

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

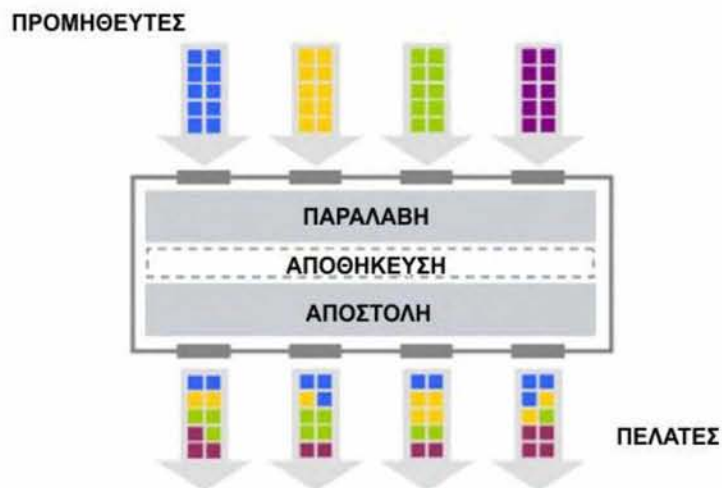
ΜΕΛΕΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΤΥΠΟΥ CROSS DOCKING

υπό

ΤΕΛΛΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Cross-Docking DC



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

2011

© 2011 Τέλλιος Αθανάσιος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει
αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Σαχαρίδης Γεώργιος
(Επιβλέπων) (Εκλεγμένος) Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος
 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης
 Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη του βέλτιστου σχήματος μιας εγκατάστασης τύπου cross docking μέσω της βελτιστοποίησης συγκεκριμένων αντικειμενικών συναρτήσεων.

Πιο συγκεκριμένα στο 1^ο Κεφάλαιο κάνουμε μια σύντομη ανάλυση για τα Logistics και τον τρόπο λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας, περιγράφουμε αναλυτικά την μέθοδο cross docking και πως αυτή λειτουργεί και αναλύουμε το γιατί το σχήμα μιας εγκατάστασης που εφαρμόζει την συγκεκριμένη μέθοδο, αποτελεί ένα κριτήριο διαφοροποίησης ανάμεσα στις εγκαταστάσεις.

Στο 2^ο Κεφάλαιο θα γίνει η αναλυτική παρουσίαση κάθε σχήματος που έχουμε συναντήσει έως τώρα καθώς και ενός νέου σχήματος που θα μπορούσε να αποτελέσει μια εναλλακτική πρόταση. Σχεδιάσαμε εγκαταστάσεις εφαρμόζοντας τους εκάστοτε χωροταξικούς περιορισμούς για κάθε σχήμα, προκύπτοντας έτσι η 1^η σειρά σχημάτων. Όμως για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για να συγκρίνουμε τα σχήματα μεταξύ τους προχωρήσαμε στην επανασχεδίαση των εγκαταστάσεων, χαλαρώνοντας τους περιορισμούς ελαχίστων τιμών (χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες τιμές) δημιουργώντας έτσι όμοιες εγκαταστάσεις ως προς το μέγεθος τους.

Στο 3^ο Κεφάλαιο θα αναλυθεί τα μαθηματικά μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να προκύψουν τα αριθμητικά αποτελέσματα που θα μας δώσουν την δυνατότητα να ορίσουμε το βέλτιστο σχήμα με βάση της παραμέτρους που αυτά εξετάστηκαν.

Στο 4^ο Κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε ένα από τα σχήματα, θα συγκριθούν μεταξύ τους και θα προκύψει και η βέλτιστη εγκατάσταση.

Τέλος στο 5^ο και τελευταίο Κεφάλαιο έχουμε τον επίλογο και μια σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση για κάθε σχήμα που εξετάστηκε.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, υπό την επίβλεψη του Δρ. Γεώργιου Κ.Δ. Σαχαρίδη. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Σαχαρίδη Γεώργιο καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο που ανταποκρίνεται απολύτως στα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης. Επίσης ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής, τους κυρίους Δρ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, καθηγητή και Δρ. Γεώργιο Κοζανίδη, καθηγητή, για την αποτελεσματική συνεργασία και συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους φίλους μου που πίστεψαν σε μένα και με ενθάρρυναν σε κάθε στάδιο των σπουδών μου, καθώς και όσους συναδέλφους συμφοιτητές συνέβαλαν με τα σχόλια, την κριτική και τις γνώσεις τους στην αντιμετώπιση των δυσκολιών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς την οικογένειά μου και κυρίως τους γονείς μου Βαίιο και Πηνελόπη για την διαχρονική συμπαράστασή τους και την υλική και ηθική στήριξη των επιλογών μου.

*Στα αγαπημένα πρόσωπα που
έφυγαν τόσο νωρίς...*

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

IDs	Θύρα Εισόδου
ODs	Θύρα Εξόδου
ITs	Εισερχόμενα Φορτηγά
OTs	Εξερχόμενα Φορτηγά

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο.....	17
1.1 Logistic και εφοδιαστική αλυσίδα.....	18
1.2 Περιγραφή της μεθόδου Cross Docking - Βιβλιογραφία.....	20
1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	23
1.4 Το σχήμα ως βασικό στοιχείο διαφοροποίησης των εγκαταστάσεων Cross Docking...	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο.....	29
2.1 Βασικοί κανόνες σχεδίασης του σχήματος μιας εγκατάστασης Cross Docking	30
2.2 Σχήμα “Γ”.....	32
2.3 Σχήμα “Π ή U”	34
2.4 Σχήμα “L”	36
2.5 Σχήμα “H”	38
2.6 Σχήμα “T”	39
2.7 Σχήμα “O”.....	41
2.8 Σύγκριση Εμβαδού Αρχικών Σχημάτων – Επανασχεδιασμός Εγκαταστάσεων.....	43
2.8.1 Νέο Σχήμα “Γ”	44
2.8.2 Νέο Σχήμα “Π” ή “U”	45
2.8.3 Νέο Σχήμα “L”	45
2.8.5 Νέο Σχήμα “T”	46

2.8.6 Νέο Σχήμα “Ο”	47
2.9 Σύνοψη Κεφαλαίου	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο.....	49
3.1 Μαθηματικό μοντέλο για προκαθορισμένες θύρες εισόδου και εξόδου	50
3.1.1 Μοντέλο με προκαθορισμένες πόρτες εισόδου και πόρτες εξόδου	51
3.1.2 Περιορισμοί.....	54
3.2 Μαθηματικό μοντέλο όπου όλες οι θύρες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως θύρες εισόδου είτε ως θύρες εξόδου.....	57
3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο με ελεύθερες τις θύρες εισόδου και εξόδου	57
3.2.2 Περιορισμοί.....	60
3.2.3 Αντικειμενικές συναρτήσεις.....	66
3.3 Αριθμητικά δεδομένα	68
3.5 Επίλογος Κεφαλαίου	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο.....	71
4.1 Εισαγωγή.....	72
4.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την πρώτη σειρά σχημάτων και το πρώτο μαθηματικό μοντέλο.....	73
4.2.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την πρώτη σειρά σχημάτων	73
4.2.2 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης για την πρώτη σειρά σχημάτων	77

4.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την δεύτερη σειρά σχημάτων για το πρώτο μαθηματικό μοντέλο.....	81
4.3.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων.....	81
4.3.2 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων.....	85
4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την πρώτη σειρά σχημάτων για το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο.....	89
4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την δεύτερη σειρά σχημάτων για το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο.....	92
4.6 Συμπεράσματα.....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο.....	97
5.1 Επίλογος.....	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	101
Αριθμητικά Δεδομένα για το 1 ^ο Παράδειγμα	103
Αριθμητικά Δεδομένα για το 2 ^ο Παράδειγμα	105
Αριθμητικά Δεδομένα για το 3 ^ο Παράδειγμα	107
Αριθμητικά Δεδομένα για το 4 ^ο Παράδειγμα	109
Αριθμητικά Δεδομένα για το 5 ^ο Παράδειγμα	111
Αριθμητικά Δεδομένα για το 6 ^ο Παράδειγμα	113
Αριθμητικά Δεδομένα για το 7 ^ο Παράδειγμα	115
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ <i>di, m</i> ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	117

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	119
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2 ^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	121
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2 ^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	124
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνα 1.1, Σχηματική αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	18
Εικόνα 1.2, Τρόπος λειτουργίας μιας εγκατάστασης Cross Docking	20
Εικόνα 1.3, American Home Foods of Milton,στην Pennsylvania	21
Εικόνα 1.4, Κέντρο Διανομής της Wal-Mart στην πόλη Shelby	22
Εικόνα 1.5, Κέντρο Διανομής σχήματος ‘I’	25
Εικόνα 1.6, Κέντρα Διανομής σχήματος ‘L’, ‘T’, ‘U’, ‘H’	26
Εικόνα 2.1 Απόσταση που απαιτείται για την πραγματοποίηση ελιγμού ενός φορτηγού	30
Εικόνα 2.2 Διαστάσεις ενός τυπικού φορτηγού μεταφοράς προϊόντων	31
Εικόνα 2.3, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘I’	32
Εικόνα 2.4, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Π ή U’	34
Εικόνα 2.5, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘L’	36
Εικόνα 2.6, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘H’	38
Εικόνα 2.7, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘T’	39
Εικόνα 2.8, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘O’	41
Πίνακας 2.1, Συνοπτικός πίνακας με τα εμβადόν των αρχικών σχημάτων.....	43
Εικόνα 2.9, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘I’, νέα έκδοση.....	44
Εικόνα 2.10, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Π’ ή ‘U’, νέα έκδοση.....	45
Εικόνα 2.11, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘L’, νέα έκδοση.....	45
Εικόνα 2.12, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘H’, νέα έκδοση	46
Εικόνα 2.13, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘T’, νέα έκδοση.....	46
Εικόνα 2.14, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘O’, νέα έκδοση	47
Πίνακας 2.2, Συνοπτικός πίνακας με τα εμβαδόν των νέων σχημάτων	47
Εικόνα 3.1 Μέτρηση αποστάσεων ανάμεσα σε θύρα εξόδου με κάθε μια από τις θύρες εισόδου.....	68

Εικόνα 3.2 Υπολογισμός απόστασης για θύρες που βρίσκονται στην ίδια πλευρά μιας εγκατάστασης cross docking	69
Πίνακας 4.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης	73
Πίνακας 4.2 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	75
Πίνακας 4.3 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης	77
Πίνακας 4.4 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	79
Πίνακας 4.5 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων	81
Πίνακας 4.6 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	83
Πίνακας 4.7 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης	85
Πίνακας 4.8 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	87
Πίνακας 4.9 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	90
Πίνακας 4.10 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	91
Πίνακας 4.11 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	92
Πίνακας 4.12 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος ‘Ο’	93
Εικόνα Π.1. Μια άλλη κατανομή των θυρών για το σχήμα ‘Τ’	102

