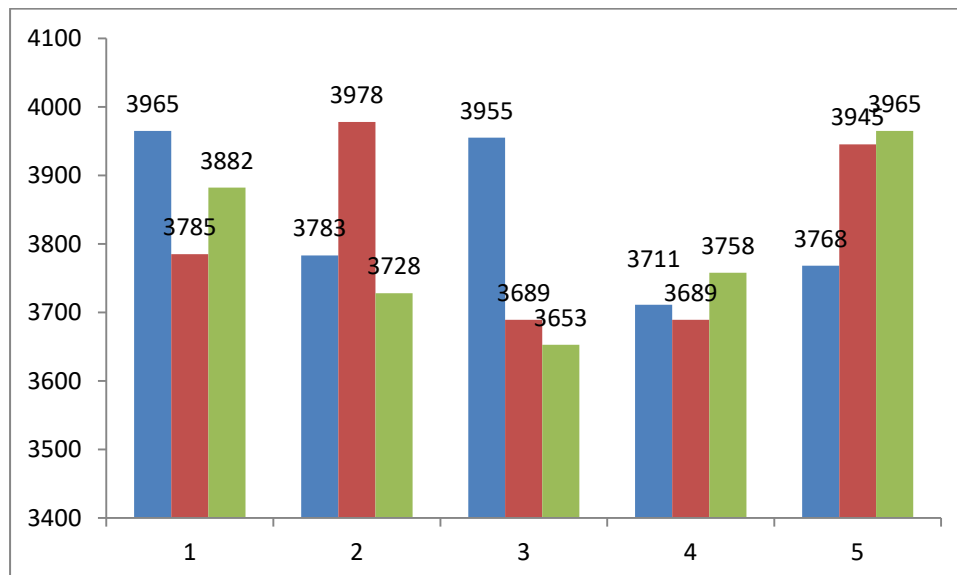
Βέλτιστο προβλήματος 2032



Βέλτιστο αλγορίθμου 3628 με απόκλιση από το βέλτιστο 78,54%.

Πρόβλημα 6

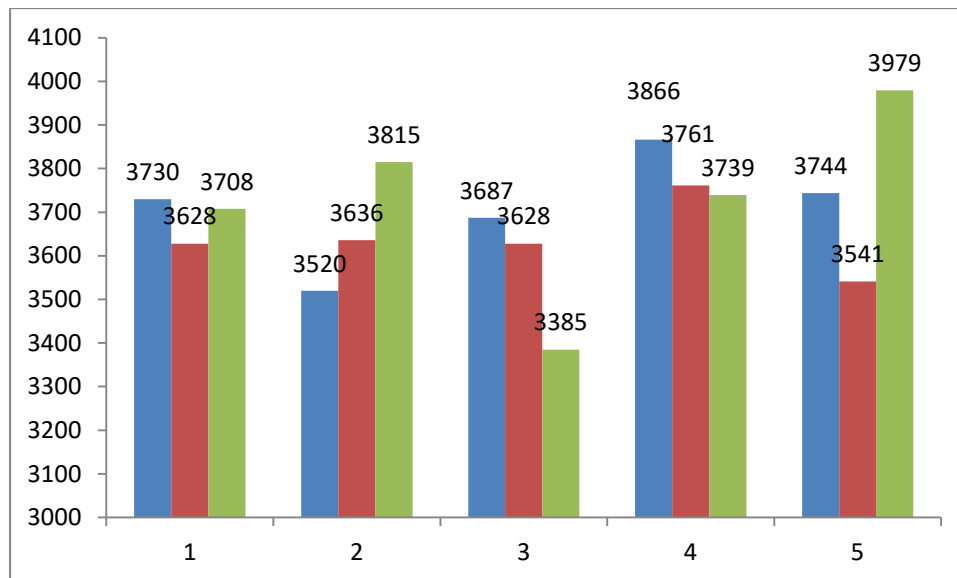
Βέλτιστο προβλήματος 2057



Βέλτιστο αλγορίθμου 3653 με απόκλιση από το βέλτιστο 77,58%.

Πρόβλημα 7

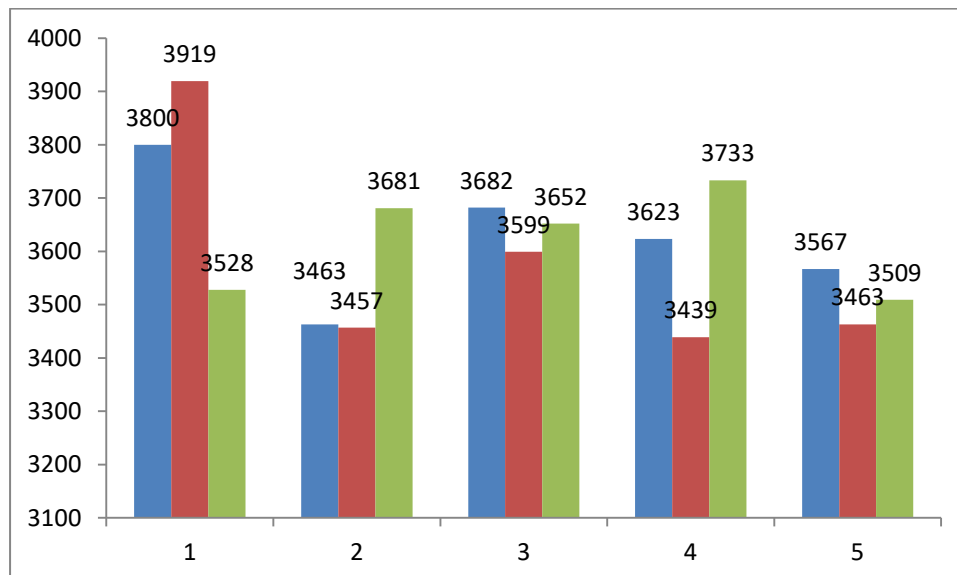
Βέλτιστο προβλήματος 1947



Βέλτιστο αλγορίθμου 3385 με απόκλιση από το βέλτιστο 73,85%.

Πρόβλημα 8

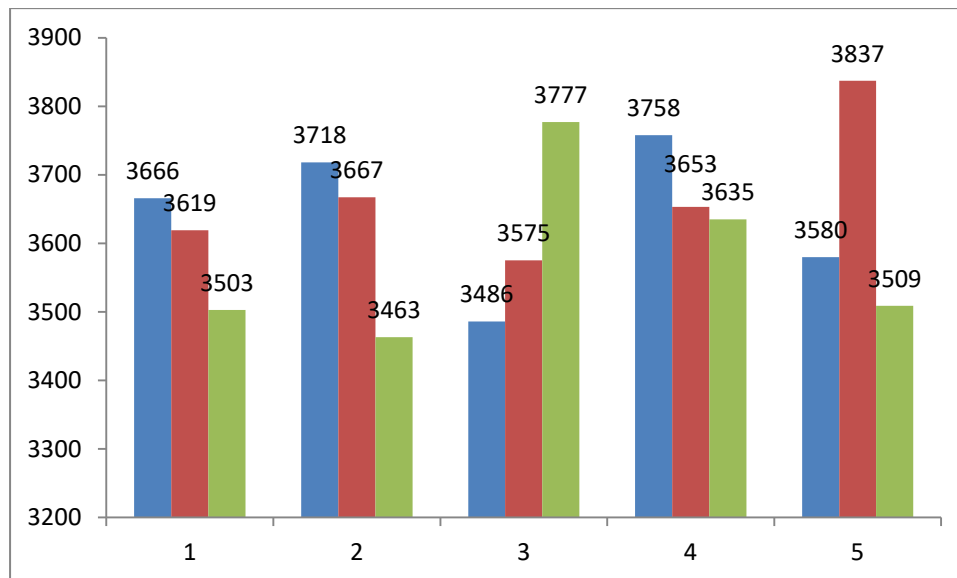
Βέλτιστο προβλήματος 2001



Βέλτιστο αλγορίθμου 3439 με απόκλιση από το βέλτιστο 71,26%.

