



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ, Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΒΑΡΔΙΩΝ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

Σοφία Δώδα

Επιβλέπων: Χρήστος Γκόγκος, Επίκουρος Καθηγητής

Πρέβεζα, Ιούνιος 2017



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ, Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΒΑΡΔΙΩΝ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

Σοφία Δώδα

Επιβλέπων: Χρήστος Γκόγκος, Επίκουρος Καθηγητής

Πρέβεζα, Ιούνιος 2017

AUTOMATIC SOLUTIONS IN THE PROBLEM OF PERSONNEL SCHEDULING,
THE CASE OF NURSE ROSTERING

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή
Πρέβεζα,

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής
Χρήστος Γκόγκος
Επίκουρος Καθηγητής
2. Μέλος επιτροπής
3. Μέλος επιτροπής

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ

Μιχάηλ Διακομιχάλης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Υπογραφή

© Δώδα Σοφία, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Δώδα Σοφία

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η επιστροφή μου στα θρανία μετά από πέντε χρόνια στην αγορά εργασίας ήταν τόσο για οικονομικούς όσο και για ψυχολογικούς λόγους, ένα δύσκολο βήμα, που χωρίς την στήριξη κάποιων ανθρώπων δεν θα είχε γίνει.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την αμέριστη υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, την πίστη τους στις δυνατότητές μου και για την ανεκτίμητη παρουσία τους σε όλες τις επιλογές μου, ακόμη και όταν διαφωνούν με αυτές.

Πολλά ευχαριστώ στον άνθρωπο που επέλεξε να περάσει τη ζωή του μαζί μου, στηρίζοντας με κάθε τρόπο την προσπάθειά μου, χωρίς να παραπονεθεί ούτε στιγμή, για τις αναρίθμητες ώρες απουσίας μου, λόγω του μεταπτυχιακού.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον σύμβουλο καθηγητή μου, κύριο Χρήστο Γκόγκο, για την επιστημονική καθοδήγηση, την απίστευτα γρήγορη ανταπόκριση στο κάλεσμα μου για βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις κατά την συγγραφή της εργασίας και την μεγάλη κατανόηση που έδειξε στην έλλειψη χρόνου.

Τέλος ευχαριστούμε την εταιρεία IBM, για την άδεια ακαδημαϊκής χρήσης που παρείχε στο ΤΕΙ Ηπείρου για ελεύθερη χρήση των λογισμικών πακέτων Cplex Optimization Studio και Decision Optimization Center, χωρίς την οποία η διεξαγωγή της εργασίας θα ήταν πολύ δύσκολη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάλυση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού και συγκεκριμένα αυτού του νοσηλευτικού προσωπικού. Πρόκειται για ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης και αρχικά αναλύονται οι ποικίλες τεχνικές και αλγόριθμοι επίλυσης τέτοιων προβλημάτων. Ο χρονοπρογραμματισμός προσωπικού αποτελεί σημαντικό παράγοντα μείωσης των λειτουργικών εξόδων μιας επιχείρησης και τα διοικητικά στελέχη οφείλουν να είναι σε θέση να τα εντοπίζουν να τα μοντελοποιούν, να τα επιλύουν, να αναλύουν την ποιότητα της λύσης και να τα εφαρμόζουν σωστά στην πράξη. Ειδικά στον χώρο της υγείας, ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού των βαρδιών των νοσηλευτών είναι ακόμη πιο περίπλοκο, λόγω της πληθώρας των περιορισμών που πρέπει να ικανοποιηθούν, είτε νομικοί, είτε λόγω επιθυμιών του προσωπικού, καθώς και των διαφορετικών χαρακτηριστικών του κάθε νοσοκομείου, ανάλογα με την χώρα, τις κλινικές και το μορφωτικό επίπεδο του προσωπικού. Τα λογισμικά που επιλύουν τέτοια προβλήματα είναι πολλά. Αναφέρονται κάποια επιγραμματικά με τις δυνατότητες που παρέχουν και αναλύονται δύο από αυτά, μέσα από συγκεκριμένες εφαρμογές στον τομέα της υγείας. Τέλος, χρησιμοποιούμε το λογισμικό της IBM Decision Optimization Center, για να διαμορφώσουμε το πρόγραμμα βαρδιών μιας κλινικής ελληνικού νοσοκομείου. Η εισαγωγή πραγματικών δεδομένων και η ανάλυση της λύσης, μας οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι μια έτοιμη εφαρμογή λογισμικού είναι δύσκολο να καλύψει τις ανάγκες διαφόρων νοσοκομείων στο σύνολό τους. Περιορίζεται στις ανάγκες που εμφανίζονται σε όλα τα νοσοκομεία και λήφθηκαν υπόψη κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής. Η ανάγκη για ένα λογισμικό, που να μπορεί να ενσωματώσει ακόμη περισσότερους περιορισμούς παραμένει, καθιστώντας απαραίτητο για έναν υπεύθυνο κλινικής, να στραφεί σε εταιρείες λογισμικών, που θα σχεδιάσουν εξ αρχής μια εφαρμογή σε πλήρη συνεννόηση με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου χώρου εργασίας.

Λέξεις-κλειδιά: Βελτιστοποίηση, Χρονοπρογραμματισμός Νοσηλευτικού προσωπικού, Βάρδιες, Περιορισμοί, Στόχοι, Λογισμικό Χρονοπρογραμματισμού, Decision Optimization Center

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze scheduling problems and more specifically the nurse rostering problem. Nurse Rostering is considered to be an optimization problem, thus some of the most popular optimization techniques and algorithms are being analyzed. Personnel Scheduling constitutes an important factor of reduction of the functional expenses of an enterprise and the administrative executives should be capable of recognizing them, modeling them, solving them, analyzing the quality of the solution and applying them adequately in practice. Especially in the healthcare environment, the personnel scheduling problem is even more complicated, due to the numerous restrictions that have to be satisfied, either imposed by law, or by the wishes of personnel, as well as by the different characteristics of each hospital, depending on the country, the hospital clinic and the education level of the personnel. There are plenty of software solutions that solve such problems. Some of them are introduced and their facilities are reported as well. Two of them are analyzed through concrete applications in healthcare. Finally, we use the software of IBM Decision Optimization Center, in order to conduct the shifts of a clinic in a Greek hospital. The import of real given data and the analysis of the solution found by the program, lead us to the conclusion, that an integrated software application experiences difficulties covering all the various needs of every single hospital. It is limited in covering only those needs that are presented in all hospitals and thus were taken into account from the beginning and during the development of the application. The need for a software, that could incorporate even more restrictions remains. As a result, it is essential for those in charge of the clinic, to turn themselves in software companies that will plan an application inbuilt, in complete agreement with the requirements of the particular working environment.

Κεφάλαιο 1	1
Προβλήματα βελτιστοποίησης και τεχνικές επίλυσης αυτών	1
1.1 Εισαγωγή- Ορισμοί	1
1.2 Παραδείγματα προβλημάτων βελτιστοποίησης	1
1.3 Τεχνικές επίλυσης.....	5
1.3.1 Μαθηματικός προγραμματισμός	5
1.3.2 Τεχνητή νοημοσύνη.....	8
1.3.3 Υπολογιστική νοημοσύνη	9
1.3.4 Μεταερευνητικές τεχνικές.....	12
1.4 Χρονοπρογραμματισμός.....	13
Κεφάλαιο 2	15
Χρονοπρογραμματισμός προσωπικού.....	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Η ιδιαιτερότητα κάθε επιχείρησης	16
2.3 Η σημασία του προβλήματος στην Διοίκηση Επιχειρήσεων	17
2.4 Οι περιορισμοί σε ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού προσωπικού	19
2.5 Κατηγορίες μεθόδων προγραμματισμού στις επιχειρήσεις.....	20
Κεφάλαιο 3	22
Χρονοπρογραμματισμός νοσηλευτικού προσωπικού	22
3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Προεπισκόπηση του προβλήματος.....	24
3.3 Προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού	26
3.4 Διαμόρφωση ωραρίου	27
3.5 Η πολυπλοκότητα του προβλήματος.....	28
3.6 Οι περιορισμοί.....	30
3.7 Η αντικειμενική συνάρτηση	33

Κεφάλαιο 4	35
Λογισμικά Χρονοπρογραμματισμού	35
4.1 Εισαγωγή	35
4.2 Decision Optimization Center (DOC)	35
4.3 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.....	38
4.4 Snap Schedule	40
4.5 ASC Timetables.....	41
4.6 Roster Master.....	43
4.6.1 Σύντομη Περιγραφή	44
4.6.2 Λειτουργικές δυνατότητες.....	45
4.7 Humanity	46
Κεφάλαιο 5	48
Επίλυση προβλήματος χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού με χρήση λογισμικού	48
5.1 Εισαγωγή	48
5.2 Λύση προβλήματος με το λογισμικό Decision Optmization Center.....	48
5.2.1 Γενικά	48
5.2.2 Ο στόχος της εφαρμογής για νοσηλευτικό προσωπικό	49
5.2.3 Αναλυτική επισκόπηση της εφαρμογής Nurse Demo	50
5.3 Λύση προβλήματος με το λογισμικό ILOG CPLEX Optimization Studio	66
5.3.1 Εισαγωγή	66
5.3.2 Περιγραφή των στοιχείων του μοντέλου των νοσηλευτών	67
5.4 Λύση προβλήματος με πραγματικά δεδομένα με το λογισμικό DOC.....	72
5.4.1 Εισαγωγή	72
5.4.2 Περιγραφή διαμόρφωσης των δεδομένων εισόδου	72
5.4.3 Εύρεση εφικτής βέλτιστης λύσης του νέου σεναρίου	75
5.4.4 Ανάλυση και βελτίωση της λύσης.....	76

Κεφάλαιο 6	79
Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	79
Βιβλιογραφία	81

Κεφάλαιο 1

Προβλήματα βελτιστοποίησης και τεχνικές επίλυσης αυτών

1.1 Εισαγωγή- Ορισμοί

Ως προβλήματα βελτιστοποίησης ορίζονται τα προβλήματα εντοπισμού της βέλτιστης λύσης, ανάμεσα στις διάφορες υπάρχουσες λύσεις. Πρόκειται για προβλήματα που λύνονται με περισσότερους από έναν διαθέσιμους τρόπους και ο ρόλος της βελτιστοποίησης είναι να αποφασίσει ποιός από αυτούς επιλύει καλύτερα το πρόβλημα, με βάση πάντα ένα καθορισμένο κριτήριο. Συνεπώς η βέλτιστη λύση είναι αυτή που μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί το κριτήριο.

Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να είναι συνεχές ή συνδυαστικό ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές απόφασης, συνεχείς ή διακριτές αντίστοιχα. Με τη σειρά τους τα συνεχή προβλήματα βελτιστοποίησης διακρίνονται σε γραμμικά και μη γραμμικά. Ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος χρησιμοποιείται και η κατάλληλη τεχνική επίλυσης. Για παράδειγμα ο γραμμικός προγραμματισμός επιλύει αποδοτικά τα συνεχή γραμμικά προβλήματα, ενώ για την επίλυση των μη γραμμικών προτιμούνται ευρετικές μέθοδοι. Στις ευρετικές τεχνικές στρεφόμαστε ως επί το πλείστον και για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης.

1.2 Παραδείγματα προβλημάτων βελτιστοποίησης

Η βελτιστοποίηση σαν έννοια έχει πλέον αποκτήσει θέση σε επιστήμες πέρα των μαθηματικών και της πληροφορικής. Έχει εδραιωθεί σε τομείς όπως η οικονομία και η διοίκηση επιχειρήσεων και χρησιμοποιείται για την επίλυση ευρέος φάσματος προβλημάτων στη βιομηχανία και την κοινωνία γενικότερα. Από τις αρχές του 20^{ού} αιώνα, όπου οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες αναπτύχθηκαν σε τέτοιο βαθμό, ώστε να διατηρούν παραρτήματα, υποκαταστήματα και μονάδες παραγωγής σε άλλες χώρες ή και ηπείρους, διαπιστώθηκε η ανάγκη για τη λήψη αποφάσεων με συστηματικό τρόπο, βασισμένο σε επιστημονικές μεθόδους. Μια επιστημονικά βέλτιστη λύση- διοικητική απόφαση μπορεί να εξασφαλίσει σε μια εταιρεία πιο αποτελεσματική παραγωγή, καλύτερο έλεγχο και μεγαλύτερο κέρδος. Συνεπώς η βελτιστοποίηση αποτελεί για τον κόσμο του

management και τους επιχειρησιακούς ερευνητές ένα εργαλείο επιστημονικής υπόστασης για τη λήψη αποφάσεων, βασισμένο σε λογισμικά με έτοιμα ή προσαρμοσμένα μοντέλα αναπαράστασης του προβλήματος και μεθόδους επίλυσης αυτών.

Για παράδειγμα η πρόσληψη ενός νέου υπαλλήλου από τον υπεύθυνο του τμήματος προσωπικού μπορεί να γίνει με διαφορετικές διαδικασίες, που έχουν διαφορετικό κόστος και απαιτούν διαφορετικό χρόνο η κάθε μία. Ο υπεύθυνος καλείται να βρει τον πιο ποιοτικά κατάλληλο υποψήφιο, που να πληροί τα απαιτούμενα προσόντα τόσο στη θεωρία όσο και στην πράξη, όσο πιο γρήγορα γίνεται, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Ομοίως υπάρχουν και άλλα περίπλοκα προβλήματα, όπως προβλήματα κατανομής διαθέσιμων πόρων, προβλήματα ελέγχου αποθεμάτων και παραγγελιών, προγραμματισμού παραγωγής, αξιοπιστίας, αντικατάστασης και επισκευής, μεταφοράς και καταμερισμού, ανταγωνισμού, κατανομής επενδύσεων κτλ.

Επιστρέφοντας στον κόσμο των μαθηματικών και της επιστήμης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, συναντούμε, ως κάποια από τα πιο σημαντικά σύμφωνα με τον [ΧΓ09], τα παρακάτω προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης:

1. Το πρόβλημα του περιοδευόντος πωλητή. Αναζητείται η βέλτιστη διαδρομή, ώστε ο πωλητής να περάσει από όλες τις πόλεις αλλά μόνο μία φορά από την κάθε μία, διανύοντας όσο το δυνατόν μικρότερη απόσταση.
2. Το πρόβλημα της ικανοποιησιμότητας. Εδώ επιθυμούμαι η τιμή μιας Boolean έκφρασης να είναι αληθής (ή ψευδής) και αναζητούμε τον βέλτιστο τρόπο καθορισμού των μεταβλητών της έκφρασης.
3. Το διακριτό πρόβλημα σακιδίου. Οποιοδήποτε πρόβλημα έχει μόνο ένα περιορισμό, μπορεί να θεωρηθεί πρόβλημα σακιδίου. Για παράδειγμα, για n αντικείμενα, με αξία v_i και όγκο c_i , αναζητούμε το υποσύνολο με την μεγαλύτερη αξία, που δεν ξεπερνάει την προκαθορισμένη χωρητικότητα.
4. Το πρόβλημα της κάλυψης συνόλου. Εδώ θέλουμε από τα m δοσμένα υποσύνολα αντικειμένων, όπου τα n αντικείμενα επαναλαμβάνονται, να επιλέξουμε αυτά που περιέχουν όλα τα αντικείμενα και ελαχιστοποιούν την συνάρτηση κόστους, η οποία προκύπτει από το άθροισμα των επιλεγμένων συνόλων.
5. Το πρόβλημα του χρωματισμού των κόμβων ενός γράφου. Η βέλτιστη λύση σε αυτή την περίπτωση είναι να χρωματιστούν οι κόμβοι με τέτοιο τρόπο, ώστε κανένας να μην έχει το ίδιο χρώμα με τον διπλανό του.
6. Το πρόβλημα της κοπής υλικών. Το ζητούμενο είναι να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα του υλικού που παραμένει ανεκμετάλλευτο μετά την κοπή.

7. Το πρόβλημα της δέσμευσης των πόρων. Εδώ προσπαθούμε να καθορίσουμε για κάθε ώρα, το βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας των γεννητριών ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς όπως η κατανάλωση, η αποφυγή εισαγωγής αιχμών στο δίκτυο, καθώς και οι χρόνοι ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των γεννητριών.
8. Το πρόβλημα τακτοποίησης σε δοχεία. Η βέλτιστη λύση είναι αυτή που γεμίζει τα όμοια δοχεία, συγκεκριμένης αντοχής σε βάρος, με τα αντικείμενα προς τακτοποίηση, με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των απαιτούμενων δοχείων.

Όλα τα προβλήματα προκειμένου να επιλυθούν χρειάζεται, εκτός από την κατάταξη τους σε μία κατηγορία προβλημάτων βελτιστοποίησης, να μοντελοποιηθούν. Η μοντελοποίηση είναι η πιστή αναπαράσταση του προβλήματος στον κόσμο των μαθηματικών, με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρούνται αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά του και να μπορεί να επιλυθεί εύκολα με τις υπάρχουσες μεθόδους. Προκύπτει μετά από λεπτομερή μελέτη και ανάλυση τόσο του προβλήματος, όσο και του περιβάλλοντος στο οποίο συναντάται. Είναι ουσιαστικά μια επιστημονική διατύπωση του προβλήματος με μαθηματικές σχέσεις και συνήθως αποτελείται από [TA00]: (1) Τις **μεταβλητές** δηλαδή τις ποσότητες που ελέγχουμε και μπορούμε να μεταβάλουμε για να πετύχουμε το στόχο που έχουμε βάλει, (2) Τις **παραμέτρους** δηλαδή όλα τα άλλα δεδομένα που επηρεάζουν τη λύση του προβλήματος και που συνήθως θεωρούνται σταθερές (ντετερμινιστικά μοντέλα) αλλά μπορεί να υπόκεινται και σε τυχαίες διακυμάνσεις (στοχαστικά μοντέλα), όπως για παράδειγμα η τιμή ενός προϊόντος, η ταχύτητα ή ο χρόνος μεταφοράς του, η αξία μιας ανθρωπόωρας, κα, (3) Τους **περιορισμούς** (ή **συνθήκες**) στους οποίους πρέπει να υπακούουν οι μεταβλητές και από τους οποίους προκύπτουν οι επιτρεπτές τιμές τους και οι οποίοι συνήθως έχουν τη μορφή ανισοεξισώσεων, (4) Τον **αντικειμενικό στόχο** (ή την **αντικειμενική συνάρτηση**) που έχουμε βάλει και ο οποίος δεν είναι πάντα μοναδικός αλλά μπορεί να αποτελείται από επί μέρους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν. Συνήθως πρόκειται για μια συνάρτηση που πρέπει να πάρει μια μέγιστη ή ελάχιστη τιμή. Η μέθοδος επίλυσης συχνά επηρεάζει την διαμόρφωση του μοντέλου, αποπροσανατολίζοντας την αναζήτηση λύσης. Συνεπώς η ανάγκη για μεθόδους που εξ ορισμού ευνοούν την πιστότερη αναπαράσταση του προβλήματος είναι εμφανής.

Η αναζήτηση της βέλτιστης λύσης ενός προβλήματος μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία, στην οποία οδηγούμαστε από κάποια αρχική λύση προς την τελική λύση,

μέσω ενδιάμεσων λύσεων. Παρόλο που γενικά ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η γειτονιά των λύσεων που χρησιμοποιούμε, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα εντοπισμού καλών λύσεων, η καθυστέρηση ανά επανάληψη που παρατηρείται στην περίπτωση των πολύ μεγάλων γειτονιών, μπορεί να οδηγήσει σε χειρότερες λύσεις σε σχέση με μια μικρότερη γειτονιά. Αυτός είναι και ο λόγος που κάνει τη χρήση εξειδικευμένων αλγορίθμων αναζήτησης ιδιαίτερα χρήσιμους. Πιο συγκεκριμένα οι εμπειρικές μέθοδοι ανάλυσης αλγορίθμων είναι αυτές που κρίνουν πιο αποτελεσματικά την βελτιστοποίηση. Ειδικά στα προβλήματα βελτιστοποίησης η πειραματική εκτέλεση των αλγορίθμων μπορεί να δώσει εικόνα για την εγγύτητα της λύσης που παράγεται σε σχέση με την βέλτιστη λύση. Προφανές μέτρο εμπειρικής ανάλυσης ενός αλγορίθμου είναι ο χρόνος εκτέλεσης του. Σίγουρα θα πρέπει όμως να χρησιμοποιείται με συναίσθηση των αδυναμιών που εμπεριέχει, καθώς επηρεάζεται από παράγοντες όπως το υλικό και το λογισμικό του υπολογιστή, τα άλλα προγράμματα που πιθανώς εκτελούνται ταυτόχρονα, την λανθάνουσα μνήμη και τον τρόπο που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο και την ιδεατή μνήμη του υπολογιστή. Αξίζει να σημειωθεί πως ένα πρόγραμμα μεταγλωττισμένο σε γλώσσα μηχανής είναι γρηγορότερο από την διερμηνευόμενη εκδοχή του, που τρέχει σε μια εικονική μηχανή. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρητές απλών λειτουργιών όπως αριθμητικών πράξεων ή πράξεων σύγκρισης.

Οι τρεις βασικές αλγοριθμικές τεχνικές επίλυσης είναι οι εξής:

1. Διαίρει και βασίλευε. Το αρχικό πρόβλημα διαιρείται σε υποπροβλήματα της ίδιας μορφής με το αρχικό, μέχρι να φτάσουμε σε ένα πρόβλημα που να λύνεται εύκολα. Λύνοντας τα υποπροβλήματα και συνδυάζοντας τις λύσεις τους, καταλήγουμε στη λύση του αρχικού προβλήματος.
2. Δυναμικός προγραμματισμός. Έχει ως βασική αρχή την αρχή της βελτιστότητας, σύμφωνα με την οποία, τμήματα μίας βέλτιστης λύσης είναι και αυτά βέλτιστα. Το πρόβλημα διασπάται και πάλι σε υποπροβλήματα, τα οποία μπορεί να επικαλύπτονται και αναζητούνται οι βέλτιστες λύσεις τους, προκειμένου να συνδυαστούν για να δώσουν την βέλτιστη λύση.
3. Άπληστη μέθοδος. Στην άπληστη μέθοδο ο αλγόριθμος επιλέγει ως βέλτιστη λύση, αυτήν που τη δεδομένη χρονική στιγμή εξυπηρετεί καλύτερα ή μάλλον βέλτιστα τις απαιτήσεις του προβλήματος. Η στιγμιαία βέλτιστη λύση μπορεί για κάποια προβλήματα να είναι όντως η βέλτιστη λύση.

1.3 Τεχνικές επίλυσης

Αφού επιλεγεί το κατάλληλο μοντέλο και κατασκευαστεί σε μαθηματική (ή άλλη) μορφή, εφαρμόζονται οι κατάλληλες τεχνικές για να βρεθούν οι δυνατές λύσεις του. Υπάρχει πληθώρα τεχνικών που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς για να λύσει προβλήματα βελτιστοποίησης. Οι τέσσερις πιο σημαντικές κατηγορίες τεχνικών επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι:

1. Ο μαθηματικός προγραμματισμός
2. Η τεχνητή νοημοσύνη
3. Η υπολογιστική νοημοσύνη
4. Οι μεταερευτικές τεχνικές

Δυστυχώς καμία από τις παραπάνω κατηγορίες μεθόδων δεν μπορεί να θεωρηθεί ως η επικρατέστερη για τα προβλήματα βελτιστοποίησης στο σύνολο τους. Παρόλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις υποσυνόλων προβλημάτων βελτιστοποίησης, που λύνονται στο σύνολό τους με συγκεκριμένες τεχνικές εμφανώς πιο αποδοτικά.

1.3.1 Μαθηματικός προγραμματισμός

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν μέθοδοι που στηρίζονται κυρίως στα μαθηματικά και δύνανται να επιλύσουν πολλά και δύσκολα προβλήματα βελτιστοποίησης. Η πρώτη και ευρέως γνωστή μέθοδος μαθηματικού προγραμματισμού είναι ο γραμμικός προγραμματισμός.

Γραμμικός προγραμματισμός. Σε καθημερινή βάση ερχόμαστε αντιμέτωποι με και λύνουμε χωρίς να το αντιλαμβανόμαστε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού. Για παράδειγμα όταν αποφασίζουμε ποιον συνδυασμό μέσων μεταφοράς θα χρησιμοποιήσουμε, προκειμένου να φτάσουμε στον ελάχιστο χρόνο στη δουλειά μας. Τέτοια προβλήματα μπορούν να λυθούν συστηματικά με μαθηματικές και υπολογιστικές μεθόδους, αρκεί σε πρώτη φάση να τους δώσουμε μια μαθηματική διατύπωση ή αλλιώς να τα μοντελοποιήσουμε. Τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού προσδιορίζονται από τις μεταβλητές, τους περιορισμούς και την συνάρτηση στόχο και μοντελοποιούνται με γραμμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Οι τιμές των μεταβλητών που προκύπτουν από τη λύση του προβλήματος καθορίζουν και τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν. Κάθε μεταβλητή θα πρέπει να είναι είτε θετική, είτε μηδέν, είτε να μην υπάρχει περιορισμός για το πρόσημό της. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της

γραμμικής συνάρτησης των μεταβλητών απόφασης, ή αλλιώς της συνάρτησης στόχος. Οι περιορισμοί είναι οι συνθήκες που πρέπει να ισχύουν, προκειμένου να θεωρηθεί η λύση έγκυρη. Κάθε περιορισμός θα πρέπει να είναι μια γραμμική ισότητα ή ανισότητα. Έτσι περιγράφεται σε γενικές γραμμές ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, όπου επιπλέον ισχύουν τέσσερις υποθέσεις που συνεπάγονται από τη γραμμικότητα, της αναλογικότητας, της προσθετικότητας, της διαιρετότητας και της βεβαιότητας [ΧΓ09]. Λύνοντας το πρόβλημα σύμφωνα με τους περιορισμούς και τηρώντας τους περιορισμούς για τα πρόσημα των μεταβλητών απόφασης, καταλήγουμε σε ένα κλειστό πολύγωνο, με κάθε του σημείο να αποτελεί εφικτή λύση και οι ακμές του οποίου είναι οι πιθανές βέλτιστες λύσεις. Αποδεικνύεται ότι εξετάζοντας τα ακραία σημεία του καταλήγουμε στην βέλτιστη λύση. Επίσης υπάρχει πιθανότητα το πρόβλημα να μην παρουσιάζει λύση ή να είναι μη φραγμένο, δηλαδή η συνάρτηση στόχος να μπορεί να λαμβάνει συνεχώς νέες καλύτερες τιμές όσο μια μεταβλητή απόφασης αλλάζει τιμή είτε προς το θετικό είτε προς το αρνητικό άπειρο. Η μόνη λύση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η επαναδιατύπωση του μοντέλου.

Simplex. Ο ευρέως διαδεδομένος και αποδεδειγμένος επιτυχημένος αλγόριθμος Simplex εφαρμόζεται σε ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, όταν αυτό μετατραπεί σε τέτοια μορφή, ώστε κάθε μεταβλητή απόφασης να είναι μη αρνητική και όλοι οι περιορισμοί να είναι ισότητες. Για να το πετύχουμε αυτό προσθέτουμε επιπλέον μεταβλητές, τις λεγόμενες μεταβλητές περιθωρίου, σε κάθε περιορισμό που ήταν ανισότητα προκειμένου να μετατραπεί σε ισότητα. Δηλαδή από ένα πρόβλημα με n μεταβλητές απόφασης και m περιορισμούς προκύπτει μια αναπαράσταση με $n+m$ μεταβλητές, όπου όλες απαγορεύεται να πάρουν αρνητικές τιμές. Ο αλγόριθμος Simplex εντοπίζει αρχικά μια κορυφή του κλειστού πολυγώνου των εφικτών λύσεων, η οποία αποτελεί την βασική εφικτή λύση. Για την λύση αυτή οι m μεταβλητές του προβλήματος, ίσες με το πλήθος των περιορισμών, αποτελούν τις βασικές μεταβλητές ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές, n σε πλήθος, ονομάζονται μη βασικές ή ελεύθερες. Οι τελευταίες μηδενίζονται προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές των βασικών μεταβλητών από τις m διαθέσιμες εξισώσεις των περιορισμών, λύνοντας ένα σύστημα εξισώσεων $m \times m$. Στην συνέχεια ο αλγόριθμος μεταβαίνει από κορυφή σε κορυφή κατά μήκος των ακμών του πολυγώνου. Αυτό επιτυγχάνεται επαναλαμβάνοντας την αντικατάσταση μιας μη βασικής μεταβλητής με μια βασική μεταβλητή, με στόχο την αποκόμιση του μεγαλύτερου δυνατού κέρδους για την συνάρτηση στόχο [ΧΓ09]. Η επιλογή της μη βασικής μεταβλητής γίνεται εξετάζοντας το συντελεστή που έχει στην συνάρτηση στόχο, ενώ η επιλογή της βασικής

μεταβλητής που θα αντικατασταθεί επιλέγεται με βάση τον συντελεστή που έχει στον περιορισμό που συμμετέχει. Στο τέλος κάθε επανάληψης η βασική μεταβλητή που αντικαθίσταται λαμβάνει οριακή τιμή. Εκτός από τον κλασσικό αλγόριθμο Simplex υπάρχουν και οι παραλλαγές του, όπως ο Simplex των δύο φάσεων (διπλή εφαρμογή του αλγορίθμου σε δύο φάσεις), ο Dual Simplex (χωρίς μεταβλητές περιθωρίου), ο Network Primal Simplex (έως 200 φορές πιο γρήγορος από τον κλασσικό), ο Primal-Dual Barrier (αποδοτικότερος για μεγάλα μεγέθη προβλημάτων) [ΧΓ09]. Αναπόσπαστο κομμάτι της μεθόδου Simplex είναι η ανάλυση ευαισθησίας, με την οποία μπορούμε να διαπιστώσουμε πώς μια μεταβολή του συντελεστή μιας μεταβλητής απόφασης ή ενός περιορισμού επιδρά στην λύση. Ουσιαστικά μας δίνει ένα εύρος τιμών για τον εν λόγω περιορισμό, μέσα στο οποίο μπορεί να κυμαίνεται, χωρίς να μεταβάλλεται η ευρεθείσα βέλτιστη λύση. Η ανάλυση ευαισθησίας προσδίδει έναν στοχαστικό χαρακτήρα στο μοντέλο μας και ως εκ τούτου οφείλει να το συνοδεύει πάντα [ΝΤ07].

Ακέραιος προγραμματισμός. Με τη βοήθεια του ακέραιου προγραμματισμού επιλύουμε δύσκολα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης, με πρακτικό ενδιαφέρον. Αφορά προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού για τα οποία γνωρίζουμε ήδη ότι όλες οι μεταβλητές είναι ακέραιες. Ενώ ένα πρόβλημα αναπαρίσταται το ίδιο καλά με διαφορετικά εναλλακτικά μοντέλα ακέραιου προγραμματισμού, δεν οδηγούν όλα εξίσου σε λύση του προβλήματος εντός των αποδεκτών χρονικών ορίων. Η εύρεση του σωστού μοντέλου λοιπόν αποτελεί κάποιες φορές ταυτόχρονα την εύρεση της λύσης. Ένας τρόπος να δημιουργήσει κανείς ένα αποδοτικό μοντέλο ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού είναι η χρήση πιο σφιχτών γραμμικών χαλαρώσεων. Αυτό οδηγεί σαφώς στη δημιουργία περισσότερων περιορισμών, που συνεπάγονται μεγαλύτερο χρόνο επίλυσης, αλλά η μείωση του μεγέθους του branch and bound δένδρου τον αντισταθμίζει και με το παραπάνω. Το ιδανικό μοντέλο στον ακέραιο προγραμματισμό είναι αυτό όπου η λύση είναι ακραίο σημείο της γραμμικής χαλάρωσης του προβλήματος [ΧΓ09].

Χαλάρωση Lagrange. Στη θέση της μεθόδου γραμμικής χαλάρωσης και για προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού με μεγάλο αριθμό μεταβλητών και περιορισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά η μέθοδος της χαλάρωσης του Lagrange. Λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο, αντιστοιχίζοντας τους μη αρνητικούς πολλαπλασιαστές του Lagrange σε κάποιους από τους περιορισμούς του προβλήματος και προσαρτώντας τους στην συνάρτηση στόχο, λύνει το πλέον απλουστευμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η προσάρτηση στη συνάρτηση στόχο γίνεται μέσω ενός επιπλέον παράγοντα με τέτοιο τρόπο, ώστε ο παράγοντας να είναι μη θετικός και συνεπώς να ωθεί την συνάρτηση προς

χαμηλότερες τιμές [ΧΓ09]. Βρίσκοντας τη βέλτιστη λύση για το μετασχηματισμένο πρόβλημα δεν σημαίνει πως βρέθηκε και η λύση για το αρχικό. Εδώ απαιτείται με τη βοήθεια ενός ευρετικού αλγορίθμου Lagrange να μετασχηματιστεί η λύση σε εφικτή λύση του αρχικού προβλήματος. Επιπλέον από το μετασχηματισμένο πρόβλημα είναι δυνατή η αναγνώριση των μεταβλητών που δεν θα συμμετέχουν στη λύση ή που θα συμμετέχουν οπωσδήποτε στη λύση, με αποτέλεσμα τη μείωση των διαστάσεων του αρχικού προβλήματος σε ένα πρόβλημα υπολογιστικά ευκολότερο. Ο στόχος της μεθόδου είναι να βρεθούν οι πολλαπλασιαστές Lagrange, που δίνουν το μεγαλύτερο κάτω όριο της λύσης του μετασχηματισμένου προβλήματος βελτιστοποίησης.