Πίνακας Π.1	117
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	117
Πίνακας Π.2	119
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	119
Πίνακας Π.3	121
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2 ^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	121
Πίνακας Π.4	124
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ di, m ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2 ^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	124

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

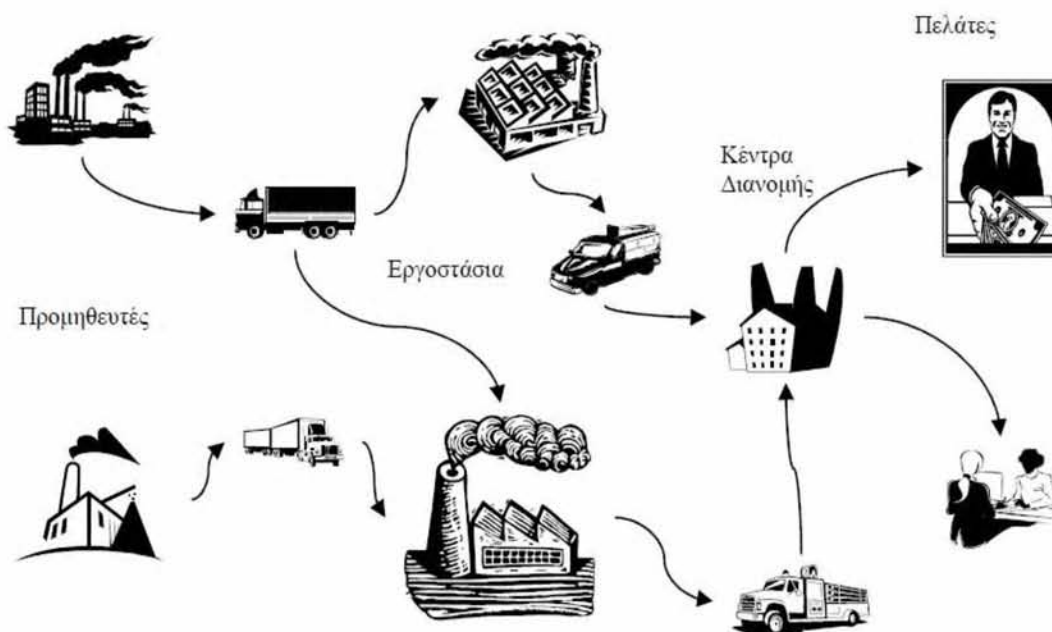
Στη σημερινή πελατοκεντρική οικονομία, η γρήγορη και αποτελεσματική μεταφορά των προϊόντων, αποτελεί σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα για πολλές επιχειρήσεις. Για την επίτευξη αυτού του στόχου όλο και περισσότερες εταιρείες διαπιστώνουν ότι η μέθοδος cross docking μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στο μοντέλο διακίνησης είτε αντικαθιστώντας, είτε συμπληρώνοντας τις υπάρχουσες μεθόδους διανομής. Το cross docking είναι μια μέθοδος αποθήκευσης και διανομής κατά την οποία τα προϊόντα διακινούνται με μεγάλη ταχύτητα απευθείας από τα εισερχόμενα φορτηγά στα εξερχόμενα φορτηγά μέσω μιας εγκατάστασης cross docking όπου τα προϊόντα εκφορτώνονται ή συσκευάζονται χωρίς αποθήκευση ή με πολύ μικρή διάρκεια αποθήκευση, συνήθως εντός 24 ωρών ενώ μερικές φορές δεν ξεπερνά την 1 ώρα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη μελέτη του βέλτιστου σχήματος μίας εγκατάστασης cross docking με βάση τρεις αντικειμενικούς στόχους. Η βελτιστοποίηση αυτών των στόχων θα μας δώσει και μια εικόνα για το ποια εγκατάσταση από αυτές που εξετάστηκαν είναι η βέλτιστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Logistic και εφοδιαστική αλυσίδα

Κυρίαρχη αλλαγή στο επιχειρηματικό περιβάλλον στις τελευταίες δεκαετίες αποτελεί η παγκοσμιοποίηση (οικονομικές, παραγωγικές, χρηματοοικονομικές δράσεις μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών σημείων). Αυτό συνεπάγεται πλεονεκτήματα, όπως προμήθεια πόρων από πολλούς προμηθευτές που προσφέρουν καλύτερα ή φθηνότερα προϊόντα, και άνοιγμα σε νέες αγορές. Από την άλλη μεριά, όμως, η παγκοσμιοποίηση δημιουργεί προκλήσεις γιατί οι μονάδες είναι πιο απομακρυσμένες, καθιστώντας το δίκτυο διανομής πιο εκτενές και πολύπλοκο, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνονται η συνεργασία και ο συντονισμός. Δημιουργείται μια αντίθεση ανάμεσα στην παγκοσμιοποίηση και στην υιοθέτηση διαδικασιών άμεσης εξυπηρέτησης (ανταποκρισιμότητα), επειδή η παγκοσμιοποίηση οδηγεί σε αύξηση των χρόνων παράδοσης και των επιπέδων των αποθεμάτων, λόγω της απόστασης και της πολυπλοκότητας του δικτύου, ενώ η φιλοσοφία just-in-time απαιτεί μείωση των χρόνων παράδοσης και απαλοιφή των μη αναγκαίων αποθεμάτων και διαδικασιών. Η αντίθεση αυτή αποτελεί πρόκληση για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των Logistics.



Εικόνα 1.1, Σχηματική αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας

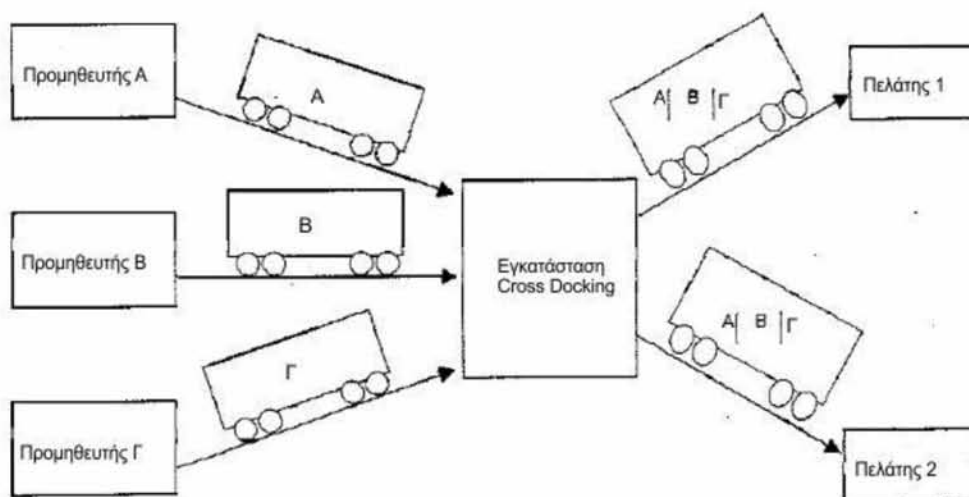
Ως Logistics ορίζεται ένα σύνολο μεθόδων και εργαλείων που χρησιμοποιούνται για να ολοκληρώσουν αποδοτικά και αρμονικά τους προμηθευτές, τους παραγωγούς, τις αποθήκες και το λιανεμπόριο προκειμένου να παραχθεί και διανεμηθεί το εμπόρευμα στις κατάλληλες ποσότητες, στις κατάλληλες τοποθεσίες, και στον κατάλληλο χρόνο υπό τη συνθήκη της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας και της εξασφάλισης του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης [1].

Σε μια τυπική εφοδιαστική αλυσίδα, οι πρώτες ύλες μεταφέρονται από τους προμηθευτές και μετατρέπονται σε προϊόντα σε ένα ή περισσότερα εργοστάσια. Στη συνέχεια συσκευάζονται και μεταφέρονται σε μεγάλες αποθήκες ή κέντρα διανομής που χρησιμεύουν ως ενδιάμεσοι σταθμοί και τέλος αποστέλλονται στους πελάτες, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1.

1.2 Περιγραφή της μεθόδου Cross Docking - Βιβλιογραφία

Από τις τέσσερις κύριες λειτουργίες των αποθηκών logistics – παραλαβή, αποθεματοποίηση, διαλογή και φόρτωση- οι δύο ενδιάμεσες έχουν το μεγαλύτερο κόστος (η αποθεματοποίηση, διότι περιέχει κόστη αποθήκευσης, και η διαλογή διότι είναι εντάσεως εργασίας και απαιτεί μεγάλο ποσό εργασίας για να έχουμε το τελικό προϊόν).

Το cross docking είναι μία μέθοδος logistics που ελαχιστοποιεί την αποθεματοποίηση και την διαλογή ενώ επιτρέπει την λειτουργία της παραλαβής και μεταφόρτωσης που γίνεται σε έναν κέντρο διανομής.



Εικόνα 1.2, Τρόπος λειτουργίας μιας εγκατάστασης Cross Docking

Ένα κέντρο διανομής cross docking είναι μία εγκατάσταση διαχείρισης και διανομής υλικών όπου τα προϊόντα εκφορτώνονται από τα εισερχόμενα φορτηγά (ITs) και γίνεται διαλογή, σύνθεση ή αποσύνθεση φορτίων και έπειτα γίνεται μεταφόρτωση στα εξερχόμενα φορτηγά (OTs), με μικρή ή καθόλου αποθεματοποίηση στο μεσοδιάστημα. Η διάρκεια



Εικόνα 1.3, American Home Foods of Milton, στην Pennsylvania

αποθήκευσης σε μία αποθήκη cross docking είναι συνήθως εντός 24-48 ωρών, ενώ συχνά δεν υπερβαίνει τη 2-3 ώρες [3]. Η μέθοδος cross docking μειώνει τα περιττά έξοδα αποθήκευσης, διαλογής και μεταφοράς βελτιώνοντας και επιταχύνοντας τις διαδικασίες παραλαβής και παράδοσης. Οι αυξημένες απαιτήσεις παροχής υπηρεσιών για γρήγορη μεταφορά, ευελιξία και χαμηλό κόστος έχουν οδηγήσει στην αυξημένη δημοτικότητα της μεθόδου cross docking. Σήμερα η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή μεταξύ των βιομηχανιών που παράγουν τα προϊόντα και των εταιρειών λιανικού εμπορίου. Μια από τις βιομηχανίες που εφαρμόζει τη μέθοδο cross docking είναι η American Home Foods of Milton, στην Pennsylvania (Εικόνα 1.3) η οποία παράγει τα Chef Boyardee και άλλες μάρκες ζυμαρικών [2]. Μια άλλη εταιρεία η οποία εφαρμόζει με επιτυχία τη μέθοδο cross docking είναι η Wal-Mart [4]. Η Wal-Mart χρησιμοποιεί ένα δίκτυο διανομής για να μεταφέρει τα εμπορεύματα στα καταστήματα λιανικής (Εικόνα 1.4).