Πρόβλημα 9

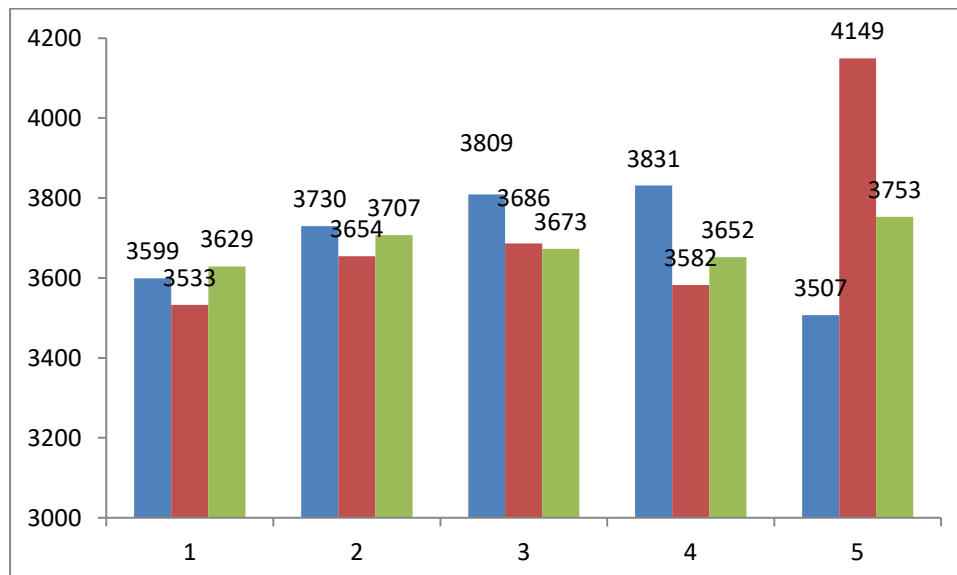
Βέλτιστο προβλήματος 2013



Βέλτιστο αλγορίθμου 3463 με απόκλιση από το βέλτιστο 72,03%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 1973



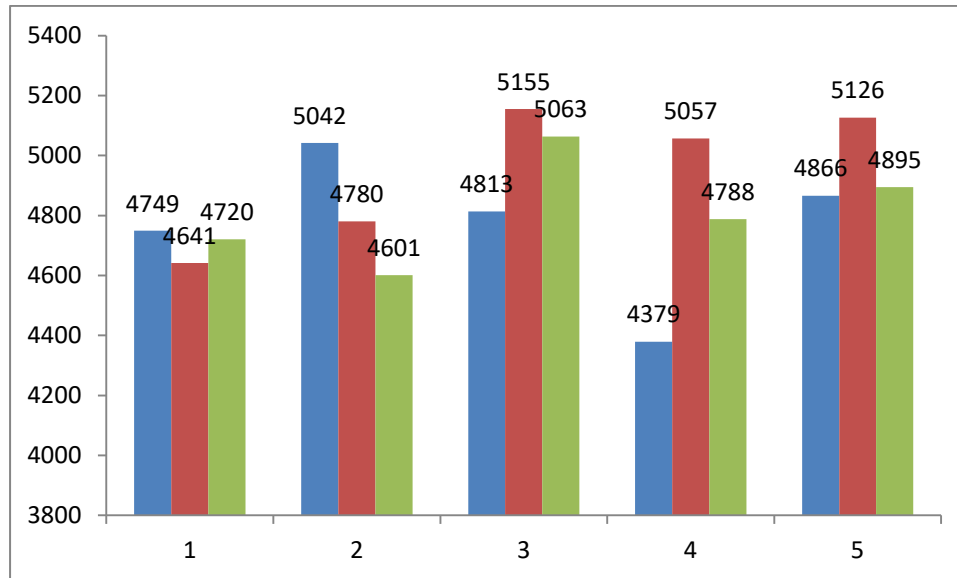
Βέλτιστο αλγορίθμου 3533 με απόκλιση από το βέλτιστο 79,06%.

5.6 Προβλήματα 50 εργασιών σε 15 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε προβλήματα 50 εργασιών σε 15 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

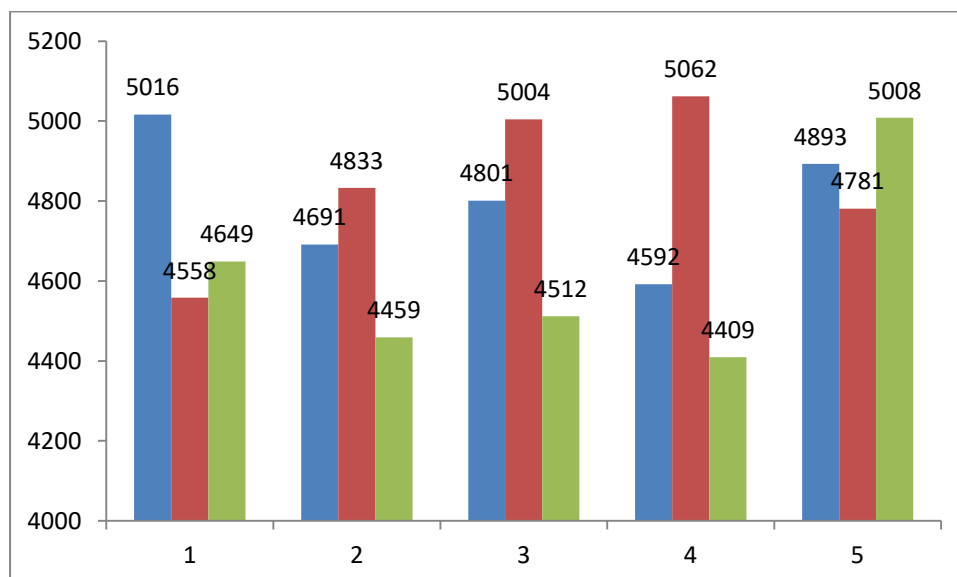
Βέλτιστο προβλήματος 2760



Βέλτιστο αλγορίθμου 4379 με απόκλιση από το βέλτιστο 58,66%.

Πρόβλημα 2

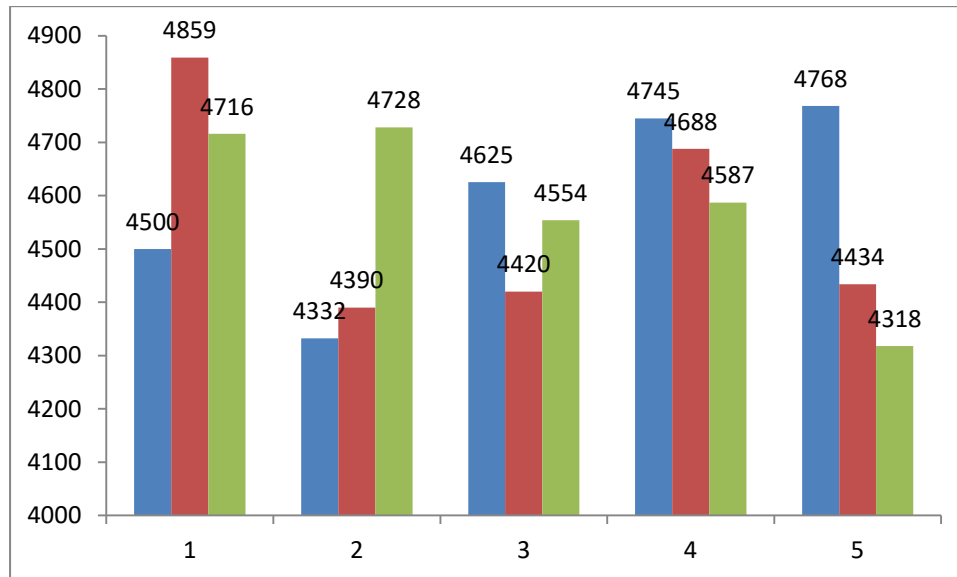
Βέλτιστο προβλήματος 2756



Βέλτιστο αλγόριθμου 4409 με απόκλιση από το βέλτιστο 59,97%.

Πρόβλημα 3

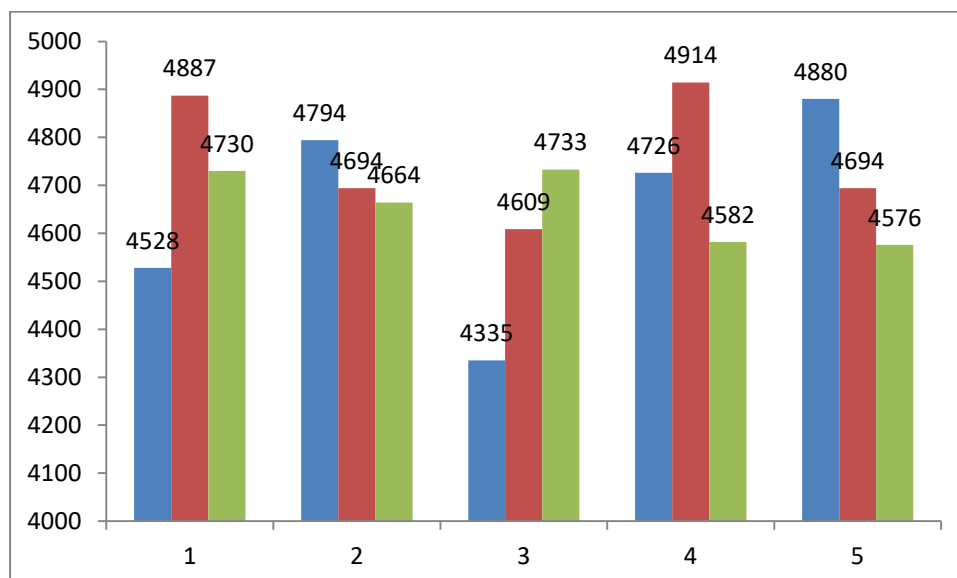
Βέλτιστο προβλήματος 2717



Βέλτιστο αλγόριθμου 4332 με απόκλιση από το βέλτιστο 59,44%.