Δυναμική δημιουργία μεταβλητών. Η μέθοδος της δυναμικής δημιουργίας μεταβλητών είναι αυτή που δίνει λύση σε προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού με υπερβολικό αριθμό μεταβλητών όταν οι παραδοσιακές τεχνικές αποτυγχάνουν. Η μέθοδος αυτή αντί να κατασκευάσει όλες τις μεταβλητές από την αρχή της λύσης, τις ενσωματώνει σταδιακά με συστηματικό τρόπο στο πρόβλημα. Σε κάθε βήμα ενσωματώνει έναν μικρό αριθμό μεταβλητών. Έτσι επιτυγχάνεται η λύση προβλημάτων μικρότερου μεγέθους, με χαρακτηριστικά υψηλής ποιότητας και πολύ κοντά στην βέλτιστη λύση του συνολικού προβλήματος. Πρόκειται για μία επακριβή μέθοδο, που έχει λύσει αποδοτικά μεταξύ άλλων και το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού, το οποίο αποτελεί το κύριο μέρος της παρούσας εργασίας [PS15].

1.3.2 Τεχνητή νοημοσύνη

Σύμφωνα με τον Τζων Μακάρθι η τεχνητή νοημοσύνη είναι η επιστήμη και μεθοδολογία της δημιουργίας νοούντων μηχανών. Αναφέρεται κυρίως στον τομέα της πληροφορικής, αποτελεί όμως κοινό σημείο συνάντησης περισσότερων επιστημονικών κλάδων, όπως η φιλοσοφία, η ψυχολογία, η νευρολογία, η γλωσσολογία και η επιστήμη των μηχανικών. Ο στόχος της είναι η υλοποίηση υπολογιστικών συστημάτων που μιμούνται στοιχεία της ανθρώπινης φύσης, υπονοώντας ότι ένα μηχάνημα διαθέτει την ευφυή ικανότητα να μαθαίνει, να προσαρμόζεται, να εξάγει συμπεράσματα, να κατανοεί κάτι από τα συμφραζόμενα, να επιλύει προβλήματα κα. Χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες συχνά συγχέονται μεταξύ τους, την συμβολική και την υποσυμβολική τεχνητή νοημοσύνη [WP00]. Η πρώτη με σύμβολα και λογικούς κανόνες (υψηλού επιπέδου) εξομοιώνει την ανθρώπινη νοημοσύνη, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιώντας αριθμητικά μοντέλα αναπαράγει ανθρώπινες συμπεριφορές. Και στις δύο περιπτώσεις στόχος δεν είναι

η κατασκευή ανθρωπόμορφων μηχανών, αλλά να κατασκευαστούν πλήρεις μηχανές ή λογισμικά, που μπορούν να επιλύουν πραγματικά υπολογιστικά προβλήματα οποιουδήποτε τύπου. Η σύγχρονη τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιεί εργαλεία από τα εφαρμοσμένα μαθηματικά και τις επιστήμες των μηχανικών και θεωρείται πλέον ένα μαθηματικοποιημένο πεδίο της πληροφορικής.

Προγραμματισμός με περιορισμούς. Ο προγραμματισμός με περιορισμούς ή αλλιώς Constraint Programming είναι μία τεχνική επίλυσης, που εφαρμόζεται σε προβλήματα συνειδητά διατυπωμένα σε μορφή προβλήματος ικανοποίησης περιορισμών [IBM2]. Σε αυτή τη μορφή η συνάρτηση στόχος ορίζεται σαν ένας επιπλέον ειδικού τύπου περιορισμός. Οι κανονικοί περιορισμοί του προβλήματος περιγράφονται, ώστε να προσδιοριστούν οι επιτρεπτοί συνδυασμοί των ήδη ορισμένων μεταβλητών, χωρίς οι πρώτοι να είναι απαραίτητα γραμμικοί. Η λύση του προβλήματος έχει βρεθεί, όταν στις μεταβλητές ανατεθούν τιμές, για τις οποίες δεν θίγεται κανένας από τους περιορισμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια διαφόρων ήδη ανεπτυγμένων αλγορίθμων διάδοσης περιορισμών και των τεχνικών μείωσης των πεδίων ορισμού των μεταβλητών. Η ακριβής διαδικασία επίλυσης προκύπτει με το δέντρο αναζήτησης, όπως αναλυτικά περιγράφεται στην διατριβή [ΧΓ09]. Η εύρεση της βέλτιστης λύσης επιτυγχάνεται όταν, αφού βρεθεί η πρώτη εφικτή λύση, εισάγουμε έναν επιπλέον περιορισμό που να εξασφαλίζει ότι η επόμενη τιμή της συνάρτησης στόχος θα είναι καλύτερη από την μόλις ευρεθείσα και επαναλάβουμε την διαδικασία επίλυσης. Αυτό γίνεται ξανά και ξανά μέχρι να εξαντληθεί ολόκληρο το πεδίο τιμών των εφικτών λύσεων. Στην περίπτωση που το πεδίο των εφικτών λύσεων είναι υπερβολικά μεγάλο, η επαναληπτική διαδικασία σταματάει μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, επιστρέφοντας ως βέλτιστη λύση την πιο πρόσφατη πριν τον τερματισμό, δηλαδή την μέχρι το σημείο της τελευταίας αναζήτησης βέλτιστη λύση.

1.3.3 Υπολογιστική νοημοσύνη

Η υπολογιστική νοημοσύνη είναι μια μέθοδος που προκύπτει από τρεις τεχνικές, τα ασαφή σύνολα, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και την υπολογιστική με εξελικτικούς μηχανισμούς, οι οποίες συνδυάζονται με σκοπό να καταστήσουν ένα σύστημα ικανό, με υπολογιστικές διαδικασίες να χειρίζεται νέες καταστάσεις, υπονοώντας ότι διαθέτει τις ικανότητες της γενίκευσης, της συσχέτισης, της επινόησης και της αφαίρεσης. Κάθε τεχνική έχει τον δικό της ρόλο στη λύση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης, για παράδειγμα η ασαφής λογική αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ανακρίβειας των δεδομένων, τα νευρωνικά δίκτυα

ασχολούνται με το πρόβλημα της εκμάθησης και η υπολογιστική με εξελικτικούς μηχανισμούς αναλαμβάνει τα θέματα της αναζήτησης και της βελτιστοποίησης. Διαφορετικά μπορεί κανείς να πει ότι οι τρεις τεχνικές αλληλοσυμπληρώνονται σε μια αποδοτική διαδικασία επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μπορεί να παρομοιαστεί με έναν μεγάλης κλίμακας επεξεργαστή που αποτελείται από μικρές επιμέρους μονάδες, οι οποίες λειτουργούν παράλληλα. Οι μονάδες αυτές συνδέονται μεταξύ τους και η βαρύτητα κάθε σύνδεσης αναπαριστά τη νέα γνώση που είναι σε θέση να αποκτήσει ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μέσα από πειράματα. Επίσης διαθέτει την ικανότητα της γενίκευσης επί των δεδομένων που δέχεται στις εισόδους του και μπορεί να παράγει λογικές εξόδους ακόμη και για εισόδους που δεν έχει δεχτεί ξανά στο παρελθόν. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι προσαρμοστικά και εφαρμόζονται ανεξαρτήτως πεδίου ή προβλήματος με βάση τις ίδιες αρχές και ακολουθώντας τα ίδια βήματα πάντα. Το βασικό μειονέκτημα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι ότι η νέα γνώση που αποκτούν και που αποθηκεύεται στις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων υπό μορφή βαρών, βρίσκεται διάσπαρτη εντός του δικτύου, καθιστώντας ιδιαίτερα δύσκολο, να ερμηνεύσει κανείς το πώς, δηλαδή βάση ποιων κανόνων, οδηγηθήκαμε στη συγκεκριμένη λύση. Από την άλλη πλευρά ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι σε θέση να συνεχίσει με αποδοτικά αποτελέσματα την πλειοψηφία των λειτουργιών του ακόμη και αν καταστραφεί ένα τμήμα του, όπως κάποιος νευρώνας. Ένας νευρώνας δέχεται πολλές εισόδους, τις επεξεργάζεται ώστε να συνδυαστούν σε μία τιμή, η οποία εισάγεται σε μία συνάρτηση ενεργοποίησης. Η συνάρτηση ενεργοποίησης με τη σειρά της δίνει την επιθυμητή έξοδο. Οι συναρτήσεις αυτές προσομοιάζουν την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, δικαιολογώντας την ικανότητα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων να λειτουργούν σε μη γραμμικά συστήματα. Η αρχιτεκτονική ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται από τον αριθμό των εισόδων, τον αριθμό των εξόδων, τον συνολικό αριθμό των νευρώνων και τις μεταξύ τους συνδέσεις καθώς και τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες οργανώνονται σε επίπεδα. Έχει αποδειχτεί ότι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης και μάλιστα ότι επιστρέφουν εφικτές ή σχεδόν εφικτές λύσεις, που ικανοποιούν ταυτόχρονα την πλειονότητα των περιορισμών του προβλήματος [ΧΓ09].

Εξελικτικός υπολογισμός. Ο εξελικτικός υπολογισμός είναι μια οικογένεια αλγορίθμων που επιλύουν προβλήματα βελτιστοποίησης εμπνευσμένοι από την βιολογική εξέλιξη των οργανισμών. Στη φύση τα ωφέλιμα χαρακτηριστικά είναι αυτά που κληροδοτούνται σε

επόμενες γενιές και σιγά σιγά επικρατούν, καθιστώντας τους οργανισμούς ικανότερους να επιβιώνουν έναντι των υπολοίπων γύρω τους. Ομοίως και στον εξελικτικό υπολογισμό οι αλγόριθμοι αρχίζοντας από ένα έτοιμο σύνολο πιθανών λύσεων, κάνουν δοκιμές, ενώ ταυτόχρονα σε κάθε επανάληψη αφαιρείται στοχαστικά η λιγότερο δημοφιλής λύση και προσθέτονται τυχαίες μικροαλλαγές [WP01]. Ο εξελικτικός υπολογισμός και οι παραλλαγές του μπορούν να λύσουν μία μεγάλη γκάμα προβλημάτων βελτιστοποίησης με ιδιαίτερα καλή απόδοση. Το πιο διαδεδομένο παράδειγμα εξελικτικού υπολογισμού είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι και οι μιμητικοί αλγόριθμοι.

Νοημοσύνη σμηνών. Η νοημοσύνη σμηνών περικλείει τεχνικές επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης εμπνευσμένες από ζώα και έντομα της φύσης που παρουσιάζουν συλλογική συμπεριφορά και επιβιώνουν σε ομάδες. Ο τρόπος που ακολουθούν απλούς κανόνες και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους βάση προτύπων, ώστε να αυτοοργανώνονται, επιδεικνύει για την ομάδα σαν σύνολο μία μορφή νοημοσύνης. Με πλεονεκτήματα την σταθερότητα και την ευελιξία η ετεροκρατία είναι ένας τρόπος οριζόντιας οργάνωσης, που επιτρέπει σε κάθε μέλος να ανταλλάσει πληροφορίες με κάθε άλλο. Οι επικρατέστερες εφαρμοσμένες μέθοδοι νοημοσύνης σμηνών για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι η βελτιστοποίηση με σμήνη σωματιδίων και αυτή με αποικίες μυρμηγκιών, που στην πράξη έχουν δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, ειδικά σε περιπτώσεις των λεγόμενων δυναμικών προβλημάτων, αυτών δηλαδή που αλλάζουν κατά την ώρα της επίλυσης [EM13].

Ασαφή σύνολα. Η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) είναι μια επέκταση της κλασσικής αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση δηλαδή μπορεί να είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας" και όχι απλά αληθής ή ψευδής. Με απλά λόγια, η ασαφής λογική λέει ότι τα πράγματα συχνά δεν είναι «άσπρο-μαύρο» αλλά «αποχρώσεις του γκρι». «Η τιμή A μπορεί την ίδια στιγμή να συμμετέχει σε περισσότερα του ενός συνόλου, σε κάθε ένα από αυτά με ένα διαφορετικό βαθμό συμμετοχής», Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy Sets", 1965. Ουσιαστικά η ασαφής λογική μέσα από ένα σύνολο απλών λεκτικών κανόνων μπορεί να μοντελοποιήσει τη γνώση ενός έμπειρου χρήστη. Έτσι διαμορφώνεται ένα σύστημα βασισμένο στη γνώση, το οποίο οδηγεί σε απλούστερα μοντέλα, πιο εύχρηστα και πιο κοντά στην ανθρώπινη λογική. Στην κλασική θεωρία των συνόλων η συνάρτηση $\mu_A(x)$ που υποδεικνύει αν το x ανήκει στο σύνολο A, έχει μόνο τις τιμές 0 (ψευδής) και 1 (αληθής). Για τα ασαφή σύνολα επίσης μπορεί να οριστεί μία συνάρτηση, η οποία ονομάζεται Συνάρτηση Συμμετοχής (Membership Function) και υποδεικνύει το βαθμό κατά τον οποίο το σύνολο x ανήκει στο σύνολο A. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συναρτήσεων συμμετοχής,

που αναπαριστούν τα ασαφή σύνολα, όπως είναι η τριγωνική μορφή, η τραπεζοειδής κα. Αφού έχουμε ορίσει τις συναρτήσεις συμμετοχής των εισόδων και των εξόδων ενός συστήματος, βάση των λεκτικών κανόνων καθορίζεται το πώς οι πρώτες διαμορφώνουν τις δεύτερες. Στην γενική του μορφή ο κανόνας λέει πώς αν η είσοδος έχει την τιμή A, η έξοδος θα είναι B [ΣΔ17]. Η ασαφής λογική προτιμάται στην υλοποίηση ελεγκτών, αλλά υπάρχουν και άλλες χρήσεις της σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι.

1.3.4 Μεταευρετικές τεχνικές

Υπάρχουν πολλά προβλήματα πραγματικού χρόνου που δεν είναι πάντα εύκολο να βελτιστοποιηθούν σε αποδεκτά χρονικά όρια. Οι μεταευρετικές τεχνικές έχουν ως στόχο την ανεύρεση μιας ποιοτικής λύσης σε λογικό χρονικό διάστημα, η οποία όμως δεν αποτελεί εγγυημένα την βέλτιστη λύση. Τα βασικά κριτήρια χαρακτηρισμού μίας λύσης ως καλής ή αποδεκτής είναι η βελτιστότητα, η πληρότητα, η ακρίβεια και ο χρόνος εκτέλεσης. Στην περίπτωση των ευρετικών μεθόδων ο χρόνος εκτέλεσης τίθεται σε προτεραιότητα σε βάρος των υπολοίπων κριτηρίων, επομένως και της βελτιστοποίησης. Δηλαδή οι τεχνικές αυτές σχεδιάζονται για την ταχύτερη επίλυση του προβλήματος, που οι κλασσικές μέθοδοι αδυνατούν να λύσουν ή λύνουν υπερβολικά αργά και εκτός των αποδεκτών χρονικών ορίων. Έχουν δεχτεί αυστηρή κριτική από την ερευνητική κοινότητα λόγω της έλλειψης μιας γενικής μεθοδολογίας για την εφαρμογή τους καθώς και για την έλλειψη επιστημονικής αυστηρότητας όταν προβαίνουν σε δοκιμές και συγκρίσεις ανάμεσα σε διαφορετικές εφαρμογές. Επιπλέον πολλές φορές οδηγούν σε περίπλοκες μεθόδους επίλυσης με υπερβολικά πολλούς και διαφορετικούς τελεστές. Παρόλα αυτά στην πράξη έχει παρατηρηθεί πως συνθέτουν τον πλέον ενδεδειγμένο τρόπο αντιμετώπισης δύσκολων προβλημάτων, εφόσον δεν μπορεί κανείς να αρνηθεί την επιτυχία τους στην εύρεση μιας «καλής» και «γρήγορης» λύσης. Είναι πιο ευέλικτες από τις παραδοσιακές μεθόδους επίλυσης και προσφέρουν έναν ιδιαίτερα πρακτικό συνδυασμό ποιότητας της λύσης και χρόνου εύρεσης.

Ο όρος μεταευρετικές τεχνικές περιλαμβάνει πολλές μεθόδους η ανάλυση των οποίων ξεφεύγει από τον στόχο και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Οι διάφορες τεχνικές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με ποικίλους τρόπους, όπως ανάλογα με το αν σε κάθε επανάληψη διαχειρίζονται μία επιπλέον ή περισσότερες πιθανές λύσεις ταυτόχρονα, ή ανάλογα με τον αν οι πιο πρόσφατες λύσεις αποθηκεύονται, ώστε να βοηθήσουν αργότερα

στην εύρεση της επόμενης προτεινόμενης λύσης, ή αν απλά η κάθε λύση εξετάζεται ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα που έδωσαν οι προηγούμενες. Παρακάτω αναφέρονται ονομαστικά οι πιο σημαντικές μεταερευτικές τεχνικές, που χρησιμοποιούνται σήμερα:

- ✓ Μέθοδοι πολλαπλών εκκινήσεων
- ✓ Προσομοιωμένη ανόπτηση
- ✓ Αναζήτηση Tabu
- ✓ Grasp
- ✓ Οδηγούμενη τοπική αναζήτηση
- ✓ Αναζήτηση μεταβαλλόμενης γειτονιάς
- ✓ Διασκορπισμένη αναζήτηση

Τόσο οι παραπάνω μέθοδοι όσο και όλες οι υπόλοιπες που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται λεπτομερώς με παραδείγματα και σχηματικά διαγράμματα καθώς και με παρουσίαση των αλγορίθμων τους στην διδακτορική διατριβή «Αλγόριθμοι συνδυαστικής βελτιστοποίησης με έμφαση σε μεταερευτικές τεχνικές» [ΧΓ09].

1.4 Χρονοπρογραμματισμός

Με τον όρο Χρονοπρογραμματισμός αντιλαμβάνεται κανείς ένα σύνολο εργασιών προς εκτέλεση, προκειμένου να παραχθεί ένα έργο, οι οποίες πρέπει να συντονιστούν-οργανωθούν με τον κατάλληλο τρόπο, ώστε το αποτέλεσμα να προκύψει σε συγκριμένο χρονικό διάστημα. Ουσιαστικά είναι η οργάνωση του πότε θα γίνει ποιά εργασία.

Αυτή η οργάνωση θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ικανοποιεί τον στόχο που τέθηκε αρχικά, δηλαδή να παράγεται με αυτήν το επιθυμητό έργο, που καλούνται να συνθέσουν οι εργασίες. Επιπλέον θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια, που επίσης επιβάλλονται είτε από τον στόχο, είτε από άλλους πρόσθετους παράγοντες.

Με άλλα λόγια ο χρονοπρογραμματισμός οργανώνει στα καθορισμένα χρονικά περιθώρια, τις απαιτούμενες εργασίες, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος, λαμβάνοντας υπόψη κατά το δυνατό τους υπάρχοντες περιορισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, η έννοια του χρονοπρογραμματισμού περικλείει διάφορα προβλήματα, όπως για παράδειγμα το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού έργων κατασκευής ή το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού μεταφορικών μέσων, επίσης το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού προσωπικού, που είναι και αυτό που θα μας απασχολήσει

περισσότερο. Σε όλες τις περιπτώσεις προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού, ο στόχος είναι πάντα η επίτευξη μιας τιμής για την μεταβλητή που μας ενδιαφέρει. Με άλλα λόγια ως στόχος μπορεί να οριστεί η ελαχιστοποίηση των καταναλισκόμενων πόρων, όπως του καυσίμου στην περίπτωση των μεταφορικών μέσων, ή ακόμη η ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης, που στην περίπτωση των κατασκευών, σημαίνει πιο γρήγορη παράδοση και αποπληρωμή του έργου. Τέλος, στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού προσωπικού στόχο μπορεί να αποτελεί η ελαχιστοποίηση του κόστους απασχόλησης του προσωπικού.

Κεφάλαιο 2

Χρονοπρογραμματισμός προσωπικού

2.1 Εισαγωγή

Στον χρονοπρογραμματισμό προσωπικού πρέπει το ανθρώπινο δυναμικό να διαμοιράζεται τα πόστα με τέτοιο τρόπο, ώστε το κόστος να ελαχιστοποιείται, ενώ παράλληλα δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί που θέτει τόσο το εργατικό δίκαιο, όσο και οι, κατά περίπτωση επιχείρησης, ανάγκες και επιθυμίες των εργαζομένων και των εργοδοτών.

Σε πολλές επιχειρήσεις και κυρίως στην βιομηχανία, το ανθρώπινο δυναμικό συνιστά το βασικό κομμάτι του λειτουργικού κόστους της επιχείρησης. Επομένως ένας αποτελεσματικός χρονοπρογραμματισμός προσωπικού μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος αυτό και έτσι να συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας και του κέρδους της επιχείρησης. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, τη σημαντικότητα του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού προσωπικού για τη βιωσιμότητα μιας επιχείρησης και όχι μόνο.

Στις μέρες μας, οι εταιρείες καλούνται να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις ενός ανομοιογενούς ανθρώπινου δυναμικού σε σχέση με το παρελθόν, όπου θα πρέπει στο βαθμό του εφικτού να λάβουν υπόψη τις επιθυμίες κάθε εργαζομένου ξεχωριστά. Η ύπαρξη του προβλήματος επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι μετά την ανακοίνωση του προγράμματος εργασίας σε ένα τμήμα από τον υπεύθυνο, οι εργαζόμενοι σπεύδουν να ανταλλάξουν βάρδιες, βρίσκοντας ένα νέο πλάνο εργασίας, που λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις τους σε πιο ικανοποιητικό βαθμό. Επιπλέον το προσωπικό ποικίλει σήμερα λόγω κοινωνικοδημογραφικών παραγόντων, όπως η ηλικία, το φύλο και η καταγωγή, που παίζουν το δικό τους ρόλο στην διοίκηση προσωπικού. Έτσι οι εργοδότες προσπαθούν να ταιριάζουν όσο γίνεται, τις απαιτήσεις ζήτησης ή παραγωγής με τα προσόντα, τις επιθυμίες, το κοινωνικό υπόβαθρο και το συμβόλαιο πρόσληψης του κάθε εργαζομένου. Αυτό απαιτεί ελαστικότητα στον χρονοπρογραμματισμό προσωπικού, ιδιαίτερα όταν η παραγωγή μιας επιχείρησης ή η παροχή υπηρεσιών ενός οργανισμού παρουσιάζουν έντονες και απρόβλεπτες διαβαθμίσεις.

2.2 Η ιδιαιτερότητα κάθε επιχείρησης

Είναι, λοιπόν, φοβερά δύσκολο να βρεθούν καλές λύσεις για τα υψηλά περιορισμένα και πολύπλοκα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού και περισσότερο δύσκολο να οριστούν βέλτιστες λύσεις που να ελαχιστοποιούν το κόστος. Η λύση των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού προσωπικού ξεκίνησε με τη χρήση του μαθηματικού προγραμματισμού και συγκεκριμένα του γραμμικού προγραμματισμού που περιλαμβάνει φύλλα εργασίας και εργαλεία βάσης δεδομένων, όπως αναλυτικά αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο. Αργότερα αναπτύχθηκαν δυνατά εργαλεία χρονοπρογραμματισμού που ανακαλύφθηκαν από ευρετικά μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμους. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε επιχείρησης οδήγησαν στην ανακάλυψη ειδικών μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων για λύσεις του χρονοπρογραμματισμού προσωπικού και με την σειρά τους οδήγησαν στην ανακάλυψη διάφορων λογισμικών πακέτων χρονοπρογραμματισμού, που παρέχουν σημαντικές δυνατότητες βελτιστοποίησης και σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να είναι ευρέως εφαρμόσιμα, να παρέχουν στους χρήστες χειροκίνητες διορθωτικές συναρτήσεις και διεξοδική ανταπόκριση και τέλος, να παρέχουν υποστήριξη για αυτοματοποιημένη σύνθεση χρονοπινάκων. Ένα τέτοιο λογισμικό πακέτο είναι το Snap Schedule [SS03].

Όπως προείπαμε, ο χρονοπρογραμματισμός προσωπικού είναι ένα σύνθετο και χρονοβόρο πρόβλημα διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού, που αντιμετωπίζει κάθε επιχείρηση και ακόμα και σήμερα ο προγραμματισμός γίνεται με μη αυτόματο τρόπο για τις δραστηριότητες που προκύπτουν μετά τον αρχικό προγραμματισμό. Ο χρονοπρογραμματισμός προσωπικού μας προσδιορίζει πότε ένας εργαζόμενος πρέπει να κάνει μία εργασία και σε ποιόν χρόνο, όπως επίσης μας προσδιορίζει τις ημέρες που δεν θα εργάζεται. Η λύση αυτού του προβλήματος είναι περίπλοκη, αφού πρέπει να πληρούνται όλοι οι περιορισμοί που έχουν σχέση με τις απαιτούμενες ανάγκες της επιχείρησης, τον προσδιορισμό των ικανοτήτων των εργαζομένων, τις νομικές ή συμβατικές υποχρεώσεις και τελευταίο τις προτιμήσεις των εργαζομένων.

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο χρονοπρογραμματισμός προσωπικού δεν αφορά μόνο τον προγραμματισμό για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αλλά και την αντιμετώπιση διάφορων καταστάσεων που θα προκύψουν κατά την διάρκεια του διαστήματος αυτού. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών επιχειρήσεων σημαίνει ότι ειδικά μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να λυθεί το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού προσωπικού σε μία επιχείρηση και ότι οι λύσεις

δεν μπορούν να μεταφερθούν ή να εφαρμοστούν σε άλλες επιχειρήσεις, λόγο αυτών των μοναδικών χαρακτηριστικών. Η λύση του προβλήματος χρονικού προγραμματισμού είναι βασισμένη στα πληροφοριακά συστήματα λήψης αποφάσεων και είναι απαραίτητη η διαθεσιμότητα και πληροφόρηση των δεδομένων προκειμένου να μπορούν να αξιολογηθούν εναλλακτικά σενάρια και να ληφθούν περίπλοκες αποφάσεις. Αυτό σημαίνει ότι ο υπεύθυνος για τον προγραμματισμό πρέπει να έχει γνώσεις της διοικητικής επιστήμης για την λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων.

2.3 Η σημασία του προβλήματος στην Διοίκηση Επιχειρήσεων

Η διοικητική επιστήμη στοχεύει στη διασύνδεση της αναλυτικής ικανότητας με τις ανθρώπινες διοικητικές ικανότητες και την αντίληψη της τεχνολογίας. Στην διοικητική επιστήμη το σύστημα μιας επιχείρησης απεικονίζεται στον υπολογιστή, αυτό ονομάζεται μοντέλο και ως μοχλό για την λήψη αποτελεσματικών και αποδοτικών αποφάσεων χρησιμοποιούνται τα μοντέλα λήψης αποφάσεων. Άρα ο υπεύθυνος για τον προγραμματισμό πρέπει να έχει νοητικές ικανότητες, ανθρώπινες και διοικητικές ικανότητες και τέλος γνώση, αντίληψη και αξιοποίηση της τεχνολογίας.

Η διαδικασία της λήψης αποφάσεων είναι πολύπλοκη αλλά συνήθως ακολουθούνται τα εξής βήματα, για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος [TA00]:

1. Εντοπισμός του προβλήματος.
2. Αποτύπωση και ανάλυση του προβλήματος.
3. Διατύπωση των στόχων.
4. Αρχικός σχεδιασμός ή ανασχεδιασμός του συστήματος.
5. Διατύπωση μοντέλου.
6. Επίλυση μοντέλου.
7. Ανάλυση της λύσης.
8. Υλοποίηση της λύσης.
9. Παρακολούθηση και έλεγχος.

Αφού εντοπιστεί ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού σε μια επιχείρηση, ο υπεύθυνος πρέπει να είναι σε θέση να αναλύσει το πρόβλημα και να διατυπώσει τους επιδιωκόμενους στόχους. Έπειτα σχεδιάζεται ή ανασχεδιάζεται (σε περίπτωση που έχει εμφανιστεί ένα πρόβλημα μετά τον αρχικό προγραμματισμό) το σύστημα και διατυπώνεται το μοντέλο. Κατά την διατύπωση του μοντέλου εμφανίζονται τα βασικά προβλήματα του

χρονοπρογραμματισμού προσωπικού. Τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο χρονοπρογραμματισμός προσωπικού είναι προβλήματα βελτιστοποίησης, προβλήματα ικανοποίησης περιορισμών και τέλος προβλήματα αντικειμενικότητας. Αφού εντοπιστούν και προσδιοριστούν τα βασικά αυτά προβλήματα, ο υπεύθυνος για τον χρονοπρογραμματισμό προσωπικού έχει να αντιμετωπίσει και πρακτικά προβλήματα που εμφανίζονται κατά την επίλυση του μοντέλου. Το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού προσωπικού αποτελεί πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης και σε περίπλοκα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού υπάρχει έλλειψη αποδοτικών αλγορίθμων, καθώς το πλήθος των πιθανών λύσεων είναι μεγάλο και δεν μπορούν να δώσουν λύση εντός των αποδεκτών χρονικών ορίων. Λόγω της πολυπλοκότητας δημιουργούνται προβλήματα στην μοντελοποίηση του προβλήματος, όπως επίσης και στην λύση των μοντέλων που θα προκύψουν κατά την μοντελοποίηση. Ένα ακόμα πρακτικό πρόβλημα, που έχει να αντιμετωπίσει, είναι η έλλειψη χρόνου, αφού η αντιμετώπιση των προβλημάτων πρέπει να γίνεται εντός χρονικών περιορισμών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις επαναπρογραμματισμού, όπου πρέπει να παραχθούν αποτελέσματα σε διάφορες χρονικές στιγμές. Αφού λυθούν τα πρακτικά προβλήματα, ο υπεύθυνος έχει στα χέρια του την λύση και πρέπει να έχει την ικανότητα να την αναλύσει και τέλος να την υλοποιήσει. Αυτό σημαίνει πως αναλύει, αν η λύση ισχύει για τις παραμέτρους που ορίστηκαν κατά τη διατύπωση του μοντέλου και αν η λύση είναι εφαρμόσιμη χωρίς να παρουσιάζονται δυσκολίες.

Η λύση που έχει επιλεγεί είναι κατάλληλη μόνο σε συνθήκες βεβαιότητας, δηλαδή σε περιπτώσεις που η απόφαση δεν επηρεάζεται από άλλους παράγοντες. Σε συνθήκες αβεβαιότητας η θεωρία των αποφάσεων βοηθάει στην κατανόηση σύνθετων προβλημάτων και στην ανάλυση εναλλακτικών αποφάσεων, ώστε να επιλεγεί η πλέον κατάλληλη λύση. Ανάλογα με τις προτιμήσεις του υπεύθυνου σχετικά με την έκθεση σε κίνδυνο της επιχείρησης και το ενδεχόμενο κέρδος, η απόφαση μπορεί να διαφέρει. Έτσι έχουν αναπτυχθεί ορισμένα κριτήρια όπως κριτήριο μεγιστοποίησης της απόδοσης, κριτήριο ελαχιστοποίησης της ζημιάς, κριτήριο μεγιστοποίησης του κέρδους, κριτήριο ελαχιστοποίησης του κόστους ευκαιρίας, κριτήριο υπεροχής ή κριτήριο Laplace που παίρνονται ανάλογα με το θέμα του προβλήματος. Εδώ εμφανίζεται η έννοια της χρησιμότητας, δηλαδή το μέτρο ικανοποίησης του υπευθύνου από τους αρχικούς στόχους. Η χρησιμότητα επιτρέπει την σύγκριση της αξίας διαφορετικών αποφάσεων και διαφέρει από υπεύθυνο σε υπεύθυνο ανάλογα με την δική του προδιάθεση.

2.4 Οι περιορισμοί σε ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού προσωπικού

Σε κάθε πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού οι περιορισμοί πρέπει να διατυπώνονται με ακρίβεια, συντομία και πληρότητα. Είναι σημαντικό κατά την λύση του προβλήματος να συμπεριληφθούν μόνο οι άμεσα σχετικοί περιορισμοί και αυτοί να εκφραστούν με συντομία και ακρίβεια. Είναι βασικό να περιγράψουμε και να προσδιορίσουμε τα δεδομένα, που είναι βασικά για τον προγραμματισμό ενός προβλήματος χρονοπρογραμματισμού προσωπικού και που βοηθάνε να περιγράψουμε τους περιορισμούς και έπειτα την χρησιμότητα της αντικειμενικότητας. Αυτά τα δεδομένα είναι τα ανεξάρτητα μέλη του προβλήματος και οι μεταβλητές απόφασης.