Τα προϊόντα από τους προμηθευτές φθάνουν στο κέντρο διανομής (DC) με γεμάτα φορτηγά (FTL). Στο κέντρο διανομής τα γεμάτα φορτηγά από τους διάφορους προμηθευτές εκφορτώνονται και μοιράζονται στα εξερχόμενα φορτηγά κάνοντας ένα πλήρες φορτίο και στη συνέχεια μεταφέρονται στα καταστήματα λιανικής. Τα εμπορεύματα παραμένουν στο κέντρο διανομής για πολύ μικρό χρόνο, ή/και ιδεατά μεταφέρονται κατευθείαν από τα εισερχόμενα φορτηγά στα εξερχόμενα. Η μέθοδος cross docking έχει βοηθήσει την Wal-Mart



Όνομα Εγκατάστασης
Πόλη

Wal-Mart Distribution Center
Shelby

Εικόνα 1.4, Κέντρο Διανομής της Wal-Mart στην πόλη Shelby

να μειώσει τα κόστη της και να εφαρμόσει με επιτυχία την στρατηγική ‘every-day low price (EDLP)’. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η Wal-Mart να αυξήσει τόσο τις πωλήσεις της όσο και την κερδοφορία [4]. Η Home Depot είναι μία ακόμα εταιρεία που χρησιμοποιεί τη μέθοδο cross docking λειτουργώντας ένα κέντρο διανομής στη Philadelphia που εξυπηρετεί πάνω από 100 καταστήματα βορειότερα. Στο παρελθόν, κάθε κατάστημα έδινε την παραγγελία στον προμηθευτή ξεχωριστά, η οποία αποστέλλονταν με μισογεμάτα φορτηγά (LTL) κατευθείαν στα καταστήματα. Η Home Depot σήμερα χρησιμοποιεί τη μέθοδο cross docking για να μειώσει τα κόστη που προκύπτουν από τις ξεχωριστές παραγγελίες των καταστημάτων δίνοντας μαζικές παραγγελίες στους προμηθευτές της. Η καινούρια μέθοδος δουλεύει ως εξής: κάθε ένα από τα 100 και πλέον καταστήματα της εταιρείας αποστέλλει τις παραγγελίες για τον κάθε προμηθευτή σε συγκεκριμένη μέρα τις εβδομάδας. Ο προμηθευτής συγκεντρώνει όλες τις παραγγελίες και τις αποστέλλει με γεμάτα φορτηγά (FTL) στο κέντρο διανομής cross docking στη Philadelphia. Εκεί, εργάτες μεταφέρουν τα προϊόντα στα

φορτηγά που είναι για κάθε κατάσταση, έτσι τα εξερχόμενα φορτηγά περιέχουν εμπορεύματα για πολύ λίγα καταστήματα από πολλούς προμηθευτές. Τα κόστη μεταφοράς είναι μικρότερα διότι τόσο τα εισερχόμενα όσο και τα εξερχόμενα φορτηγά έχουν το μέγιστο φορτίο.

1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι περισσότερες από τις σχετικές έρευνες παρουσιάζουν προσπάθειες που επιχειρούν να βελτιστοποιήσουν διαφορετικές πτυχές των λειτουργιών της μεθόδου cross docking και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση της εγκατάστασης. Πολλά άρθρα επικεντρώνονται στην κατανομή των φορτηγών στις θύρες και την χωροθέτηση των θυρών εισόδου (IDs) και θυρών εξόδου (ODs), προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόσταση μεταφοράς των προϊόντων στο εσωτερικό μιας εγκατάστασης cross docking [5] με σκοπό τον προσδιορισμό της ιδανικής λύσης για την κατεύθυνση των θυρών εξόδου (ODs). Τα άρθρα [6,8] μελέτησαν το πρόβλημα κατανομής των φορτηγών και καθόρισαν το καλύτερο δυνατό σχήμα ενός κέντρου διανομής cross docking λαμβάνοντας υπόψη το θέμα του συνωστισμού μέσα στην εγκατάσταση. Όλες αυτές οι εργασίες στόχευαν στην ελαχιστοποίηση της απόστασης μετατόπισης του εξοπλισμού ή της εργασίας, πράγμα που αποτελεί υποκατάστατο για το κόστος εργασίας και την χρονική περίοδο που μεσολαβεί. Ελαχιστοποιώντας τη συνολική μετακίνηση μέσα στις εγκαταστάσεις, είναι δυνατόν να βελτιωθεί η παραγωγικότητα [9] και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα στην λειτουργία [10,11]. Τα άρθρα [12,13] περιγράφουν την προσπάθεια ελαχιστοποίησης της απόστασης μεταφοράς των ανυψωτικών μηχανημάτων που φέρουν φορτία ώστε να εντοπίσουν την κατάλληλη θέση για τα εμπορεύματα σε μια εγκατάσταση cross docking. Στο άρθρο [14] αναφέρεται ότι για δεδομένο όγκο φορτίου, ο χρόνος διαχείρισης πρωτίστως εξαρτάται από το χρόνο μετακίνησης, δηλαδή την απόσταση που διανύει εντός της εγκατάστασης. Το [15] ελαχιστοποίησε την απόσταση μετακίνησης των φορτίων με βάρος και μέτρησε την επίδραση του προγραμματισμού των φορτηγών στο χώρο των εγκαταστάσεων.

Πολλά ακόμη άρθρα πραγματεύονται τη βελτιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης. Τα [16,17] υποστηρίζουν ότι σε ένα περιβάλλον που οι παραδόσεις γίνονται στην ώρα τους (JIT), είναι επιθυμητό οι εργασίες να ολοκληρώνονται στο χρόνο που επιθυμεί ο πελάτης και έτσι ο αντικειμενικός στόχος του προγραμματισμού για έγκαιρη παράδοση (JIT) είναι η ελαχιστοποίηση των ποινών για παράδοση πριν ή μετά τον επιθυμητό χρόνο. Το [18] υποδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα μιας εγκατάστασης cross docking κυρίως εξαρτάται από τον καλό συντονισμό της ροής εισερχομένων και εξερχομένων. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα μείωσης των καθυστερήσεων των φορτίων σε μια εγκατάσταση cross docking επιλύεται με την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης της λειτουργίας (γίνεται αναφορά σε αυτό ως makespan στον προγραμματισμό). Έχοντας τον ίδιο στόχο, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης τα [19-21] ελαχιστοποιεί το makespan του cross docking ενώ στο [22] ελαχιστοποιείται ο σταθμισμένος χρόνος ολοκλήρωσης. Ομοίως, το [23] ελαχιστοποιεί το συνολικό χρόνο λειτουργίας για να βρεθεί η καλύτερη κατανομή φορτηγών ανά θύρα και η καταλληλότερη σειρά στον προγραμματισμό. Στο [24] ελαχιστοποιείται ο χρόνος μεταφοράς που δαπανάται σε μια εγκατάσταση cross docking μελετώντας το πρόβλημα του προγραμματισμού των φορτηγών οχημάτων. Το [25] προγραμματίζει τα εισερχόμενα φορτηγά για να ελαχιστοποιήσει την αναχώρηση των εξερχομένων φορτηγών, ένα υποκατάστατο για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος μεταφοράς που ξοδεύεται σε μια εγκατάσταση cross docking. Στο [26] ελαχιστοποιείται η συνολική απόσταση μετακίνησης των εμπορευμάτων στο εσωτερικό μίας εγκατάστασης cross docking. Το [27] είχε ως στόχο την εύρεση του βέλτιστου προγραμματισμού των φορτηγών που να ελαχιστοποιεί το λειτουργικό κόστος των μεταφερόμενων φορτίων και παράλληλα το συνολικό αριθμό των μη εφικτών αποστολών. Εν ολίγοις, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας, που κυρίως επηρεάζεται από το κόστος των εργατικών σε μια εγκατάσταση cross docking, ελαχιστοποιώντας το makespan, και βελτιστοποιώντας τη διαδικασία διαχείρισης των εμπορευματικών μεταφορών μεταξύ των θυρών εισόδου και εξόδου, επιτυγχάνουμε την ελαχιστοποίηση των (σταθμισμένων) αποστάσεων μετακίνησης των εργαζομένων, των

ανυψωτικών μηχανημάτων, των μετακινήσεων των εμπορευμάτων κλπ. που αποτελούν βασικούς, αντικειμενικούς στόχους της εγκατάστασης cross docking.

1.4 Το σχήμα ως βασικό στοιχείο διαφοροποίησης των εγκαταστάσεων

Cross Docking

Μια εγκατάσταση cross docking μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια. Βάση του κατά πόσο τα εμπορεύματα είναι ήδη καταχωρημένα στον πελάτη ή όχι υπάρχουν δύο είδη: προ-διανομής cross docking και μετά-διανομής cross docking. Επιπλέον, το σχήμα των εγκαταστάσεων cross docking ποικίλλει. Οι εταιρείες αποκτούν μια εγκατάσταση cross docking με διάφορους τρόπους και δεν έχουν πάντα την πολυτέλεια της κατασκευής μιας νέας εγκατάστασης. Έτσι εφόσον αποκτήσουν μία ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση ‘κληρονομούν’ και τα λάθη στο σχεδιασμό της. Όμως ακόμα και αν μια εγκατάσταση σχεδιαστεί από την αρχή, οι σχεδιαστές είναι πολιτικοί μηχανικοί ή εμπορικές εταιρείες real estate, οι οποίοι ειδικεύονται σε θέματα όπως δυνατότητα εισόδου και εξόδου από την



Εικόνα 1.5, Κέντρο Διανομής σχήματος 'I'

εγκατάσταση, μέγεθος χώρου στάθμευσης καθώς και σε κατασκευαστικούς κανόνες. Όμως με αυτόν τον τρόπο δεν εστιάζεται η σχεδίαση της εγκατάστασης σε θέματα μείωσης

κόστους ή μείωσης της απόστασης μετακίνησης των προϊόντων και συμμόρφησης εντός του χώρου αποθήκευσης. Έτσι ένα από τα πλέον συνηθισμένα σχήματα μιας εγκατάστασης

cross docking είναι το σχήμα 'Γ', δηλαδή μια ορθογώνια στενόμακρη εγκατάσταση με θύρες σε κάθε πλευρά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.5.