Πρόβλημα 4

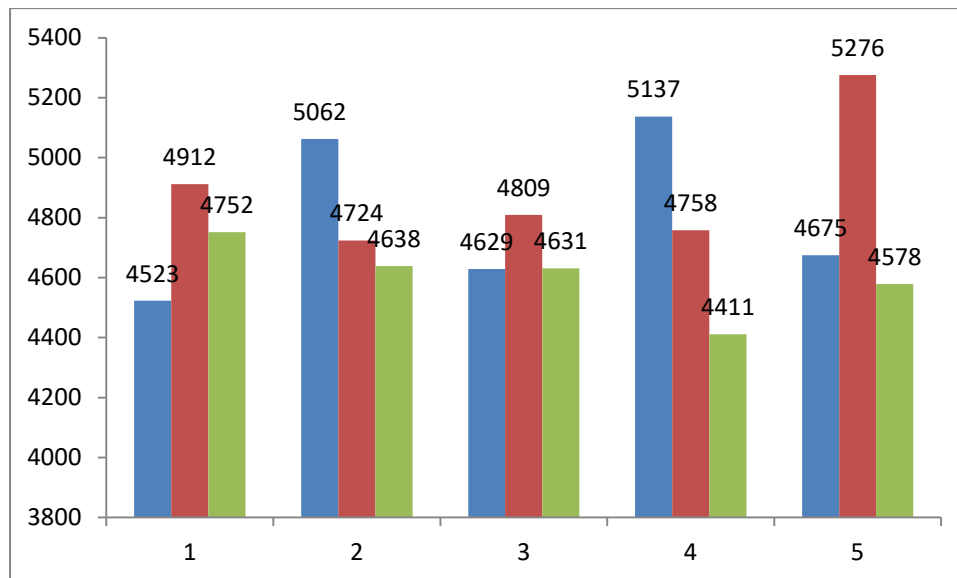
Βέλτιστο προβλήματος 2839



Βέλτιστο αλγόριθμου 4335 με απόκλιση από το βέλτιστο 52,69%.

Πρόβλημα 5

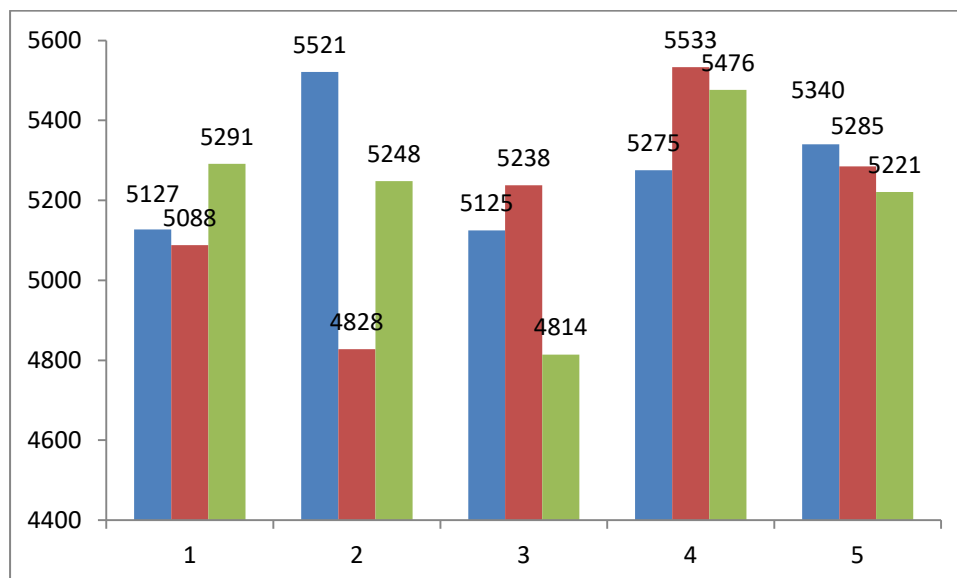
Βέλτιστο προβλήματος 2679



Βέλτιστο αλγορίθμου 4411 με απόκλιση από το βέλτιστο 64,65%.

Πρόβλημα 6

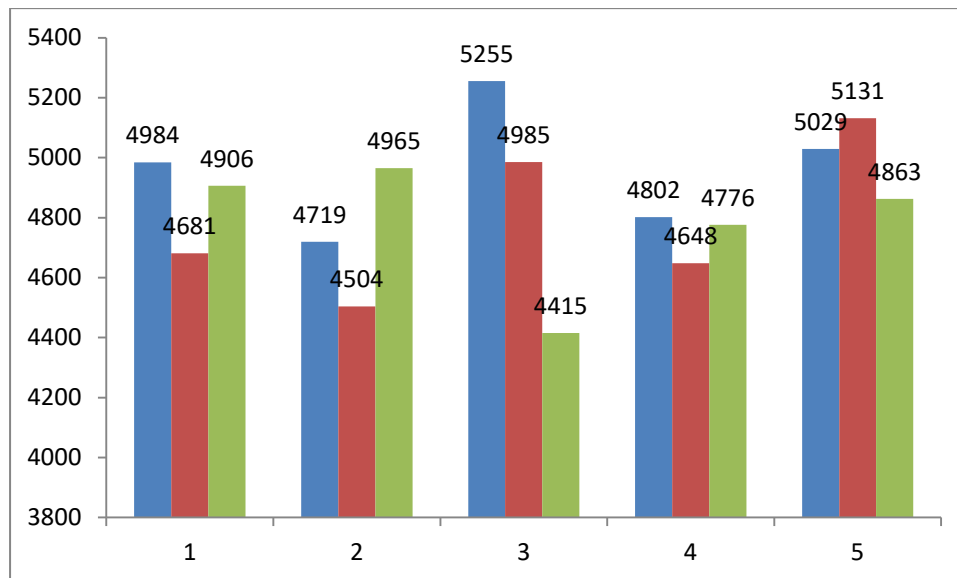
Βέλτιστο προβλήματος 2781



Βέλτιστο αλγορίθμου 4814 με απόκλιση από το βέλτιστο 73,10%.

Πρόβλημα 7

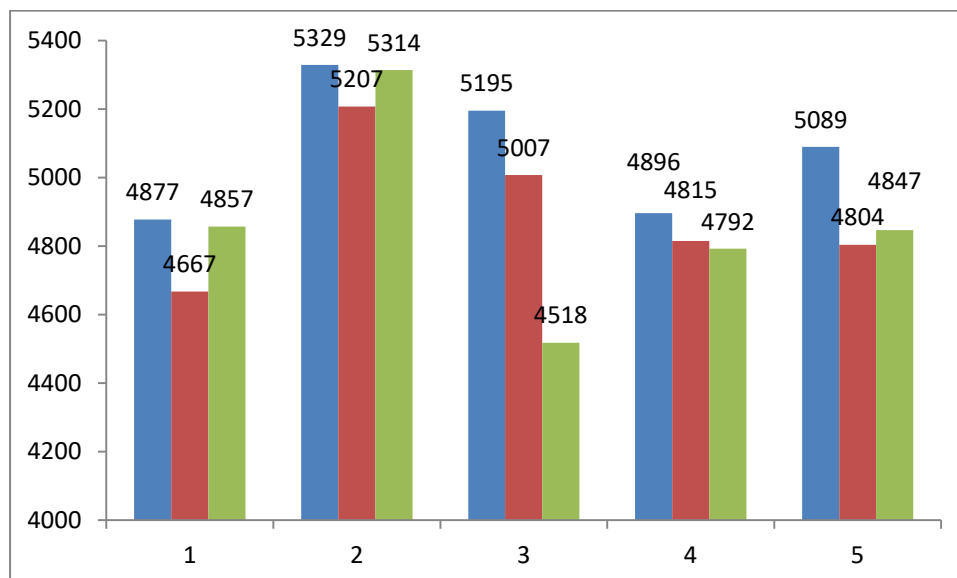
Βέλτιστο προβλήματος 2943



Βέλτιστο αλγορίθμου 4415 με απόκλιση από το βέλτιστο 50,01%.

Πρόβλημα 8

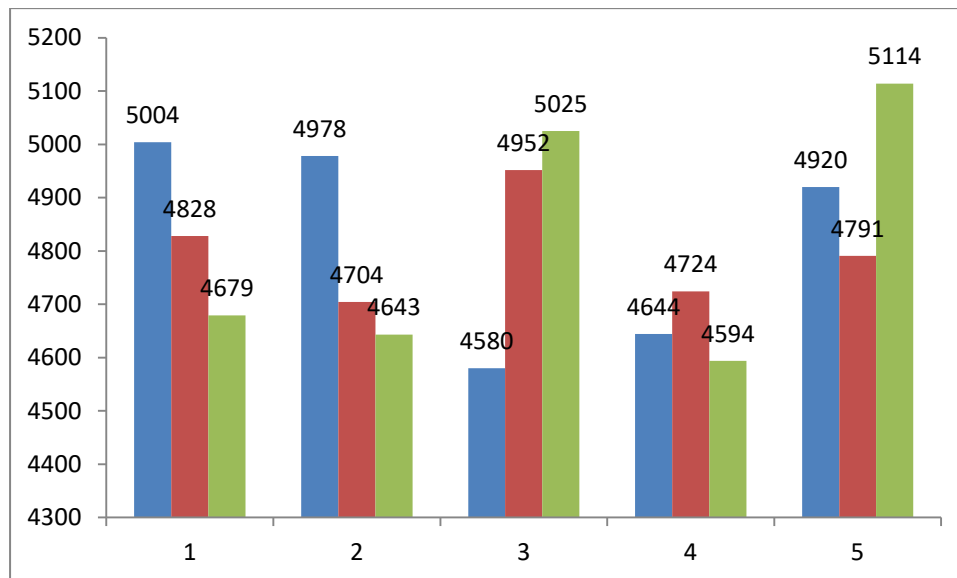
Βέλτιστο προβλήματος 2885



Βέλτιστο αλγορίθμου 4518 με απόκλιση από το βέλτιστο 56,60%.