Είναι, λοιπόν, σημαντικό να αναγνωριστούν τα ανεξάρτητα μέλη του προβλήματος. Σε ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού ίσως κάποια μέρη να αντιμετωπίζονται ανεξάρτητα από κάποια άλλα. Είναι, όπως είπαμε πολύ σημαντικό γιατί χρησιμοποιώντας τα ανεξάρτητα μέρη μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος του προβλήματος. Ίσως είναι ακόμα καλύτερο να διαχωριστεί το πρόβλημα σε επιμέρους ομάδες και αυτές οι ομάδες να προγραμματιστούν ανεξάρτητα ακόμα κι αν δεν είναι ανεξάρτητες με την πρώτη ματιά. Η λύση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού είναι η ανάθεση του κάθε αντικειμένου σε διαφορετικούς χρονοπίνακες εργασιών. Η λύση μπορεί να απεικονιστεί ως μια μία λύση από ένα σύνολο δυαδικών μεταβλητών που παίρνει τιμές 1 και 0.

Αν η λύση είναι 1 τότε όλες οι μεταβλητές απόφασης έχουν ανατεθεί και το x σημαίνει μια ολόκληρη λύση. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις η λύση είναι 0. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβλητές απόφασης δεν μπορούν να προγραμματιστούν για κάθε χρονοπίνακα εργασιών.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι περιορισμών που προκύπτουν κατά την επίλυση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού προσωπικού που μπορούν να προσδιοριστούν ως εξής [BD14]:

1. Σκληροί περιορισμοί οι οποίοι δε μπορούν να παραβιαστούν, όπως για παράδειγμα ένας υπάλληλος να βρίσκεται ταυτόχρονα σε δύο μέρη.
2. Χαλαροί περιορισμοί, οι οποίοι μπορούν να παραβιαστούν και η λύση του προβλήματος να παραμείνει έγκυρη. Το πόσο μπορούν να παραβιαστούν οι χαλαροί περιορισμοί πρέπει να είναι γνωστό γι' αυτό σε έναν χαλαρό περιορισμό ορίζουμε μια βέλτιστη τιμή και το φάσμα των αποδεκτών τιμών. Ένας συνηθισμένος τρόπος διαχείρισης των χαλαρών περιορισμών είναι να συσχετίσουμε μια ποινή εργασίας για κάθε χαλαρό περιορισμό.
3. Περιορισμοί ακολουθίας. Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις που μια εργασία από ένα αντικείμενο δεν μπορεί να ακολουθηθεί από μία άλλη, όπως στις περιπτώσεις των

βραδινών βαρδιών που δεν μπορούν να ακολουθηθούν από πρωινές βάρδιες για ένα αντικείμενο.

4. Αθροιστικοί περιορισμοί, των οποίων η κύρια ιδέα είναι να αθροιστούν διάφορα πράγματα σε διάφορα χρονικά διαστήματα και το αποτέλεσμα τους δίνει ένα φάσμα βέλτιστο ή αποδεκτό.

5. Περιορισμοί εργασίας. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι περιορισμοί εργασίας ανήκουν στους χαλαρούς περιορισμούς και περιπτώσεις που ανήκουν στους σκληρούς περιορισμούς. Η διατύπωση των περιορισμών εργασίας εξαρτάται από το πόσο αναγκαίο είναι να οριστεί μια εργασία.

6. Περιορισμοί ασυμβατότητας που απαγορεύουν σε δύο ασυμβίβαστα αντικείμενα να ανατεθούν στον ίδιο χρονοπίνακα εργασιών.

7. Τοπικοί περιορισμοί των οποίων η επιβεβαίωση δεν απαιτεί την ευρύτερη γνώση της λύσης. Μπορούν να επιβεβαιωθούν με μια αναφορά σε μέρος του χρονοπρογραμματισμού και είναι εύκολο να εξακριβωθούν.

8. Γενικοί περιορισμοί που απαιτούν ευρύς γνώση της λύσης. Δηλαδή, πριν ελεγχθεί αν ένας περιορισμός είναι αποδεκτός χρειάζεται η γνώση ενός μεγάλου μέρους της λύσης.

9. Ενδογενείς και εξωγενείς περιορισμοί. Οι πρώτοι προκύπτουν από τη φύση των αντικειμένων που θα προγραμματιστούν, ενώ οι δεύτεροι επιβάλλονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως νόμοι και κανονισμοί.

2.5 Κατηγορίες μεθόδων προγραμματισμού στις επιχειρήσεις

Ας ορίσουμε ως κέντρο εργασίας μιας επιχείρησης την περιοχή στην οποία οργανώνονται οι παραγωγικοί πόροι και πραγματοποιούνται οι εργασίες που απαιτούνται για την παραγωγική διαδικασία. Παραδείγματος χάρη μια μεμονωμένη μηχανή, σύνολο μηχανών ή μια περιοχή όπου μία συγκεκριμένη εργασία λαμβάνει χώρα. Οι μέθοδοι διαχείρισης των κέντρων εργασίας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των μεθόδων προγραμματισμού που εφαρμόζονται, μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες όπως αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια [ΕΜΠ1].

Πρώτη κατηγοριοποίηση που ισχύει σχετίζεται με το πως η δυναμικότητα του συστήματος επηρεάζει τον προγραμματισμό. Έτσι διαχωρίζονται σε συστήματα απεριόριστης φόρτωσης (infinite loading) και συστήματα πεπερασμένης φόρτωσης (finite loading). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα εκείνα στα οποία δεν λαμβάνεται υπόψη αν

υπάρχει η απαιτούμενη διαθεσιμότητα πόρων στο σύστημα για την ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης, δεν λαμβάνεται υπόψη ούτε και η επικείμενη δρομολόγηση της εργασίας στους διαφόρους πόρους του συστήματος. Συχνά, το μόνο που εκτελείται είναι ένας απλός έλεγχος για την διαθεσιμότητα των πιο σημαντικών πόρων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εργασίας και για το κατά πόσο μπορούν να αντεπεξέλθουν στην ολοκλήρωση της παραγωγής. Αυτό μπορεί να εκτιμηθεί, προσεγγίζοντας το χρόνο εκτέλεσης της εργασίας από τους πόρους, καθώς και το χρόνο προετοιμασίας των πόρων. Συνολική εκτίμηση του χρόνου ολοκλήρωσης της εργασίας μπορεί να γίνει μόνο προσεγγιστικά, λαμβάνοντας υπόψη τους δύο αυτούς χρόνους.

Στην δεύτερη κατηγορία, των συστημάτων πεπερασμένης φόρτωσης, μελετάται λεπτομερώς ο προγραμματισμός των πόρων του συστήματος για την εκτέλεση της εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τους χρόνους που απαιτούνται από τους πόρους για την εκτέλεση της εργασίας, αλλά και τους χρόνους προετοιμασίας των πόρων. Στην πράξη, καθορίζονται επακριβώς τι θα εκτελείται και από ποιόν πόρο του συστήματος, ανά πάσα στιγμή. Θεωρητικά, σε ένα τέτοιο σύστημα, οι εργασίες που δρομολογούνται στο σύστημα είναι πάντα εφικτό να εκτελεστούν σύμφωνα με τον προγραμματισμό που έχει γίνει γι' αυτές.

Ο χρονοπρογραμματισμός εργασιών μπορεί να εκτελεστεί είτε προς τα εμπρός (forward), είτε προς τα πίσω (backward) στο χρόνο. Το πρώτο αφορά τον προγραμματισμό εργασιών από ένα σημείο της παραγωγής και μετά και καθορίζει το γρηγορότερο χρονικό διάστημα που μπορεί να ολοκληρωθεί μια παραγγελία. Το δεύτερο καθορίζει την αργότερη χρονική στιγμή που μπορούν να ξεκινήσουν οι εργασίες για την παραγωγή μιας παραγγελίας προκειμένου να είναι εγκαίρως ολοκληρωμένη, και μετρά αντίστροφα από την μελλοντική, προκαθορισμένη ημερομηνία.

Μία τελευταία κατηγοριοποίηση των μεθόδων διαχείρισης ενός κέντρου εργασίας σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα σε πόρους που διαθέτει το κέντρο. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να είναι γνωστό για τον προγραμματισμό του συστήματος εάν το κέντρο θεωρείται ότι είναι πιο πιθανό να έχει περιορισμούς από διαθεσιμότητα σε μηχανήματα (machine limited) σε σχέση με το ανθρώπινο δυναμικό ή το αντίστροφο (labor limited). Στην πράξη, τα περισσότερα συστήματα ανήκουν σε μία από τις δύο περιπτώσεις και πολύ σπάνια ισχύουν και οι δύο περιορισμοί.

Κεφάλαιο 3

Χρονοπρογραμματισμός νοσηλευτικού προσωπικού

3.1 Εισαγωγή

Ο τομέας τη υγείας είναι ένα πολυσυζητημένο παράδειγμα οργανισμού αντιμετώπου με το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού προσωπικού. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι για παροχή υπηρεσιών υψηλού επιπέδου στους ασθενείς, το αντικείμενο του χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού είναι να αντιστοιχίσει το εκπαιδευμένο ανθρώπινο δυναμικό στις απαιτούμενες θέσεις νοσηλευτών σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Το πρόγραμμα των βαρδιών περιορίζεται από το νομικό πλαίσιο του κράτους και τους κανόνες του εκάστοτε νοσοκομείου, αλλά και από τις προτιμήσεις των νοσηλευτών.

Ο χρονοπρογραμματισμός νοσηλευτικού προσωπικού έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για πολλά στελέχη διοίκησης, ερευνητές και επιστήμονες ηλεκτρονικών υπολογιστών για παραπάνω από 50 χρόνια. Η ιδιαιτερότητα του σε σχέση με άλλα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού προσωπικού οφείλεται στις πολλές και διαφορετικές ανάγκες προσωπικού για κάθε μέρα και βάρδια. Η διακύμανση της ζήτησης προσωπικού στη διάρκεια της μέρας και από τη μια μέρα στην άλλη, συνοδευόμενη από πολύ συγκεκριμένους και αυστηρούς περιορισμούς, καθιστούν τον χρονοπρογραμματισμό νοσηλευτικού προσωπικού μια μεγάλη πρόκληση. Είναι επίσης σημαντικό, να διατηρηθεί ένα αποδεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης σύμφωνα με τις επιθυμίες των νοσηλευτών με όσο το δυνατόν μικρότερη οικονομική επιβάρυνση. Επιπλέον τα νοσοκομεία λειτουργούν 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, κάθε μέρα του χρόνου ανεξαιρέτως, πράγμα που περιπλέκει περισσότερο την διεξαγωγή του προγράμματος των βαρδιών. Οι παράγοντες που ευθύνονται για την πολυπλοκότητα του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού και όχι μόνο συνοψίζονται παρακάτω [BA15].

- Η λειτουργία των νοσοκομείων καθημερινά επί εικοσιτετράωρου βάσεως, η οποία συνεπάγεται νομικούς περιορισμούς και προτιμήσεις σχετικά με τις νυχτερινές βάρδιες, τον ελάχιστο χρόνο ξεκούρασης ενδιάμεσα, την εργασία τα Σαββατοκύριακα και στις εθνικές γιορτές.

- Το εργατικό δυναμικό των νοσοκομείων αποτελείται από νοσηλευτές με διαφορετικό επίπεδο γνώσεων και ικανοτήτων, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διαμόρφωση του προγράμματος.
- Οι βάρδιες διαφέρουν μεταξύ τους. Ακόμη και στην πιο απλή περίπτωση συνήθως υπάρχουν το λιγότερο τρεις διαφορετικές βάρδιες. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν επιπλέον βάρδιες με ποικίλη διάρκεια και αντίστοιχους περιορισμούς.
- Ο αριθμός των απασχολούμενων είναι μεγάλος.
- Οι απαιτήσεις κάλυψης δεν είναι κάθε μέρα ίδιες.
- Το πλάνο των βαρδιών αφορά μεγάλα χρονικά διαστήματα, από 12 εβδομάδες έως και ένα χρόνο, όπου απαιτείται.
- Υπάρχουν πολλές απαιτήσεις, ή αλλιώς περιορισμοί που αλληλοσυγκρούονται. Για παράδειγμα:
 - ◆ Απαιτήσεις κάλυψης της ζήτησης
 - ◆ Επιθυμίες για ρεπό ή βάρδια
 - ◆ Ελάχιστο και μέγιστο όριο ρεπό και ωρών εργασίας
 - ◆ Κυλιόμενες βάρδιες
 - ◆ Επιθυμητοί και ανεπιθύμητοι συνάδελφοι
 - ◆ Ελάχιστο και μέγιστο όριο συγκεκριμένου τύπου βαρδιών
 - ◆ Ελάχιστο και μέγιστο ποσοστό δεδουλευμένων βαρδιών
 - ◆ Ανάγκες μετεκπαίδευσης, απουσία εργαζομένων

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά δυσκολεύουν τη λύση του χρονοπρογραμματισμού του νοσηλευτικού προσωπικού, δυσχεραίνοντας τη μοντελοποίηση του. Όμως η προσπάθεια που χρειάζεται αξίζει τον κόπο αν σκεφτεί κανείς το υψηλής ποιότητας αποτέλεσμα που προκύπτει στο τελικό πλάνο με τις βάρδιες. Ενώ οι περισσότερες νοσηλεύτριες αναγκάζονται να προσαρμόζουν το πρόγραμμά τους με αμοιβαίους συμβιβασμούς, ένα αποτελεσματικό μοντέλο χρονοπρογραμματισμού θα τους παρέχει ένα πιο σωστό και φιλικό εργασιακό περιβάλλον, στο οποίο θα νιώθουν ικανοποιημένες και θα παρέχουν πιο παραγωγικά βελτιωμένες υπηρεσίες υγείας.

3.2 Προεπισκόπηση του προβλήματος

Ο θεμελιώδης στόχος του χρονοπρογραμματισμού γενικότερα είναι να διασφαλίσει ότι ο αριθμός των μελών του προσωπικού αρκεί για να καλύψει τις απαιτήσεις για νοσηλεία και τα ατομικά καθήκοντα του κάθε νοσηλευτή. Οι περισσότερες νοσοκομειακές μονάδες διαθέτουν θέσεις προϊσταμένων νοσηλευτικού προσωπικού ή καθαρά διοικητικές θέσεις διευθυντών νοσηλευτικού προσωπικού, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την διεξαγωγή του προγράμματος βαρδιών με το χέρι. Αυτοί οι υπάλληλοι ξοδεύουν ένα σημαντικό κομμάτι του χρόνου εργασίας τους για την διαμόρφωση του προγράμματος, ειδικά όταν έρχονται αντιμέτωποι με πολλές ή ακόμη και αλληλοσυγκρουόμενες επιθυμίες και παρακλήσεις που θέτει το νοσηλευτικό προσωπικό. Επιπλέον χρόνος χάνεται άσκοπα στις διαπραγματεύσεις για απρόσμενες αλλαγές της τελευταίας στιγμής στο τρέχον πρόγραμμα των βαρδιών. Αυτό καθιστά τον παραδοσιακό χειροκίνητο τρόπο χρονοπρογραμματισμού του νοσηλευτικού προσωπικού χρονοβόρο και αναποτελεσματικό. Συνεπώς με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν πιο συμφέρουσες προσεγγίσεις, προσφέροντας σημαντικά οφέλη στο θέμα της εξοικονόμησης χρόνου για τα διοικητικά στελέχη και βελτιώνοντας γενικά την ποιότητα του εξαγόμενου προγράμματος βαρδιών.

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού είναι ιδιαίτερα περίπλοκα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού πραγματικού χρόνου και ανήκουν στην κατηγορία των μη ντετερμινιστικών σκληρών πολυωνυμικών προβλημάτων. Ένα καλό και σωστό πρόγραμμα βαρδιών μπορεί να επηρεάσει κατά πολύ τις εργασιακές συνθήκες του νοσηλευτικού προσωπικού, οι οποίες σχετίζονται άρρηκτα με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Το πρόγραμμα οφείλει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίζει μια δίκαιη και αποτελεσματική καθημερινότητα για όλο το προσωπικό. Στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού περιλαμβάνεται και η σωστή αντιστοίχιση του κατάλληλα καταρτισμένου προσωπικού στα διάφορα πόστα, με στόχο την κάλυψη της συνεχώς μεταβαλλόμενης ζήτησης.

Στην πιο γενική του μορφή ένα πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού περιγράφεται ως εξής: υποκείμενο σε ένα σύνολο περιορισμών και με βάση τις δοθείσες σειρές βαρδιών, τον αριθμό των νοσηλευτριών και το ορισμένο χρονικό πλαίσιο, αναθέτει σε κάθε νοσηλευτή μία βάρδια. Οι περιορισμοί συνήθως ορίζονται από τους κανονισμούς, τη νομοθεσία, τις πρακτικές εργασίας και τις προτιμήσεις των νοσηλευτριών. Συνήθως υπάρχει ένας αριθμός διαφόρων περιορισμών που πρέπει να ικανοποιηθούν και οι οποίοι χωρίζονται σε σκληρούς και χαλαρούς περιορισμούς,

ανάλογα με το αν είναι ουσιαστικοί ή απλά επιθυμητοί αντίστοιχα. Τα προβλήματα που έχουν και τα δύο είδη περιορισμών, έχουν ουσιαστικά δύο διαφορετικούς αντικειμενικούς σκοπούς. Πρώτον, οι σκληροί περιορισμοί επιβάλλεται να ικανοποιούνται στο σύνολό τους προκειμένου να υπάρχει αποδεκτή εφικτή λύση και δεύτερον οι χαλαροί περιορισμοί πρέπει να ικανοποιούνται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Η ύπαρξη πληθώρας χαλαρών περιορισμών εγείρει το ζήτημα της σημαντικότητας του καθενός και πώς από αλγοριθμική άποψη θα αποδοθεί στον καθένα η κατάλληλη βαρύτητα. Η πολυπλοκότητα που έχουν και η πρόκληση που αποτελούν τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού ανακύπτουν από την ύπαρξη των τόσο μεγάλης ποικιλίας περιορισμών, οι οποίοι αλληλοσυγκρούονται. Συμβαίνει συχνά ένας περιορισμός να συγκρούεται άμεσα με έναν άλλον, με αποτέλεσμα η εύρεση βέλτιστης λύσης να προκύπτει μόνο με κάποιον συμβιβασμό ή αλλαγή. Επιπλέον δυσκολίες εμφανίζονται, όταν η ικανοποίηση των σκληρών περιορισμών είναι μη τετριμμένη, όπου τίθεται το ερώτημα, τι βαθμός ευελιξίας δύναται να δοθεί στους παράγοντες εφικτότητας του προβλήματος, ώστε να μην αλλοιωθεί η ποιότητα της τελικής λύσης. Αν δοθεί μεγάλη ευελιξία υπέρ των χαλαρών περιορισμών, υπάρχει ο κίνδυνος να μην βρεθεί εφικτή λύση. Από την άλλη μεριά, αν συγκεντρωθούμε μόνο στην ικανοποίηση των περιορισμών για εφικτή λύση, μπορεί να παραβλεφθούν οι βέλτιστες λύσεις. Σε περιπτώσεις προβλημάτων μικρής κλίμακας, είναι δυνατόν να βρεθούν όλες οι πιθανές λύσεις μία προς μία και να επιλεγεί ως βέλτιστη αυτή με το καλύτερο κόστος. Στα μεγάλα προβλήματα αυτό είναι αδύνατον να συμβεί. Στα σκληρά πολυωνυμικά προβλήματα, ο απαραίτητος χρόνος επίλυσης του μοντέλου αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση του μεγέθους του προβλήματος. Είναι λοιπόν σημαντικό να διατηρείται μια ισορροπία ανάμεσα στους περιορισμούς, την ιεραρχία τους και τις συγκρούσεις τους και στους απαραίτητους συμβιβασμούς για την εύρεση μιας ποιοτικής λύσης.

Στη βιβλιογραφία [CH03] μπορεί κανείς να συναντήσει πολλές και ποικίλες μεθοδολογίες ή μοντέλα που αναπτύχθηκαν με σκοπό την αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων υπό διαφορετικές συνθήκες. Οι μέθοδοι που ερευνώνται εκτείνονται από τις παραδοσιακές μεθόδους μαθηματικού προγραμματισμού και γραμμικού προγραμματισμού μέχρι τις ευρετικές μεθόδους, όπου οι πρώτες εγγυώνται την εύρεση της βέλτιστης λύσης και της απόδειξης της βελτιστότητάς της. Δυστυχώς όμως οι μέθοδοι αυτοί αντιμετωπίζουν προβλήματα όπως υπολογιστικές δυσκολίες λόγω του τεράστιου μεγέθους του χώρου των λύσεων που παράγονται. Έτσι κάποιοι ερευνητές μείωσαν τις διαστάσεις του προβλήματος καταλήγοντας σε απλοποιημένα μοντέλα, τα οποία όμως δεν οδηγούν σε λύσεις

εφαρμόσιμες στον πραγματικό κόσμο των νοσοκομειακών μονάδων. Το βασικό μειονέκτημα των μεταερευτικών μεθόδων είναι ότι δεν μπορούν να αποδείξουν ότι η ευρεθείσα λύση είναι η βέλτιστη και επίσης ότι δεν μπορούν να μειώσουν τον χώρο αναζήτησης των λύσεων. Επιπλέον παρατηρείται ότι υστερούν και στα κριτήρια τερματισμού. Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού έχουν πάρα πολλούς περιορισμούς και η περιοχή των εφικτών λύσεων μπορεί να προσδιορισθεί ξεκάθαρα. Οι μεταερευτικές μέθοδοι σύμφωνα με την βιβλιογραφία [CH03] δυσκολεύονται να διαχειριστούν τέτοιες καταστάσεις.

3.3 Προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού είναι πλέον γνωστά κλασικά προβλήματα χρονοπρογραμματισμού σε μια πτέρυγα νοσοκομείου παγκοσμίως. Παρόλο που οι λεπτομέρειες ποικίλουν από χώρα σε χώρα, η ουσία παραμένει παντού η ίδια, δηλαδή η αντιστοίχιση των κατάλληλων νοσηλευτών στις διαθέσιμες βάρδιες, καλύπτοντας τη ζήτηση κάθε διαφορετικής περιόδου, με στόχο την ικανοποίηση των εσωτερικών κανονισμών του νοσοκομειακού ιδρύματος, των επιθυμιών του προσωπικού και άλλων περιορισμών, μειώνοντας ταυτόχρονα το λειτουργικό κόστος. Στα περισσότερα προβλήματα οι πιο συνηθισμένοι τύποι βαρδιών που συναντώνται είναι η νυχτερινή, η απογευματινή και η πρωινή βάρδια, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν και άλλου τύπου βάρδιες. Αναπόσπαστο κομμάτι του χρονοπρογραμματισμού αποτελεί ο καθορισμός της επαναληπτικότητας ενός τύπου βάρδιας ανά νοσηλευτή. Η επαγγελματική ικανοποίηση και ευημερία του προσωπικού επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τους ακανόνιστους χρόνους εργασίας. Η κατάλληλη διαμόρφωση του προγράμματος των βαρδιών του νοσηλευτικού προσωπικού έχει σοβαρό αντίκτυπο στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας, στις προσλήψεις νοσηλευτικού προσωπικού, στην αύξηση του νοσηλευτικού προϋπολογισμού και σε πολλούς άλλους παράγοντες των υπηρεσιών υγείας. Η διαδικασία διεξαγωγής του προγράμματος βαρδιών αποτελείται από τον προσδιορισμό του αριθμού των διαθέσιμων νοσηλευτών, των ικανοτήτων και των προσόντων τους, των προτιμήσεών τους, των κανονισμών του εργασιακού περιβάλλοντος και τις πολιτικές που επιβάλλει, του εργασιακού φόρτου, ενός πλάνου του χρονοδιαγράμματος εργασίας, των περιορισμών και των λοιπών σχετικών κριτηρίων που επιβάλλει το συγκεκριμένο νοσοκομείο. Επιπλέον οι νοσηλευτές έχουν το δικαίωμα να

ζητάνε άδεια και να δηλώνουν με ποιόν συνάδελφό τους θα ήθελαν να δουλεύουν μαζί. Κάθε νοσηλευτής είναι ένας διαφορετικός άνθρωπος και οι ανάγκες του οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διεξαγωγή του προγράμματος.

Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού είναι όπως έχουμε ήδη αναφέρει γνωστά ως σκληρά πολυωνυμικά μη γραμμικά προβλήματα. Η πολυπλοκότητά τους καθιστά την βέλτιστη επίλυσή τους, στη γενική περίπτωση ρεαλιστικά αδύνατη. Αυτός είναι και ο λόγος που τα τελευταία 50 χρόνια η επιστημονική κοινότητα έχει εκφράσει τόσο έντονο ενδιαφέρον για αυτόν τον ερευνητικό χώρο. Η παραγωγή ποιοτικών προγραμμάτων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στο νοσοκομείο. Πολλά νοσοκομεία χρησιμοποιούν λογισμικό για την υποστήριξη της διαδικασίας διεξαγωγής του προγράμματος, υπάρχουν όμως ακόμη περισσότερα που παραμένουν πιστά στον παραδοσιακό τρόπο διεξαγωγής με το χέρι. Για προβλήματα με σημαντικό μέγεθος, η μη αυτοματοποιημένη παραγωγή του προγράμματος βαρδιών είναι χρονοβόρα, δύσκολη και οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία [BE04], η αυτοματοποιημένη παραγωγή υψηλής ποιότητας προγραμμάτων νοσηλευτικού προσωπικού μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της αποτελεσματικής διαχείρισης πόρων, της ασφάλειας και της ικανοποίησης των ασθενών και του προσωπικού και τέλος σε βελτίωση του φόρτου εργασίας των στελεχών διοίκησης.

3.4 Διαμόρφωση ωραρίου

Αναφορικά με το ωράριο υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα εργασίας. Για παράδειγμα το πρόγραμμα μπορεί να είναι κυκλικό ή μη κυκλικό. Στο κυκλικό μοντέλο εργασίας, όλοι οι νοσηλευτές του ίδιου ιεραρχικού επιπέδου εκτελούν ακριβώς τα ίδια καθήκοντα αλλά σε διαφορετικό χρόνο, δηλαδή η ώρα που αρχίζει η βάρδια είναι διαφορετική. Σε περιπτώσεις όπου επαναλαμβάνονται οι απαιτήσεις σε προσωπικό ενδείκνυνται τέτοιου είδους μοντέλα εργασίας. Σε ένα κυκλικό ωράριο, οι βάρδιες είναι χωρισμένες σε ομάδες και ο κάθε νοσηλευτής περνάει κυκλικά από όλες. Αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή ενός σταθερού πίνακα βαρδιών, που ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε προσωπικό, χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη τις ατομικές παρακλήσεις των νοσηλευτών. Το βασικό πρόβλημα του κυκλικού ωραρίου είναι η έλλειψη ευελιξίας. Το πρόγραμμα παραμένει ίδιο σε κάθε διαδοχική περίοδο. Το προσωπικό δεν έχει τη δυνατότητα να διεκδικήσει την άδειά του τις μέρες που επιθυμεί. Αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαναλαμβανόμενα για

πολλούς μήνες έως και χρόνια. Λόγω των ελάχιστων και σε αραιά χρονικά διαστήματα υπολογισμών που απαιτεί, μπορεί κάλλιστα από οικονομικής άποψης, να διεξάγεται παραδοσιακά με το χέρι από κάποιον αρμόδιο, χωρίς χρήση αυτοματοποιημένου λογισμικού.

Από την άλλη πλευρά στο μη κυκλικό μοντέλο εργασίας οι βάρδιες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Κάθε μία χρεώνεται ατομικά και το πρόγραμμα επαναπροσδιορίζεται στο σύνολό του πριν αρχίσει η επόμενη περίοδος χρήσης, με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε πρόγραμμα να ταιριάζει σε έναν συγκεκριμένο νοσηλευτή. Έτσι επιτυγχάνεται η υιοθέτηση των προτιμήσεων κάθε νοσηλευτή και επιτρέπονται οι διακυμάνσεις στον αριθμό και την κατηγορία του προσωπικού, που τοποθετείται σε κάθε κλινική. Αυτού του είδους ο προγραμματισμός οδηγεί συνήθως σε μεγαλύτερους χρόνους εργασίας και ανισομερή κατανομή των βαρδιών, σε βαθμό μεγαλύτερο από ότι χρειάζεται. Στην βιβλιογραφία [BA15] την μερίδα του λέοντος κερδίζει το μη κυκλικό μοντέλο εργασίας για το πώς μπορεί να επιτευχθεί υπολογιστικά με χρήση λογισμικού, αφού είναι και το πιο πολύπλοκο.

3.5 Η πολυπλοκότητα του προβλήματος

Το περιβάλλον του νοσηλευτικού χρονοπρογραμματισμού από μόνο του υπονοεί την πολυπλοκότητα του προβλήματος λόγω του τεράστιου αριθμού των αντικρουόμενων περιορισμών, που πρέπει να ισοζυγιστούν για την διεξαγωγή του τελικού προγράμματος. Αυτοί οι περιορισμοί δεν γίνεται να μπουν σε σειρά προτεραιότητας, επειδή δεν είναι ανεξάρτητοι ούτε σταθεροί, πράγμα που επιβάλλει μοναδικές λύσεις για αυτά τα προβλήματα. Ένας ανικανοποίητος υπάλληλος μπορεί να προκαλέσει αλληπάλληλες αλλαγές στο πρόγραμμα, απουσιάζοντας κατά συρροή, περιπλέκοντας ακόμη περισσότερο τη δημιουργία ενός προγράμματος βάση επιθυμιών. Η ανάγκη για μείωση της πολυπλοκότητας του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού έχει οδηγήσει στην εμφάνιση ποικίλων προσεγγίσεων και τεχνικών επίλυσής τους.

Εντός ενός νοσοκομειακού περιβάλλοντος τα μέλη του προσωπικού είναι οργανωμένα σε ομάδες νοσηλευτών ανά κλινική. Σε κάθε κλινική υπάρχει ένα καθορισμένο σύνολο καθηκόντων, που πρέπει να εκτελεστούν, σε συγκεκριμένο χρόνο και μέρος και στο μεγαλύτερο μέρος τους από μόνιμο προσωπικό.

Το πρόγραμμα των βαρδιών πρέπει να πληροί δύο κριτήρια, πρώτον να καλύπτεται όλη η λίστα καθηκόντων και δεύτερον να καλύπτεται η ζήτηση σε προσωπικό. Κανονικά γίνονται επιπλέον προσπάθειες για τη μείωση του κόστους από τους μισθούς και για την ικανοποίηση κατά το δυνατόν των επιθυμιών του προσωπικού. Η λίστα των καθηκόντων που προαναφέρθηκε εμπεριέχει ουσιαστικά τους περιορισμούς, που βοηθούν στον εντοπισμό των αποδεκτών προγραμμάτων βαρδιών για κάθε νοσηλευτή ξεχωριστά ανάλογα με την αρχαιότητα, τον φόρτο εργασίας, τις διακοπές, τα Σαββατοκύριακα και τις διαδοχικές βάρδιες. Σε κάθε μέρα του χρονικό ορίζοντα για τον οποίο φτιάχνουμε το πρόγραμμα, μπορούν να χωρέσουν αρκετές βάρδιες.

Η κατηγοριοποίηση των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού ως σκληρά μη γραμμικά πολυωνυμικά προβλήματα προκύπτει από την υπόθεση ότι οι αλγοριθμικές μέθοδοι επίλυσης ερευνούν άμεσα όλον τον χώρο των λύσεων.

Για να αντιληφθούμε πόσο μεγάλος μπορεί να είναι αυτός ο χώρος, ας υποθέσουμε ότι κάθε υποσύνολο των εφικτών λύσεων για τον νοσηλευτή i συμβολίζεται ως π_i [BA15]. Τότε ο συνολικός χώρος των λύσεων είναι το καρτεσιανό γινόμενο των $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$. Για έναν υπάλληλο με τέσσερις βάρδιες σε διάστημα 28 ημερών, το πλήθος των εφικτών λύσεων προς εξέταση είναι:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{x!(n-k)!} = \binom{28}{4} = \frac{28!}{4!(28-4)!} = 491400 \text{ εφικτές λύσεις} - \text{προγράμματα}$$

Ευτυχώς στην πράξη ο αριθμός των λύσεων μειώνεται κάπως, όταν εφαρμοστούν οι περιορισμοί. Για παράδειγμα οι νομικοί περιορισμοί επιβάλλουν συγκεκριμένο αριθμό συνεχόμενων βαρδιών για μία νοσηλεύτρια χωρίς ρεπό ενδιάμεσα. Αν έχουν οριστεί οι εφικτές λύσεις κάθε περιοχής μπορεί να οριστεί ως ένα άνω όριο της πολυπλοκότητας του προβλήματος. Όμως ακόμη και όταν έχουν εφαρμοστεί όλοι οι περιορισμοί, ένα ρεαλιστικό πολυωνυμικού χρόνου πρόβλημα παραμένει ιδιαίτερα περίπλοκο για να λυθεί με μια εξουθενωτική μέθοδο άμεσης αναζήτησης.