LTL Industry Cross Dock Terminal Designs



Εγκατάσταση σχήματος 'L' στο Chicago Ridge, IL (Yellow Transport)



Εγκατάσταση σχήματος 'T' στην Atlanta, GA (American Freightways)



Εγκατάσταση σχήματος 'U' στο Portland, OR (Consolidated Freightways)



Εγκατάσταση σχήματος 'H' στο Dallas, TX (Central Freight)

Εικόνα 1.6, Κέντρα Διανομής σχήματος 'L', 'T', 'U', 'H'

Επίσης έχουμε συναντήσει εγκαταστάσεις σε σχήμα L στο Chicago ιδιοκτησίας της Yellow Transport, σε σχήμα T στην Atlanta ιδιοκτησίας της American Freightways, σε σχήμα U στο Portland ιδιοκτησίας της Consolidated Freightways και σε σχήμα H στο Dallas ιδιοκτησίας της Central Freight όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.6

Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε το σχήμα μιας εγκατάστασης cross docking και πως αυτό επηρεάζει την επίδοσή της, με βάση τις αντικειμενικές συναρτήσεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Βασικοί κανόνες σχεδίασης του σχήματος μιας εγκατάστασης Cross

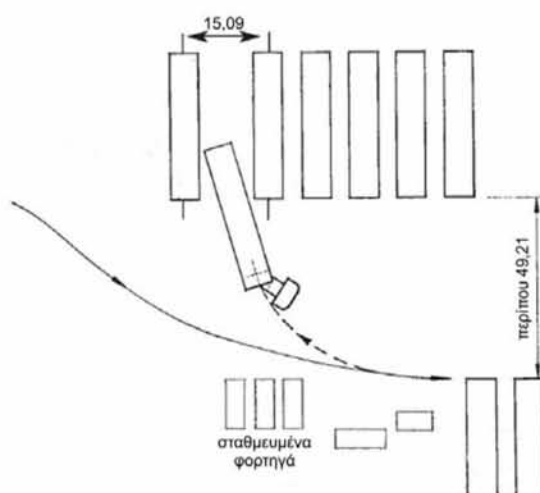
Docking

Βασικός στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σύγκριση διαφόρων σχημάτων μιας εγκατάστασης cross docking με βάση τις αντικειμενικές συναρτήσεις του κεφαλαίου 3. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα ίδια κριτήρια στο σχεδιασμό του κάθε σχήματος έχοντας ως κύριο μέλημα την ελαχιστοποίηση της μετακίνησης στο εσωτερικό της εγκατάστασης το οποίο θα επιτευχθεί με όσο το δυνατόν μικρότερη εγκατάσταση. Έτσι κάθε εγκατάσταση θα έχει 10 θύρες ενώ κάθε θύρα θα έχει μήκος 15 πόδια και θα απέχει η μία από την άλλη τουλάχιστον 8 πόδια. Σε κάθε εγκατάσταση θα υπάρχουν πέντε (5) θύρες εισόδου (IDs) και πέντε (5) θύρες εξόδου (ODs) τοποθετημένες έτσι ώστε να υπάρχει συγκέντρωση των εμπορευμάτων τόσο κατά την εκφόρτωση τους όσο και κατά την φόρτωση αυτών στα φορητά. Σε κάθε σχήμα θα υπάρχει ένας χώρος αποθήκευσης (staging area) για τα προϊόντα με πλάτος τουλάχιστον 51 πόδια.

Επίσης η κάθε θύρα που βρίσκεται στην άκρη της κάθε πλευράς θα έχει απόσταση τουλάχιστον 8 πόδια από τη γωνία της εγκατάστασης. Άλλο ένα κριτήριο που λαμβάνεται υπόψη στη σχεδίαση της εγκατάστασης είναι

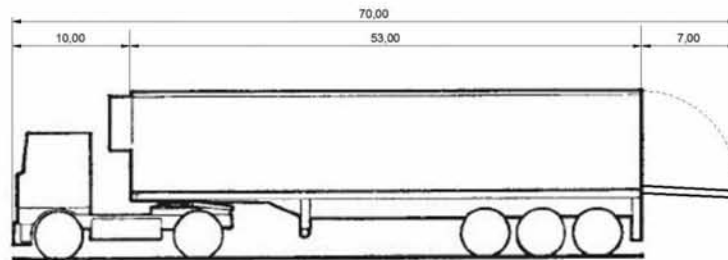
το ελάχιστο μήκος ενός φορητού καθώς και η ελάχιστη απόσταση που

απαιτείται ώστε να πραγματοποιηθεί ο ελιγμός για την στάθμευση ή την αναχώρηση από τον χώρο σταθμεύσεως. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την εργασία [40] και την εικόνα 2.1 απαιτούνται τουλάχιστον 49,21 πόδια για τον ελιγμό. Για το λόγο αυτό στη σχεδίαση των σχημάτων θα παίρνουμε ως απόσταση φορητών που είναι αντικριστά σταθμευμένα μεταξύ



Εικόνα 2.1 Απόσταση που απαιτείται για την πραγματοποίηση ελιγμού ενός φορητού

τους τα 50 πόδια. Το κάθε φορτηγό έχει μήκος περίπου 70 πόδια που αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους μηκών του κομματιού της καμπίνας που προεξέχει (10 πόδια), του τράκτορα (53 πόδια) και της πόρτας στο πίσω μέρος (7 πόδια) όταν αυτή είναι ανοικτή. (Εικόνα 2.2)

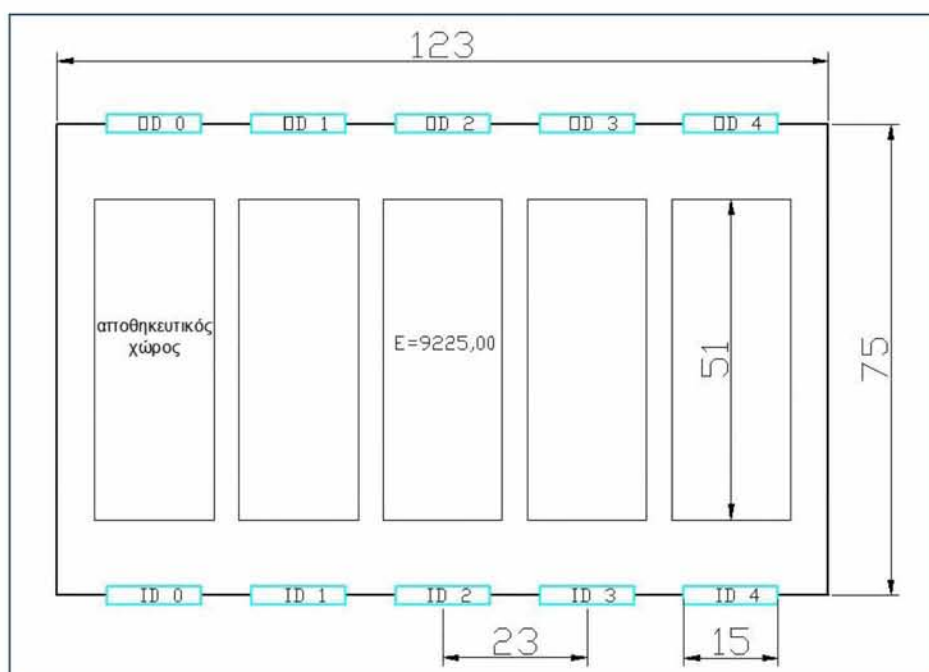


Εικόνα 2.2 Διαστάσεις ενός τυπικού φορτηγού μεταφοράς προϊόντων

Στις επόμενες υποενότητες του κεφαλαίου θα μελετήσουμε τα 5 σχήματα εγκαταστάσεων που συναντήσαμε στη βιβλιογραφία, δηλαδή εγκαταστάσεις σχήματος ‘I’, ‘Π ή U’, ‘L’, ‘H’, ‘T’ καθώς και ένα νέο σχήμα ‘O’ που αποτελεί μια εναλλακτική πρόταση. Στόχος μας θα είναι η σύγκριση αυτών των σχημάτων και η επιλογή του πιο κατάλληλου ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι του κεφαλαίου 3.

2.2 Σχήμα “Γ”

Μία εγκατάσταση σε σχήμα Γ έχει τη μορφή ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με τις θύρες να βρίσκονται εκατέρωθεν των οριζοντίων πλευρών. Σύμφωνα με τις εργασίες [30] και [25] το πλάτος της εγκατάστασης θα είναι τουλάχιστον 75 πόδια διότι θα πρέπει να υπάρχει ένας χώρος αποθήκευσης στο εσωτερικό της εγκατάστασης και δυνατότητα ελιγμών των ανυψωτικών μηχανημάτων.



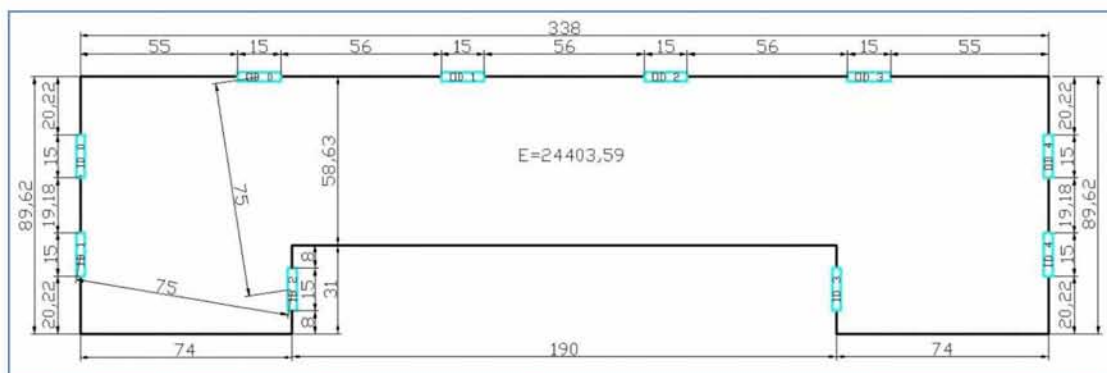
Εικόνα 2.3, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Γ’

Έχοντας ως δεδομένο την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των θυρών (8 πόδια) το συνολικό μήκος μίας εγκατάστασης με το συγκεκριμένο σχήμα και τις συγκεκριμένες προδιαγραφές και περιορισμούς θα είναι τουλάχιστον 123 πόδια. Οι θύρες επιλέγονται να είναι εκατέρωθεν των οριζοντίων πλευρών του σχήματος διότι έτσι επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση θυρών γύρω από τις δύο κεντρικές θύρες (OD2 και ID2). Οι θύρες στην βόρεια πλευρά του σχήματος θα αποτελούν τις θύρες εξόδου αριθμημένες από το 0 έως το 4 (OD0, OD1, OD2, OD3, OD4) ενώ οι νότιες θύρες θα είναι οι θύρες εισόδου επίσης αριθμημένες από το 0 έως το 4 (ID0, ID1, ID2, ID3, ID4). Τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι από τις πιο διαδεδομένες,

δεδομένου ότι οι περισσότερες αποθήκες τύπου cross docking γίνονται σε ήδη υπάρχουσες κτιριακές εγκαταστάσεις που παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ως κλασσικές αποθήκες. Το εμβαδό της εγκατάστασης σε αυτή τη περίπτωση θα είναι 9225 ft².

2.3 Σχήμα “Π ή U”

Το δεύτερο σχήμα εγκατάστασης cross docking που θα μελετήσουμε είναι το σχήμα Π ή αλλιώς U και το οποίο (όπως και όλα τα υπόλοιπα σχήματα) για λόγους δικαιοσύνης (μιας και στο τέλος θα συγκριθεί με τα άλλα σχήματα), σχεδιάστηκε με βάση το σχήμα I.