Πρόβλημα 9

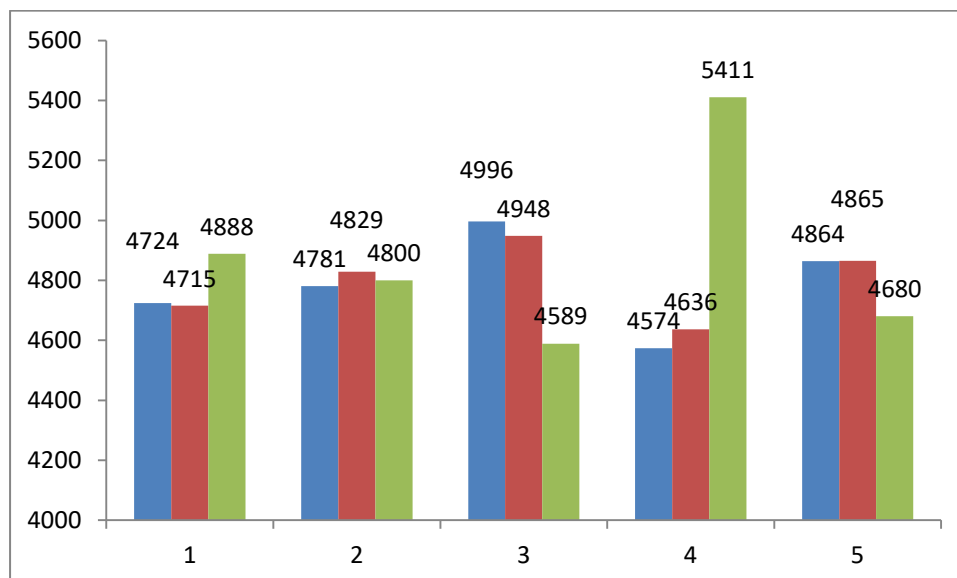
Βέλτιστο προβλήματος 2655



Βέλτιστο αλγορίθμου 4580 με απόκλιση από το βέλτιστο 72,50%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 2723



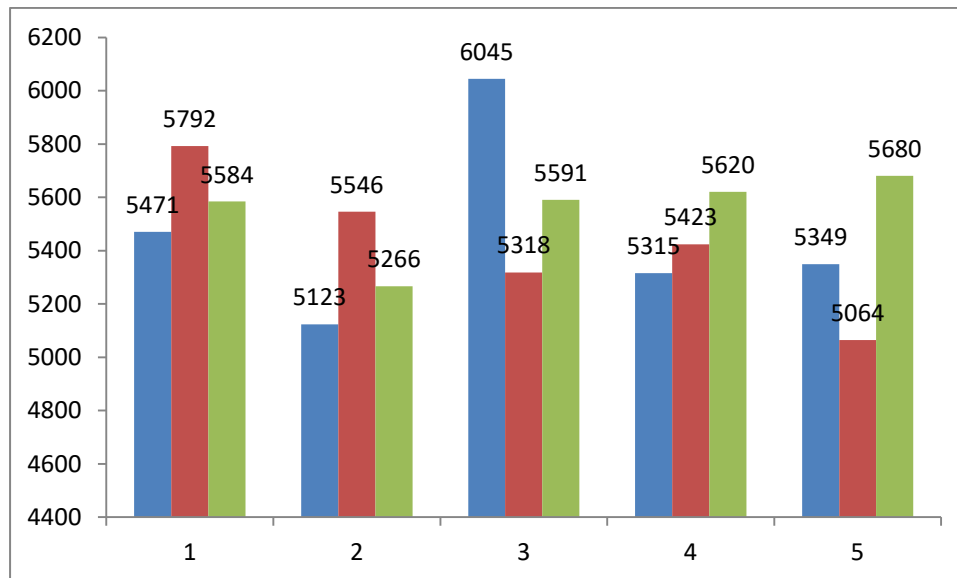
Βέλτιστο αλγορίθμου 4574 με απόκλιση από το βέλτιστο 67,97 %.

5.7 Προβλήματα 50 εργασιών σε 20 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε προβλήματα 50 εργασιών σε 20 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

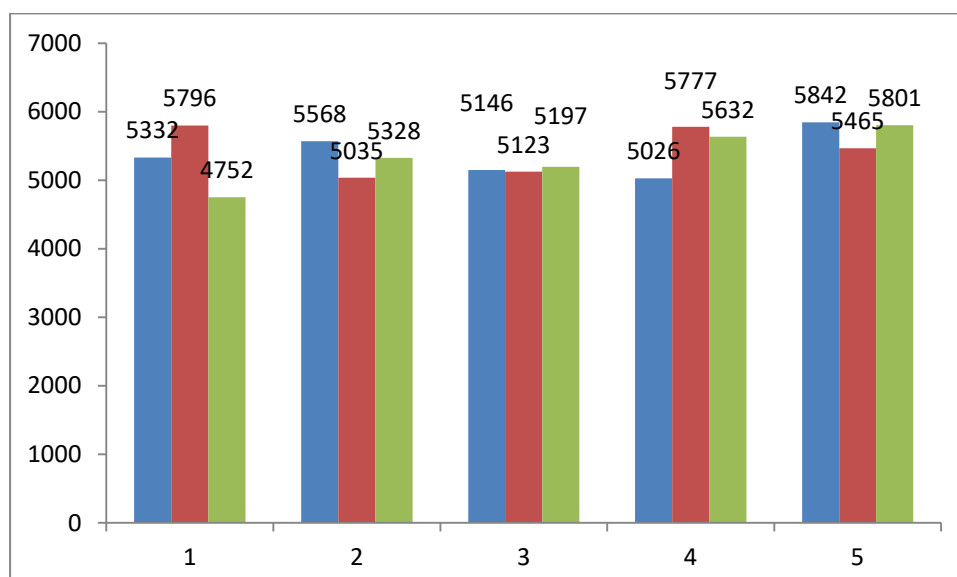
Βέλτιστο πρόβληματος 2868



Βέλτιστο αλγορίθμου 5064 με απόκλιση από το βέλτιστο 76,56%.

Πρόβλημα 2

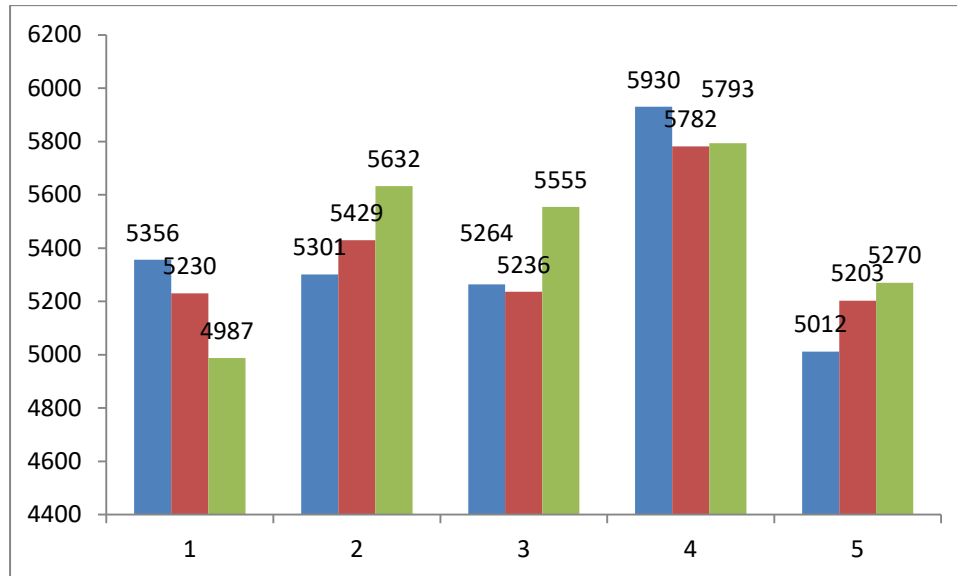
Βέλτιστο πρόβληματος 2902



Βέλτιστο αλγόριθμου 4752 με απόκλιση από το βέλτιστο 63,75%.