Πέρα από τον υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού παρουσιάζουν και μεγάλη ποικιλία. Στην βιβλιογραφία [BA15] έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορα πλαίσια κατηγοριοποίησης των προβλημάτων αυτών, με στόχο την υποστήριξη των ερευνητών στην προσπάθειά τους να μελετήσουν τον βαθμό πολυπλοκότητας και σκληρότητας του κάθε προβλήματος, καθώς και την απόδοση του αλγορίθμου που επιλέγεται για την προσέγγιση της βέλτιστης λύσης. Η

κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση κάποια χαρακτηριστικά όπως το περιβάλλον του προσωπικού, τα ιδιαίτερα γνωρίσματα του τρόπου εργασίας και την προς βελτίωση μεταβλητή (π.χ. κόστος μισθοδοσίας).

Επίσης έχουν επινοηθεί δείκτες πολυπλοκότητας, οι οποίοι βασίζονται στο μέγεθος του προβλήματος, τις προτιμήσεις των νοσηλευτών, τους περιορισμούς κάλυψης και τους χρονικούς περιορισμούς, που περιορίζουν τον προσδιορισμό του χρονοπρογράμματος βαρδιών. Οι ίδιοι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της απόδοσης των επακριβών αλλά και των ευρετικών τεχνικών για ένα συγκεκριμένο παράδειγμα προβλήματος. Επιπλέον συμβάλλουν στην επιλογή, του πιο σωστού αλγορίθμου επίλυσης για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Οι περιορισμοί και οι συγκρούσεις των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού τα καθιστούν μοναδικά στο χώρο προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού προσωπικού. Η κατάσταση περιπλέκεται περισσότερο από τις διαφορετικές πολιτικές που ακολουθούνται και τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε νοσοκομείο και στις κλινικές του, με συνέπεια την απόρριψη κάποιων θεωρητικά καλών λύσεων, αφού στην πράξη αδυνατούν να εφαρμοστούν σε ένα ρεαλιστικό παράδειγμα νοσοκομείου.

3.6 Οι περιορισμοί

Ο χρονοπρογραμματισμός των βαρδιών των νοσηλευτών ορίζεται ως η δημιουργία ενός περιοδικού προγράμματος, είτε εβδομαδιαίου, είτε μηνιαίου, για μία ή περισσότερες κλινικές, υποκείμενο σε περιορισμούς που προκύπτουν από τη νομοθεσία, τις πολιτικές του προσωπικού, τις προτιμήσεις των νοσηλευτών και από άλλες απαιτήσεις του εσωτερικού κανονισμού κάθε νοσοκομείου. Στη βιβλιογραφία παρατίθενται από ερευνητές συγκεκριμένες λίστες κατηγοριοποίησης των περιορισμών, όπως για παράδειγμα αυτή του Bechtold [BE91]: (1) Απαιτήσεις εργασίας (2) διάρκεια προγράμματος εργασίας (3) χρόνος εκκίνησης του προγράμματος εργασίας (4) μεσημεριανά και λοιπά διαλείμματα (5) διαδοχικές και μη μέρες άδειας ή ρεπό (6) παραγωγικότητα εργασίας (7) αριθμός εργαζομένων (8) δυνατότητες του εξοπλισμού (9) διαθεσιμότητα εργασίας (10) τόπος διεξαγωγής εργασίας (11) ημερήσια διάρκεια χειρουργείων (12) χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού του προγράμματος, ή και (13) συνδυασμοί των παραπάνω. Ο επικρατέστερος όμως τρόπος διαχωρισμού των περιορισμών είναι σε δεσμευτικούς και μη δεσμευτικούς ή

αλλιώς σε σκληρούς και χαλαρούς περιορισμούς, οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με την νομοθεσία και τις ατομικές προτιμήσεις-επιθυμίες αντίστοιχα.

Οι σκληροί περιορισμοί είναι αυτοί που πρέπει οπωσδήποτε να ικανοποιούνται, προκειμένου οι λύσεις μας να είναι εφικτές. Περιλαμβάνουν συνήθως νομικές διατάξεις και απαιτήσεις που επιβάλλει ο εσωτερικός κανονισμός του ιδρύματος. Οι νομικές απαιτήσεις είναι προδιαγεγραμμένες από το κράτος και το συμβόλαιο που διέπει την εργασιακή σχέση και περιορίζει τον μέγιστο δυνατό χρόνο απασχόλησης ενός νοσηλευτή για παράδειγμα την εβδομάδα, ή περιγράφει συνδυασμούς βαρδιών, που δεν επιτρέπονται στο πρόγραμμα. Επομένως αντιλαμβάνεται κανείς ότι κάπως έτσι προκύπτει ένα ήδη αρκετά πολύπλοκο σύνολο περιορισμών. Το νοσοκομείο με τη σειρά του ευθύνεται για την κάλυψη της ζήτησης σε προσωπικό και την διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου παροχής υπηρεσιών υγείας. Όταν ικανοποιούνται οι σκληροί περιορισμοί, το πρόγραμμα που προκύπτει είναι αποδεκτό τόσο από τη σκοπιά του νόμου, όσο και από αυτήν της διοίκησης του νοσοκομείου.

Απομένει να ικανοποιηθούν ακόμη οι περιορισμοί που θέτει το ανθρώπινο δυναμικό, οι οποίοι σχεδόν πάντα αποτελούν τους λεγόμενους χαλαρούς περιορισμούς. Αυτοί ουσιαστικά σχετίζονται με τον χρόνο και τα χρονικά όρια. Η ικανοποίησή τους είναι σαφώς θεμιτή αλλά όχι υποχρεωτική, που συνεπάγεται την πιθανή παραβίασή τους. Οι χαλαροί περιορισμοί είναι ποικιλόμορφοι και εξυπηρετούν την ενθάρρυνση της ποιοτικής παροχής υπηρεσιών από το προσωπικό, που θα εργάζεται πλέον με ικανοποίηση και κατ' επέκταση της κάλυψης της ζήτησης με τον πιο ποιοτικό και παραγωγικό τρόπο για το νοσοκομείο. Συνεπώς η μη ικανοποίηση των πιο σημαντικών χαλαρών περιορισμών επιφέρει υψηλό λειτουργικό κόστος ως ποινή για το ίδρυμα και αυτή είναι το κίνητρο τελικά για την ικανοποίησή τους. Στους χαλαρούς περιορισμούς μπορεί να ανήκουν επιθυμίες για ρεπό, προτιμήσεις σε κάποιο συγκεκριμένο τύπο βάρδιας ή αιτήσεις για περισσότερο χρόνο ξεκούρασης μεταξύ κάποιων βαρδιών. Ωστόσο, ένας έμμεσος χαλαρός περιορισμός μπορεί να μην εκφραστεί από το προσωπικό, όταν δεν υπάρχει νοσηλευτής να το κάνει, ή το μη βολικό πρόγραμμα, μπορεί να βελτιωθεί με παρέμβαση από την προϊσταμένη.

Ο στόχος είναι πάντα να βγει το πρόγραμμα των βαρδιών του νοσηλευτικού προσωπικού ικανοποιώντας όλους τους σκληρούς περιορισμούς, ενώ ταυτόχρονα να επιδιώκεται ένα υψηλά ποιοτικό αποτέλεσμα μέσω της ικανοποίησης όσο το δυνατόν περισσότερων χαλαρών περιορισμών.

Ακόμη ένας τρόπος διαχωρισμού των περιορισμών ενός προβλήματος χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού, που προτάθηκε το 2003 [CH03] είναι σε τρεις κατηγορίες, που είναι οι εξής: κάλυψη, εργασιακές και απαιτήσεις συμβολαίου, προτιμήσεις προσωπικού. Οποιοσδήποτε περιορισμός, άσχετα σε ποια από τις τρεις κατηγορίες ανήκει, μπορεί να χαρακτηριστεί σκληρός ή χαλαρός. Η πρώτη κατηγορία περιορισμών επιβάλλει έναν συγκεκριμένο αριθμό νοσηλευτών από κάθε κατηγορία προσόντων για κάθε χρονική περίοδο. Έτσι εξασφαλίζει επαρκή αριθμό ατόμων, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των ασθενών, που ορίζουν την ζήτηση σε προσωπικό κάθε στιγμή. Οι εργασιακοί περιορισμοί και οι περιορισμοί συμβολαίου φροντίζουν ο διαμοιρασμός των βαρδιών στα μέλη του προσωπικού να γίνεται με σεβασμό στα όσα αναγράφονται στο συμβόλαιο που υπέγραψαν και σε οποιονδήποτε άλλο κανονισμό υπάγεται η εν λόγω εργασία. Ακολουθούν μερικοί βασικοί τύποι περιορισμών συμβολαίου.

- ◆ Ώρες εργασίας: ο μέγιστος ή ελάχιστος αριθμός ωρών εργασίας ανά νοσηλευτή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, π.χ. εβδομαδιαία
- ◆ Συνεχόμενες βάρδιες: ο μέγιστος και ελάχιστος επιτρεπόμενος αριθμός συνεχόμενων βαρδιών/ημερών εργασίας ανά νοσηλευτή. Οι συνεχόμενες βάρδιες απαιτούν και τακτά διαλείμματα στο πρόγραμμα ενός υπαλλήλου νοσοκομείου.
- ◆ Τύποι βαρδιών: οι βάρδιες πρέπει να τηρούν κάποια πρότυπα βαρδιών ως προς τον χρόνο και τα καθήκοντα. Παράνομα ή μη επιθυμητά πρότυπα απορρίπτονται.
- ◆ Ανάθεση βαρδιών: ο μέγιστος ή ελάχιστος επιτρεπόμενος αριθμός βαρδιών ανά νοσηλευτή για συγκεκριμένη περίοδο.
- ◆ Σαββατοκύριακα: περιορισμοί που σχετίζονται με τη δουλειά τις μέρες του Σαββατοκύριακου. Για παράδειγμα, ο μέγιστος ή ελάχιστος αριθμός Σαββατοκύριακων που επιτρέπεται να δουλέψει ένα νοσηλευτής τον μήνα ή το αν επιτρέπεται να δουλέψει και τις δύο μέρες του Σαββατοκύριακου.
- ◆ Περίοδοι ξεκούρασης: ο μέγιστος ή ελάχιστος χρόνος ξεκούρασης τύπου ρεπό ανάμεσα σε συνεχόμενες βάρδιες.

Η τρίτη κατηγορία περιορισμών περιλαμβάνει όλες τις επιθυμίες των νοσηλευτών. Τα τελευταία χρόνια στην αγορά εργασίας υπάρχει μια τάση συγκέντρωσης του ενδιαφέροντος στο άτομο και τα ατομικά θέλω παρά στις ομάδες. Έτσι και το πρόγραμμα εργασίας του προσωπικού φροντίζει την ατομική ικανοποίηση του εργαζομένου. Στον χώρο του νοσηλευτικού προσωπικού είναι ακόμη πιο εμφανής η συμμετοχή του ατόμου

στην διεξαγωγή του προγράμματος βαρδιών, από τη στιγμή που δίνεται η δυνατότητα στον νοσηλευτή να δηλώνει τις επιθυμίες του. Η συμμόρφωση του προγράμματος με τις προτιμήσεις του νοσηλευτικού προσωπικού στο βαθμό του εφικτού, συμβάλλει καθοριστικά στην αύξηση του αισθήματος της ικανοποίησης για κάθε νοσηλευτή ξεχωριστά. Οι πιο συνηθισμένοι περιορισμοί, που προκύπτουν από τις επιθυμίες του νοσηλευτικού προσωπικού συνοψίζονται παρακάτω.

1. Φόρτος εργασίας
 2. Συνεχόμενες όμοιες βάρδιες
 3. Συνεχόμενες βάρδιες γενικά χωρίς ρεπό
 4. Επίπεδο γνώσεων και κατηγορίες
 5. Ιδιαίτερες επιθυμίες νοσηλευτών ή απαιτήσεις
 6. Μέρη άδειας συνολικά και συνεχόμενες
 7. Ελάχιστος ελεύθερος χρόνος μεταξύ δύο βαρδιών
 8. Μέγιστος αριθμός συγκεκριμένου τύπου βαρδιών
 9. Αργίες και άδειες (προβλέψιμες απουσίες)
 10. Εργασία τα Σαββατοκύριακα
 11. Περιορισμοί για ομάδες ή ζευγάρια νοσηλευτών, που πρέπει ή δεν επιτρέπεται να δουλεύουν μαζί στην ίδια βάρδια
 12. Άλλοι βραχυπρόθεσμοι ή μακροπρόθεσμοι περιορισμοί, εκτός των χρονικών ορίων σχεδίασης του προγράμματος.
 13. Περιορισμοί λόγω ζήτησης άλλης κατηγορίας προσωπικού για κάθε βάρδια.
- κ.α.

3.7 Η αντικειμενική συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση είναι ουσιαστικά η συνάρτηση στόχος στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Δείχνει το μέγεθος, βάση του οποίου θα κρίνουμε ποιοτικά την λύση που βρίσκουμε. Επομένως είναι το μέτρο ποιότητας του διαμορφωμένου προγράμματος βαρδιών νοσηλευτικού προσωπικού. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της αντικειμενικής συνάρτησης ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιούμε για την αναπαράσταση του χρονοπρογραμματισμού. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις σχετίζονται άμεσα με τους περιορισμούς και συνεπώς μπορούν να μετρήσουν τον βαθμό στον οποίο αυτοί παραβιάζονται καθώς και το κόστος

της παραβίασης. Ως κριτήρια αντικειμενικής συνάρτησης έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, ο συνολικός χρόνος εργασίας του προγράμματος, ο συνολικός αριθμός των απασχολούμενων νοσηλευτών, το κόστος εργασίας, το κόστος έκτακτων εργασιών, η εξυπηρέτηση των ασθενών, η περίσσεια προσωπικού, η έλλειψη προσωπικού, ο αριθμός προγραμμάτων με συνεχόμενες μέρες ρεπό, ο αριθμός των διαφορετικών προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, ένας συνδυασμός των παραπάνω [BA15]. Η εφαρμογή των κριτηρίων που αναφέρθηκαν δεν περιορίζεται στον χώρο των νοσοκομείων και τον χρονοπρογραμματισμό νοσηλευτικού προσωπικού, μάλιστα κάποια από αυτά απαγορεύεται να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλοντα νοσοκομείου, αν απασχολεί προσωπικό με σύμβαση μερικής απασχόλησης.

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο κριτήριο είναι ο συνολικός χρόνος εργασίας του προγράμματος βαρδιών και φυσικά ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κριτηρίου. Σε άλλα παραδείγματα λαμβάνεται υπόψη ο επιθυμητός αριθμός ρεπό που δηλώνουν οι νοσηλεύτριες για την διαμόρφωση της αντικειμενικής συνάρτησης. Επίσης όσο πιο χαμηλό είναι το κόστος λειτουργίας, τόσο πιο αποτελεσματικό θεωρείται το πρόγραμμα βαρδιών που προέκυψε. Φυσικά, λόγω των αντικρουόμενων και πολλών περιορισμών, σπάνια καταφέρνουμε τον τέλειο συνδυασμό βαρδιών στο πρόγραμμα χωρίς απώλειες. Κερδίζοντας την ικανοποίηση ενός κριτηρίου, μειώνεται η ικανοποίηση ενός αντικρουόμενου και επηρεάζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Κεφάλαιο 4

Λογισμικά Χρονοπρογραμματισμού

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία 50 χρόνια η έρευνα στον τομέα του χρονοπρογραμματισμού έχει αποφέρει σημαντικά βήματα εξέλιξης, προς όφελος τόσο των εργαζομένων όσο και των προϊσταμένων τους, που επιβαρύνονται με την ευθύνη της διαμόρφωσης του προγράμματος εργασίας. Η πιο σημαντική κατεύθυνση της εξέλιξης αυτής είναι οι προσπάθειες για αυτοματοποίηση της διαδικασίας διεξαγωγής του χρονοδιαγράμματος βαρδιών με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Όπως θα δούμε σε αυτό το κεφάλαιο έχει δημιουργηθεί πληθώρα προϊόντων λογισμικού, με σκοπό τον χρονοπρογραμματισμό προσωπικού, με κάποια από αυτά να παρέχουν στοχευμένα, σχεδόν έτοιμες εφαρμογές υψηλού επιπέδου στον τομέα της υγείας. Εμείς ασχοληθήκαμε αναλυτικά στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας με δύο από αυτά, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια επιγραμματικά ενώ η λειτουργία του ενός αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, γίνεται αναφορά και σε άλλα λογισμικά χρονοπρογραμματισμού, που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

4.2 Decision Optimization Center (DOC)

Το DOC [IBM2] είναι λογισμικό βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκε από την εταιρεία IBM, καθιστώντας την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης όλο και πιο προσιτή στις επιχειρήσεις, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να σχεδιάζουν και να παίρνουν αποφάσεις έξυπνα, με ασφάλεια και βασισμένοι σε επιστημονικά τεκμηριωμένες διαδικασίες. Το DOC παρέχει μια επεκτάσιμη πλατφόρμα, με δυνατότητες διαμόρφωσης από τον χρήστη, για βελτιστοποιημένη σχεδίαση και εφαρμογές χρονοπρογραμματισμού. Οι επιχειρήσεις είναι σε θέση να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις μέσω της “what-if” ανάλυσης και της διαχείρισης και σύγκρισης σεναρίων.

Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του συγκεκριμένου λογισμικού με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τον στόχο μπορεί κανείς να επιλέξει

ανάμεσα στις εξής έξι εκδοχές: 1. Developer Edition, 2. Optimization Server, 3. Optimization Engine, 4. Data Server, 5. Client Edition, 6. Planner Edition.

Όλα παρέχουν την ευέλικτη ανάλυση “what if”, την διαχείριση πολλαπλών σεναρίων και την σύγκριση σεναρίων, που κατά την αναζήτηση της λύσης επιτρέπουν ελιγμούς ανάμεσα σε εναλλακτικές λύσεις και αντικρουόμενους επιχειρηματικούς στόχους. Ενσωματώνουν τις λειτουργίες του ILOG CPLEX Optimization Studio, σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον, που επιτρέπει στον προγραμματιστή να δουλεύει ταυτόχρονα με εργαλεία προγραμματισμού Java. Επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών βελτιστοποίησης προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες ανάγκες ενός πελάτη, με τη δυνατότητα πάντα της συνεργασίας με άλλους χρήστες, ώστε ξεκινώντας από μια τοπική εφαρμογή να μπορεί κανείς να έχει τα οφέλη μιας εφαρμογής μεγαλύτερης εμβέλειας, που θα επιλύεται σε έναν κεντρικό server. Μέσα από ένα κεντρικό αποθετήριο παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να ανταλλάσσουν σενάρια και να κάνουν συγκρίσεις.

Η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού πλάνου ή προγράμματος βαρδιών με την καλύτερη δυνατή ισορροπία ανάμεσα στις απαιτήσεις του προσωπικού και του εργοδότη δεν είναι απλή διαδικασία και απαιτεί σκληρή δουλειά. Ενώ η τεχνολογία βελτιστοποίησης έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά για την εύρεση της καλύτερης λύσης σε περίπλοκα προβλήματα σχεδιασμού και χρονοπρογραμματισμού, είναι συχνό το φαινόμενο της έλλειψης ενός περιβάλλοντος μιας εφαρμογής, που να υποστηρίζει την ευέλικτη εξερεύνηση όλων των ευαισθησιών και των απαιτούμενων ελιγμών του προβλήματος.

Αυτό που χρειάζονται σήμερα τα στελέχη διοίκησης από ένα λογισμικό είναι, ένα υποστηρικτικό για τη λήψη αποφάσεων περιβάλλον, στο οποίο να μπορούν να συγκεντρώσουν όλες τις δυνατές λύσεις με τις εκδοχές τους και τελικά να πάρουν μια απόφαση με ασφάλεια. Με άλλα λόγια χρειάζονται:

- ◆ Ευελιξία για να μπορούν να αναπτύξουν ρεαλιστικά σενάρια χρονοπρογραμματισμού
- ◆ Ανάλυση ευαισθησίας της ποιότητας της λύσης και επεξηγήσεις
- ◆ Συνεργατικό τρόπο εργασίας και διαμοιρασμό των σεναρίων
- ◆ Προτάσεις αποφάσεων από το πρόγραμμα, που να προκύπτουν από τις κυρίαρχες μηχανές αναζήτησης βέλτιστης λύσης

Το DOC παρέχει όλα τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται στον επιχειρηματικό κόσμο, ώστε να εκμεταλλευτεί κανείς στο μέγιστο την τεχνολογία βελτιστοποίησης, μέσω μιας εφαρμογής υποστήριξης της λήψης διοικητικών αποφάσεων. Οι εφαρμογές που χτίζονται

στο περιβάλλον του λογισμικού DOC βοηθούν τους χρήστες να δημιουργήσουν, να συγκρίνουν και να κατανοήσουν τα διάφορα σενάρια χρονοπρογραμματισμού, προσαρμόζοντας τα δεδομένα εισόδου ή τους στόχους, προσδιορίζοντας πλήρως τους δεσμευτικούς περιορισμούς και κατανοώντας τις ευαισθησίες και τους απαραίτητους ελιγμούς που απαιτούνται.

Επιπλέον, σε μια εφαρμογή του DOC, κατά την αναζήτηση λύσης για προβλήματα με μεγάλο αριθμό περιορισμών, γίνεται αυτόματα χαλάρωση κάποιων περιορισμών με βάση την προτεραιότητα που έχει ο καθένας (χαλαροί και σκληροί περιορισμοί). Αυτό εξασφαλίζει ότι πάντα θα βρεθεί μια λύση για το πρόβλημα βελτιστοποίησης, η οποία όμως θα παρουσιαστεί συνοδευόμενη από πληροφορίες σχετικά με το ποιοι περιορισμοί και προτιμήσεις δεν ικανοποιήθηκαν ή ικανοποιήθηκαν σε μικρότερο από τον επιθυμητό βαθμό. Η εξερεύνηση και ανάλυση της βελτιστοποιημένης λύσης μαζί με το τελικό πρόγραμμα βαρδιών και τις συνοδευτικές μετρήσεις, βοηθάει τον χρήστη αντιληφθεί την δυναμική του μοντέλου και να αναγνωρίσει τα διαφορετικά σενάρια λύσεων.

Στον πραγματικό κόσμο οι απαιτήσεις για μείωση του κόστους ή αύξηση του κέρδους κτλ, συγκρούονται μεταξύ τους. Το λογισμικό της IBM βοηθάει στην εξισορρόπηση αυτών των αλληλοσυγκρουόμενων στόχων, επιτρέποντας στον χρήστη να προσαρμόζει την βαρύτητα του κάθε στόχου ή και να θέτει δικούς του στόχους. Να δουλεύει κανείς με στόχους είναι ουσιαστικά το ίδιο σημαντικό όσο να δουλεύει με κόστη και περιορισμούς.

Επίσης, για την υποστήριξη της λειτουργίας σύγκρισης σεναρίων, οι εφαρμογές DOC αποθηκεύουν πλήρως κάθε σενάριο που δημιουργεί ο χρήστης συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων εισόδου, των παραμέτρων του σεναρίου, των στόχων, των αποφάσεων και των μετρήσεων των λύσεων. Οι πίνακες δεδομένων παρέχουν την δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης εξωτερικών δεδομένων, ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν, χωρίς να αλλάζουν οι πηγές δεδομένων του συστήματος. Έτσι ένα σενάριο μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί, να αναπαραχθεί, να τροποποιηθεί και να συγκριθεί με το αρχικό. Ακόμη, οι μετρήσεις ενός σεναρίου που αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, μπορούν να έχουν ανεκτίμητη αξία στην παρακολούθηση της λειτουργικής και οικονομικής απόδοσης με την πάροδο του χρόνου.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του DOC είναι το γεγονός ότι υποστηρίζει εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με απομακρυσμένους σχεδιαστές και κατανεμημένες διαδικασίες σχεδιασμού. Οι σχεδιαστές μπορούν να ανταλλάξουν σχέδια, μέσω του αποθετηρίου σεναρίων και να λάβουν ανατροφοδότηση μέσω ηλεκτρονικού μηνύματος. Το αποθετήριο σημαίνει και εξασφάλιση της αποθήκευσης των σεναρίων.

Τέλος οι εφαρμογές δεν στερούνται του χαρακτηριστικού της διαιρετότητας. Δηλαδή το λογισμικό επιτρέπει τη χρήση μεμονωμένων μονάδων, όπως εξελιγμένες εφαρμογές Java με γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη. Στην περίπτωση αυτή δυνατότητες όπως το αποθετήριο, ο server δεδομένων και ο server βελτιστοποίησης παραμένουν διαθέσιμες.

4.3 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

Το λογισμικό της IBM, ILOG CPLEX Optimization Studio [IBM2], είναι ουσιαστικά η ενοποίηση τριών προϊόντων σε ένα. Αυτά είναι τα εξής:

1. Ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης OPL- Optimization Programming Language: Η OPL είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ειδικού σκοπού, που παρέχει τη δυνατότητα περιγραφής ενός μοντέλου βελτιστοποίησης με φυσικό μαθηματικό τρόπο. Χρησιμοποιεί συντακτικό υψηλού επιπέδου για μαθηματικά μοντέλα καταλήγοντας σε πολύ πιο απλό και σύντομο κώδικα σε σχέση με τις γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού. Έτσι μειώνεται ο κόπος που απαιτείται για την ανάπτυξή του και βελτιώνεται η αξιοπιστία της εφαρμογής, η αναβάθμιση και η συντήρηση. Το πλούσιο συντακτικό υποστηρίζει όλες τις απαραίτητες εντολές για την μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων, είτε με χρήση μαθηματικού προγραμματισμού, είτε με προγραμματισμό με περιορισμούς.
2. Προϊόν CPLEX: βασικό κομμάτι του λογισμικού που προσφέρει υπερσύγχρονη απόδοση και στιβαρότητα στη μηχανή αναζήτησης της βέλτιστης λύσης για προβλήματα εκφρασμένα ως προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού (ή και γραμμικού προγραμματισμού).
3. CP Optimizer: πρόκειται για μια βιβλιοθήκη λογισμικού με εργαλεία προγραμματισμού με περιορισμούς, που υποστηρίζουν την διάδοση των περιορισμών, την μείωση του πεδίου των λύσεων και την υψηλά βελτιστοποιημένη αναζήτηση λύσεων.

Το CPLEX Optimization Studio θεωρείται ένας σχετικά γρήγορος δρόμος για να χτίσει κανείς μοντέλα βελτιστοποίησης και σύγχρονες εφαρμογές. Με όλα όσα ενοποιεί, περιβάλλοντα ανάπτυξης, περιγραφική γλώσσα μοντελοποίησης και ενσωματωμένα εργαλεία, είναι σε θέση να στηρίζει σχεδόν όλα τα στάδια της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων.

Μπορεί κανείς να περιγράψει διαφορετικά το λογισμικό αυτό, ως το επόμενο βήμα μετά την ανάπτυξη της OPL, που με μια γραφική διεπαφή χρήστη, καθιστά τον προγραμματισμό με αυτήν, πιο φιλικό προς τον χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του IDE (=Integrated Development Environment), δηλαδή του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης, για μαθηματικό προγραμματισμό, για προγραμματισμό με περιορισμούς και για την ανάπτυξη εφαρμογών συνδυαστικής βελτιστοποίησης γενικότερα.

Συνοπτικά, μερικές από τις δυνατότητες είναι:

- ◆ Η δημιουργία και τροποποίηση αρχείων εφαρμογών (project files), καθώς και των μοντέλων και των δεδομένων απλά με χρήση κειμενογράφου
- ◆ Η δημιουργία και τροποποίηση αρχείων ρυθμίσεων (setting files) για την προσαρμογή της γλώσσας και των παραμέτρων για μαθηματικό προγραμματισμό ή προγραμματισμό με περιορισμούς
- ◆ Η εκτέλεση της εφαρμογής
- ◆ Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων σε μορφή κειμένου ή σε πίνακες
- ◆ Η αναζήτηση δυνατότητας χαλάρωσης παραμέτρων και περιορισμών, σε περιπτώσεις αντικρουόμενων κανόνων σε μη εφικτές λύσεις
- ◆ Ο προσδιορισμός του χρόνου και της μνήμης που χρειάζεται για την εκτέλεση της εφαρμογής
- ◆ Ο προγραμματισμός με περιγραφική γλώσσα OPL
- ◆ Ο εντοπισμός σφαλμάτων
- ◆ Η δημιουργία μεταγλωττισμένου μοντέλου
- ◆ Η δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων ή εισαγωγής δεδομένων σε διάφορες μορφές αρχείων
- ◆ Η απεικόνιση της κατάστασης μιας μεταβλητής κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της επίλυσης
- ◆ Η σύνδεση σε μια βάση δεδομένων για να διαβάσει ή να αποθηκεύσει πληροφορίες
- ◆ Η ρύθμιση της εμφάνισης του φιλικού προς το χρήστη, υψηλού επιπέδου περιβάλλοντος ανάπτυξης

4.4 Snap Schedule

Ένα εντελώς διαφορετικό λογισμικό για τον χρονοπρογραμματισμό προσωπικού είναι το SnapSchedule, το οποίο προσομοιάζει έναν κλασικό πίνακα με τις βάρδιες για στήλες και τα ονόματα του προσωπικού για γραμμές, όπου σε κάθε κελί μπορεί να καταχωρηθεί το είδος της βάρδιας που θα καλύψει ο κάθε νοσηλευτής κάθε ημέρα. Ακριβώς όπως και ένας χειρόγραφος πίνακας χρονοπρογραμματισμού αλλά σε ηλεκτρονική μορφή.

Ουσιαστικά ο χρήστης μπορεί να δώσει ένα εβδομαδιαίο δείγμα του πώς θα ήθελε να διαμορφωθεί το πρόγραμμα βαρδιών και στη συνέχεια η εφαρμογή το αναπαράγει για το καθορισμένο χρονικό διάστημα. Οι ενσωματωμένοι περιορισμοί μπορούν να αποεπιλεχθούν από ένα εύχρηστο μενού, αφού αρχικά είναι όλοι επιλεγμένοι και η εφαρμογή εμφανίζει μια αντίστοιχη ειδοποίηση είτε χρωματικά, είτε με σύμβολα-σημαιούλες, είτε και με τα δύο, αν κάποιος από τους επιλεγμένους περιορισμούς παραβιάστηκε.

Employee	16/ 5/2017	17/5/2017	18/5/2017	19/5/2017	20/5/2017	21/5/2017	22/5/2017	Hours
Martin, Dennis Nurse Aide Cardiac Care Unit	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	48,00
Westbrook, Chuck Nurse Aide Cardiac Care Unit		Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	48,00
Cooper, Roberto Technologist Cardiac Care Unit		Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	48,00
Valdo, Daisy Head Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ		Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Bond, Kathy Registered Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ		Day Shift Cardiac Care Unit 7:00 πμ-3:00 μμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Einhardt, Alisa Registered Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ		Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Kilroy, Janet Registered Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ			Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Maynard, Nadia Registered Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Day Shift Cardiac Care Unit 7:00 πμ-3:00 μμ	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Einhardt, Bruce LPN Nurse Cardiac Care Unit	Swing Shift Cardiac Care Unit 3:00 μμ-11:00 μμ		Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	Night Shift Cardiac Care Unit 11:00 μμ-7:00 πμ	40,00
Hours (Work)	232,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	1672,00

Εικόνα 1: Πρόγραμμα βαρδιών νοσηλευτικού προσωπικού από έτοιμο μοντέλο του SnapSchedule

Πιο συγκεκριμένα με το SnapSchedule μπορεί κανείς:

- ♦ Να δημιουργήσει γρήγορα σε ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον ένα πρόγραμμα βαρδιών, στο οποίο να μπορεί να παρακολουθεί όλες τις απουσίες λόγω διακοπών ή ρεπό
- ♦ Να εισάγει σε κάθε βάρδια διαλείμματα, απαραίτητα καθήκοντα και εργασίες με συγκεκριμένη χρονική διάρκεια

- ◆ Να αποφύγει τους αλληλοσυγκρουόμενους περιορισμούς ή την παραβίαση κάποιου, μέσω των ειδοποιήσεων που εμφανίζονται αυτόματα πάνω στις προβληματικές τοποθετήσεις νοσηλευτών σε βάρδια
 - ◆ Να εξασφαλίσει ότι όλες οι βάρδιες θα καλυφθούν πλήρως
 - ◆ Να φτιάξει ένα πρόγραμμα συμμορφωμένο με τη νομοθεσία και τους κανόνες των συμβάσεων εργασίας του νοσοκομείου
 - ◆ Να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα και τις αναλύσεις τους για τη λήψη σωστών και βασισμένων σε καίριες πληροφορίες αποφάσεων
 - ◆ Να εξάγει και να διαμοιράσει τα αποτελέσματα σε εκτυπώσιμη μορφή ή σε μορφή αρχείου PDF
 - ◆ Να διαμορφώσει την διάρκεια κάθε βάρδιας και το κόστος ανάλογα με τα προσόντα του κάθε νοσηλευτή
 - ◆ Να διαμορφώσει τους κανόνες για τον υπολογισμό του κόστους των υπερωριών
 - ◆ Να εισάγει πληροφορίες για την διαθεσιμότητα ή την απουσία μελών του προσωπικού σε καθημερινή βάση
 - ◆ Να καταναίμει το προσωπικό σε περισσότερες από μία κλινικές
 - ◆ Να προσφέρει τη δυνατότητα σε κάθε νοσηλευτή να βλέπει το πρόγραμμα του από το κινητό του
- κ.α.