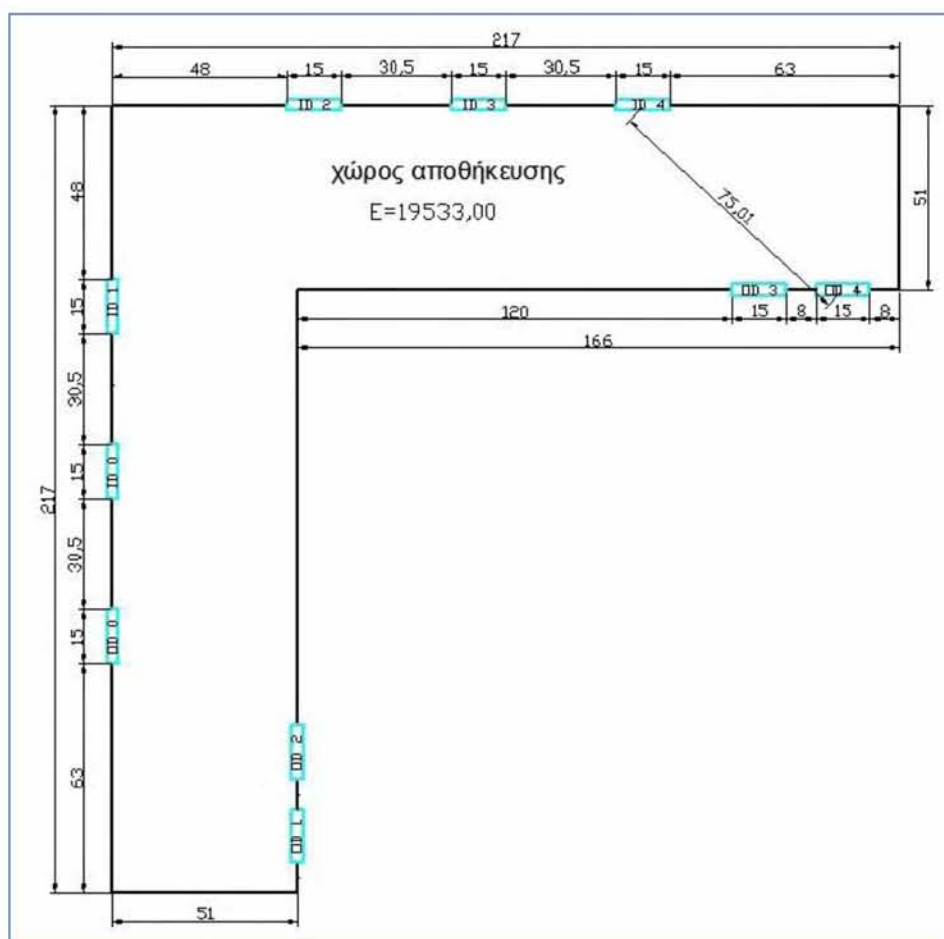
Εικόνα 2.4, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Π ή U’

Έτσι το οριζόντιο τμήμα θα έχει πλάτος 58,63 πόδια και μήκος 338 πόδια διατηρώντας έτσι την απόσταση των 75 πόδια μεταξύ δύο θυρών που βρίσκονται η μία απέναντι από την άλλη (π.χ θύρα εξόδου 1 (OD1) και θύρα εισόδου 2 (ID2)). Οι 4 θύρες που βρίσκονται επ’ αυτού τοποθετούνται έτσι ώστε να απέχουν εξίσου από το μέσο του τμήματος. Παρατηρούμε ότι η απόσταση των θυρών αυτών είναι αρκετά μεγαλύτερη των 8 πόδια που έχουμε θέση ως ελάχιστη απόσταση πράγμα που σημαίνει ότι δύναται να τοποθετηθούν κι άλλες θύρες για το συγκεκριμένο μέγεθος της εγκατάστασης αλλά για λόγους δικαιοσύνης περιοριζόμαστε στο αριθμό θυρών που έχουμε και στα άλλα σχήματα. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δηλαδή για να ικανοποιείται η απαίτηση για απόσταση 75 πόδια ανάμεσα στην θύρα ID1 και ID3 με τη θύρα ID2 και ID4 αντίστοιχα, τα κάθετα τμήματα της εγκατάστασης θα έχουν πλάτος 74 πόδια το καθένα ενώ το μήκος τους θα είναι 89,62 πόδια. Το ένα τμήμα από το άλλο θα απέχει 190 πόδια για να έχουν την δυνατότητα τα φορτηγά τόσο να σταθμεύουν στις θύρες που βρίσκονται απέναντι η μια από την άλλη όσο και να ελιχθούν στο χώρο αυτό που δηλαδή θα είναι το άθροισμα των 50 πόδια που απαιτούνται για τον ελιγμό των φορτηγών στην περιοχή αυτή συν το μήκος των φορτηγών το οποίο είναι 70 πόδια για το καθένα. Η

απόσταση των εσωτερικών θυρών θα είναι 8 πόδια από το νότιο οριζόντιο τμήμα που αποτελεί την ελάχιστη απόσταση που απαιτείται. Παρατηρούμε ότι στην εξωτερική πλευρά των κάθετων τμημάτων βρίσκονται δύο θύρες που απέχουν 20,22 πόδια από τις γωνίες της ανατολικής και δυτικής πλευράς και μεταξύ τους απέχουν 19,18 πόδια ενώ έχουμε θέσει ως ελάχιστη απόσταση τα 8 πόδια. Αυτό σημαίνει ότι στην υπάρχουσα εγκατάσταση δύναται να τοποθετηθούν κι άλλες θύρες χωρίς να μεταβληθεί το αρχικό εμβαδό. Όμως για λόγους ομοιότητας θα διατηρήσουμε τον αριθμό των 10 θυρών ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των σχημάτων. Το εμβαδό της εγκατάστασης σ' αυτή την περίπτωση θα είναι 24403,59 ft².

2.4 Σχήμα “L”

Η εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘L’ είναι το τρίτο σχήμα που θα μελετήσουμε και αποτελείται από δύο τμήματα, ένα οριζόντιο και ένα κάθετο μήκους 217 πόδια το καθένα και πλάτους 51 πόδια που αποτελεί την ελάχιστη απόσταση για τον αποθηκευτικό χώρο (staging area) της εγκατάστασης. Οι θύρες έχουν τοποθετηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει συγκέντρωση των θυρών εξόδου στην νότια πλευρά, ενώ στη βόρεια πλευρά θα είναι οι θύρες εισόδου.



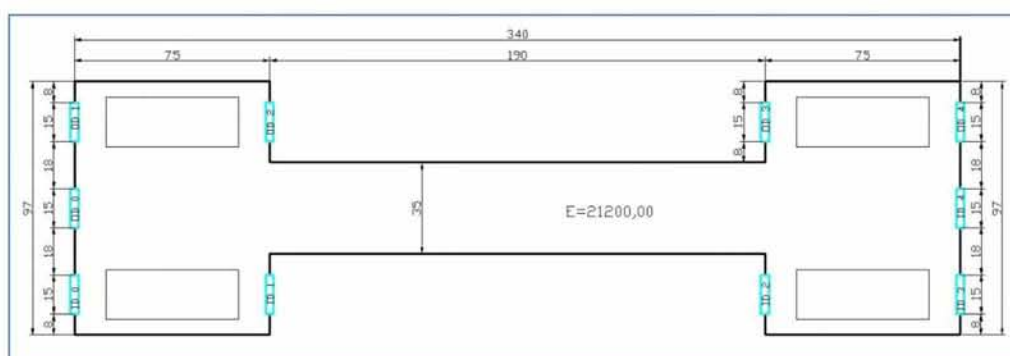
Εικόνα 2.5, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘L’

Όπως και στο σχήμα I οι θύρες που βρίσκονται απέναντι θα πρέπει να απέχουν 75 πόδια π.χ. η OD4 και η ID4. Η νότια οριζόντια θύρα OD3 τοποθετείται σε απόσταση 120 πόδια από την κάθετη πλευρά (το ίδιο ισχύει και για την θύρα OD2 σε σχέση με την οριζόντια πλευρά) για

να υπάρχει το απαραίτητο διάστημα για τη στάθμευση και τον ελιγμό των φορτηγών (50 για τον ελιγμό +70 το μήκος ενός φορτηγού =120 πόδια). Η κάθε μία από τις νότιες εσωτερικές πλευρές θα έχει μήκος 166 πόδια που αποτελεί το άθροισμα του μήκους των θυρών (15 πόδια) που βρίσκονται στην κάθε πλευρά και των ελάχιστων αποστάσεων που απαιτούνται για να ισχύουν οι περιορισμοί που έχουμε θέσει στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων. Στις εξωτερικές πλευρές του σχήματος τοποθετούνται 3 θύρες που θα απέχουν μεταξύ τους 30,5 πόδια ενώ οι θύρες OD0, ID4 έχουν απόσταση 63 πόδια από τη γωνία του σχήματος και οι θύρες ID1, ID2 48 πόδια. Το εμβαδό της εγκατάστασης σ' αυτή την περίπτωση θα είναι 19533 ft².

2.5 Σχήμα “Η”

Το τέταρτο σχήμα εγκατάστασης που μελετάμε είναι μια εγκατάσταση σχήματος “Η” η οποία αποτελείται από δύο κάθετα τμήματα πλάτους 75 πόδια και μήκους 97 πόδια και από ένα οριζόντιο τμήμα πλάτους 190 πόδια και μήκος 35 πόδια όντας ο διάδρομος που ενώνει τα δύο κάθετα τμήματα. Έτσι η εγκατάσταση έχει πλάτος 340 πόδια και μήκος 97 πόδια. Τα δύο κάθετα τμήματα απέχουν 190 πόδια διότι θα πρέπει να υπάρχει απόσταση 70 πόδια σε κάθε θύρα που αφορά το μήκος του κάθε φορτηγού που θα σταθμεύει στις εσωτερικές θύρες συν 50 πόδια για να εκτελείται ο ελιγμός των φορτηγών στα σημεία αυτά.