Πρόβλημα 3

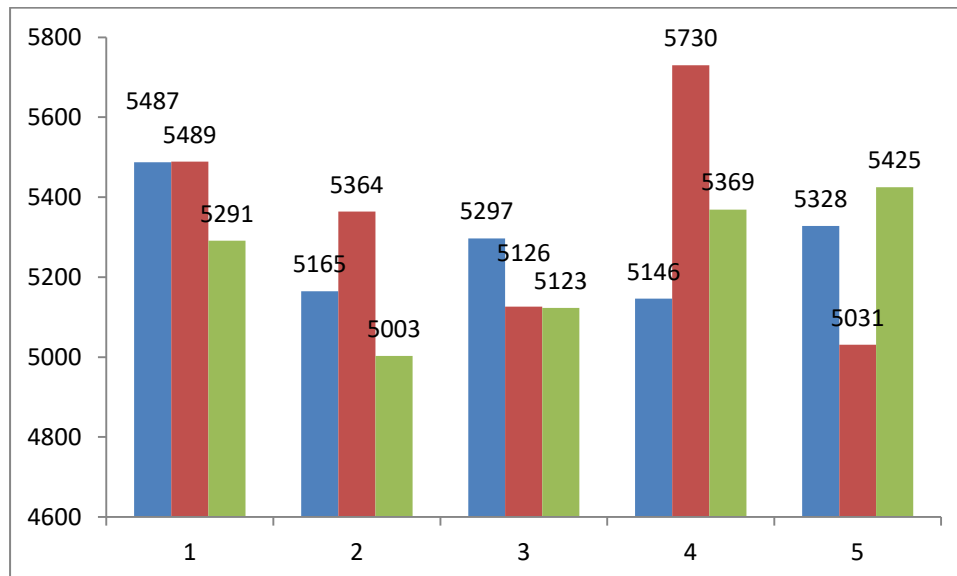
Βέλτιστο προβλήματος 2755



Βέλτιστο αλγόριθμου 4987 με απόκλιση από το βέλτιστο 81,01%.

Πρόβλημα 4

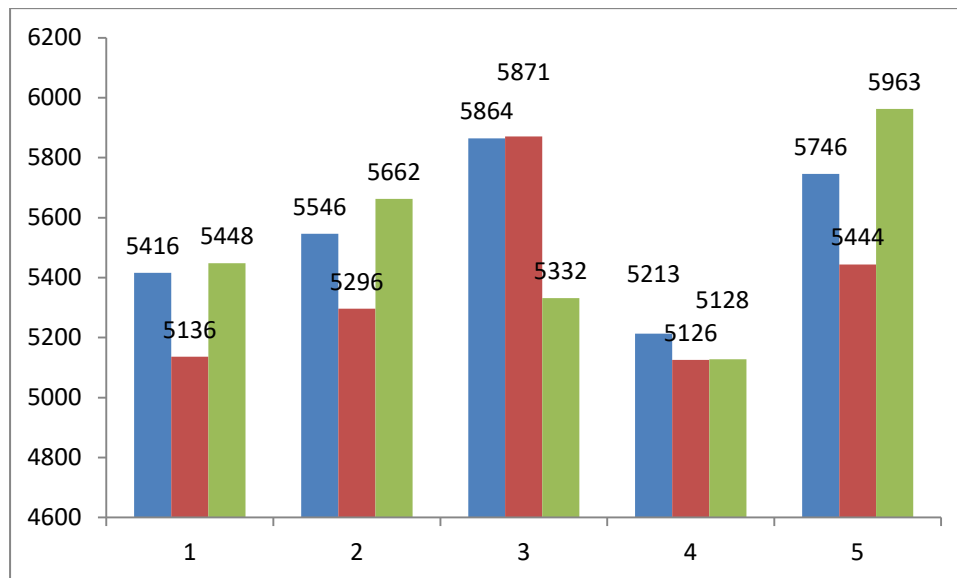
Βέλτιστο προβλήματος 2702



Βέλτιστο αλγόριθμου 5003 με απόκλιση από το βέλτιστο 85,16%.

Πρόβλημα 5

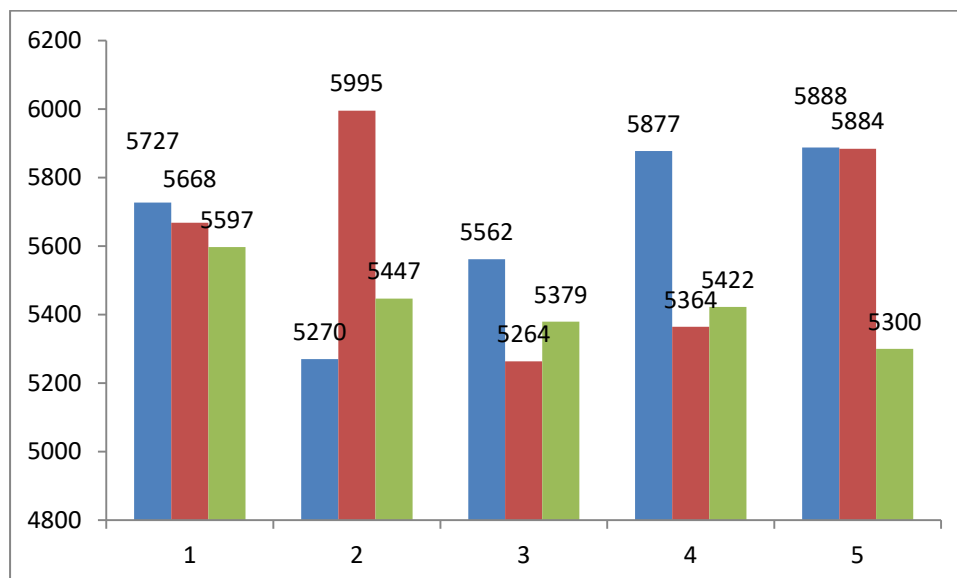
Βέλτιστο προβλήματος 2725



Βέλτιστο αλγορίθμου 5126 με απόκλιση από το βέλτιστο 88,11%

Πρόβλημα 6

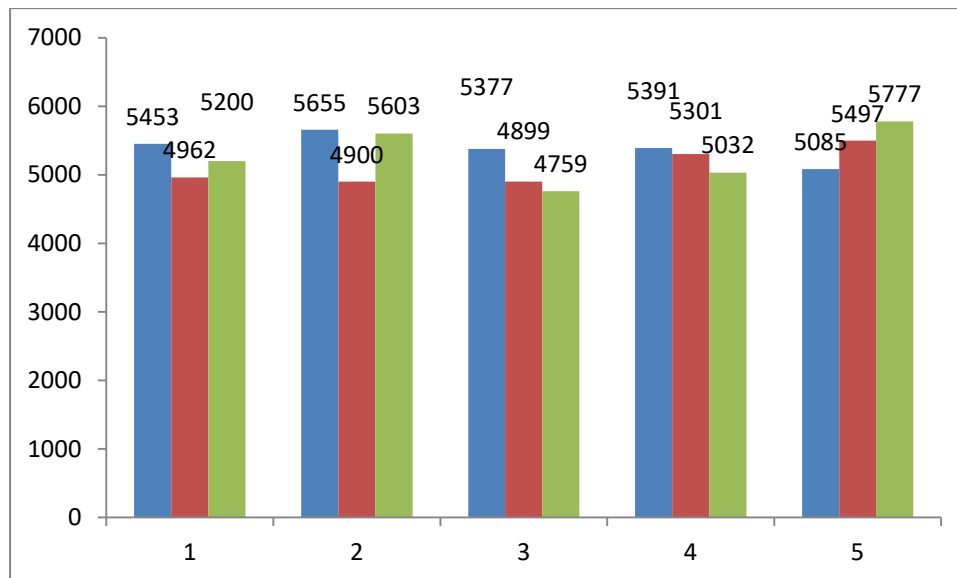
Βέλτιστο προβλήματος 2845



Βέλτιστο αλγορίθμου 5264 με απόκλιση από το βέλτιστο 85,02%.

Πρόβλημα 7

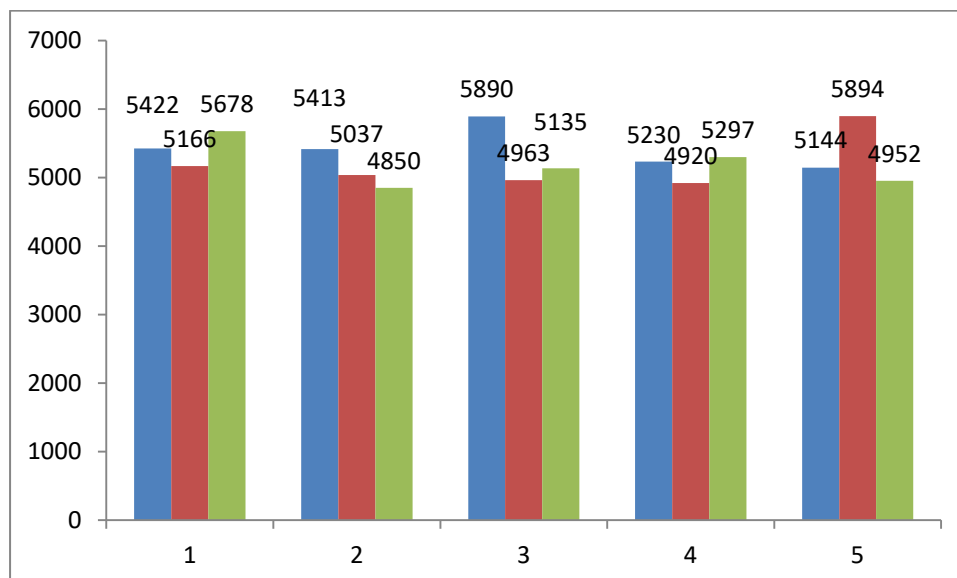
Βέλτιστο προβλήματος 2841



Βέλτιστο αλγορίθμου 4759 με απόκλιση από το βέλτιστο 67,51%.