4.5 ASC Timetables

Πρόκειται για ένα εμπορικό λογισμικό διαθέσιμο και μέσω διαδικτύου, εξειδικευμένο σε θέματα χρονοπρογραμματισμού του ωρολογίου προγράμματος μαθημάτων των σχολικών πανεπιστημιακών και όχι μόνο ιδρυμάτων. Μέχρι στιγμής δεν έχει παρουσιάσει συγκεκριμένες εφαρμογές για τον χρονοπρογραμματισμό νοσηλευτικού προσωπικού, αλλά αποτελεί ένα αρκετά δημοφιλές και συνεπώς άξιο λόγου περιβάλλον επίλυσης προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού μαθημάτων, σεμιναρίων, διαλέξεων κ.α.

Στο λογισμικό ASC μπορεί ένας χρήστης χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις υπολογιστών και προγραμματισμού, να εισάγει τις απαιτήσεις του (περιορισμοί), όπως για παράδειγμα να μην διδάσκονται μαθηματικά τις πρώτες πρωινές ώρες, ή να μην επαναλαμβάνονται σε συνεχόμενες μέρες οι διαλέξεις του ίδιου μαθήματος κτλ. Το λογισμικό δύναται να αξιολογήσει έως 5.000.000 πιθανές λύσεις, εντοπίζοντας την βέλτιστη, την πιο

ισορροπημένη, που ικανοποιεί κατά το δυνατόν, όσο περισσότερους σπουδαστές και καθηγητές γίνεται.

Βασικό προτέρημα του ASC είναι η απλότητα στη χρήση του, που το καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλές στις σχολικές κοινότητες πολλών χωρών, καθώς και η ταχύτητά του. Η απόκριση του προγράμματος επιβραβεύει τους χρήστες με την εξοικονόμηση χρόνου που κερδίζουν, η οποία αποκτά μεγαλύτερη σημασία, όταν προκύψουν λάθη ή επιθυμίες για κάποια αλλαγή στο πρόγραμμα. Τότε η εφαρμογή επαναπροσδιορίζει το χρονοδιάγραμμα των μαθημάτων εύκολα και γρήγορα, εξασφαλίζοντας ότι η αλλαγή δεν επηρέασε κάποιον από τους περιορισμούς.



Εικόνα 2: Έτοιμο ωρολόγιο πρόγραμμα μαθημάτων ελληνικού ΕΠΑΛ

Τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή αρχείου pdf και excel, να διαμοιραστούν ηλεκτρονικά με προσωπικό μήνυμα στο διδακτικό προσωπικό αλλά και στους μαθητές. Υπάρχει η δυνατότητα διαμόρφωσης της όψης του προγράμματος με γνώμονα τον διδάσκοντα, ώστε να εμφανίζονται μόνο οι ώρες που τον αφορούν.

Σε πιο αναπτυγμένες εκδόσεις του, το λογισμικό μπορεί να διαχειριστεί ακόμη πιο περίπλοκες προκλήσεις προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού με τάξεις χωρισμένες σε πολλά τμήματα, προαιρετικά μαθήματα και μαθήματα που διεξάγονται τα Σάββατα, εκτός του κλασσικού ωραρίου λειτουργίας.

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά συνοψίζονται παρακάτω:

- ◆ Αυτοματοποιημένη διεξαγωγή προγράμματος με τον υπολογιστή
- ◆ Δυνατότητα εφαρμογής αλλαγών στο έτοιμο πρόγραμμα με το χέρι

- ◆ Έλεγχος και επαλήθευση των αποτελεσμάτων, ώστε να μην θίγεται κανένας περιορισμός
- ◆ Γρήγορη και απλή δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων
- ◆ Εισαγωγή δεδομένων απευθείας σε ηλεκτρονική μορφή
- ◆ Φορητότητα, αφού δημιουργηθεί το πρόγραμμα, μπορεί να διαμοιραστεί ηλεκτρονικά σε κινητά τηλέφωνα
- ◆ Υποστήριξη χρήσης αιθουσών διδασκαλίας σε διαφορετικά κτίρια, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις των κτιρίων, βελτιστοποιεί τις μετακινήσεις στον χώρο
- ◆ Ευέλικτα προσαρμοστικό περιβάλλον εργασίας ανάλογα με το γούστο του κάθε χρήστη
- ◆ Δυνατότητα προγραμματισμού των αντικαταστάσεων, σε περίπτωση απουσίας κάποιου καθηγητή
- ◆ Προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις κάθε χώρας προγράμματα
- ◆ Διαθεσιμότητα όλων των χαρακτηριστικών στην online πλατφόρμα
- ◆ Δυνατότητα δημιουργίας προσωπικής ιστοσελίδας, όπου ο καθηγητής μπορεί να δημιουργήσει τη δική του ηλεκτρονική τάξη.

4.6 Roster Master

Η εφαρμογή Roster Master αναπτύχθηκε από την εταιρεία Lavisoft. Πρόκειται για μια ελληνική εταιρεία με τεχνογνωσία στον τομέα της πληροφορικής, που σχεδιάζει, υλοποιεί και συντηρεί συστήματα λογισμικού. Πιο συγκεκριμένα εξειδικεύεται σε συστήματα διαχείρισης ανθρωπίνου δυναμικού (Human Resources-HR) και προγραμματισμού των διαθέσιμων πόρων σε επιχειρήσεις (Enterprise Resource Planning-ERP). Πέρα από τις ήδη ανεπτυγμένες λύσεις, μπορεί να προσφέρει κατά παραγγελία νέα προϊόντα προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις του χρήστη.

Το Roster MaSter αποτελεί το λογισμικό ενός ολοκληρωμένου συστήματος, που έχει στόχο να καλύψει τις ανάγκες του Γραφείου Προσωπικού μίας επιχείρησης ή οργανισμού, στον τομέα του προγραμματισμού και της διαχείρισης των βάρδιών του προσωπικού (Rostering).

Χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες πληροφορίες που έχουν δοθεί από τον χρήστη (ανάγκες σε προσωπικό ανά Τμήμα, Θέση εργασίας και βάρδια, προτιμήσεις των εργαζομένων, κανόνες εργατικής νομοθεσίας κλπ), μπορεί να δημιουργήσει αυτόματα το πρόγραμμα

βαρδιών που θα ακολουθήσει κάθε εργαζόμενος για το οριζόμενο διάστημα, δηλαδή το ωράριο και την θέση εργασίας που θα εργαστεί ο εργαζόμενος για κάθε ημέρα και τις ειδικές εργασίες που θα πρέπει να εκτελέσει.

Το Roster MaSter, συνεργάζεται στενά με το σύστημα ωρομέτρησης και διαχείρισης παρουσιών προσωπικού Time MaSter, δίνοντας τη δυνατότητα σε επιχειρήσεις και οργανισμούς που θέλουν να συνδυάσουν τον προγραμματισμό των βαρδιών και την ωρομέτρηση, να επιτύχουν μία λειτουργικότητα υψηλού επιπέδου, καθώς και οικονομία κλίμακας, αφού έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν τις παραπάνω λειτουργίες σε ένα ενιαίο σύστημα.

Η εφαρμογή λειτουργεί σε περιβάλλον Windows και χρησιμοποιεί Βάση Δεδομένων ανοικτής αρχιτεκτονικής (Microsoft SQL Server, Oracle).

4.6.1 Σύντομη Περιγραφή

Για να καταφέρει το Roster Master να δημιουργήσει την απαραίτητη πληροφορία (σε ποιο ωράριο θα εργασθεί κάθε εργαζόμενος και σε ποια θέση για κάθε ημερομηνία), θα πρέπει ο χρήστης να ακολουθήσει μία συγκεκριμένη σειρά διαδικασιών και κανόνων.

Κατ' αρχήν, ορίζονται από τον χρήστη οι ανάγκες της κάθε θέσης εργασίας σε προσωπικό για κάθε τμήμα και για κάθε ωράριο ξεχωριστά και ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας (πχ καθημερινές, ειδικές ημερομηνίες), μέσω της δημιουργίας αντίστοιχων Πρότυπων Ημερήσιων Πλάνων Εργασίας.

Στη συνέχεια, σε κάθε συγκεκριμένη ημερομηνία, ο χρήστης μπορεί να αντιστοιχίσει ένα Πρότυπο Ημερήσιο Πλάνο, με μαζικό τρόπο.

Μέσω ειδικών οθονών, μπορεί εύκολα ο χρήστης να καταχωρήσει την διαθεσιμότητα κάθε εργαζόμενου (επιθυμίες και προτιμήσεις) για κάθε ημέρα του μήνα (π.χ. σε ποιές ημέρες προτιμά να πάρει ρεπό ή άδεια, ποιές ημέρες και ποιές ώρες επιθυμεί να εργασθεί κλπ.).

Επίσης, κάθε εργαζόμενος μπορεί να ακολουθεί μία συγκεκριμένη σειρά εβδομαδιαίων ωραρίων. Το ίδιο ισχύει και για τις θέσεις εργασίας, αν αυτές είναι περισσότερες από μία.

Με βάση τα παραπάνω, μπορούν να δημιουργηθούν από τον χρήστη τα «σενάρια», όπως τα ονομάζει η εφαρμογή, που περιγράφουν αυτήν ακριβώς την επαναληπτικότητα σε ωράριο και θέση εργασίας σε επίπεδο εβδομάδας.

Κατόπιν, αντιστοιχίζεται κάθε εργαζόμενος με ένα σενάριο για τα ωράρια και ένα για τις θέσεις εργασίας.

Θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι υπάρχει κατάσταση (report), μέσω της οποίας μπορούμε να ελέγξουμε, σε επίπεδο εβδομάδας, τις βάρδιες που έχουν υπολογιστεί σε σχέση και με τις ανάγκες που ήδη έχουμε καταχωρήσει.

Σε περίπτωση έλλειψης ή πλεονάσματος προσωπικού (π.χ. λόγω αδειών), υπάρχει η δυνατότητα, με ευθύνη του χειριστή, να μεταβληθεί το πρόγραμμα για κάποιον εργαζόμενο.

4.6.2 Λειτουργικές δυνατότητες

- ◆ Χρησιμοποιεί τις απαραίτητες πληροφορίες που υπάρχουν στο σύστημα διαχείρισης προσωπικού Time Master και αφορούν στοιχεία εργαζομένων, αργίες, ωράρια, άδειες-ασθένειες, χωρίς να απαιτείται επανακαταχώρησή τους.
- ◆ Δυνατότητα παραμετρικού καθορισμού Πρότυπων Ημερήσιων Πλάνων Εργασίας.
- ◆ Δυνατότητα παραμετρικού καθορισμού εργασιακών κανόνων που ορίζονται από την αντίστοιχη νομοθεσία (π.χ. ημέρα έναρξης εργασιακής εβδομάδας, μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ημερών εργασίας ανά εβδομάδα, πλήθος ρεπό ανά εβδομάδα, ελάχιστη διάρκεια ανάπαυσης μεταξύ διαδοχικών βαρδιών).
- ◆ Δυνατότητα καθορισμού βαρδιών ανά κλινική.
- ◆ Δυνατότητα καθορισμού των αναγκών σε προσωπικό ανά βάρδια και για κκάθε κλινική, για κάθε ημέρα ξεχωριστά, μέσω αντιστοίχισης με ένα πρότυπο ημερήσιο πλάνο (staffing requirements).
- ◆ Δυνατότητα καθορισμού "σεναρίων" ωραρίων για καθημερινές και ειδικές ημερομηνίες.
- ◆ Δυνατότητα καθορισμού "σεναρίων" θέσεων εργασίας, μέσω των οποίων ορίζεται η κυκλικότητα των βαρδιών των εργαζομένων σε ότι αφορά τις θέσεις εργασίας.
- ◆ Καθορισμός σεναρίων εργασίας εργαζομένων.
- ◆ Κατάσταση ελέγχου αναγκών σε προσωπικό και αντίστοιχης διαθεσιμότητας των εργαζομένων, για τον εντοπισμό ελλείψεων σε προσωπικό.
- ◆ Αυτόματος προγραμματισμός των εργαζομένων σε βάρδιες, με βάση τις παραπάνω πληροφορίες.
- ◆ Δυνατότητα τροποποίησης- συμπλήρωσης του προγράμματος εργασίας με rule bending (παράκαμψη περιορισμών, όπως προτιμήσεων των εργαζομένων για την συμπλήρωση των κενών).
- ◆ Πλήρης διαχείριση των βαρδιών κατά ημερομηνία ή κατά εργαζόμενο.

- ◆ Ενημέρωση της εφαρμογής Διαχείρισης Παρουσιών Προσωπικού Time MaSter, με το τελικό μηνιαίο πρόγραμμα εργασίας.
- ◆ Έκδοση των απαραίτητων πληροφοριακών καταστάσεων, όπως:
 - ✓ Διαθεσιμότητες εργαζομένων
 - ✓ Ημερήσιο πρόγραμμα ανά κλινική
 - ✓ Μηνιαίο διάγραμμα βαρδιών ανά κλινική
 - ✓ Πρόγραμμα βαρδιών ανά εργαζόμενο
 - ✓ Καταστάσεις Ελέγχου (ελλείψεις, πλεονάζον προσωπικό κλπ.)
 - ✓ Κατάσταση Ωρών ανά κλινική

4.7 Humanity

Πρόκειται για μια online εφαρμογή, όπου με την προαιρετική βοήθεια από συμβούλους της εταιρείας μπορεί ένας manager να δημιουργήσει το δικό του πρόγραμμα βαρδιών. Είναι αρκετά εύκολο στη χρήση και για οποιαδήποτε απορία ο χρήστης μπορεί να συνομιλεί με τον σύμβουλό του μέσω ενός απλού παραθύρου chat και να λαμβάνει απαντήσεις ακόμη και με φωτογραφίες της επιφάνειας εργασίας του. Με άλλα λόγια ο σύμβουλος έχει πρόσβαση στην πλατφόρμα που εργάζεται ο χρήστης και βλέπει τι έχει κάνει και τι πρέπει να κάνει, προκειμένου να προσαρμόσει τις δυνατότητες της εφαρμογής στις δικές του ανάγκες. Αυτού του είδους η υποστήριξη αποτελεί νέο τρόπο προσέγγισης του πελάτη που αξίζει να σημειωθεί, ότι βοηθάει πραγματικά να κινηθεί κανείς άνετα στον ιστοχώρο και να σχεδιάσει τις βάρδιές του χωρίς να χάνει χρόνο ψάχνοντας.

ShiftPlanning	Day	Week	2 Week	4 Week	<	Today	>	Publish [42]
May 21, 2017 - May 27, 2017	Sun, May 21	Mon, May 22	Tue, May 23	Wed, May 24	Thu, May 25	Fri, May 26	Sat, May 27	
Empty Shifts	Day 7a - 3p Day 7a - 3p Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p	Day 7a - 3p Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p Evening 3p - 11p Night 11p - 7a	Day 7a - 3p	Day 7a - 3p Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p Night 11p - 7a	
Aggeliki Koutroub. (48.00)	Evening 3p - 11p	Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p	Day 7a - 3p	Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p		
Aliki Fisidou (24.00)	Night 11p - 7a					Evening 3p - 11p	Evening 3p - 11p	
Athina Batsakidou (48.00)		Evening 3p - 11p	Evening 3p - 11p	Day 7a - 3p	Day 7a - 3p Night 11p - 7a	Night 11p - 7a		

Εικόνα 3: Ενδεικτική άποψη του online περιβάλλοντος εργασίας του Humanity

Σαν πρώτο βήμα ο χρήστης καλείται να δημιουργήσει τα δικά του μέλη προσωπικού και τις δικές του βάρδιες. Επίσης μπορεί να αλλάξει τους ήδη υπάρχοντες κανόνες που αφορούν στον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό ωρών εργασίας εβδομαδιαία και ημερησίως.

Στη συνέχεια οι κενές βάρδιες εμφανίζονται στην πάνω μεριά του παραθύρου ανά ημέρα, ενώ στην πρώτη στήλη αριστερά βλέπουμε όλους τους διαθέσιμους νοσηλευτές που καταχωρήσαμε. Με μια απλή κίνηση drag and drop μπορούμε να “σύρουμε” την κάθε βάρδια στο άτομο από το οποίο θέλουμε να καλυφθεί. Η κάθε βάρδια δημιουργείται ξεχωριστά και αν θέλουμε μπορούμε να ορίσουμε την επαναληπτικότητά της. Αυτό συνεπάγεται ότι οι βάρδιες για κάθε ημέρα δεν είναι απαραίτητα οι ίδιες. Μπορούμε αν θέλουμε μια ημέρα να έχουμε μια βάρδια (είτε πρωινή, είτε απογευματινή, είτε βραδυνή, είτε μια καινούρια βοηθητική) παραπάνω από τις υπόλοιπες.

Κάθε φορά που αναθέτουμε μια βάρδια σε έναν νοσηλευτή, το πρόγραμμα ελέγχει αν παραβιάζεται κάποιος από τους περιορισμούς και μας ενημερώνει στο πάνω δεξιό μέρος της οθόνης με μια φωτεινή ένδειξη για το πόσα λάθη (conflicts) έχει εντοπίσει. Μια πιο αναλυτική περιγραφή της κάθε παραβίασης ξεχωριστά, εμφανίζεται όταν πατήσουμε τη φωτεινή αυτή ένδειξη σε νεό παράθυρο στα δεξιά της οθόνης.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που εντοπίστηκε εξερευνώντας την εφαρμογή, είναι η δυνατότητα να ορίσουμε βάρδιες που μπορούν να καλυφθούν από νοσηλευτές με κάποια απαραίτητα προσόντα, όπως να είναι απόφοιτοι TEI. Επομένως στο μητρώο του κάθε εργαζόμενου μπορεί να καταχωρηθούν και οι βάρδιες στις οποίες επιτρέπεται να τοποθετηθεί., ώστε αν εκ παραδρομής ο χρήστης καλύψει μια βάρδια με απόφοιτο λυκείου και όχι TEI, η εφαρμογή θα δημιουργήσει την φωτεινή ένδειξη λάθους καταχώρησης.

Επιπλέον εντοπίζει τις βάρδιες που έχουν μείνει κενές καθώς και αυτές στις οποίες έχουν τοποθετηθεί περισσότερα άτομα από τα απαιτούμενα.

Κεφάλαιο 5

Επίλυση προβλήματος χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού με χρήση λογισμικού

5.1 Εισαγωγή

Αφού παρουσιάστηκαν διάφορα παραδείγματα λογισμικού, στο παρόν κεφάλαιο θα δούμε βήμα βήμα, πώς με χρήση αυτού μπορούμε να καταλήξουμε σε λύση προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού.

5.2 Λύση προβλήματος με το λογισμικό Decision Optimization Center

5.2.1 Γενικά

Η εφαρμογή χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού αναπτύχθηκε με τη βοήθεια του Decision Optimization Center και συγκεντρώνει αρκετά χαρακτηριστικά εφαρμογών, όπως το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη, την εξερεύνηση σεναρίων, την διαμόρφωση σελίδας και κάποιους βασικούς τύπους παραθύρων όπως αυτά για την διαμόρφωση των στόχων, των δεδομένων που εισάγουμε, των περιορισμών και των λύσεων.

Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι παραθύρων εισαγωγής δεδομένων, τρεις τύποι κανόνων και τρεις τύποι λύσεων. Επιπλέον υπάρχουν πολλά διαγράμματα και πίνακες σε διαφορετικές προβολές. Σε μία από αυτές ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να “παγώσει” ένα μέρος της λύσης στον πίνακα των τελικών βαρδιών και να ξαναλύσει το πρόβλημα διατηρώντας τις παγωμένες βάρδιες και αφήνοντας το πρόγραμμα να αλλάξει μόνο τις υπόλοιπες, για την βελτίωση της λύσης. Η εμφάνιση και λειτουργικότητα των παραθύρων αυτών είναι διαμορφωμένη από τους προγραμματιστές. Οι στόχοι που εμφανίζονται στο αντίστοιχο παράθυρο αντιπροσωπεύουν τις απαιτήσεις ή περιορισμούς που προϋπήρχαν στο υποκείμενο OPL μοντέλο.

Στην ανάλυση που θα ακολουθήσει θα δούμε όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες, καθώς και το πώς θα μπορούσε κανείς να τα ενσωματώσει σε ένα δικό του μοντέλο.

5.2.2 Ο στόχος της εφαρμογής για νοσηλευτικό προσωπικό

Ο στόχος της εφαρμογής είναι να διευκολύνει το προσωπικό ενός νοσοκομείου στη δημιουργία του χρονοδιαγράμματος των βαρδιών. Βοηθά τον χρήστη όχι μόνο να βρει ένα εφικτό πρόγραμμα βαρδιών, αλλά να βρει αυτό το πρόγραμμα που ικανοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερους στόχους, από αυτούς που έχει θέσει το ίδρυμα. Τέτοιοι στόχοι μπορεί να είναι:

1. Η επάνδρωση της κάθε κλινικής με τον κατάλληλο αριθμό προσωπικού.
2. Η αντιστοίχιση των προσόντων των νοσηλευτών με τις απαιτήσεις κάθε τμήματος και βάρδιας.
3. Ο καθορισμός του μέγιστου και ελάχιστου αριθμού ωρών ανά νοσηλευτή την εβδομάδα.
4. Η μεγιστοποίηση της δίκαιης κατανομής των βαρδιών στο προσωπικό, ώστε όλοι να δουλεύουν περίπου τις ίδιες ώρες και να έχουν τον ίδιο αριθμό νυχτερινών βαρδιών.
5. Η ενσωμάτωση πρακτικών κανόνων, όπως για παράδειγμα η αποφυγή της τοποθέτησης δύο νοσηλευτών που δεν μπορούν να συνεργαστούν στην ίδια βάρδια.
6. Η διαμόρφωση του προγράμματος με μνεία στις προτιμήσεις του προσωπικού για ρεπό.
7. Η μείωση των λειτουργικών εξόδων του νοσοκομείου.

Είναι σπάνιο μία εφαρμογή να μπορεί να διαχειριστεί όλους αυτούς τους διαφορετικούς και ίσως αντικρουόμενους στόχους ταυτόχρονα. Ο προϊστάμενος που είναι υπεύθυνος για την διαμόρφωση του προγράμματος βαρδιών του προσωπικού, είναι αυτός που καλείται να θέσει τους στόχους σε μία σειρά προτεραιότητας, καθορίζοντας ποιοι μπορούν να θεωρηθούν χαλαροί ή και ασήμαντοι και ποιοι είναι οι σκληροί περιορισμοί που θα ικανοποιηθούν οπωσδήποτε. Το πρόβλημα μεγεθύνεται και πρέπει να λυθεί εκ νέου σε μια εβδομάδα, που τυχαίνει να λείπουν αρκετά άτομα σε διακοπές.

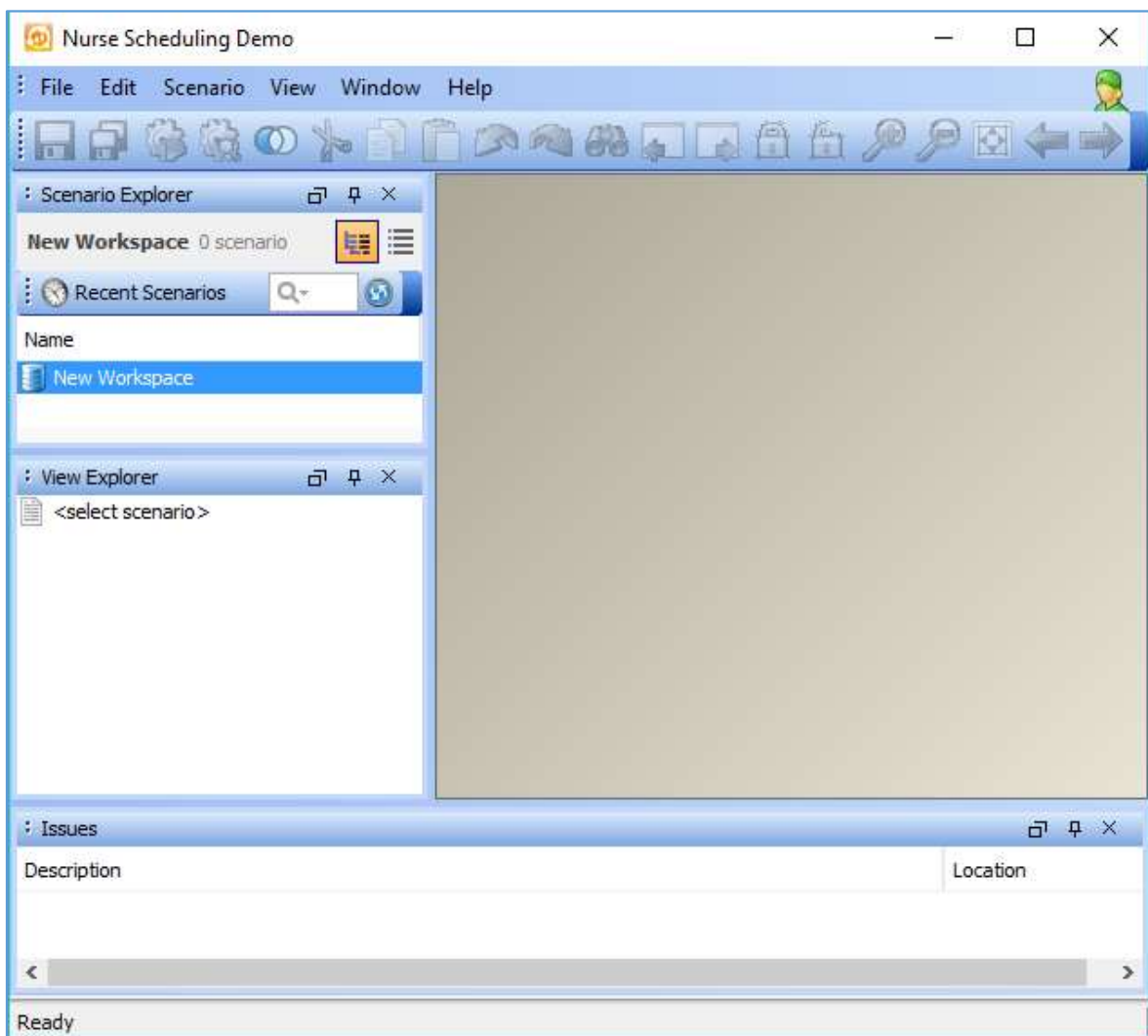
Ευτυχώς το DOC είναι αρκετά ευέλικτο και επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει τη δική του επιφάνεια εργασίας και μέσα σε αυτήν τα δικά του σενάρια και τους δικούς του συνδυασμούς δεδομένων εισόδου (αριθμός νοσηλευτών), στόχους (μεγέθυνση δίκαιης κατανομής βαρδιών ή μείωση κόστους) και κανόνες (πόσα άτομα με ποια προσόντα χρειάζεται μια κλινική αυτή τη βδομάδα).

Κάθε σενάριο δημιουργείται και λύνεται ανεξάρτητα. Μπορεί να αντιγραφεί και στο αντίγραφο να γίνουν αλλαγές, όπως στην προτεραιότητα των στόχων. Στη συνέχεια μπορούν να συγκριθούν τα δύο σενάρια προκειμένου να καταλήξουμε σε αυτό που μας εξυπηρετεί καλύτερα τόσο ως προς τη λύση, όσο και ως προς την εξισορρόπηση των στόχων.

5.2.3 Αναλυτική επισκόπηση της εφαρμογής Nurse Demo

Περιβάλλον και βασικές λειτουργίες

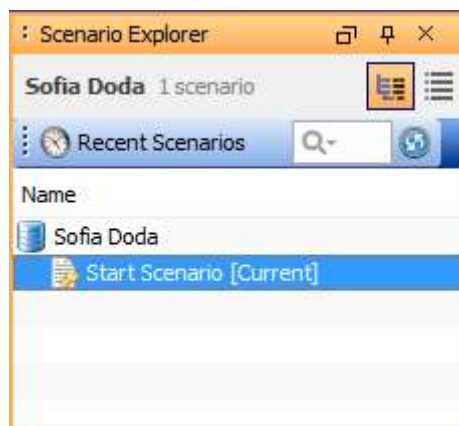
Ανοίγοντας κανείς την εφαρμογή βλέπει στην οθόνη του την εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4: Η αρχική σελίδα της εφαρμογής

Οι δύο πρώτες μπάρες είναι όπως στις περισσότερες εφαρμογές οι μπάρες εργαλείων, με τις δυνατότητες επεξεργασίας του προγράμματος, είτε σε μενού (πρώτη σειρά), είτε εν

συντομία με χρήση εικονιδίων (δεύτερη σειρά). Αριστερά βλέπουμε δύο πεδία το Scenario Explorer και το View Explorer, ενώ ακόμη ένα πεδίο με όνομα Issues φαίνεται στο τέλος, όπου εμφανίζονται παρατηρήσεις και λάθη που προκύπτουν κατά την εύρεση της λύσης. Στο γκρι κομμάτι εμφανίζονται τα παράθυρα που επιλέγουμε να ανοίξουμε από το πεδίο View Explorer. Στο πεδίο Scenario Explorer υπάρχει ήδη μια εγγραφή με όνομα Workspace. Αυτός είναι ο προσωπικός πάγκος εργασίας μας, όπου μπορούμε να δημιουργήσουμε τα δικά μας σενάρια. Η πρώτη μας κίνηση είναι να μετονομάσουμε τον πάγκο εργασίας μας και στη συνέχεια να δημιουργήσουμε το πρώτο μας σενάριο. Για την μετονομασία απλά διπλό κλικ στο Workspace και πληκτρολογούμε το όνομα που θέλουμε να δώσουμε. Για να ανοίξουμε το default σενάριο που έχουν δημιουργήσει οι προγραμματιστές της εφαρμογής, κάνουμε δεξί κλικ στο δικό μας μετονομασμένο πλέον Workspace και επιλέγουμε New default scenario. Το σενάριο εμφανίζεται αμέσως στον Scenario Explorer και ομοίως με πριν μπορούμε να το μετονομάσουμε όπως επιθυμούμε. Η όψη του Scenario Explorer διαμορφώνεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



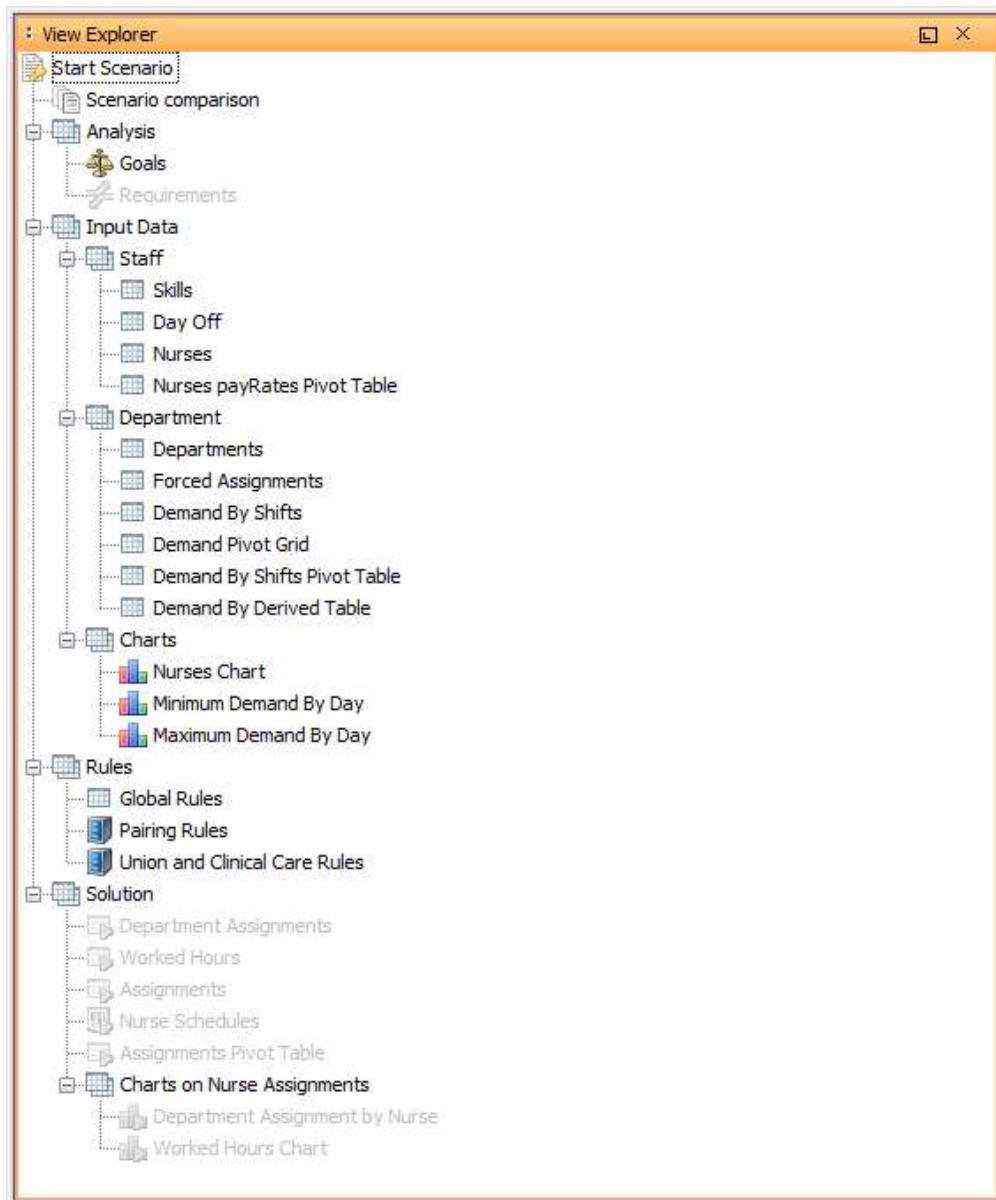
Εικόνα 5: Scenario Explorer

Το επιλεγμένο σενάριο κάθε φορά είναι αυτό που δίπλα του έχει μέσα σε αγκύλες την λέξη Current. Αυτού το περιεχόμενο εμφανίζεται τότε και στον View Explorer, που αν τον μεγεθύνουμε φαίνεται όπως δείχνει η εικόνα που ακολουθεί.