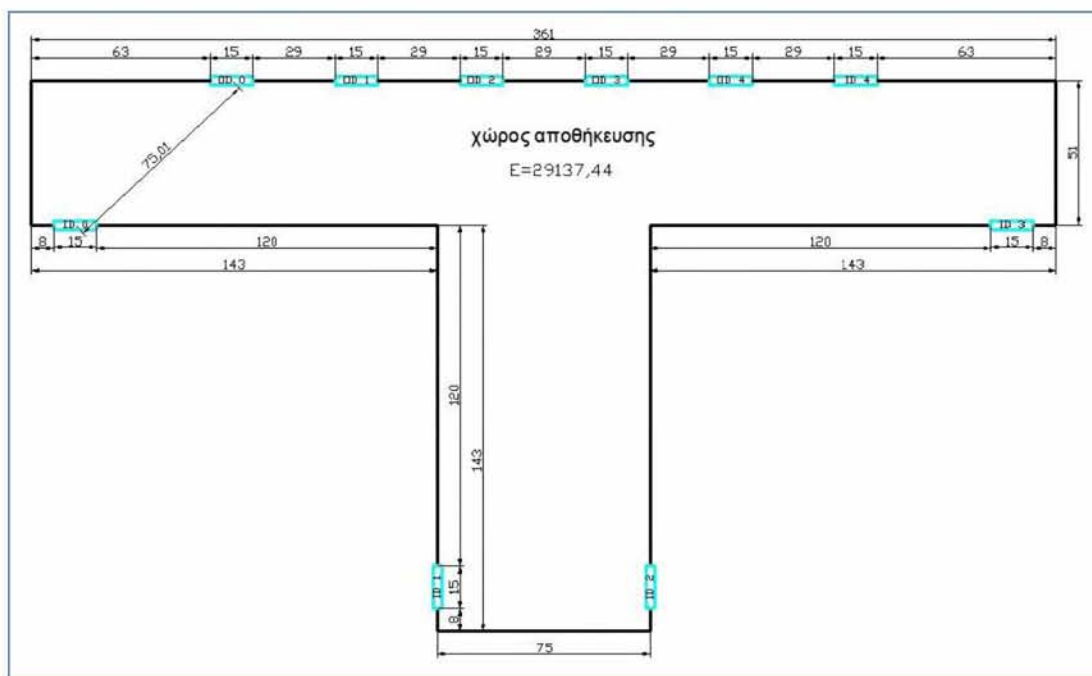


Εικόνα 2.6, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Η’

Στις βόρειες εσωτερικές πλευρές έχουμε τις θύρες OD2 και OD3 οι οποίες έχουν μήκος 15 πόδια και απέχουν 8 πόδια από το οριζόντιο τμήμα της εγκατάστασης ενώ στις νότιες εσωτερικές πλευρές βρίσκονται οι θύρες ID1 και ID2. Τις θύρες που βρίσκονται στις εξωτερικές κάθετες πλευρές της εγκατάστασης τις τοποθετούμε με τέτοιο τρόπο ώστε οι δυο από αυτές να είναι απέναντι από τις θύρες που είναι στο εσωτερικό τμήμα ενώ οι ενδιάμεσες θύρες (το κέντρο τους) θα βρίσκονται στο μέσο της κάθετης απόστασης. Έτσι τηρώντας τους περιορισμούς που θέλουν τις θύρες να απέχουν τουλάχιστον 8 πόδια από τις γωνίες της εγκατάστασης και έχοντας απόσταση 18 πόδια η μια θύρα από την άλλη θα έχουμε 3 θύρες σε κάθε πλευρά. Το εμβαδό της εγκατάστασης σε αυτή την περίπτωση θα είναι 21200 ft².

2.6 Σχήμα “Τ”

Ακόμα ένα σχήμα (το πέμπτο) μιας εγκατάστασης cross docking που έχουμε συναντήσει στην βιβλιογραφία είναι αυτό του σχήματος “Τ”. Πρόκειται για ένα οριζόντιο τμήμα μήκους 361 πόδια και πλάτους 51 πόδια και για ένα κάθετο τμήμα που βρίσκεται στο μέσο του οριζοντίου τμήματος και έχει πλάτος 75 πόδια και μήκος 143 πόδια.



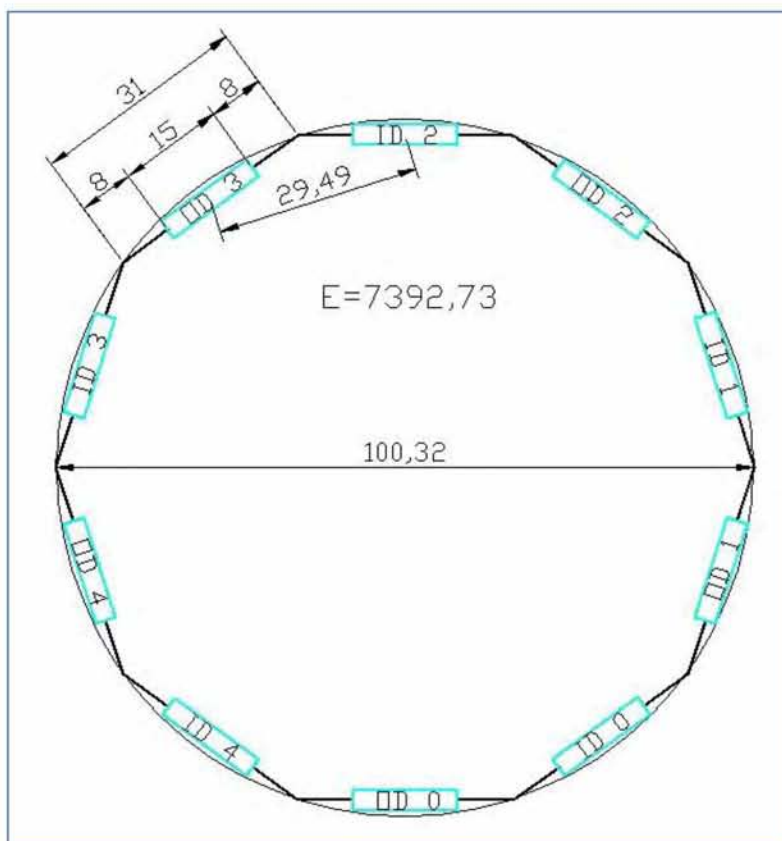
Εικόνα 2.7, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Τ’

Στο συγκεκριμένο σχήμα μπορούμε να τοποθετήσουμε μεγάλο αριθμό θυρών σε κάθε πλευρά όμως επιλέγουμε να τοποθετήσουμε από μια θύρα στις κάθετες πλευρές του κάθετου τμήματος σε απόσταση 120 πόδια από τη νότια πλευρά του οριζοντίου τμήματος, και από μια θύρα στο κάτω οριζόντιο τμήμα του σχήματος ενώ στην βόρεια πλευρά τοποθετούμε τις υπόλοιπες έξι θύρες που απομένουν ώστε να συμπληρώσουμε τον αριθμό των δέκα θυρών που έχουμε επιλέξει να έχουμε σε κάθε σχήμα. Οι περιορισμοί που απαιτούνται στο σχεδιασμό της συγκεκριμένης εγκατάστασης έχουν σχέση με την ελάχιστη απόσταση που πρέπει να απέχουν οι θύρες από τις εσωτερικές γωνίες δηλαδή 120 πόδια, απόσταση που

απαιτείται για την στάθμευση και τον ελιγμό των φορτηγών στην περιοχή αυτή. Οι θύρες που βρίσκονται στην πάνω οριζόντια πλευρά της εγκατάστασης απέχουν μεταξύ τους 29 πόδια και είναι ισοκατανεμημένες ως προς το κέντρο του τμήματος. Έτσι καλύπτουμε ακόμη ένα περιορισμό που αφορά την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των θυρών. Παρατηρούμε ότι το οριζόντιο τμήμα έχει μήκος 51 πόδια που αποτελεί την ελάχιστη απόσταση για τον χώρο αποθήκευσης ενώ διατηρούμε όπως δεσμευόμαστε από τους περιορισμούς την απόσταση των 75 πόδια μεταξύ των θυρών που βρίσκονται αντικριστά. Τέλος το εμβαδό της εγκατάστασης ανέρχεται στα 29137,44 ft².

2.7 Σχήμα “Ο”

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζουμε ένα σχήμα εγκατάστασης που δεν έχουμε συναντήσει μέχρι στιγμής στην βιβλιογραφία αλλά θεωρούμε ότι θα έχει πολύ καλή συμπεριφορά και ίσως να μπορούσε να αποτελεί μια εναλλακτική ποιο αποδοτική περίπτωση εγκατάστασης.



Εικόνα 2.8, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Ο’

Πρόκειται για ένα κυκλικό σχήμα το οποίο στη δική μας περίπτωση εκφυλίζεται σε δεκάγωνο, λόγω των δέκα θυρών που έχουμε. Διατηρούμε και σε αυτό το σχήμα, σταθερό τόσο το μήκος κάθε θύρας, 15 πόδια, όσο και το απαιτούμενο κενό εκατέρωθεν (8 πόδια). Από το σχήμα βλέπουμε ότι ικανοποιούμε τον περιορισμό που έχουμε για απόσταση των κέντρων των θυρών πάνω από 23 πόδια (εδώ έχουμε 29,49 πόδια). Με βάση αυτά τα δεδομένα η διάμετρος του κυκλικού σχήματος είναι 100,32 πόδια ενώ το εμβαδό της εγκατάστασης θα είναι 7392,73ft². Να σημειωθεί ότι δεν περιοριζόμαστε όπως στα άλλα

σχήματα από το μήκος του φορτηγού. Αυτό το πλεονέκτημα του σχήματος αυτού καθώς και η κυκλική φόρτωση και εκφόρτωση των φορτηγών έχει ως αποτέλεσμα το εμβαδόν της εγκατάστασης να είναι το μικρότερο σε σχέση με τις άλλες.

2.8 Σύγκριση Εμβαδού Αρχικών Σχημάτων – Επανασχεδιασμός

Εγκαταστάσεων

Παρατηρώντας όλα τα σχήματα και συγκρίνοντας τα εμβαδόν τους που φαίνονται συνοπτικά στον πίνακα 2.1 βλέπουμε ότι αυτά διαφέρουν σημαντικά από σχήμα σε σχήμα με τη μεγαλύτερη διαφορά να εντοπίζεται μεταξύ των σχημάτων “Ο” και “Τ”. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα παρόλο που κρατήσαμε τα ίδια χαρακτηριστικά σε όλες τις εγκαταστάσεις αυτές να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανά μεταξύ τους σε ότι αφορά το μέγεθος κάνοντας την σύγκριση όχι απόλυτα σωστή και τα όποια αποτελέσματα που θα εξαχθούν να