Πρόβλημα 8

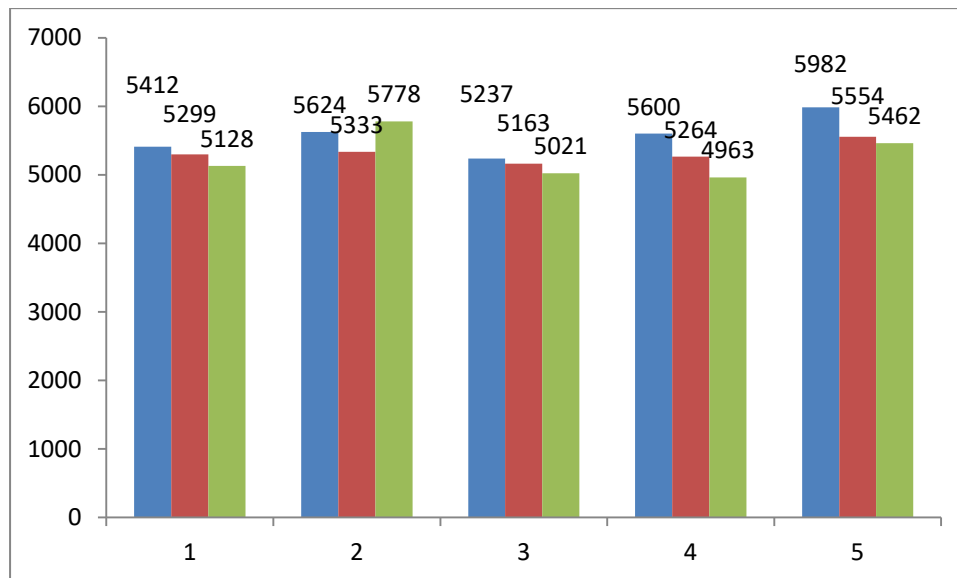
Βέλτιστο προβλήματος 2784



Βέλτιστο αλγορίθμου 4920 με απόκλιση από το βέλτιστο 74,21%.

Πρόβλημα 9

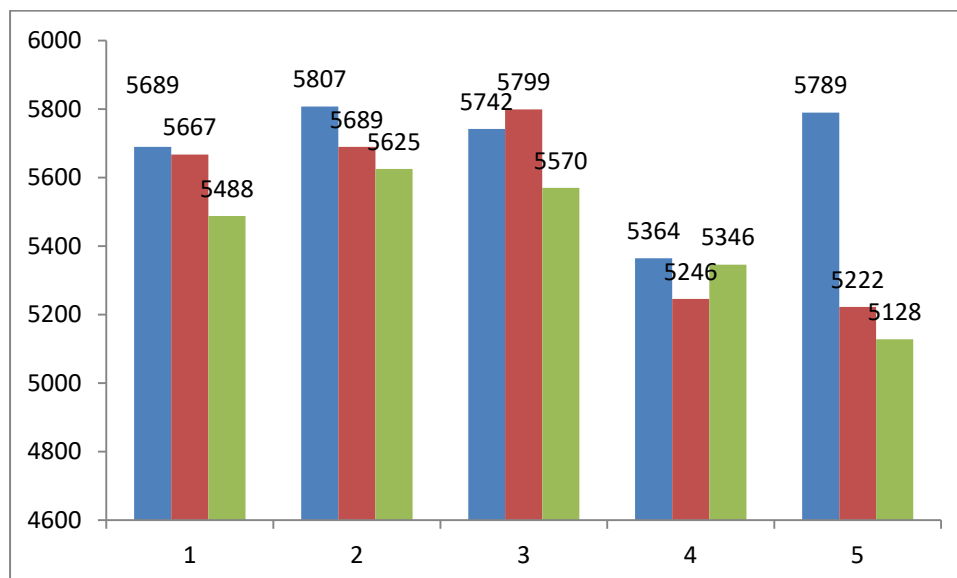
Βέλτιστο προβλήματος 3071



Βέλτιστο αλγόριθμου 4963 με απόκλιση από το βέλτιστο 61,60%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 2995



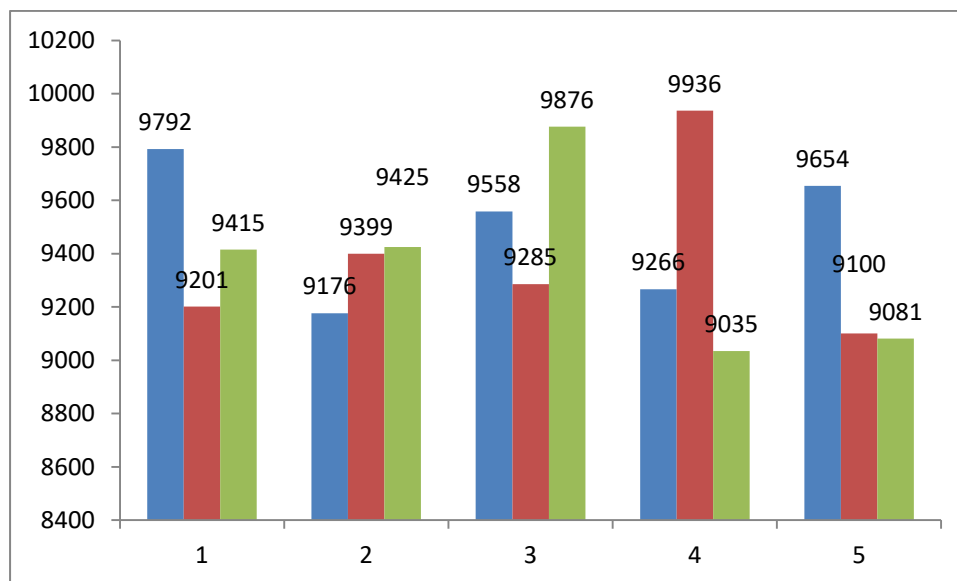
Βέλτιστο αλγόριθμου 5128 με απόκλιση από το βέλτιστο 71,21%.

5.8 Προβλήματα 100 εργασιών σε 20 μηχανήματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε προβλήματα 100 εργασιών σε 20 μηχανήματα για την ολοκλήρωση μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόβλημα 1

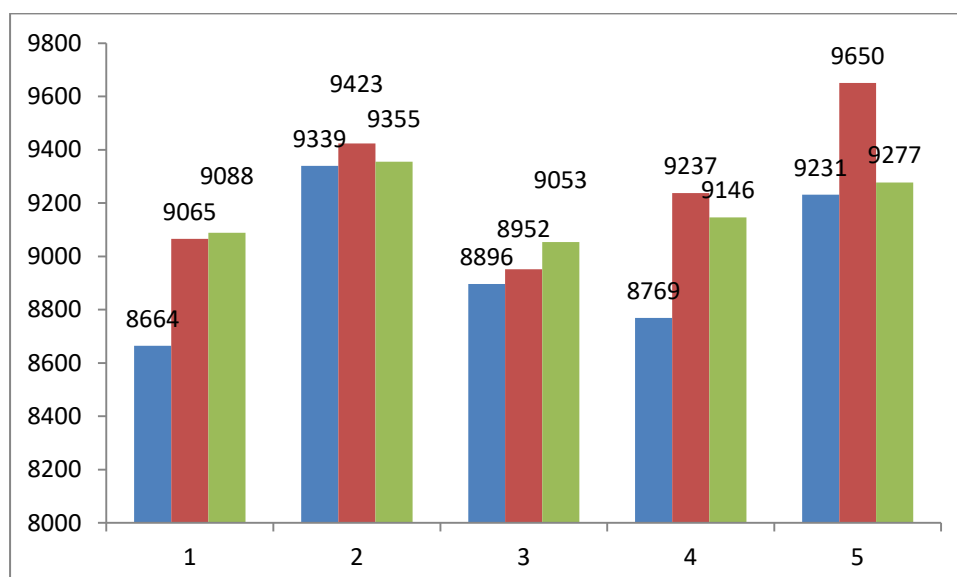
Βέλτιστο πρόβληματος 5464



Βέλτιστο αλγορίθμου 9035 με απόκλιση από το βέλτιστο 65,35%.