Στον View Explorer μπορούμε να εξερευνήσουμε το σενάριο μας και να δούμε αναλυτικά:

- ◆ Scenario comparison, την επιλογή σύγκρισης σεναρίων
- ◆ Analysis, τους στόχους και κατά πόσο ικανοποιήθηκαν και τις απαιτήσεις χαλάρωσης, σε περίπτωση που η λύση δεν είναι εφικτή χωρίς τη χαλάρωση κάποιου περιορισμού

- ◆ Input data, τα δεδομένα εισόδου, όπως τα προσόντα των νοσηλευτών, τις επιθυμίες για ρεπό, το πλήθος των νοσηλευτών ονομαστικά σε πίνακα, τις κλινικές, τις βάρδιες, τις απαιτήσεις σε πλήθος εργαζομένων ανά βάρδια κα.
- ◆ Rules, τους κανόνες χωρισμένους σε τρεις υποκατηγορίες
- ◆ Solution, τον φάκελο με την λύση που βρέθηκε, το πρόγραμμα ανά βάρδια ή ανά νοσηλευτή κα.



Εικόνα 6: Ο View Explorer του επιλεγμένου σεναρίου

Επιλέγοντας οποιοδήποτε παράθυρο από τα Input Data, εμφανίζονται τα αντίστοιχα δεδομένα στην μέχρι τώρα γκρι κενή επιφάνεια. Το όνομα του παραθύρου που ανοίξαμε φαίνεται πάνω αριστερά και όσα και αν ανοίξουμε παραμένουν ανοιχτά και εμφανίζονται


στο πάνω μέρος σαν διαδοχικά φύλλα excel. Για παράδειγμα επιλέγω το παράθυρο Nurses και το αποτέλεσμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Όσα δεδομένα εμφανίζονται με μπλε χρώμα μπορούμε να τα επεξεργαστούμε αλλάζοντας τις τιμές τους, ενώ τα μαύρα δεδομένα έχουν προκαθορισμένες μη επεξεργάσιμες τιμές.

	Name	Seniority	Qualification	Pay Rate	Days off
1	Anne	11	1	25	2
2	Bethanie	4	5	28	2
3	Betsy	2	2	17	2
4	Cathy	2	2	17	2
5	Cecilia	9	5	38	2
6	Chris	11	4	38	2
7	Cindy	5	2	21	1
8	David	1	2	15	1
9	Debbie	7	2	24	2
10	Dee	3	3	21	2
11	Gloria	8	2	25	1
12	Isabelle	3	1	16	2
13	Jane	3	4	23	2
14	Janelle	4	3	22	2
15	Janice	2	2	17	2
16	Jemma	2	4	22	2
17	Joan	5	3	24	2

Εικόνα 7: Το παράθυρο Nurses

Το παράθυρο Nurses περιέχει εκτός από τα ονόματα των νοσηλευτών και άλλες πληροφορίες, όπως το πόσο καιρό εργάζονται, τι επίπεδο προσόντων έχουν και τα χρήματα που κερδίζουν. Μπορούμε να καθορίσουμε τις μέρες ρεπό στο παράθυρο Day off και στη συνέχεια στο παράθυρο Nurses ενημερώνεται αυτόματα η τελευταία στήλη.

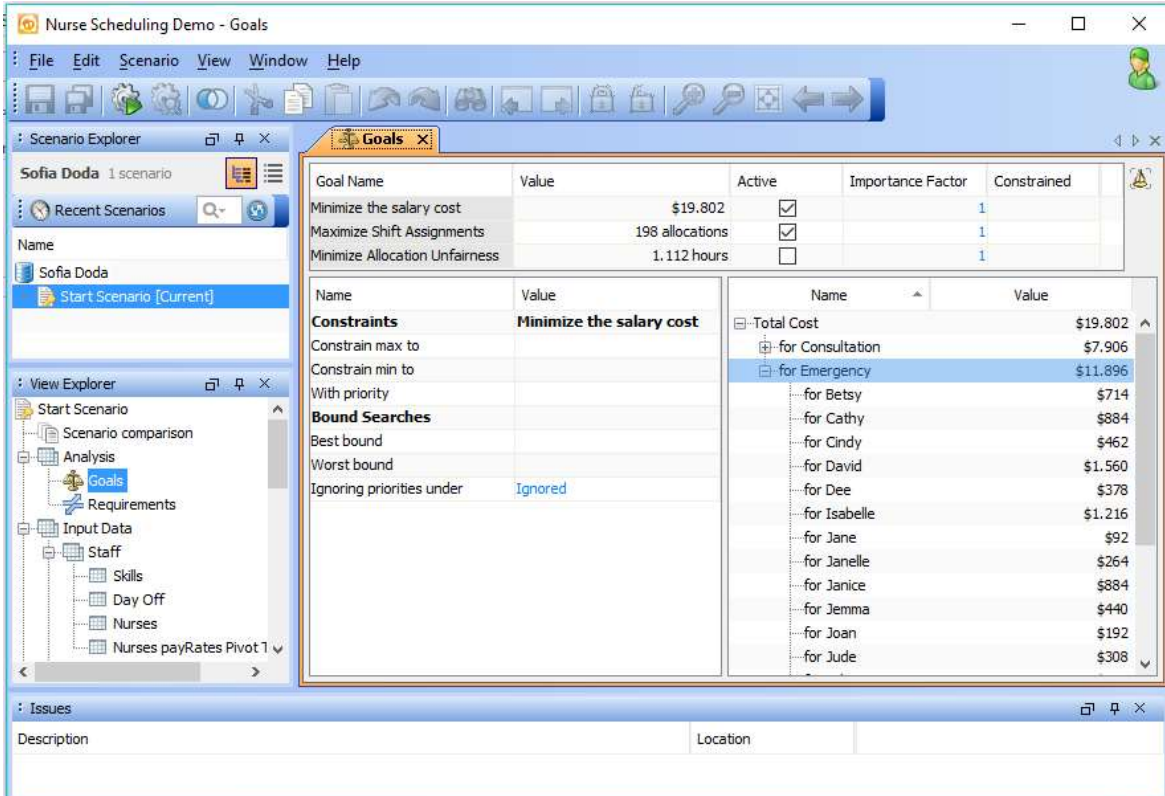
Στο παράθυρο Departments έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε ποιες κλινικές θέλουμε να επανδρώσουμε, ενώ στο Skills να καθορίσουμε τα προσόντα του κάθε νοσηλευτή. Στο Demand by Shifts εισάγουμε τον μέγιστο και τον ελάχιστο αριθμό νοσηλευτών για κάθε βάρδια.

Η επίλυση του μοντέλου γίνεται με το πάτημα του κουμπιού Solve .

Αμέσως εμφανίζεται το παράθυρο Solve Progress και στη συνέχεια είτε μια πράσινη ένδειξη, ότι η λύση βρέθηκε, είτε η πορτοκαλί ένδειξη, ότι η λύση υπάρχει αλλά με χαλάρωση περιορισμών, που ακόμη δεν έχει ολοκληρωθεί και επομένως η λύση δεν έχει βελτιστοποιηθεί με γνώμονα τους στόχους που έχουμε θέσει, είτε μια κόκκινη ένδειξη, ότι η λύση δεν έχει βρεθεί ακόμη.

Τα παράθυρα κάτω από τον φάκελο Solutions στον View Explorer γίνονται πλέον ενεργά και μπορούμε να τα ανοίξουμε για να εξετάσουμε την λύση και το πώς θα μπορούσαμε να τη βελτιώσουμε.

Αρχικά εξετάζουμε κατά πόσο επιτεύχθηκαν οι στόχοι μας, ανοίγοντας το παράθυρο Goals από τον φάκελο Analysis.



The screenshot shows the 'Goals' window in a software application. The window title is 'Nurse Scheduling Demo - Goals'. It has a menu bar (File, Edit, Scenario, View, Window, Help) and a toolbar. The main area is divided into several panes:

- Scenario Explorer:** Shows the current scenario 'Sofia Doda'.
- View Explorer:** Shows a tree view of the model structure, including 'Goals'.
- Goals Table:** A table with columns: Goal Name, Value, Active, Importance Factor, and Constrained.
- Goal Details:** A detailed view of the selected goal 'Minimize the salary cost', showing constraints and bound searches.
- Issues:** A table for reporting issues.

Goal Name	Value	Active	Importance Factor	Constrained
Minimize the salary cost	\$19.802	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
Maximize Shift Assignments	198 allocations	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
Minimize Allocation Unfairness	1.112 hours	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>

Name	Value
Constraints	Minimize the salary cost
Constrain max to	
Constrain min to	
With priority	
Bound Searches	
Best bound	
Worst bound	
Ignoring priorities under	Ignored

Name	Value
-Total Cost	\$19.802
-for Consultation	\$7.906
-for Emergency	\$11.896
-for Betsy	\$714
-for Cathy	\$884
-for Cindy	\$462
-for David	\$1.560
-for Dee	\$378
-for Isabelle	\$1.216
-for Jane	\$92
-for Janelle	\$264
-for Janice	\$884
-for Jemma	\$440
-for Joan	\$192
-for Jude	\$308

Εικόνα 8: Το παράθυρο επίτευξης στόχων

Όπως φαίνεται στην εικόνα 8, στο παράθυρο Goals βλέπουμε τους τρεις στόχους που έχουν τεθεί από τους προγραμματιστές, την τελική τιμή που πήρε ο κάθε στόχος μετά την επίλυση και στην τρίτη στήλη, αν ο στόχος είναι ενεργοποιημένος, δηλαδή αν η λύση βρέθηκε λαμβάνοντας υπόψη την επίτευξη του αντίστοιχου στόχου. Στην προκειμένη περίπτωση η λύση αναζητήθηκε ελαχιστοποιώντας το κόστος μισθοδοσίας και

μεγιστοποιώντας τον αριθμό των βαρδιών που ανατίθενται σε νοσηλευτές. Ο τρίτος στόχος της ελαχιστοποίησης της άδικης κατανομής των βαρδιών στο προσωπικό δεν ήταν ενεργός και επομένως δεν ελαχιστοποιήθηκε. Με τις υπόλοιπες πληροφορίες και λεπτομέρειες που δίνονται στο παράθυρο αυτό θα ασχοληθούμε ξανά αργότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Στο παράθυρο Assignments του φακέλου Solution βλέπουμε σε κάθε γραμμή μία βάρδια μίας κλινικής και σε κάθε στήλη έναν νοσηλευτή. Αν ο νοσηλευτής έχει τοποθετηθεί σε μία βάρδια, τότε υπάρχει το αντίστοιχο σύμβολο στο κελί της βάρδιας αυτής κάτω από το όνομά του, διαφορετικά το κελί είναι κενό.

Στο παράθυρο Department Assignments παρουσιάζεται κάθε βάρδια τόσες φορές, όσα και τα άτομα του προσωπικού που μπορούν να την καλύψουν και στην διπλανή στήλη, πόσα και ποια άτομα τελικά θα την καλύψουν. Εννοείται πως όλα αυτά είναι σε συμφωνία με τους αριθμούς (μέγιστο και ελάχιστο) απαιτούμενων νοσηλευτών ανά βάρδια, που καθορίστηκαν στο παράθυρο Demand by Shifts λίγο πιο πάνω. Επίσης, βλέπουμε στην στήλη Mandatory, αν η τοποθέτηση του νοσηλευτή στην συγκεκριμένη βάρδια είναι υποχρεωτική, προσκειμένου να καλυφθεί ο ελάχιστος αριθμός ατόμων που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών της κλινικής αυτή την ώρα, καθώς και τα προσόντα του νοσηλευτή που τον καθιστούν απαραίτητο για την βάρδια αυτή στην τελευταία στήλη.

Στο παράθυρο Worked hours μπορούμε να δούμε αθροιστικά τις ώρες που δουλεύει κάθε νοσηλευτής καθώς και το κόστος που προκύπτει για το νοσοκομείο.

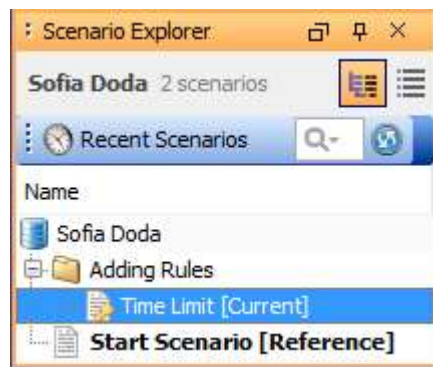
Το σενάριο που μόλις τρέξαμε αποθηκεύεται αυτόματα στο Workspace που δημιουργήσαμε και μετονομάσαμε στην αρχή της υποενότητας. Σε περίπτωση που κλείσουμε την εφαρμογή και την ανοίξουμε ξανά, εμφανίζεται πάλι ο δικός μας πάγκος εργασίας με όλα τα σενάρια μας. Αν ενδιάμεσα δημιουργήσουμε νέο πάγκο εργασίας, τότε μπορούμε να βρούμε τον παλιό μέσω της επιλογής File→Open Workspace. Δηλαδή όσα σενάρια δημιουργούμε, μόλις τα «τρέξουμε» αποθηκεύονται αυτόματα στο Workspace μας.

[Αντιγραφή σεναρίου και σωστή χρήση των κανόνων](#)

Το βασικό σενάριο που μόλις περιγράψαμε επιλύθηκε χωρίς να ληφθεί υπόψη ο τρίτος στόχος για δίκαιη κατανομή των βαρδιών σε όλο το προσωπικό. Το αποτέλεσμα είναι έντονα εμφανές αν ανοίξει κοιτάξει κανείς στο παράθυρο Worked hours τις τεράστιες διαφορές στις ώρες εργασίας ανάμεσα στο προσωπικό. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε

ότι η Πατρίτσια δουλεύει 120 ώρες, ενώ άλλες νοσηλεύτριες όπως η Ανν δεν δουλεύουν καθόλου.

Για να το διορθώσουμε αυτό δημιουργούμε έναν νέο φάκελο στον πάγκο εργασίας μας (δεξί κλικ στο Workspace→New Folder) και τον ονομάζουμε Adding Rules. Στην συνέχεια δημιουργούμε ένα αντίγραφο του αρχικού μας σεναρίου (δεξί κλικ στο Start Scenario→Duplicate Current Scenario), το ονομάζουμε Time Limit και το τοποθετούμε μέσα στον φάκελο Adding Rules. Πριν κάνουμε οποιαδήποτε αλλαγή στο νέο μας σενάριο, ορίζουμε το αρχικό μας σενάριο ως σενάριο αναφοράς (δεξί κλικ στο Start Scenario→Use as Reference). Δηλαδή με βάση αυτό θα γίνονται στη συνέχεια οι συγκρίσεις σεναρίων. Το πεδίο Scenario Explorer διαμορφώνεται όπως στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9: Νέα μορφή του Scenario Explorer

Στο νέο σενάριο Time Limit, ανοίγουμε το παράθυρο Global Rules και αλλάζουμε τον μέγιστο αριθμό ωρών ανά νοσηλεύτη σε 45. Αποθηκεύουμε, λύνουμε το σενάριο με την αλλαγή που κάναμε και στη συνέχεια επιλέγουμε και πάλι το παράθυρο των στόχων για να διαπιστώσουμε τις διαφορές. Αφού εμφανιστούν τα αποτελέσματα, ενεργοποιούμε την σύγκριση του Current σεναρίου με το Reference σενάριο (αριστερό κλικ στο εικονίδιο της μπάρας εργαλείων) και οι τιμές που διαφέρουν σε σχέση με το αρχικό σενάριο αναφοράς εμφανίζονται σε πορτοκαλί χρώμα, ενώ οι τιμές του αρχικού σεναρίου δίνονται στις παρενθέσεις δίπλα από τις νέες τιμές. Ενδεικτικά παρατίθεται η εικόνα που ακολουθεί.

Goal Name	Value	Active	Importance Factor	Constrained
Minimize the salary cost	\$24.038 (\$19.802)	<input checked="" type="checkbox"/>	1	
Maximize Shift Assignments	198 allocations	<input checked="" type="checkbox"/>	1	
Minimize Allocation Unfairness	412 hours (1.112 hours)	<input type="checkbox"/>	1	

Name	Value	Name	Value
Constraints	Minimize the salary cost	- Total Cost	24.038 (19.802)
Constrain max to		- for Consultation	9.328 (7.906)
Constrain min to		- for Emergency	14.710 (11.896)
With priority		- for Anne	\$450
Bound Searches		- for Bethanie	\$952
Best bound		- for Betsy	612 (714)
Worst bound		- for Cathy	476 (884)
Ignoring priorities under	Ignored	- for Cindy	252 (462)
		- for David	360 (1.560)
		- for Debbie	\$288
		- for Dee	630 (378)
		- for Gloria	\$650
		- for Isabelle	608 (1.216)
		- for Jane	598 (92)
		- for Janelle	660 (264)

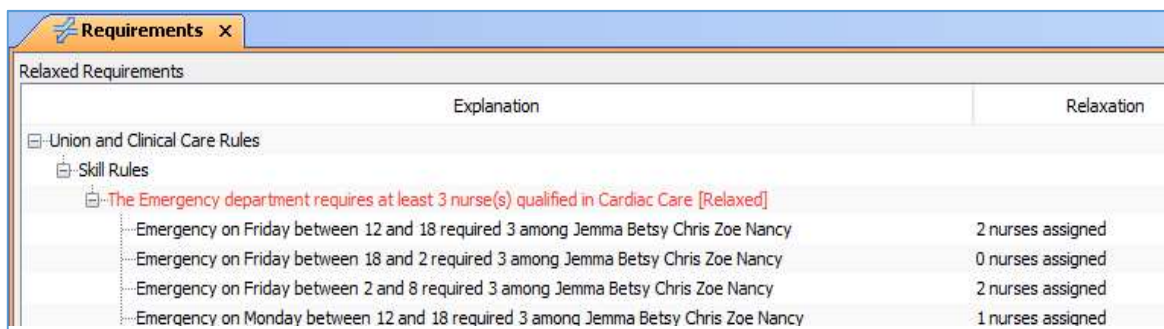
Εικόνα 10: Λύση σεναρίου Time Limit και σύγκριση με το Start Scenario

Παρατηρούμε ότι το μισθολογικό κόστος αυξήθηκε με τη νέα λύση, ενώ η νέα τιμή για την μείωση της άδικης ανισοκατανομής των βαρδιών είναι πολύ μικρότερη από πριν, λόγω του ότι κανένας νοσηλευτής δεν επιτρέπεται να εργαστεί πάνω από 45 ώρες. Με άλλα λόγια ένας από τους στόχους μας επιτεύχθηκε με λίγο χειρότερη τιμή, αλλά ο δεύτερος στόχος με πολύ καλύτερη τιμή. Το γεγονός αυτό είναι πιο έντονα εμφανές, αν ανοίξουμε το παράθυρο Worked hours και κοιτάξουμε και πάλι στη δεύτερη στήλη τις ώρες εργασίας ανά νοσηλευτή. Η κατανομή είναι σαφώς πιο δίκαιη.

Περισσότεροι κανόνες και Ανέφικτα προβλήματα

Με τον ίδιο τρόπο όπως παραπάνω, δημιουργούμε ένα αντίγραφο του σεναρίου Time Limit στον ίδιο φάκελο και το ονομάζουμε Skill Requirements. Στο νέο σενάριο επιλέγουμε το παράθυρο Union and Clinical Care Rules. Με δεξί κλικ δημιουργούμε έναν νέο φάκελο κανόνων (New Rule Folder) και τον ονομάζουμε Skill Rules. Με δεξί κλικ πάνω στον νέο μας φάκελο δημιουργούμε έναν νέο κανόνα της μορφής «The <Department > department requires at least <Number > nurse(s) qualified in <Skill >». Στο κάτω μέρος του παραθύρου μας δίνεται η δυνατότητα να διαλέξουμε κλινική, αριθμό νοσηλευτών και το προσόν που απαιτείται. Επιλέγουμε την κλινική Emergency και 3 νοσηλευτές με το προσόν Cardiac Care. Στην στήλη προτεραιότητα επιλέγουμε Medium. Επιλύουμε το πρόβλημα με τον νέο κανόνα και πιο συγκεκριμένα, περιμένουμε περίπου 15 δευτερόλεπτα πριν κλείσουμε το παράθυρο του Solver.

Στο παράθυρο Union and Clinical Care Rules βλέπουμε πως ο κανόνας που μόλις δημιουργήσαμε εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα και σε αγκύλες υπάρχει η ένδειξη Relaxed. Αυτό σημαίνει, πως η μέθοδος βελτιστοποίησης δε μπόρεσε να βρει λύσεις στην εφικτή περιοχή λύσεων, που να ικανοποιούν αυτόν τον κανόνα και έτσι τον αντιμετώπισε σαν χαλαρό περιορισμό, που η ικανοποίηση του δεν είναι απαραίτητη στο 100%. Η χαλάρωση που υπέστη ο νέος περιορισμός εξηγείται αναλυτικότερα στο παράθυρο Relaxed Requirements του φακέλου Analysis.



Explanation	Relaxation
-Emergency on Friday between 12 and 18 required 3 among Jemma Betsy Chris Zoe Nancy	2 nurses assigned
-Emergency on Friday between 18 and 2 required 3 among Jemma Betsy Chris Zoe Nancy	0 nurses assigned
-Emergency on Friday between 2 and 8 required 3 among Jemma Betsy Chris Zoe Nancy	2 nurses assigned
-Emergency on Monday between 12 and 18 required 3 among Jemma Betsy Chris Zoe Nancy	1 nurses assigned

Εικόνα 11: Αναλυτική περιγραφή της χαλάρωσης του κανόνα

Όπως φαίνεται στην εικόνα 11, προκειμένου να βρεθεί εφικτή λύση για το πρόβλημα βελτιστοποίησης, στις διάφορες βάρδιες της κλινικής Emergency (12-18, 18-02, 02-08 κτλ), από τα 5 άτομα που έχουν το προσόν Cardiac Care (Jemma, Betsy, Chris, Zoe και Nancy), αντί να τοποθετηθούν τουλάχιστον 3 σε κάθε βάρδια, σύμφωνα με τον κανόνα που δημιουργήσαμε, τοποθετήθηκαν από 0 έως 2 (στήλη Relaxation).

Η εφαρμογή μας υποδεικνύει ουσιαστικά το πρόβλημα και εμμέσως τις πιθανές λύσεις του. Με άλλα λόγια μας λέει ότι δεν υπάρχει εφικτή λύση που να ικανοποιεί αυτόν τον περιορισμό με τα υπάρχοντα δεδομένα του προβλήματος. Οπότε μας μένουν δυο επιλογές, είτε να αλλάξουμε τον κανόνα, είτε να αλλάξουμε τα δεδομένα. Επιλέγουμε την δεύτερη.

Ανοίγουμε το παράθυρο Skills και ταξινομούμε το προσωπικό με βάση το προσόν Cardiac Care, ώστε πάνω πάνω να εμφανίζονται όσοι έχουν το προσόν (Jemma, Betsy, Chris, Zoe και Nancy). Στη συνέχεια προσθέτουμε το προσόν και σε ακόμη 7 άτομα, για παράδειγμα στους: Cathy, Cecilia, Isabelle, Nathalie, Patrick, Roberta και Wendie. Τώρα το νοσοκομείο διαθέτει συνολικά 12 νοσηλευτές με το προσόν Cardiac Care. Λύνουμε το σενάριο ξανά και διαπιστώνουμε πως δεν χρειάστηκε καμία χαλάρωση κανενός περιορισμού και ο κανόνας που εισάγαμε πριν μπορεί πλέον να ικανοποιηθεί με ευκολία.

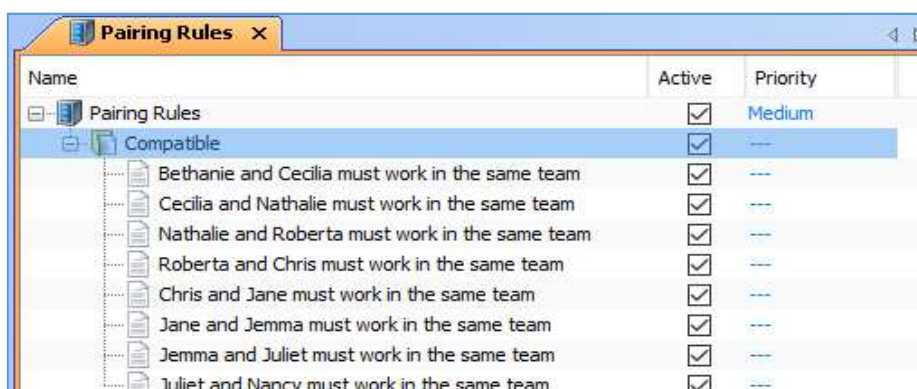
Ένας διαφορετικός τρόπος εισαγωγής κανόνων και αντιμετώπισης μη εφικτών λύσεων

Ομοίως με πριν δημιουργούμε ένα αντίγραφο του σεναρίου Skill Requirements, πάντα στον ίδιο φάκελο και το ονομάζουμε Conflict. Κατόπιν στο παράθυρο Nurses του νέου σεναρίου ταξινομούμε το προσωπικό με διπλό κλικ στην στήλη Qualification. Λογικά πρώτη εμφανίζεται η Bethanie και όγδοη η Juliet. Επιλέγουμε τις οκτώ πρώτες νοσηλεύτριες της πρώτης στήλης και απλά με copy-paste αποθηκεύουμε το περιεχόμενο σε ένα φύλλο excel. Στη συνέχεια επιλέγουμε ακόμη οκτώ άτομα ξεκινώντας από τη δεύτερη νοσηλεύτρια, τη Cecilia έως την ένατη, την Nancy και τις επικολλάμε στο ίδιο φύλλο excel στη διπλανή στήλη, όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα.

	A	B	C
1	Name	Name	
2	Bethanie	Cecilia	
3	Cecilia	Nathalie	
4	Nathalie	Roberta	
5	Roberta	Chris	
6	Chris	Jane	
7	Jane	Jemma	
8	Jemma	Juliet	
9	Juliet	Nancy	

Εικόνα 12: Αποθήκευση στοιχείων στο Excel

Από το φύλλο Excel επιλέγουμε αντιγραφή των 16 ονομάτων που καταχωρήσαμε στις δύο στήλες και επιστρέφουμε στην εφαρμογή, στο παράθυρο Pairing Rules. Ομοίως με πριν δημιουργούμε έναν νέο φάκελο κανόνων και τον ονομάζουμε Compatible. Με δεξί κλικ πάνω στον νέο μας φάκελο επιλέγουμε Paste Clipboard as Rules και στη συνέχεια “<Nurse 1 > and <Nurse 2 > must work in the same team”. Αυτόματα προστίθενται στον φάκελο οκτώ κανόνες για τα ζευγάρια νοσηλευτών που διαλέξαμε να δουλεύουν μαζί.



Εικόνα 13: Εισαγωγή οκτώ κανόνων μονομιάς

Λύνουμε το σενάριο με τους επιπλέον κανόνες και παρατηρούμε και πάλι ότι οι νέοι κανόνες γίνονται εν μέρη κόκκινοι, πράγμα που σημαίνει πως δεν υπάρχει εφικτή λύση που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που θέσαμε. Η εφαρμογή βρήκε όμως μια προτεινόμενη λύση, χαλαρώνοντας κάποιους περιορισμούς. Οι λεπτομέρειες χαλάρωσης των περιορισμών φαίνονται στο παράθυρο Requirements. Προκειμένου να βρεθεί λύση, η Νάταλι χάνει το ρεπό της Κυριακής, σε κάποιες βάρδιες αντί για τρεις έχουν τοποθετηθεί μόνο δύο νοσηλεύτές με το προσόν Cardiac Care και τα ζεύγη νοσηλευτών που ορίσαμε να δουλεύουν μαζί, δουλεύουν για κάποιες βάρδιες αναγκαστικά χώρια.

Σε αυτή την περίπτωση προκειμένου να βελτιώσουμε τη λύση μας, χρησιμοποιούμε ένα άλλο μέσο που μας παρέχει η εφαρμογή, την αλλαγή του βαθμού προτεραιότητας του κάθε περιορισμού, ώστε να δώσουμε προβάδισμα σε αυτόν που μας ενδιαφέρει περισσότερο, δυστυχώς σε βάρος των υπολοίπων. Για παράδειγμα, θεωρούμε ότι οι οκτώ κανόνες για τα επιθυμητά ζεύγη νοσηλευτών είναι πιο σημαντικοί από τους υπολοίπους και στο παράθυρο Requirements θέτουμε την τιμή της στήλης Priority στο Very High. Κάνοντάς το μόνο μια φορά στη σειρά Compatible, εφαρμόζεται η αλλαγή σε όλο τον φάκελο. Αναζητούμε εκ νέου μια λύση για το πρόβλημα και παρατηρούμε πως τα ζεύγη νοσηλευτών τηρούνται όπως ζητήθηκε. Για την ικανοποίηση όμως αυτού του περιορισμού, χαλάρωσαν κάποιοι άλλοι, όπως τα ρεπό για δύο νοσηλεύτριες το Σάββατο που δεν τα πήραν και το πλήθος νοσηλευτών για την βάρδια 18-02 της Δευτέρας, που αντί για 9 που απαιτούνται έγιναν 7.

Εισαγωγή επιπλέον προσωπικού

Αφού είδαμε διαφορετικούς τρόπους εισαγωγής κανόνων και παρέμβασης για βελτίωση της λύσης, προχωράμε στην δυνατότητα που παρέχει η εφαρμογή Nurse Demo για εισαγωγή επιπλέον νοσηλευτών.

Δημιουργούμε έναν ακόμη φάκελο στον πάγκο εργασίας μας με όνομα Demand και ένα αντίγραφο του σεναρίου Skill Requirements, το οποίο μεταφέρουμε στον νέο φάκελο και το ονομάζουμε Lot of Demand. Στο παράθυρο Demand by Shift αλλάζουμε τον μέγιστο και τον ελάχιστο αριθμό απαιτούμενων νοσηλευτών για την πρώτη βάρδια (πρώτη γραμμή) σε 50, σύμφωνα με την εικόνα που ακολουθεί.

	Department	Day	Start Time	End Time	Min Requirement	Max Requirement
1	Emergency	Monday	2:00 πμ	8:00 πμ	50	50
2	Emergency	Monday	8:00 πμ	12:00 μμ	4	7
3	Emergency	Monday	12:00 μμ	6:00 μμ	2	5
4	Emergency	Monday	6:00 μμ	2:00 πμ	3	7
5	Consultation	Monday	8:00 πμ	12:00 μμ	10	13
6	Consultation	Monday	12:00 μμ	6:00 μμ	8	12
7	Emergency	Tuesday	2:00 πμ	8:00 πμ	3	5
8	Emergency	Tuesday	8:00 πμ	12:00 μμ	4	7
9	Emergency	Tuesday	12:00 μμ	6:00 μμ	2	5

Εικόνα 14: Προσαρμογή των ρυθμίσεων του παραθύρου Demand by Shift

Λύνουμε το νέο μας σενάριο ζητώντας ουσιαστικά το αδύνατο, δηλαδή την τοποθέτηση 50 νοσηλευτών σε μία βάρδια τη στιγμή που συνολικά το προσωπικό αποτελείται από 32. Φυσικά η λύση προκύπτει με χαλάρωση αυτού του περιορισμού.

Συνεχίζουμε αυξάνοντας τον αριθμό των νοσηλευτών με έναν από τους τρεις διαθέσιμους τρόπους. Στο καινούριο σενάριο ανοίγουμε το παράθυρο Nurses και στον Scenario Explorer με δεξί κλικ στο σενάριο Lot of Demand, επιλέγουμε Import or Refresh Data From και στη συνέχεια Generate <count> random nurses. Στο παράθυρο που αναδύεται πληκτρολογούμε τον αριθμό 30, για να εισάγουμε 30 επιπλέον νοσηλευτές. Στο παράθυρο Nurses βλέπουμε τους νέους νοσηλευτές που προστέθηκαν και λύνουμε και πάλι το παραλλαγμένο σενάριο. Αυτή τη φορά η λύση προκύπτει άμεσα και μάλιστα χωρίς χαλάρωση σε κάποιον περιορισμό.