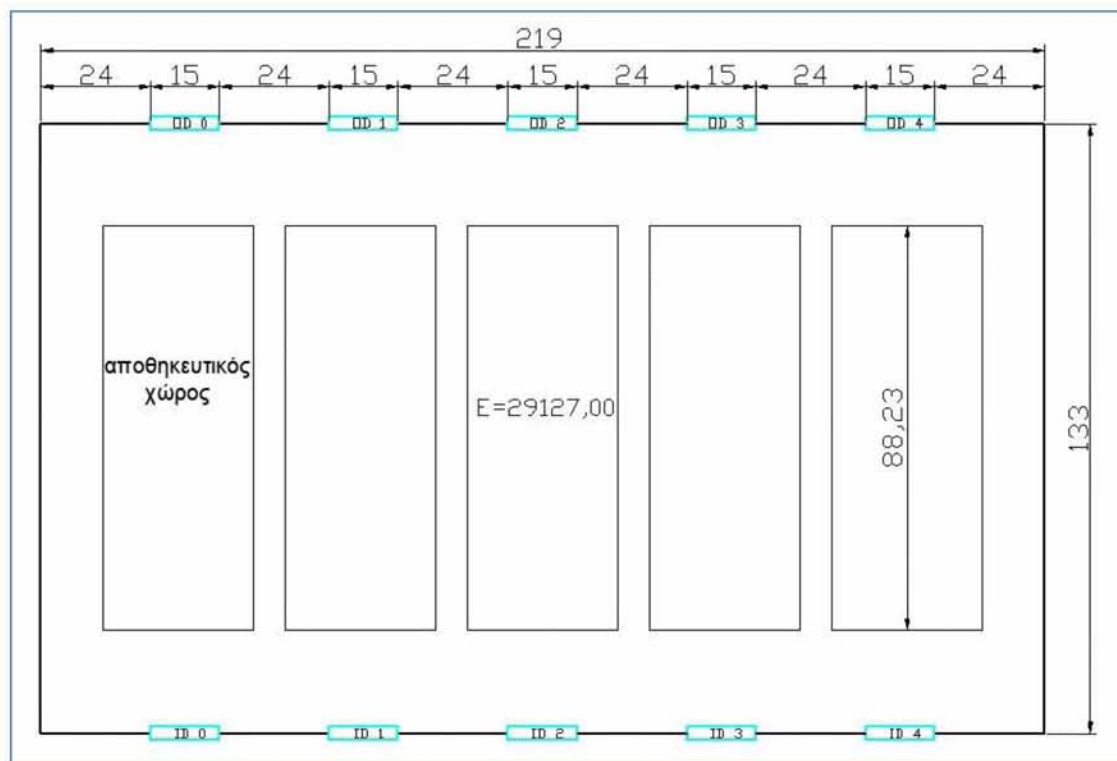
Σχήμα Εγκατάστασης	Εμβαδόν
“Γ”	9225,00
“Π” ή “Υ”	24403,59
“Λ”	19533,00
“Η”	21200,00
“Τ”	29137,44
“Ο”	7392,73

Πίνακας 2.1, Συνοπτικός πίνακας με τα εμβαδόν των αρχικών σχημάτων

μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απόλυτο βαθμό για να αποφανθούμε πιο από τα παραπάνω σχήματα είναι βέλτιστο για μια εγκατάσταση cross docking. Έτσι η λύση που προτείνεται για μία ολοκληρωμένη και ακριβείς εναλλακτική ανάλυση των διαφόρων σχημάτων είναι και η επανασχεδίαση των σχημάτων με σκοπό την δημιουργία εγκαταστάσεων με περίπου ίδιο μέγεθος (πλησιάζοντας περίπου το εμβαδό της εγκατάστασης σχήματος “Τ”) ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να συγκρίνουμε και αυτά τα αποτελέσματα και να έχουμε μια πιο καθαρή εικόνα. Έτσι διατηρώντας τις βασικές παραδοχές που κάναμε στην αρχή του κεφαλαίου και προσπαθώντας να υπάρξει αναλογία μεταξύ των αρχικών σχημάτων και των νέων εκδοχών αυτών, θα χαλαρώσουμε το κριτήριο δημιουργίας των εγκαταστάσεων με βάση τα ελάχιστα επιτρεπτά όρια και θα σχεδιάσουμε νέα με σκοπό την δημιουργία εγκαταστάσεων με περίπου ίδιο εμβαδόν. Έτσι οι εσωτερικές και εξωτερικές αποστάσεις όλων των σχημάτων θα μεγαλώσουν εκτός από την εγκατάσταση “Τ” που είναι η μεγαλύτερη (ορίζοντάς μας έτσι ένα άνω φράγμα εμβαδού για εγκατάσταση cross-docking με

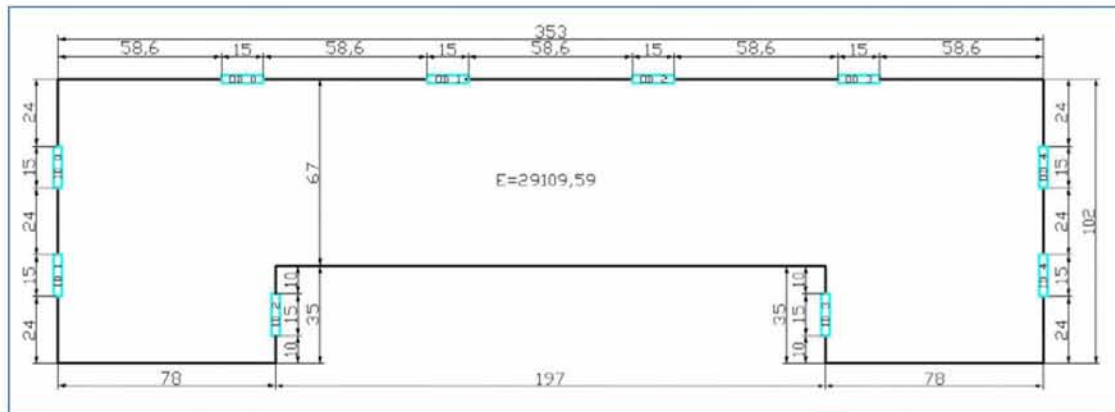
10 πόρτες) και θα αποτελέσει εγκατάσταση αναφοράς. Μετά τον επανασχεδιασμό θα έχουμε τα παρακάτω σχήματα καθώς και τον συνοπτικό πίνακα (Πίνακας 2.2) με τα εμβαδόν των νέων σχημάτων.

2.8.1 Νέο Σχήμα “Γ”



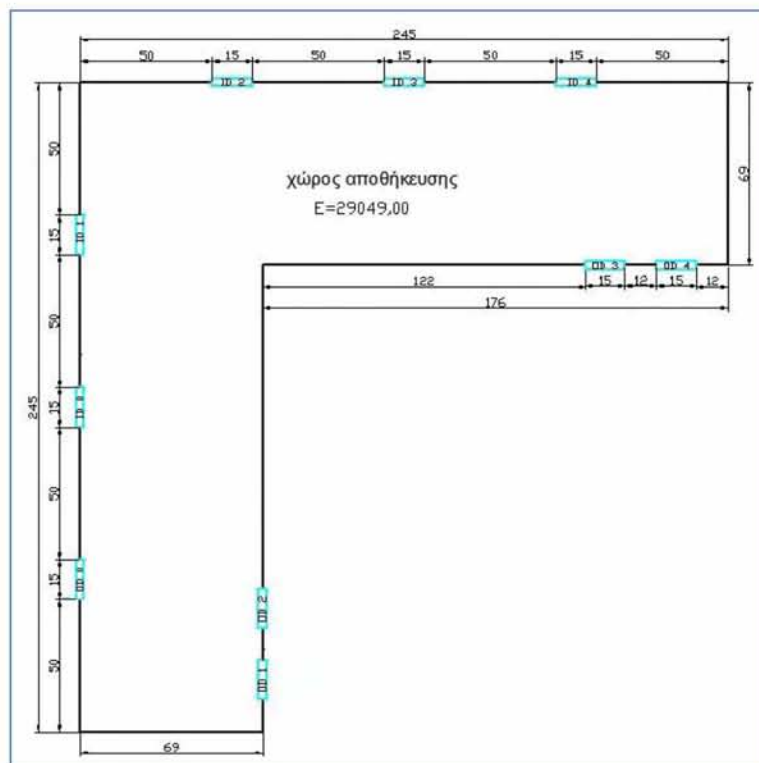
Εικόνα 2.9, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Γ’, νέα έκδοση

2.8.2 Νέο Σχήμα “Π” ή “U”



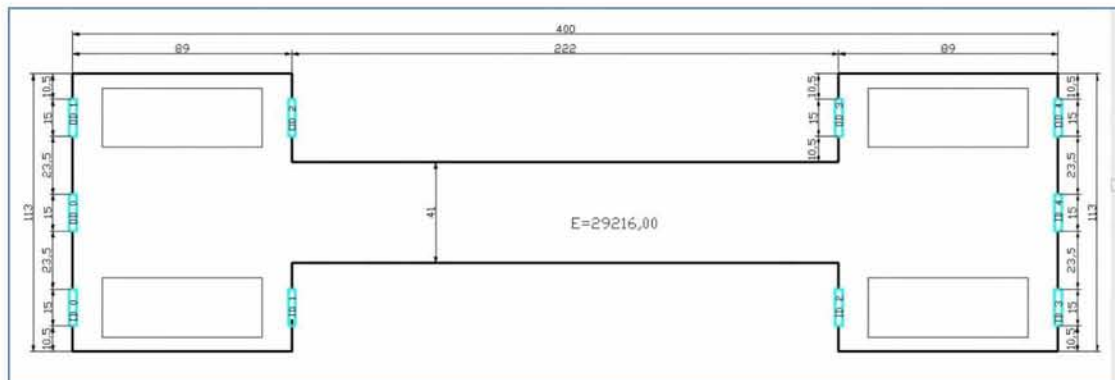
Εικόνα 2.10, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Π’ ή ‘U’, νέα έκδοση

2.8.3 Νέο Σχήμα “L”



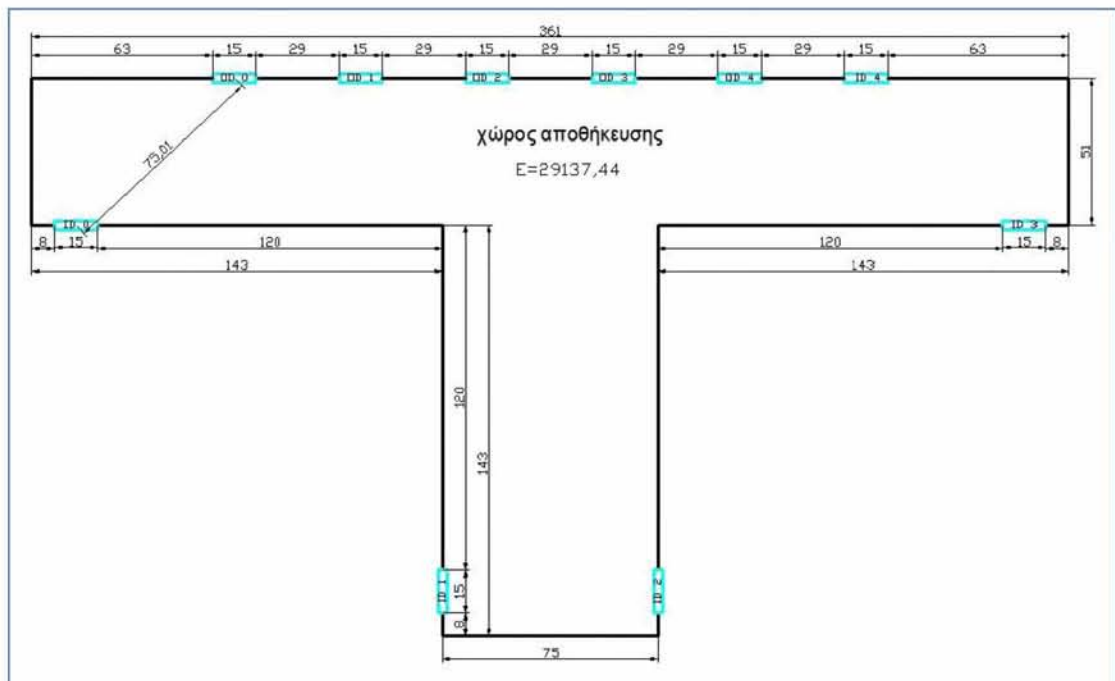
Εικόνα 2.11, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘L’, νέα έκδοση