Πρόβλημα 2

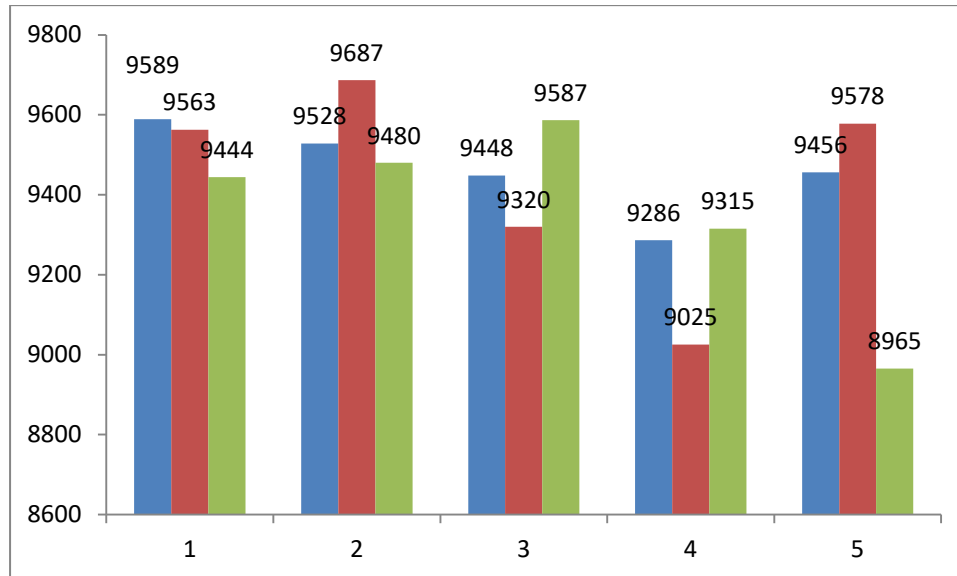
Βέλτιστο πρόβληματος 5181



Βέλτιστο αλγορίθμου 8664 με απόκλιση από το βέλτιστο 67,22%.

Πρόβλημα 3

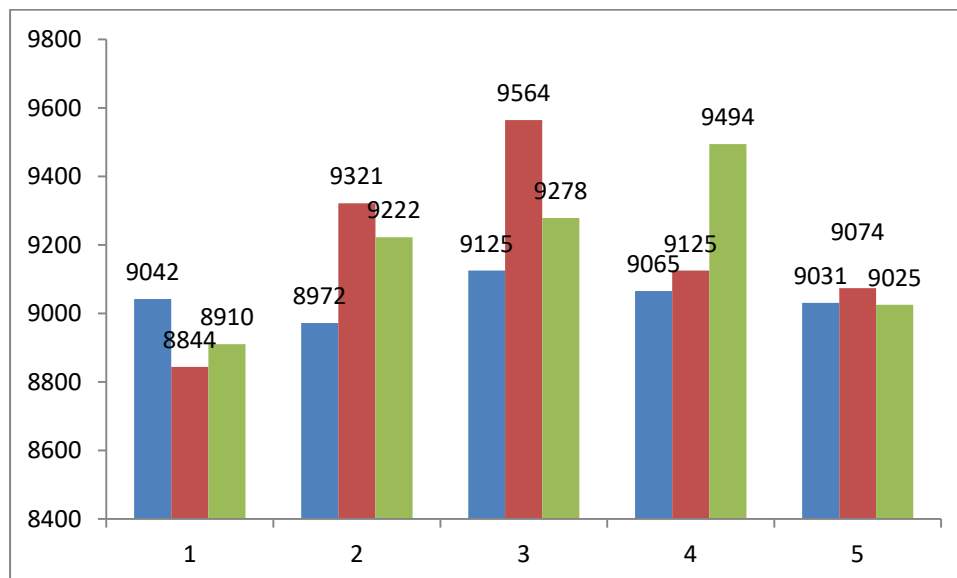
Βέλτιστο προβλήματος 5568



Βέλτιστο αλγορίθμου 8965 με απόκλιση από το βέλτιστο 61,01%.

Πρόβλημα 4

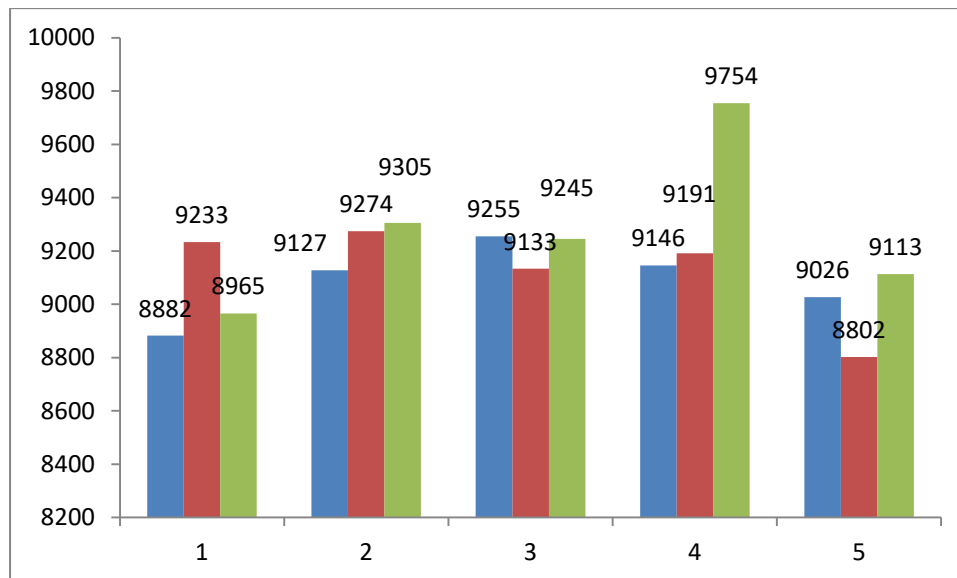
Βέλτιστο προβλήματος 5339



Βέλτιστο αλγορίθμου 8844 με απόκλιση από το βέλτιστο 65,64%.

Πρόβλημα 5

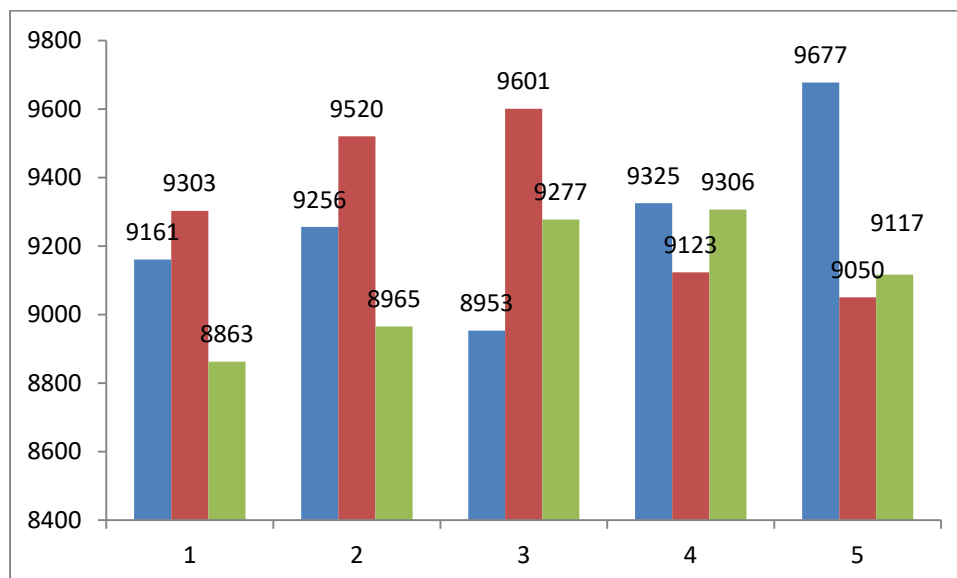
Βέλτιστο προβλήματος 5392



Βέλτιστο αλγορίθμου 8802 με απόκλιση από το βέλτιστο 63,24%.

Πρόβλημα 6

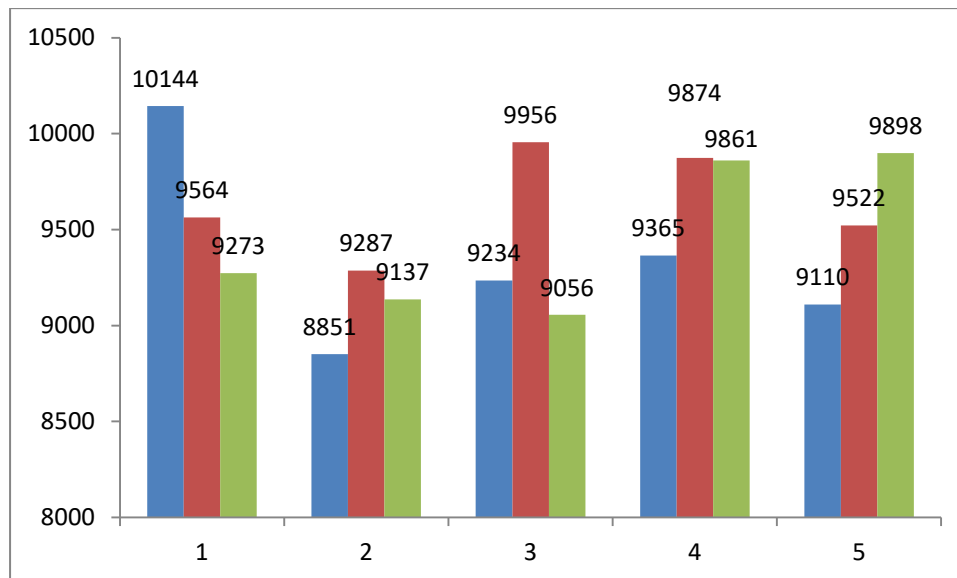
Βέλτιστο προβλήματος 5342



Βέλτιστο αλγορίθμου 8863 με απόκλιση από το βέλτιστο 65,91%.