Πάγωμα μέρους της λύσης

Μία ακόμη δυνατότητα που παρέχει η εφαρμογή αυτή είναι η διατήρηση μέρους της λύσης και στην επόμενη λύση.

Για να δούμε πώς επιτυγχάνεται αυτό, δημιουργούμε ένα αντίγραφο του σεναρίου Skill Requirements, το μεταφέρουμε στον φάκελο Demand και το ονομάζουμε Freezing Data. Επιπλέον ορίζουμε το σενάριο Skill Requirements ως σενάριο αναφοράς.

Αναζητούμε τη λύση του νέου σεναρίου και κατόπιν ανοίγουμε το παράθυρο Nurse Schedules, στο οποίο βλέπουμε το ατομικό πρόγραμμα του νοσηλευτή που επιλέγουμε στο επάνω μέρος του παραθύρου. Ενδεικτικά παρατίθεται στην επόμενη εικόνα το πρόγραμμα της Cathy, η οποία δουλεύει 44 ώρες τη βδομάδα και έχει δύο μέρες ρεπό, την Τρίτη και την Πέμπτη.

Nurse Schedules x

Nurse :

Schedule :

Day	2 --> 8	2 --> 12	8 --> 12	12 --> 18	12 --> 20	18 --> 2	20 --> 2
Monday	Emergency		Emergency	Emergency			
Tuesday							
Wednesday	Emergency			Emergency			
Thursday							
Friday			Emergency	Emergency			
Saturday							
Sunday							Emergency

Day Off

Cathy

Qualification :

Seniority :

Pay Rate :

Worked hours :

Total Cost :

Εικόνα 15: Ατομικό πρόγραμμα της Cathy

Την Δευτέρα παρατηρούμε πως δουλεύει τρεις συνεχόμενες βάρδιες, κάτι ιδιαίτερα δύσκολο έως και παράνομο, ενώ το Σάββατο δεν δουλεύει καθόλου. Το πρόγραμμα των υπόλοιπων ημερών όμως είναι αποδεκτό και θέλουμε να παραμείνει όπως είναι. Τσε αυτή την περίπτωση επιλέγουμε τα κελιά ή και ολόκληρες ημέρες που μας εξυπηρετούν όπως είναι και με δεξί κλικ τα παγώνουμε, επιλέγοντας Freeze. Οι παγωμένες βάρδιες εμφανίζονται με απαλό κίτρινο χρώμα και μπορούμε να λύσουμε εκ νέου το ίδιο πρόβλημα, σίγουροι ότι τα παγωμένα κελιά θα παραμείνουν ίδια, κλειδωμένα. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε το αποτέλεσμα μετά το πάγωμα των ημερών με έως δύο βάρδιες τη μέρα.

Nurse Schedules x

Nurse :

Schedule :

Day	2 --> 8	2 --> 12	8 --> 12	12 --> 18	12 --> 20	18 --> 2	20 --> 2
Monday	Emergency		Emergency				
Tuesday							
Wednesday	Emergency			Emergency			
Thursday							
Friday			Emergency	Emergency			
Saturday							Emergency
Sunday							Emergency

Day Off

Cathy

Qualification :

Seniority :


Pay Rate :

Worked hours :

Total Cost :

Εικόνα 16: Ατομικό πρόγραμμα μετά το πάγωμα των αποδεκτών ημερών

Το πρόβλημα της Δευτέρας με τις τρεις βάρδιες εξαλείφθηκε και πλέον η νοσηλεύτρια εργάζεται ακριβώς τις ίδιες ώρες εβδομαδιαία, με το ίδιο μισθολογικό κόστος και τις ίδιες επιθυμητές μέρες ρεπό, ενώ ταυτόχρονα το πρόγραμμά της είναι πιο ανθρώπινο, με ξεκούραστα μοιρασμένες βάρδιες σε όλη την εβδομάδα.

Για να αντιληφθεί κανείς καλύτερα τις αλλαγές σε σχέση με πριν, φτάνει να πατήσει το κουμπί των διαφορών . Κάθε βάρδια εμφανίζεται στον νέο πίνακα δύο φορές, αριστερά η νέα τιμή και δεξιά η τιμή του σεναρίου αναφοράς. Συγκεκριμένα εδώ, το πρόγραμμα της Τετάρτης, της Παρασκευής και της Κυριακής, που τα είχαμε παγώσει έμειναν ίδια, ενώ οι τρεις βάρδιες της Δευτέρας έγιναν δύο και το Σάββατο προστέθηκε μία βάρδια 20-02.

Δημιουργία νέου σεναρίου βασισμένου σε υπάρχον

Εκτός από τη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφου ενός σεναρίου με την επιλογή Duplicate, υπάρχει και η δυνατότητα δημιουργίας ενός νέου σεναρίου με βάση κάποιο από τα υπάρχοντα.

Στον πάγκο εργασίας μας δημιουργούμε έναν νέο φάκελο με το όνομα June. Με δεξί κλικ στο σενάριο Skill Requirements επιλέγουμε Create a modified Scenario και στη συνέχεια Change the schedule period from <Day 1 > <Month 1 > <Year 1 > to <Day 2 > <Month 2 > <Year 2 >. Ένα νέο παράθυρο αναδύεται, για να προσδιορίσουμε το χρονικό διάστημα για το οποίο θέλουμε να βγάλουμε το νέο πρόγραμμα βαρδιών. Αλλάζουμε το χρονικό διάστημα σε δύο εβδομάδες, από 5 Ιουνίου μέχρι 18. Το νέο σενάριο που δημιουργήθηκε ονομάζεται June 2017 και ανήκει στον νέο φάκελο June. Πλέον το πρόγραμμά μας είναι δύο εβδομάδων, συνεπώς θα πρέπει ο κάθε νοσηλευτής να επιτρέπεται να δουλέψει τις διπλάσιες ώρες από πριν. Έτσι αλλάζουμε στο παράθυρο Global Rules τον μέγιστο αριθμό συνολικών ωρών εργασίας ανά νοσηλεύτη από 45 σε 90.

Λύνουμε το σενάριο και στο παράθυρο Goals κοιτάμε τα αποτελέσματα από την άποψη της επίτευξης των στόχων. Επιλέγουμε τον πρώτο στόχο (minimize the salary cost) και στο κάτω μέρος του παραθύρου, που δίνονται επιπλέον λεπτομέρειες, με δεξί κλικ επιλέγουμε την εύρεση ορίων (bound search). Στο παράθυρο που αναδύεται γίνεται η αναζήτηση του μέγιστου και του ελάχιστου δυνατού μισθολογικού κόστους για το συγκεκριμένο σενάριο. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται, αφού κλείσουμε το αναδυόμενο παράθυρο στο κάτω μέρος των λεπτομερειών. Βλέπουμε επομένως ακόμη μία δυνατότητα να ελέγχουμε για κάθε σενάριο, τα όρια του κόστους των μισθών του προσωπικού και πού σε σχέση με αυτά βρίσκεται η λύση μας.

Η εφαρμογή όμως δεν σταματάει σε αυτό, αλλά μας παρέχει τη δυνατότητα να παρέμβουμε στα όρια αυτά, θέτοντας ένα δικό μας περιορισμό για τον στόχο του κόστους των μισθών.

Πρόσθεση περιορισμού στον στόχο

Δημιουργούμε ένα ακόμη σενάριο, αντίγραφο του June 2017, το οποίο μετονομάζουμε σε 45000 Budget. Σε αυτό το σενάριο και στο παράθυρο Goals επιλέγουμε τον στόχο ελαχιστοποίησης του μισθολογικού κόστους και στις λεπτομέρειες πληκτρολογούμε 45000 δίπλα στο πεδίο Constrain max to. Ουσιαστικά με αυτή την αλλαγή, υποχρεώνουμε την μέθοδο βελτιστοποίησης, να αναζητήσει για το σενάριο μας αυτή την βέλτιστη λύση, για την οποία το κόστος των μισθών δεν ξεπερνάει τα 45.000 δολάρια. Επιπλέον δίνουμε στον περιορισμό που μόλις εισάγαμε, υψηλό βαθμό προτεραιότητας, θέτοντας στο πεδίο with Priority την επιλογή Very High. Η όψη του παραθύρου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Goal Name	Value	Active	Importance Factor	Constrained
Minimize the salary cost	\$47.658	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Maximize Shift Assignments	396 allocations	<input checked="" type="checkbox"/>	1	
Minimize Allocation Unfairness	924 hours	<input type="checkbox"/>	1	

Name	Value	Name	Value
Constraints		Minimize the salary cost	
Constrain max to	45.000	+ Total Cost	
Constrain min to			
With priority	Very High		
Bound Searches			
Best bound	47.662		
Worst bound	67.590		
Ignoring priorities under	Ignored		

Εικόνα 17: Διαμόρφωση του παραθύρου των στόχων, μετά την είσοδο του περιορισμού

Λύνουμε το σενάριο με τον νέο περιορισμό και διαπιστώνουμε ότι το κόστος των μισθών δεν ξεπερνάει τα 45.000 δολάρια (44.816\$). Με άλλα λόγια περιορίσαμε τον στόχο μας κάτω από ένα ανώτατο όριο της επιλογής μας. Αυτό όμως δεν γίνεται χωρίς να επηρεαστούν οι υπόλοιποι στόχοι ή περιορισμοί.

Ορίζουμε το σενάριο June 2017 ως σενάριο αναφοράς, προκειμένου να κάνουμε σύγκριση σεναρίων. Επιστρέφουμε στο σενάριο 45000 Budget και ενεργοποιούμε την σύγκριση σεναρίων στο ίδιο παράθυρο των στόχων. Είναι εμφανές πως ο στόχος που περιορίσαμε βελτιώθηκε, αφού το κόστος μισθοδοσίας μειώθηκε, αλλά παρατηρούμε πως ταυτόχρονα οι άλλοι δύο στόχοι χειροτέρευσαν. Δηλαδή η βελτίωση του ενός έγινε σε βάρος των άλλων δύο και περισσότερο πλήττεται η δίκαιη κατανομή των βαρδιών στο προσωπικό (από 924→1040).

Για την μείωση ανισοκατανομής των βαρδιών δημιουργούμε ένα αντίγραφο του σεναρίου 45000 Budget και το ονομάζουμε Improve Fairness. Επίσης ορίζουμε το σενάριο 45000 Budget ως Reference. Στο νέο σενάριο και στο παράθυρο των στόχων, ενεργοποιούμε τον στόχο Minimize Allocation Unfairness και τρέχουμε το νέο σενάριο. Το αποτέλεσμα είναι ελαφρώς βελτιωμένο σε σχέση με πριν. Δηλαδή καταφέραμε, χωρίς να παραβιαστεί ο περιορισμός που είχαμε εισάγει για τον στόχο του κόστους μισθοδοσίας, να βελτιώσουμε τον στόχο για δίκαιη κατανομή των βαρδιών.

Επειδή αυτή η βελτίωση είναι μικρή, συνεχίζουμε με αλλαγή του βαθμού προτεραιότητας του στόχου από 1 σε 10. Με αυτή την παρέμβαση μειώθηκε πλέον ικανοποιητικά η ανισοκατανομή των βαρδιών, ενώ ταυτόχρονα το κόστος μισθοδοσίας πληροί τον περιορισμό των 45.000 δολαρίων που είχαμε θέσει.

Goal Name	Value	Active	Importance Factor	Constrained
Minimize the salary cost	\$45.000 (\$44.816)	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Maximize Shift Assignments	386 allocations	<input checked="" type="checkbox"/>	1	
Minimize Allocation Unfairness	912 hours (1,040 hours)	<input checked="" type="checkbox"/>	10 (1)	

Name	Value
Constraints	Minimize Allocation Unfair...
Constrain max to	
Constrain min to	
With priority	
Bound Searches	
Best bound	
Worst bound	
Ignoring priorities under	Ignored

Name	Value
fairness	912 (1,040)

Εικόνα 18: Ταυτόχρονη επίτευξη και των δύο στόχων σε ικανοποιητικό βαθμό

5.3 Λύση προβλήματος με το λογισμικό ILOG CPLEX Optimization Studio

5.3.1 Εισαγωγή

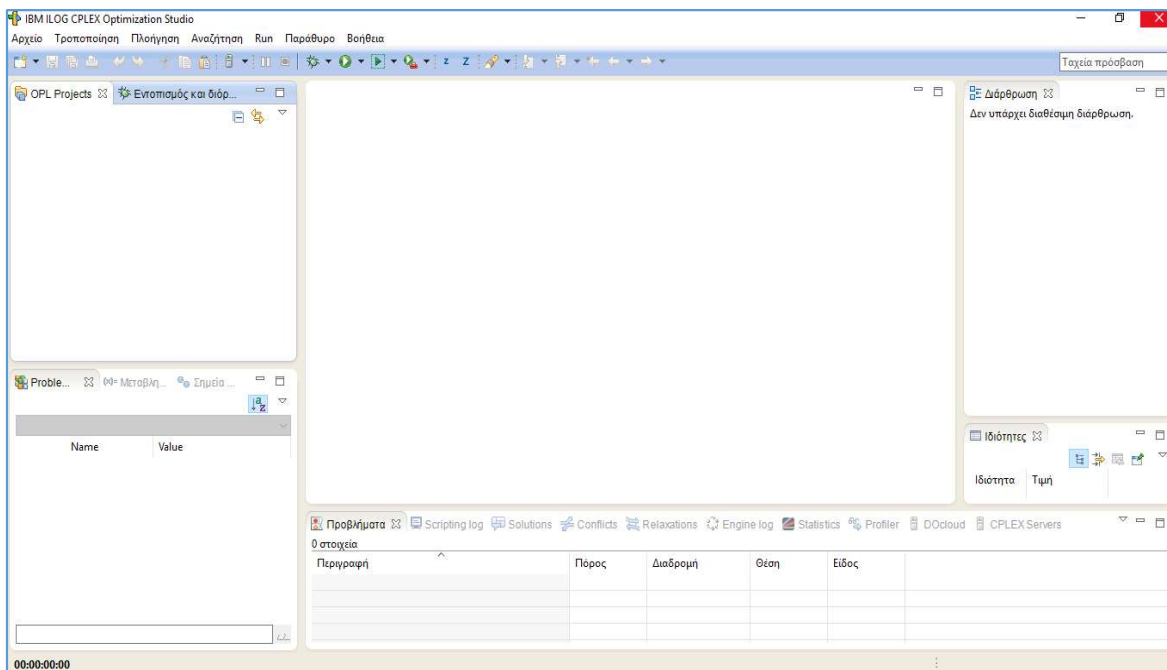
Το παράδειγμα των νοσηλευτών περιγράφει ένα ενδεικτικό πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού: το τμήμα διαχείρισης ανθρωπίνου δυναμικού του νοσοκομείου είναι υπεύθυνο για την διεξαγωγή των χρονοδιαγραμμάτων εργασίας των νοσηλευτών κάθε κλινικής. Ένα καλό πρόγραμμα βαρδιών είναι σίγουρα προϊόν βελτιστοποίησης, δηλαδή ένα πρόγραμμα που ικανοποιεί όσο περισσότερους συνολικούς στόχους του νοσοκομείου γίνεται. Αν κάποιοι από αυτούς τους στόχους αποδειχθούν ασυμβίβαστοι, η λύση συνίσταται στην εύρεση ενός εφικτού προγράμματος βαρδιών, ή όπως θα λέγαμε στην καθομιλουμένη, που να “κάνει την δουλειά του”. Οι στόχοι περιλαμβάνουν:

- ◆ Επάνδρωση κάθε κλινικής με τον απαιτούμενο αριθμό νοσηλευτών κάθε χρονική στιγμή
- ◆ Αντιστοίχιση του κατάλληλου προσωπικού ανάλογα με τα προσόντα του στα αντίστοιχα πόστα
- ◆ Προσδιορισμός ενός ελάχιστου και ενός μέγιστου αριθμού ωρών εργασίας ανά εβδομάδα
- ◆ Σωστή κατανομή των βαρδιών στους νοσηλευτές, ώστε να δουλεύουν όλοι περίπου τις ίδιες ώρες
- ◆ Υιοθέτηση κανόνων για την τοποθέτηση νοσηλευτών, που δουλεύουν αποτελεσματικά μαζί, στην ίδια βάρδια
- ◆ Διαμόρφωση του προγράμματος με βάση και τις επιθυμίες του προσωπικού για μέρες ρεπό
- ◆ Διατήρηση του κόστους μισθοδοσίας σε λογικά όρια

Πολλές φορές όπως έχει ήδη αναφερθεί, αρκετοί από τους στόχους αλληλοσυγκρούονται, όπως για παράδειγμα όταν λείπουν αρκετοί νοσηλευτές σε διακοπές. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η μηχανή αναζήτησης της λύσης μπορεί να μην βρίσκει καμία λύση. Κάτι φυσικά μη αποδεκτό για ένα νοσοκομείο, που χρειάζεται οπωσδήποτε ένα πρόγραμμα βαρδιών. Η μόνη λύση τότε είναι να επιλέξουμε, ποιοι στόχοι έχουν προτεραιότητα έναντι των υπολοίπων και να επιτρέψουμε έτσι την χαλάρωση τους αντίστοιχα.

5.3.2 Περιγραφή των στοιχείων του μοντέλου των νοσηλευτών

Ανοίγοντας κανείς την εφαρμογή, βλέπει το παράθυρο της παρακάτω εικόνας.



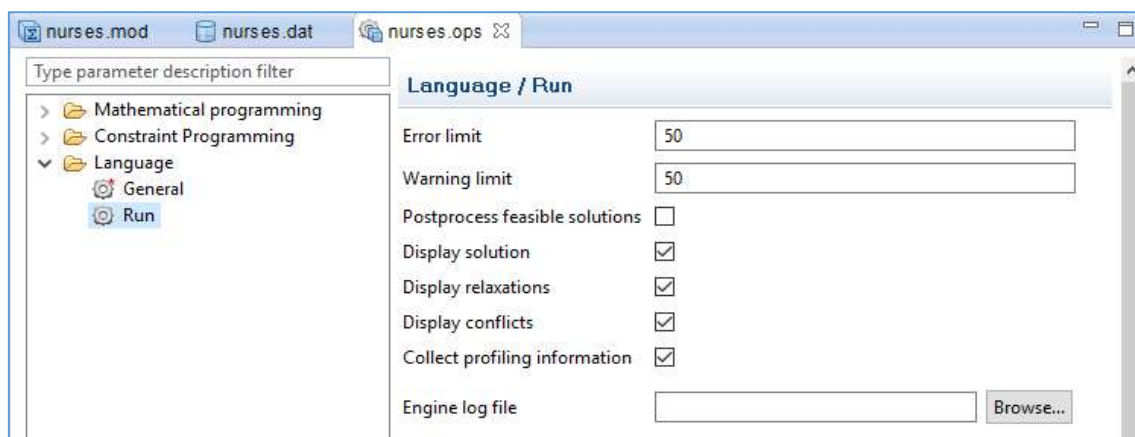
Εικόνα 19: Αρχικό περιβάλλον του CPLEX Optimization Studio

Στο λευκό κεντρικό παράθυρο εμφανίζονται τα αρχεία που επιλέγουμε να ανοίξουμε από τον πάγκο εργασίας μας, ο οποίος βρίσκεται πάνω δεξιά (OPL Projects), ενώ στο κάτω μέρος υπάρχουν διάφορες καρτέλες που μας δίνουν τα αποτελέσματα της λύσης.

Ανοίγουμε το παράδειγμα νοσηλευτικού προσωπικού (Αρχείο→Δημιουργία→Παράδειγμα→ IBM ILOG OPL Examples→στην κατηγορία Intermediate βρίσκουμε το παράδειγμα nurses). Στον πάγκο εργασίας εμφανίζεται το μοντέλο, που περιέχει τα τρία αρχεία: .dat, .mod., .opl. Το αρχείο .mod περιέχει ουσιαστικά το μοντέλο μας ενώ το .dat τα δεδομένα εισόδου που χρειάζεται το μοντέλο για να λειτουργήσει. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο συνίσταται από τα εξής στοιχεία: 1. τις νοσηλεύτριες, 2. τις βάρδιες, 3. τις ομάδες των νοσηλευτών, 4. τον μέγιστο αριθμό ωρών εργασίας ανά νοσηλευτή, 5. τις απαιτήσεις σε προσόντα, 6. τις κλινικές του νοσοκομείου, 7. τις διακοπές, 8. το απαιτούμενο προσωπικό, 9. τις ασυμφωνίες του κάθε τμήματος. Το αρχείο .dat περιέχει όλα αυτά τα δεδομένα και για πιο γρήγορη αναζήτηση, μόλις το ανοίξουμε, εμφανίζεται η διάρθρωση στη δεξιά μεριά του παραθύρου της εφαρμογής. Μέσω της διάρθρωσης μπορούμε κάθε στιγμή εύκολα και γρήγορα να οδηγούμαστε με ένα κλικ στο σημείο του κώδικα ή των δεδομένων που μας ενδιαφέρουν.

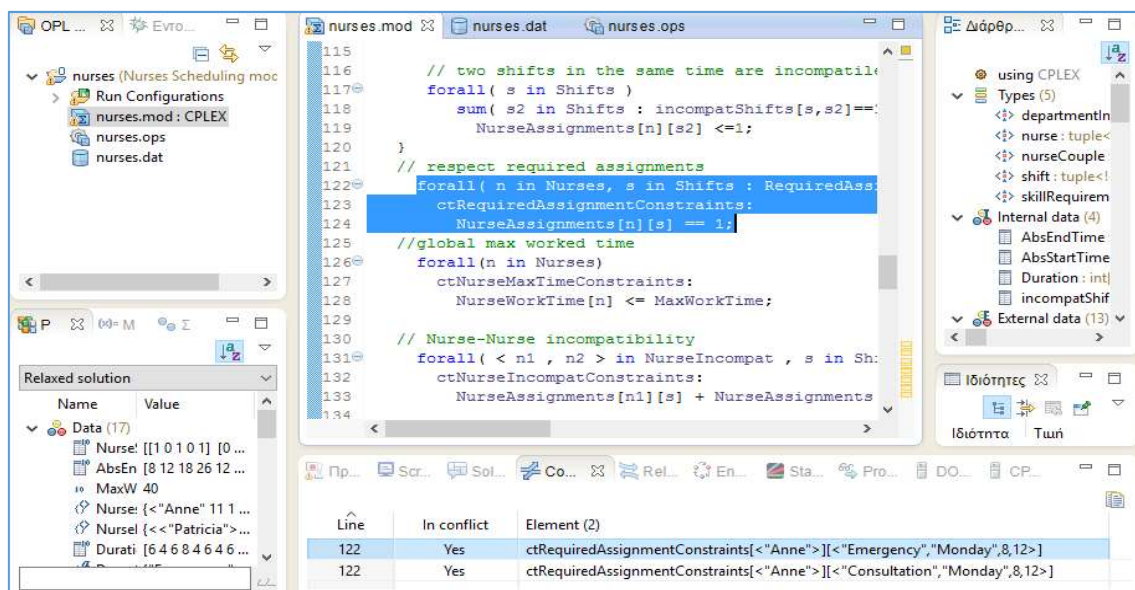
Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ήδη φτιαγμένο, ώστε να μην βρίσκει εφικτή λύση, προκειμένου μέσα από τις προτάσεις για χαλάρωση, τις αναφερόμενες συγκρούσεις των περιορισμών και γενικότερα τις δυνατότητες του λογισμικού, να βρούμε βήμα-βήμα μία αποδεκτή και εφαρμόσιμη λύση.

Πριν τρέξουμε το μοντέλο ανοίγουμε και το τρίτο αρχείο με κατάληξη .ops και ελέγχουμε αν στις ρυθμίσεις Language→Run τα στοιχεία Display relaxations και Display conflicts είναι επιλεγμένα, ώστε το πρόγραμμα να μας εμφανίσει τους αντικρουόμενους περιορισμούς και προτάσεις χαλάρωσης.

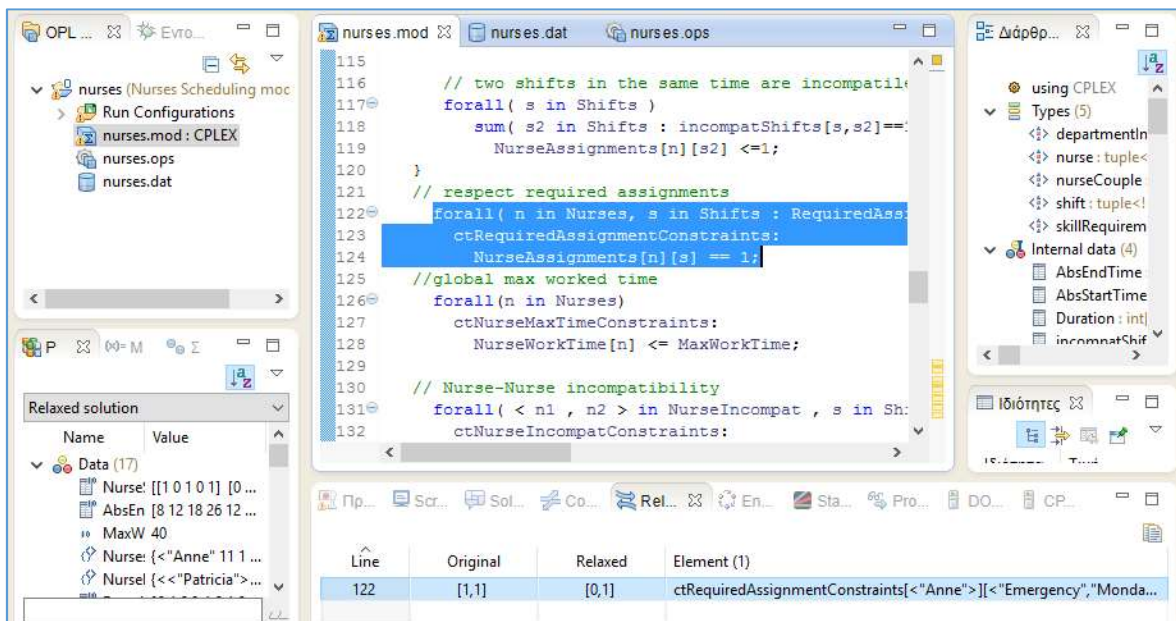


Εικόνα 20: Ρυθμίσεις για την εμφάνιση προτάσεων σε περίπτωση μη εφικτών λύσεων

Τρέχουμε το μοντέλο (δεξί κλικ στο project → Run → Basic configuration) και μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα εμφανίζονται στο κάτω μέρος της εφαρμογής οι συγκρούσεις και οι προτάσεις χαλάρωσης.



Εικόνα 21: Συγκρούσεις



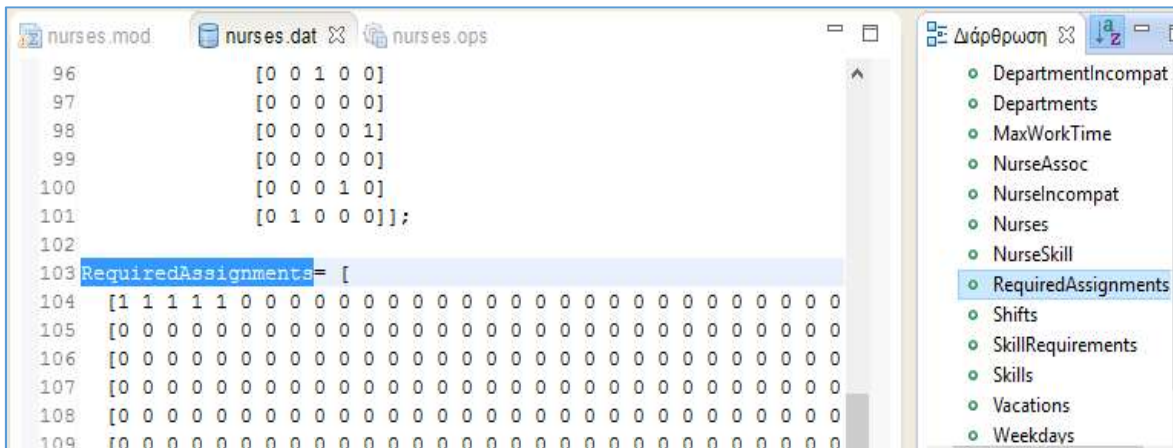
Εικόνα 22: Οι προτάσεις χαλάρωσης

Η προτεινόμενη χαλάρωση στο κάτω μέρος του παραθύρου υποδεικνύει την γραμμή του κώδικα στην οποία μπορεί να γίνει αλλαγή, εδώ 122, την τιμή που έχει τώρα το μέγεθος που θα πρέπει να αλλάξουμε, την προτεινόμενη τιμή χαλάρωσης και το στοιχείο που αφορά. Στην προκειμένη περίπτωση η χαλάρωση αφορά την αλλαγή των ορίων της παραμέτρου των απαιτούμενων ατόμων για μια βάρδια. Το όριο είναι [1,1] και προτείνεται να γίνει [0,1].

Αυτό συνεπάγεται ότι η ισότητα με ένα δεν θα είναι πλέον επιτακτική στο χαλαρωμένο μοντέλο και θα μπορεί να βρεθεί μια εφικτή λύση. Πρακτικά αν η Ανν δεν επιβάλλεται να δουλέψει την Δευτέρα 8 με 12, το μοντέλο μπορεί να λυθεί καταλήγοντας σε εφικτό πρόγραμμα βαρδιών.

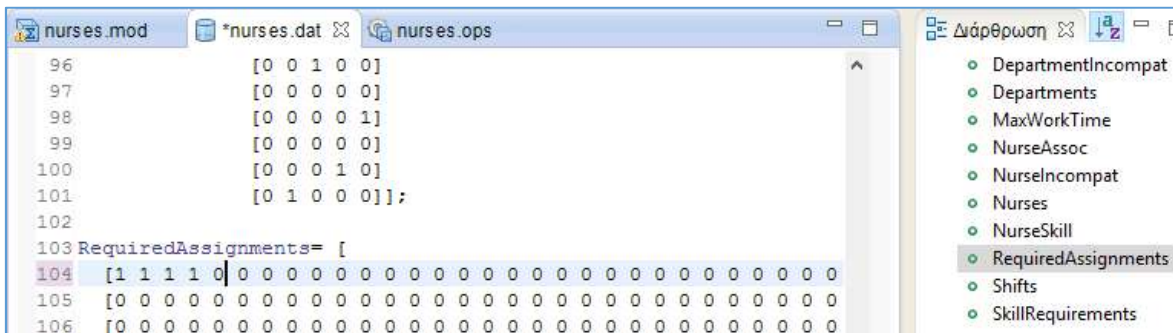
Επιστρέφοντας στην εικόνα 21 και στις συγκρούσεις, βλέπουμε ότι η εφαρμογή βρήκε τους δύο περιορισμούς που είναι ασυμβίβαστοι. Η Ανν δεν γίνεται να είναι ταυτόχρονα και στις δύο βάρδιες δύο διαφορετικών κλινικών. Πρέπει οπωσδήποτε μία από τις βάρδιες ή αλλιώς ένας από τους δύο αυτούς περιορισμούς των απαιτούμενων ατόμων για τις συγκεκριμένες βάρδιες να αλλάξει ή μάλλον να χαλαρωθεί. Εφόσον δεν υπάρχει άλλος περιορισμός, μόλις ξεπεραστεί η σύγκρουση αυτών, το μοντέλο θα βρει εφικτή λύση.

Για να χαλαρωθεί ο περιορισμός επιστρέφουμε στο αρχείο .dat και στον πίνακα, όπου δίνονται οι απαραίτητες τοποθετήσεις σε βάρδιες. Βρίσκουμε γρήγορα τον πίνακα, αν στην διάρθρωση πατήσουμε RequiredAssignments, όπως δείχνει η εικόνα 23.



Εικόνα 23: Απαιτούμενες τοποθετήσεις σε βάρδιες πριν την αλλαγή

Χαλαρώνουμε τον περιορισμό ή πιο συγκεκριμένα αλλάζουμε το στοιχείο [1,5] του πίνακα, από 1 σε 0. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 24 που ακολουθεί.



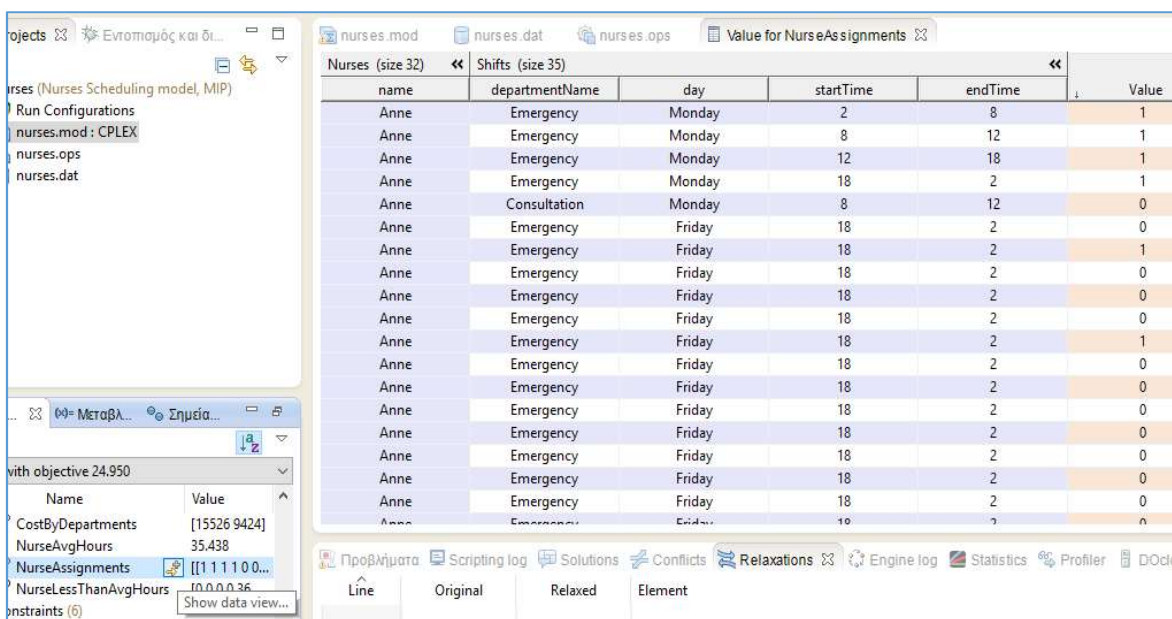
Εικόνα 24: Αλλαγή στοιχείου [1, 5] από 1 σε μηδέν

Ομοίως με πριν τρέχουμε την εφαρμογή για να δούμε τα νέα αποτελέσματα, αφού χαλαρώσαμε τον περιορισμό, για τις απαιτήσεις τοποθέτησης νοσηλευτών σε βάρδιες. Παρατηρούμε στο κάτω μέρος του παραθύρου στην ταμπέλα Solutions, ότι βρέθηκε η λύση με κόστος 24.950\$, ενώ οι ταμπέλες Conflicts και Relaxations είναι πλέον άδειες.



Εικόνα 25: Η λύση και οι άδειες ταμπέλες Conflicts-Relaxations

Για να δούμε το αποτέλεσμα στο πρόγραμμα βαρδιών, χρησιμοποιούμε τον Problem Browser (κάτω, στην αριστερή μεριά του παραθύρου της εφαρμογής), στον οποίο αναζητάμε στην στήλη Name το στοιχείο NurseAssignments. Μόλις ο κέρσορας ακουμπήσει το στοιχείο εμφανίζεται δίπλα του η επιλογή “Show data view”. Επιλέγοντάς την, ανοίγει ένα νέο παράθυρο με έναν πίνακα, στον οποίο βλέπουμε 35 φορές τον κάθε νοσηλευτή, μία για κάθε βάρδια, και στην τελευταία στήλη το ένα, αν ο νοσηλευτής έχει τοποθετηθεί στη βάρδια ή το μηδέν, όταν δεν έχει προγραμματιστεί να δουλέψει στη βάρδια αυτή.



name	departmentName	day	startTime	endTime	Value
Anne	Emergency	Monday	2	8	1
Anne	Emergency	Monday	8	12	1
Anne	Emergency	Monday	12	18	1
Anne	Emergency	Monday	18	2	1
Anne	Consultation	Monday	8	12	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	1
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	1
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0
Anne	Emergency	Friday	18	2	0

Εικόνα 26: Πίνακας κατανομής βαρδιών στο προσωπικό

Η Ανν βλέπουμε πως είναι τοποθετημένη στη βάρδια Emergency 8 με 12 (Value 1), ενώ δεν θα δουλέψει στη βάρδια Consultation 8 με 12 (Value 0).

Οι συγκρούσεις και οι χαλαρώσεις εκφράζουν την αδυναμία επίλυσης του μοντέλου με εφικτή λύση και προτείνουν τρόπους για την προσέγγιση μιας εφικτής λύσης. Η χαλάρωση είναι μια επαρκής ελάχιστη αλλαγή που καθιστά το μοντέλο εφικτά επιλύσιμο. Αναζητάει δηλαδή έναν τρόπο να κάνει τις παραμέτρους και τους περιορισμούς πιο ευέλικτους, ώστε το πρόβλημα να είναι εφικτό, έχοντας πάντα ως στόχο, να μειώσει τις μεταβολές στο ελάχιστο δυνατό.

Αξίζει να σημειωθεί, πως όταν χιτίζουμε ένα μοντέλο στο CPLEX Optomization Studio, είναι στο χέρι μας να εκμεταλλευτούμε τη δυνατότητα του προγράμματος να εντοπίζει τις συγκρούσεις και να προτείνει χαλαρώσεις, ονοματίζοντας τους περιορισμούς που εισάγουμε στο μοντέλο μας. Η εφαρμογή δεν λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς που

δόθηκαν στο σύστημα χωρίς ονοματοδοσία και επομένως δεν βρίσκει τους συγκρουόμενους περιορισμούς και δεν μπορεί να προτείνει σωστές χαλαρώσεις.

5.4 Λύση προβλήματος με πραγματικά δεδομένα με το λογισμικό DOC

5.4.1 Εισαγωγή

Αφού αναλύσαμε διεξοδικά τις δυνατότητες του λογισμικού DOC, επιχειρήσαμε να εισάγουμε δικά μας πραγματικά δεδομένα από την ουρολογική κλινική ενός ελληνικού ιδιωτικού νοσοκομείου. Ουσιαστικά προσπαθήσαμε να προσαρμόσουμε τα δεδομένα εισόδου, ώστε να απεικονίζουν μια αντίστοιχη ελληνική νοσοκομειακή κατάσταση, καθώς το Nurse Demo που αναλύθηκε, στηρίζεται σε ξένα νοσοκομειακά περιβάλλοντα.

5.4.2 Περιγραφή διαμόρφωσης των δεδομένων εισόδου

Αρχικά δημιουργούμε ένα νέο αντίγραφο του Start Scenario και το ονομάζουμε Hospital. Στο αντίγραφο αυτό, στο παράθυρο Departments, με δεξί κλικ προσθέτουμε μια γραμμή, για να εισάγουμε μια νέα κλινική, την ουρολογική. Επίσης σβήνουμε τις δυο ήδη υπάρχουσες κλινικές. Στη συνέχεια στο παράθυρο Nurses καταχωρούμε τα οκτώ άτομα που εργάζονται στην ουρολογική κλινική του νοσοκομείου, με τα χρόνια προϋπηρεσίας στη στήλη Seniority, το επίπεδο σπουδών στη στήλη Qualification και ένα αναλογικό ποσοστό πληρωμών στην τελευταία επεξεργάσιμη στήλη. Σχετικά με το επίπεδο σπουδών, θεωρήσαμε ότι οι απόφοιτοι Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Νοσηλευτικής (ΤΕΙ Νοσηλευτικής) έχουν το δεύτερο επίπεδο σπουδών και στη στήλη Qualification μπήκε ο αριθμός 2, ενώ οι απόφοιτοι ΙΕΚ ή Τεχνικού Λυκείου με κατεύθυνση Νοσηλευτική, που είναι Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχουν τον αριθμό 1 στο αντίστοιχο πεδίο του πίνακα. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα εισόδου είναι αυτά του πίνακα της εικόνας που ακολουθεί.

Name	Seniority	Qualification	Pay Rate
Petros	6	2	50
Ioanna	7	2	50
Athina	7	2	50
Euaggelia	5	2	50
Aliki	4	2	50
Aggeliki	3	1	40
Michalis	5	1	40
Katerina	4	1	40

Εικόνα 27: Δεδομένα εισόδου από Excel στο παράθυρο Nurses

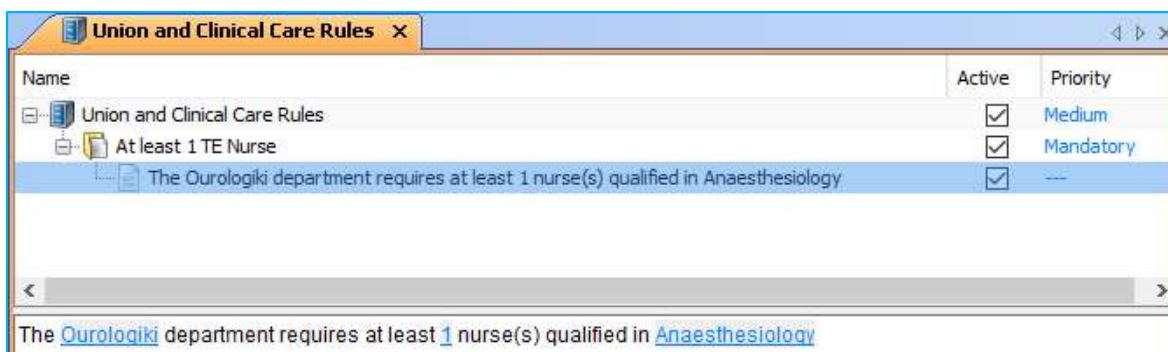
Μόλις καταχωρηθούν οι παραπάνω αλλαγές, βλέπουμε πως αυτόματα προσαρμόζεται σε αυτές το παράθυρο Days off, στο οποίο μπορούμε τώρα να επιλέξουμε ποιες μέρες θα έχει ρεπό ο κάθε νοσηλευτής. Επιλέξαμε δυο μέρες την εβδομάδα για κάθε εργαζόμενο και μάλιστα συνεχόμενες, όπως φαίνεται παρακάτω.

Nurse	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Petros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ioanna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Athina	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Euaggelia	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aliki	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aggeliki	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Michalis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Katerina	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 28: Διαμόρφωση του παραθύρου Day Off

Ομοίως προσαρμοσμένο εμφανίζεται και το παράθυρο Skills, στο οποίο επιλέξαμε για δικούς μας λόγους ευκολίας και εκμετάλλευσης των κανόνων αργότερα, το προσόν Anaesthesiology για όλους όσους έχουν επίπεδο σπουδών TE (δηλαδή είναι απόφοιτοι TEI) και κανένα προσόν για τους τρεις ΔΕ νοσηλευτές (Αγγελική, Μιχάλης, Κατερίνα). Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τον έτοιμο κανόνα του παραδείγματος, που επιβάλλει έναν ελάχιστο αριθμό νοσηλευτών με ένα συγκεκριμένο προσόν ανά βάρδια για μία κλινική. Διαμορφώσαμε λοιπόν έναν κανόνα στην κατηγορία Union and Clinical Care Rules, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι σε κάθε βάρδια της κλινικής θα υπάρχει τουλάχιστον ένα άτομο από TEI και ποτέ δεν θα καλυφθεί βάρδια, μόνο από αποφοίτους ΔΕ, όπως προστάζει ο εσωτερικός κανονισμός του νοσοκομείου.

Ουσιαστικά εξισώσαμε το προσόν Anaesthesiology με το προσόν απόφοιτος ΤΕΙ. Η μορφή του κανόνα φαίνεται στην επόμενη εικόνα μαζί με την προτεραιότητα που του δόθηκε (Mandatory=Υποχρεωτικός).



Εικόνα 29 Ο κανόνας για την κάλυψη των βαρδιών με τουλάχιστον έναν απόφοιτο ΤΕΙ

Σειρά έχει η διαμόρφωση των βαρδιών στο παράθυρο Demand by Shifts. Οι βάρδιες των αρχικών δύο κλινικών διαγράφηκαν και εισάγαμε 21 νέες βάρδιες, τρεις οχτάωρες για κάθε ημέρα της εβδομάδας. Όπως είναι γνωστό, στην Ελλάδα οι βάρδιες είναι σχεδόν πάντα οι εξής τρεις: Πρωί 07:00 με 15:00, Απογευμα 15:00 με 23:00, Νύχτα 23:00 με 07:00. Τα άτομα που χρειάζονται για την σωστή κάλυψη της κάθε βάρδιας είναι από 3 έως 4 για την πρωινή βάρδια, από 2 έως 3 για την απογευματινή και από 1 έως 2 για τη νυχτερινή. Έτσι συμπληρώθηκε και το παράθυρο των βαρδιών με τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

	Department	Day	Start Time	End Time	Min Requirement	Max Requirement
1	Ourologiki	Monday	7:00 πμ	3:00 μμ	3	4
2	Ourologiki	Monday	3:00 μμ	11:00 μμ	2	3
3	Ourologiki	Monday	11:00 μμ	7:00 πμ	1	2
4	Ourologiki	Tuesday	7:00 πμ	3:00 μμ	3	4
5	Ourologiki	Tuesday	3:00 μμ	11:00 μμ	2	3
6	Ourologiki	Tuesday	11:00 μμ	7:00 πμ	1	2
7	Ourologiki	Wednesday	7:00 πμ	3:00 μμ	3	4
8	Ourologiki	Wednesday	3:00 μμ	11:00 μμ	2	3
9	Ourologiki	Wednesday	11:00 μμ	7:00 πμ	1	2
10	Ourologiki	Thursday	7:00 πμ	3:00 μμ	3	4
11	Ourologiki	Thursday	3:00 μμ	11:00 μμ	2	3

Εικόνα 30: Διαμόρφωση βαρδιών σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα

Μια ακόμη αλλαγή αφορά τον κανόνα του μέγιστου αριθμού ωρών εργασίας τη βδομάδα ανά νοσηλευτή. Τον θέτουμε στις 40 ώρες και αφήνουμε τον ελάχιστο στο 0.

Επιπλέον για να αποφύγουμε την ανισοκατανομή των βαρδιών στο προσωπικό και να εξασφαλίσουμε ότι όλοι θα δουλέψουν περίπου τις ίδιες ώρες, δίνουμε βαρύτητα στον τρίτο στόχο, του παραθύρου Goals, ενεργοποιώντας τον και ρυθμίζοντας τον παράγοντα σημαντικότητας στο 10 (Importance factor→10).

5.4.3 Εύρεση εφικτής βέλτιστης λύσης του νέου σεναρίου

Τρέχουμε το νέο μας σενάριο και βλέπουμε πως υπάρχουν περιορισμοί που χαλαρώθηκαν. Συγκεκριμένα, υπάρχουν πρωινές βάρδιες που δεν καλύπτονται με τρεις νοσηλευτές, που είναι ο ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων ατόμων, αλλά μόνο με δύο. Αυτός ο περιορισμός είναι προφανώς ήδη καταχωρημένος από τους προγραμματιστές του παραδείγματος και μέχρι τώρα δεν είχαμε πρόσβαση σε αυτόν από κανένα μενού της εφαρμογής. Στο παράθυρο Requirements λοιπόν, εμφανίζονται οι κανόνες που θίγονται, ακόμη και αν δεν ανήκουν σε αυτούς που διαμορφώσαμε εμείς. Μας δίνεται επομένως η ευκαιρία να αλλάξουμε την προτεραιότητα του κανόνα, πως όλες οι βάρδιες πρέπει να έχουν το ελάχιστο απαραίτητο προσωπικό κάλυψης, πράγμα που κάναμε, θέτοντας την προτεραιότητα Mandatory-υποχρεωτικός στον χαλαρωμένο κανόνα που εμφανίζεται στο παράθυρο Requirements.

Τρέχουμε και πάλι το σενάριο Hospital και αυτή τη φορά ο κανόνας για την σωστή κάλυψη των βαρδιών έχει ικανοποιηθεί. Δυστυχώς όμως ακόμη δεν βρέθηκε λύση χωρίς χαλάρωση, καθώς στο παράθυρο Requirements, υπάρχει ο περιορισμός του μέγιστου δυνατού αριθμού βαρδιών ανά νοσηλευτή τη βδομάδα. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή μας πληροφορεί ότι ο περιορισμός των 40ωρών που είχαμε θέσει, παραβιάστηκε δύο φορές, αφού η Αγγελική και ο Μιχάλης δουλεύουν 48 ώρες, προκειμένου να βγει το πρόγραμμα των βαρδιών.



Relaxed Requirements			
Explanation	Relaxation	Priority	
Global Rules		Medium	
The maximum number of hours worked by a nurse is 40		Medium	
for <"Aggeliki" 3 1 40>	48 hours worked	Medium	
for <"Michalis" 5 1 40>	48 hours worked	Medium	
Summary of changes to the model			
Explanation	Priority	Priority Modified	
Each shift should get its nurse requirements			<input type="checkbox"/>

Εικόνα 31: Αυτόματη χαλάρωση του κανόνα για έως 40 ώρες εργασίας από την εφαρμογή

Όσο και αν μειώσουμε την προτεραιότητα του κανόνα αυτού, η εφαρμογή δεν μπορεί να βρει τη βέλτιστη λύση, επειδή το πρόβλημα που λύνουμε κάθε φορά δεν είναι εφικτό. Αλλάζουμε τον περιορισμό των ωρών εργασίας εβδομαδιαία από 40 σε 48 και λύνουμε ξανά το σενάριο. Τώρα πλέον δεν υπάρχει ανάγκη για χαλάρωση περιορισμών και η εφαρμογή μας επιστρέφει την ευρεθείσα λύση ως βέλτιστη.

Αν κοιτάξουμε στο παράθυρο Worked hours, διαπιστώνουμε ότι η αλλαγή του κανόνα δεν άλλαξε ουσιαστικά την λύση, αφού και πάλι όλοι οι νοσηλευτές δουλεύουν 40 ώρες πλην της Αγγελικής και του Μιχάλη, που δουλεύουν 48. Απλά την έκανε εφικτή και βέλτιστη, εφόσον πλέον είναι σε συμφωνία με τους περιορισμούς.

5.4.4 Ανάλυση και βελτίωση της λύσης

Το πραγματικό πρόβλημα έγινε εφικτό και λύθηκε βέλτιστα με τη βοήθεια του λογισμικού DOC, όπως όμως είδαμε ήδη στην ανάλυση του έτοιμου παραδείγματος, υπάρχουν και άλλα παράθυρα που πρέπει να ελέγξουμε, για να δούμε κατά πόσο η λύση μας είναι πρακτικά εφαρμόσιμη.

Στο παράθυρο Assignments βλέπουμε όλες τις βάρδιες (γραμμές πίνακα) και όλους τους νοσηλευτές (στήλες πίνακα), ενώ τα στοιχεία του πίνακα είναι είτε το κενό, όταν ο νοσηλευτής δεν έχει τοποθετηθεί στη συγκεκριμένη βάρδια, είτε το σύμβολο ✓, όταν ο νοσηλευτής έχει τοποθετηθεί στη βάρδια. Στον πίνακα αυτόν είναι εμφανές, ότι υπάρχουν νοσηλευτές που καλούνται να καλύψουν από δύο έως και τρεις συνεχόμενες βάρδιες, όπως για παράδειγμα η Ιωάννα που την Τετάρτη είναι τοποθετημένη και στις τρεις βάρδιες.

Department	Day	Start Time	End Time	Petros	Ioanna	Athina	Euaggelia	Aiki	Aggeliki	Michalis	Katerina
Ourologiki	Monday	7	15				✓		✓	✓	
Ourologiki	Monday	15	23				✓		✓		
Ourologiki	Monday	23	7	✓							
Ourologiki	Tuesday	7	15					✓	✓	✓	
Ourologiki	Tuesday	15	23					✓	✓		
Ourologiki	Tuesday	23	7					✓			
Ourologiki	Wednesday	7	15		✓					✓	✓
Ourologiki	Wednesday	15	23		✓						✓
Ourologiki	Wednesday	23	7		✓						
Ourologiki	Thursday	7	15	✓		✓					✓
Ourologiki	Thursday	15	23	✓						✓	
Ourologiki	Thursday	23	7		✓						
Ourologiki	Friday	7	15	✓		✓					✓
Ourologiki	Friday	15	23	✓				✓			
Ourologiki	Friday	23	7		✓						
Ourologiki	Saturday	7	15			✓		✓			✓
Ourologiki	Saturday	15	23				✓		✓		
Ourologiki	Saturday	23	7				✓				
Ourologiki	Sunday	7	15			✓				✓	✓
Ourologiki	Sunday	15	23				✓			✓	
Ourologiki	Sunday	23	7			✓					

Εικόνα 32: Πρόγραμμα βαρδιών χωρίς βελτίωση

Στην Ελλάδα που οι βάρδιες είναι διαμορφωμένες σε οχτάωρα, στόχος ενός προγράμματος εργασίας είναι το προσωπικό να ξεκουράζεται μετά από κάθε βάρδια και μάλιστα όσο πιο πολύ γίνεται (κανονικά 11 ώρες). Ειδικά μετά από νυχτερινή βάρδια, ο νοσηλευτής επιβάλλεται να ξεκουραστεί για δύο οχτάωρα, αφού οι 11 ώρες είναι πάνω από μία βάρδια και λιγότερο από δύο. Μπορεί δηλαδή να εργαστεί είτε και πάλι την νύχτα, είτε το πρωί της επομένης. Επιπλέον μετά από δύο συνεχόμενες νυχτερινές βάρδιες πρέπει να πάρει ρεπό (24 ώρες ξεκούρασης).

Δυστυχώς τέτοιου είδους κανόνες δεν μπορούν να εισαχθούν ξεκάθαρα στο έτοιμο παράδειγμα της εφαρμογής του DOC που χρησιμοποιούμε. Εδώ απαιτούνται γνώσεις προγραμματιστή και ανάπτυξη νέου παραδείγματος, που να εμπεριέχει τους κανόνες αυτούς από την αρχική σχεδίασή του.

Αυτό που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η δυνατότητα Freeze που αναλύσαμε στην παράγραφο 5.2.3 Πάγωμα μέρους της λύσης. Ανοίγουμε το παράθυρο Nurse Schedules και για την πρώτη νοσηλεύτρια Αγγελική, παγώνουμε τις βάρδιες που είναι σωστές και τρέχουμε το σενάριό μας. Με πολλές δοκιμές προσπαθούμε να φτιάξουμε το πρόγραμμα παγώνοντας τις βάρδιες που είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις μας για κάθε νοσηλευτή και αφήνοντας το λογισμικό να βρει τα υπόλοιπα.

The screenshot shows the 'Nurse Schedules' window. At the top, there is a dropdown menu for 'Nurse' with 'Athina' selected. Below this is a table titled 'Schedule' with columns for 'Day', '7 --> 15', '15 --> 23', and '23 --> 7'. The rows represent the days of the week from Monday to Sunday. The '7 --> 15' and '23 --> 7' columns are highlighted in light blue, indicating 'Day Off'. The '15 --> 23' column is empty. The '7 --> 15' and '23 --> 7' columns contain the text 'Ourologiki' in yellow cells. To the right of the table is a summary panel for 'Athina' with the following fields:

- Qualification: 2
- Seniority: 7
- Pay Rate: 50
- Worked hours: 40 h
- Total Cost: \$ 2,000,00

At the bottom left of the window, there is a legend with a light blue square and the text 'Day Off'.

Εικόνα 33: Παράδειγμα παγώματος λύσης για την Αθηνά

Ένας άλλος τρόπος είναι με χρήση του παραθύρου Forced Assignments του φακέλου Departments. Στο παράθυρο αυτό έχουμε τη δυνατότητα να τοποθετήσουμε τους νοσηλευτές σε βάρδιες όπως θέλουμε εμείς και η τοποθέτηση εμφανίζεται ως πάγωμα στο παράθυρο Nurse Schedules. Δηλαδή η εφαρμογή ψάχνει για τη βέλτιστη λύση με δεδομένο ότι κάποιες βάρδιες θα είναι ακριβώς όπως δόθηκαν από τον χρήστη. Μπορούμε έτσι να επιβάλλουμε έμμεσα κάποιους επιπλέον κανόνες στο σύστημα.

Ένας έμπειρος προϊστάμενος κλινικής, για τον οποίο ο χρονοπρογραμματισμός του νοσηλευτικού προσωπικού αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία ρουτίνας, θα μπορούσε κάλλιστα να καταχωρήσει το πρόγραμμα για μια εβδομάδα στο παράθυρο Forced Assignments και να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για την αναπαραγωγή, τον έλεγχο της ορθότητας και για τις προτάσεις βελτίωσης του προγράμματός του. Επιπλέον μπορεί να βλέπει το κόστος για το νοσοκομείο και τους υπόλοιπους στόχους, να πειραματιστεί με αλλαγές, όταν κάποιος νοσηλευτής ζητήσει μεταγενέστερα να λείψει, καθώς και να εξάγει το αποτέλεσμα σε ηλεκτρονική μορφή, καθαρό, εύχρηστο και έτοιμο να μοιραστεί ως ένα απλό αρχείο excel ή html σε κάθε ενδιαφερόμενο στο κινητό του ή στο ηλεκτρονικό του ταχυδρομείο. Ένα παράδειγμα απλής αντιγραφής και επικόλλησης του τελικού μας προγράμματος από το παράθυρο Assignments σε ένα αρχείο excel, με λίγη επεξεργασία, φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Department	Day	Start Time	End Time	Petros	Ioanna	Athina	Euaggelia	Aliki	Aggeliki	Michalis	Katerina
Ourologiki	Monday	7	15	x	x					x	
Ourologiki	Monday	15	23				x		x		
Ourologiki	Monday	23	7					x			
Ourologiki	Tuesday	7	15	x	x					x	
Ourologiki	Tuesday	15	23					x	x		
Ourologiki	Tuesday	23	7	x							
Ourologiki	Wednesday	7	15			x				x	x
Ourologiki	Wednesday	15	23		x				x		
Ourologiki	Wednesday	23	7			x					
Ourologiki	Thursday	7	15	x			x				x
Ourologiki	Thursday	15	23		x					x	
Ourologiki	Thursday	23	7			x					
Ourologiki	Friday	7	15	x				x			x
Ourologiki	Friday	15	23		x		x				
Ourologiki	Friday	23	7	x							
Ourologiki	Saturday	7	15			x		x	x		
Ourologiki	Saturday	15	23				x				x
Ourologiki	Saturday	23	7					x			
Ourologiki	Sunday	7	15			x			x	x	
Ourologiki	Sunday	15	23				x				x
Ourologiki	Sunday	23	7					x			

Εικόνα 34: Ενδεικτικό πρόγραμμα βαρδιών μετά τη βελτίωση της λύσης

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Από τα πρώτα κιάλας θεωρητικά κομμάτια της εργασίας αντιλαμβάνεται κανείς ότι το συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα περίπλοκο και δυσεπίλυτο. Για την προσέγγιση και την μοντελοποίηση του έχουν επιστρατευτεί κατά καιρούς διάφορες τεχνικές και μέθοδοι βελτιστοποίησης, οι οποίες καταφέρνουν σε θεωρητικό επίπεδο να περιγράψουν σωστά και όσο πιο γενικά γίνεται το πρόβλημα, προσφέροντας ένα αποτέλεσμα μέσα από το οποίο μπορεί κανείς να κατανοήσει σε βάθος τις ιδιαιτερότητες του νοσοκομειακού περιβάλλοντος και τους αναρίθμητους περιορισμούς που αυτό θέτει.

Στην πράξη όλα τα θεωρητικά μοντέλα επιλύονται με αποτελέσματα αξιόλογα, που συμβάλλουν στην εξέλιξη των ερευνών πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Όταν έρχεται η ώρα της εφαρμογής των μοντέλων σε πραγματικά περιβάλλοντα παροχής υπηρεσιών υγείας, καταλήγουμε σε αναμόρφωση του μοντέλου και του τρόπου επίλυσης του προβλήματος. Η πρακτική εφαρμογή ενός έτοιμου μοντέλου επιλύει μονομερώς το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού. Τα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης και χρονοπρογραμματισμού προσωπικού είναι πολλά. Παρουσιάσαμε ένα μικρό κομμάτι τους ενδεικτικά και ασχοληθήκαμε πιο λεπτομερώς με δύο από αυτά.

Μέσα από τα έτοιμα μοντέλα των εφαρμογών για νοσοκομεία, ως ένας απλός χρήστης, εργαζόμενος στη διοίκηση του νοσοκομείου, που καλείται να τα εκμεταλλευτεί για να κερδίσει χρόνο, εντοπίσαμε δυσκολίες στην διεξαγωγή ενός προγράμματος που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς. Τα λογισμικά της IBM προσφέρουν φιλικά προς το χρήστη περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών, τα οποία απαιτούν όμως γνώσεις πάνω στον προγραμματισμό προκειμένου να φτιάξει κανείς ένα δικό του μοντέλο, που να έχει σχεδιαστεί από την αρχή λαμβάνοντας υπόψη όλους τους απαραίτητους περιορισμούς και κανόνες που αφορούν το δικό του περιβάλλον εργασίας.

Με άλλα λόγια τα έτοιμα μοντέλα, δεν είναι αρκετά ευέλικτα, με αποτέλεσμα ο χρόνος που απαιτείται για έναν προϊστάμενο κλινικής για να βγάλει ένα σωστά προσαρμοσμένο

πρόγραμμα στα πραγματικά δεδομένα της κλινικής του, να είναι σχεδόν ο ίδιος με αυτόν που χρειάζεται για να το κάνει μόνος του με το χέρι.

Είναι αδιαμφισβήτητη η προσφορά των λογισμικών στον χώρο του χρονοπρογραμματισμού νοσηλευτικού προσωπικού και όλα όσα υπόσχονται είναι επίσης εφικτά, αλλά όπως είδαμε στο 5^ο κεφάλαιο, δεν είναι προσαρμόσιμα και ευέλικτα, καθιστώντας αναγκαία την εξωτερική βοήθεια από κάποιον προγραμματιστή, που θα αναπτύξει με τα υπάρχοντα λογισμικά ένα άλλο Nurse Demo, σχεδιασμένο για τα πολύ συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του κάθε νοσοκομείου. Σε ποιο βαθμό οφείλει να είναι προγραμματιστικά καταρτισμένο ένα στέλεχος του τμήματος προσωπικού ή της διοίκησης γενικότερα ενός νοσοκομείου, είναι ένα καλό ερώτημα για περαιτέρω ανάλυση.

Σε κάθε περίπτωση μέσα από την μικρή έρευνά μας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στην αγορά μπορεί κανείς να βρει μια μεγάλη γκάμα εταιρειών ανάπτυξης αποτελεσματικών ολοκληρωμένων εφαρμογών χρονοπρογραμματισμού, που να μειώνουν τον χρόνο που σπαταλιέται για την διαμόρφωση του προγράμματος των βαρδιών, όπως και το λειτουργικό κόστος, καθώς και να προσφέρουν τη δυνατότητα σε ένα νοσοκομείο να παρέχει ένα υψηλό επίπεδο υπηρεσιών στους ασθενείς του, μέσω της αύξησης της παραγωγικότητας και της ικανοποίησης του προσωπικού, λαμβάνοντας υπόψη όλο και περισσότερο τις επιθυμίες του.

Βιβλιογραφία

- [BE04] Burke E. K. & Newall J. P., «Solving examination timetabling problems through adaptation of heuristic orderings», 2004
- [BE91] Bechtold E., Brusco M. J. & Showalter M. J., «A comparative evaluation of labour tour scheduling methods», 1991
- [CH03] Cheang B., Li H., Lim A. & Rodrigues B., «Nurse rostering problems – A bibliographic survey», 2003
- [BA15] Geetha Baskaran, Thesis «A Domain Transformation Approach for Addressing Staff Scheduling Problems», 2015
- [PS15] Pieter Smet, Thesis «Nurse Rostering: models and algorithms for theory, practice and integration with other problems», May 2015
- [EV13] Egbert van der Veen, Thesis « Personnel Preferences in Personnel Planning and Scheduling», November 2013
- [EM13] Ελένη Μπίκου, Μεταπτυχιακή εργασία «Ευρετικοί αλγόριθμοι τύπου σμήνους & αποικίας μυρμηγκιών», Απρίλιος 2013
- [BΔ14] Βασιλική Διαμάντη, Πτυχιακή εργασία «Το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού προσωπικού και τεχνικές επίλυσης»
- [LZ65] L.A.Zadeh., «Fuzzy Sets», 1965
- [WP00] Δικτυακός τόπος Wikipedia, *Τεχνητή Νοημοσύνη*
- [WP01] Δικτυακός τόπος Wikipedia, Evolutionary computation
- [ΧΓ09] Χρήστος Γκόγκος, Διδακτορική διατριβή «Αλγόριθμοι συνδυαστικής βελτιστοποίησης με έμφαση σε μεταευρετικές τεχνικές», Ιούνιος 2009
- [NT07] Νίκος Τσαντάς, «Προσδιοριστικές μέθοδοι επιχειρησιακής έρευνας», Μάιος 2007
- [ΣΔ17] Σοφία Δώδα, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία «Έλεγχος και ευστάθεια διασύνδεσης συστήματος με διεσπαρμένη παραγωγή και χρήση ευέλικτων συστημάτων ηλεκτρικής ισχύος», Φεβρουάριος 2017
- [ΤΑ00] Πιλοτικός εκπαιδευτικός δικτυακός τόπος του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του ΤΕΙ Αθηνών, « Προβλήματα βελτιστοποίησης»
- [ΕΜΠ1] Εκπαιδευτικός δικτυακός τόπος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Υλικό για το μάθημα « Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών»

- [ASC1] Δικτυακός τόπος ASC Timetables
- [IBM2] Δικτυακός τόπος IBM Knowledge center: ILOG CPLEX Optimization Center, Decision Optimization Center
- [SS03] Δικτυακός τόπος Snap Schedule
- [LVS1] Δικτυακός τόπος Lavisoft
- [HM01] Δικτυακός τόπος Humanity