Πρόβλημα 7

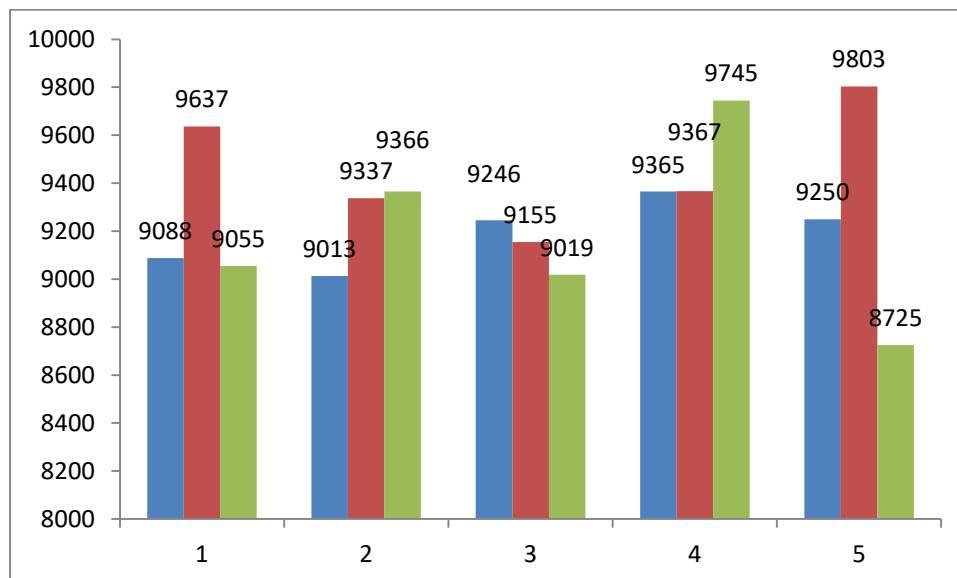
Βέλτιστο προβλήματος 5436



Βέλτιστο αλγορίθμου 8851 με απόκλιση από το βέλτιστο 62,82%.

Πρόβλημα 8

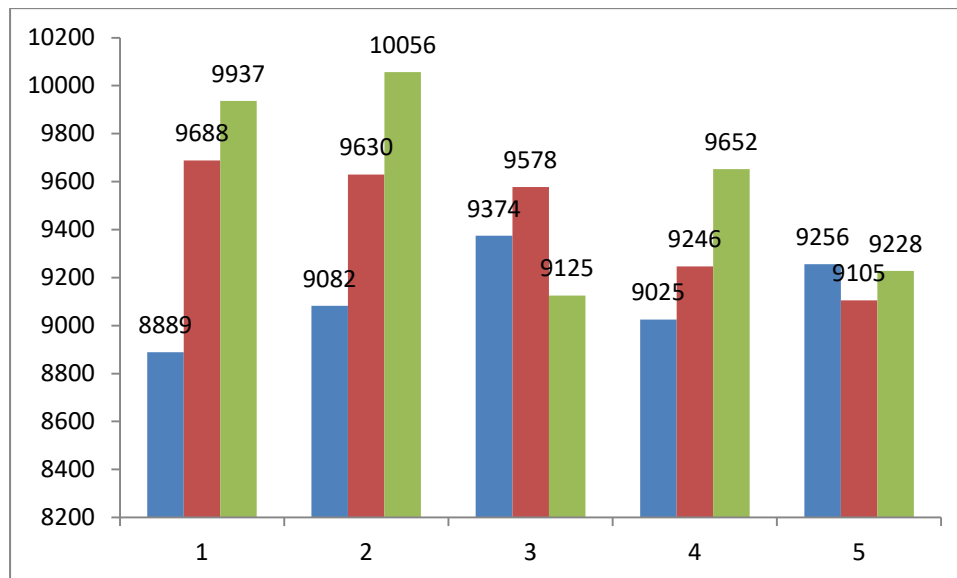
Βέλτιστο προβλήματος 5394



Βέλτιστο αλγορίθμου 8725 με απόκλιση από το βέλτιστο 61,75%.

Πρόβλημα 9

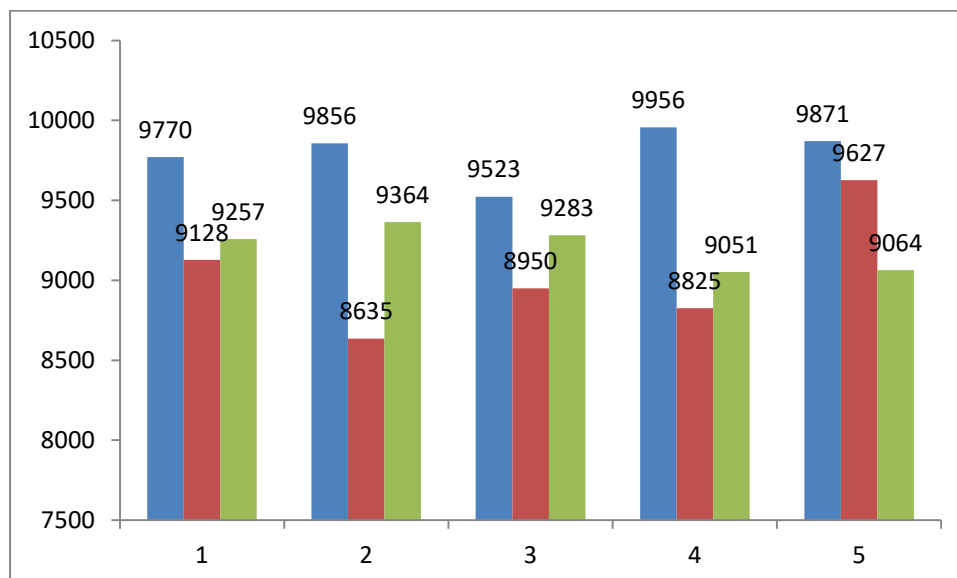
Βέλτιστο προβλήματος 5358



Βέλτιστο αλγορίθμου 8889 με απόκλιση από το βέλτιστο 65,90%.

Πρόβλημα 10

Βέλτιστο προβλήματος 5183



Βέλτιστο αλγορίθμου 8635 με απόκλιση από το βέλτιστο 66,67%.

5.9 Τελικά συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του αλγορίθμου εξάγονται αντικρουόμενα αποτελέσματα, καθώς όλες οι λύσεις κυμαίνονται στο φάσμα των αποκλίσεων από 50% έως 75% από το βέλτιστο, με μερικές περιπτώσεις να έχουν απόκλιση ακόμη και μεγαλύτερη του 80%. Αυτή η μεγάλη απόκλιση θα μπορούσε να προβλεφθεί και να παρακαμφθεί σε περιπτώσεις που υπάρχουν περισσότεροι περιορισμοί και άλλα κριτήρια. Έτσι, θα δημιουργούνταν μια πιο αυστηρή αναζήτηση του βέλτιστου. Ως εκ τούτου ο αλγόριθμος θα παρείχε αποτελέσματα με μικρότερη απόκλιση από το βέλτιστο όταν θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί πως αυτός ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα γρήγορος και μπορεί να «τρέξει» ακόμα και πολύ μεγάλα προβλήματα σε πολύ μικρό χρόνο, δεδομένο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μία περεταίρω βελτίωση κάποιου προβλήματος.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι η καλύτερη δυνατή λύση ενός προβλήματος, βάσει του παραπάνω αλγορίθμου, μπορεί να εξαχθεί με οποιονδήποτε από τους τρεις τρόπους τοπικής αναζήτησης. Σε κάποια προβλήματα το “1-1 exchange” έδινε το καλύτερο αποτέλεσμα, σε κάποια άλλα το “1-0 relocate” ενώ σε άλλα ο συνδυασμός των δύο μεθόδων. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι ο συνδυασμός μεθόδων δίνει την λύση πολύ πιο αργά από τις άλλες δυο μεθόδους αφού στην ουσία κάνει δύο φορές την τοπική αναζήτηση.

Βιβλιογραφία

- [1] Ιωάννης Μαρινάκης και Αθανάσιος Μυγδαλάς. *Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας*. Εκδόσεις σοφία, Θεσσαλονίκη, 2008.
- [2] Εμίρης Δημήτριος. *Χρονικός Προγραμματισμός. Σημειώσεις Μαθήματος Προγραμματισμού και Ελέγχου Παραγωγής*, 2009