2.8.4 Νέο Σχήμα “Η”



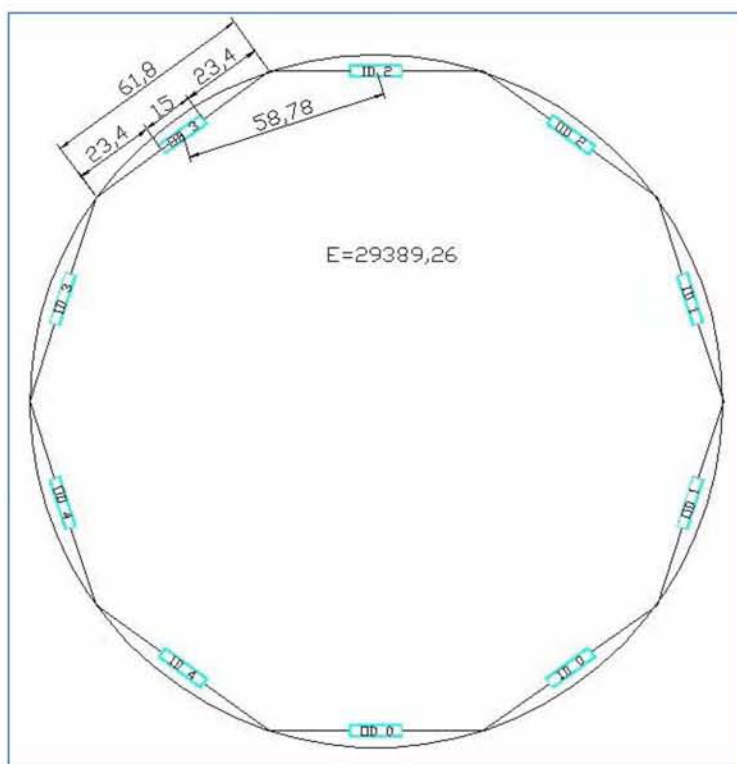
Εικόνα 2.12, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Η’, νέα έκδοση

2.8.5 Νέο Σχήμα “Τ”



Εικόνα 2.13, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Τ’, νέα έκδοση

2.8.6 Νέο Σχήμα “Ο”



Εικόνα 2.14, Εγκατάσταση cross docking σχήματος ‘Ο’, νέα έκδοση

Από τον Πίνακα 2.2 βλέπουμε ότι πλέον στα σχήματα έχουμε περίπου ίσο εμβαδό κάτι που μας δίνει τα δυνατότητα να έχουμε μια εναλλακτική ρεαλιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν σε μεταγενέστερο κεφάλαιο της εργασίας (δείτε κεφάλαιο 4).

Σχήμα Εγκατάστασης	Νέο Εμβαδόν
“Γ”	29127,00
“Π” ή “U”	29109,59
“L”	29049,00
“H”	29216,00
“T”	29137,44
“O”	29389,26

Πίνακας 2.2, Συνοπτικός πίνακας με τα εμβαδόν των νέων σχημάτων

2.9 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στις παραπάνω ενότητες του κεφαλαίου παρουσιάστηκαν τα σχήματα που έχουμε συναντήσει έως τώρα σε εγκαταστάσεις cross docking, καθώς και η πρόταση μας για εγκατάσταση σχήματος 'Ο'. Λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς που τέθηκαν τόσο για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων (π.χ μήκος φορτηγού, μήκος θύρας, απόσταση μεταξύ των θυρών, απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης κ.α) καθώς και περιορισμούς για τη σύγκρισή τους (π.χ αριθμός θυρών κ.α) προέκυψαν τα αρχικά σχήματα που παρουσιάστηκαν στις ενότητες 2.2 έως 2.7. Συγκρίνοντας όμως τα εμβαδά που προέκυψαν από τη σχεδίαση των σχημάτων με τις ελάχιστες αποστάσεις διαπιστώθηκε ότι διέφεραν αρκετά μεταξύ τους, καθιστώντας έτσι τη σύγκρισή τους αμφισβητήσιμη. Για το λόγο αυτό αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε νέα σχήματα των εγκαταστάσεων χαλαρώνοντας τους περιορισμούς ελαχίστων εφικτών αποστάσεων, έχοντας πλέον στόχο τη δημιουργία εγκαταστάσεων με περίπου ίδιο εμβαδόν και να συγκρίνουμε εκ νέου τα σχήματα για εξαγωγή πιο ασφαλών αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Μαθηματικό μοντέλο για προκαθορισμένες θύρες εισόδου και εξόδου

Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο εξετάζει τον προγραμματισμό εισερχομένων και εξερχομένων φορτηγών σε μια εγκατάσταση cross docking. Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλό για κάθε τύπο-σχήμα εγκατάστασης με δυνατότητα είτε κάθε πόρτα θα είναι προκαθορισμένη είτε σαν πόρτα εισόδου είτε σαν πόρτα εξόδου είτε κάθε πόρτα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν πόρτα εισόδου και σαν πόρτα εξόδου. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του μαθηματικού μοντέλου είναι ότι αναφέρεται σε εγκαταστάσεις τύπου cross docking οι οποίες λειτουργούν σαν εγκαταστάσεις cross docking προ-διανομής, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ροή φορτίου από κάθε εισερχόμενο σε κάθε εξερχόμενο φορτηγό είναι καθορισμένη εκ των προτέρων. Οι υπόλοιπες προϋποθέσεις παραθέτονται ακολούθως:

- (1) Ο εξοπλισμός μετακίνησης των προϊόντων εσωτερικά των εγκαταστάσεων μπορεί να μεταφέρει έναν ορισμένο αριθμό παλετών ανά φορά από μια θύρα εισόδου σε μια θύρα εξόδου (π.χ. μια παλέτα ανά φορά)
- (2) Ο χρόνος διαχείρισης μιας παλέτας είναι ανεξάρτητος από το περιεχόμενο της.
- (3) Μετά την εκφόρτωση από τα εισερχόμενα φορτηγά, τα προϊόντα παραμένουν διαθέσιμα στην περιοχή κοντά στην θύρα εισόδου μέχρι να μεταφερθούν στη θύρα εξόδου.
- (4) Η φόρτωση ενός εξερχόμενου φορτηγού ξεκινά μόλις γίνουν διαθέσιμα όλα τα προϊόντα προς φόρτωση στην περιοχή κοντά στην θύρα που έχει προσδιοριστεί για το εξερχόμενο φορτηγό.
- (5) Ο χρόνος μετακίνησης μεταξύ κάθε ζεύγους θυρών εισόδου/εξόδου είναι ίδιος
- (6) Υπάρχει επάρκεια εξοπλισμού και μεταφορέων για τα προϊόντα.

3.1.1 Μοντέλο με προκαθορισμένες πόρτες εισόδου και πόρτες εξόδου

Πριν από την παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου δίνονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι και οι μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο:

ΔΕΙΚΤΕΣ

i	Σύνολο θυρών εισόδου $i = 1, 2, \dots, I$
j	Σύνολο εισερχομένων φορτηγών $j = 1, 2, \dots, J$
m	Σύνολο θυρών εξόδου $m = 1, 2, \dots, M$
l	Σύνολο εξερχομένων φορτηγών $l = 1, 2, \dots, L$
k, k'	Σειρά εξυπηρέτησης για φορτηγά (είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα) $k = 1, 2, \dots, K$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

$ITAT_j$	Χρόνος άφιξης εισερχομένων φορτηγών j
$OTAT_l$	Χρόνος άφιξης εξερχομένων φορτηγών l
$C_{j,i}$	Χρόνος εκφόρτωσης των εισερχομένων φορτηγών j στις θύρες εισόδου i
$H_{l,m}$	Χρόνος φόρτωσης των εξερχομένων φορτηγών l στις θύρες εξόδου m
$V_{j,l}$	Ροή φορτίου (αριθμός παλετών) από το εισερχόμενο στο εξερχόμενο φορτηγό
$DV_{j,l}$	Διαδικός πίνακας, εάν υπάρχει ροή φορτίου ανάμεσα στο φορτηγό j και το φορτηγό l ($V_{j,l}>0$), $DV_{j,l}=1$, αλλιώς 0
$d_{i,m}$	Απόσταση μεταξύ της θύρας i και της θύρας m
$speed$	Χρόνος μετακίνησης μιας μονάδας φορτίου (παλέτα) ανά πόδι
M	Μεγάλος θετικός αριθμός

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

ΑΠΟΦΑΣΗΣ

$x_{j,i,k}$	Διαδική μεταβλητή, $x_{j,i,k} = 1$ εάν τα εισερχόμενα φορτηγά j εξυπηρετούνται από τη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$y_{l,m,k}$	Διαδική μεταβλητή, $y_{l,m,k} = 1$ εάν τα εξερχόμενα φορτηγά l εξυπηρετούνται από τη θύρα m ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$f_{j,i,m,l}$	Μη αρνητική μεταβλητή, ροή παλετών μεταξύ i και m όταν το εισερχόμενο φορτηγό j κατανέμεται σε θύρα εισόδου i και όταν το εξερχόμενο φορτηγό l κατανέμεται σε θύρα εξόδου m ,
$ITTS_{j,i,k}$	Μη αρνητική μεταβλητή, χρόνος έναρξης εκφόρτωσης εισερχομένου φορτηγού j στη θύρα εισόδου i ως k -οστό φορτηγό εάν j εξυπηρετείτε στη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$OTTS_{l,m,k}$	Μη αρνητική μεταβλητή, χρόνος έναρξης φόρτωσης εξερχομένου φορτηγού l στη θύρα εξόδου m ως k -οστό φορτηγό εάν l εξυπηρετείτε στη θύρα m ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
TD_i	Χρόνος αναχώρησης εξερχομένου φορτηγού.

3.1.2 Περιορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα 14 σύνολα περιορισμών που αναπτύχθηκαν για την μοντελοποίηση μιας εγκατάστασης cross-docking. Αφού αρχικά παρουσιαστούν οι γενικοί περιορισμοί που χρησιμοποιούνται σε κάθε πρόβλημα ανάθεσης (assignment problem) δίνονται οι εξειδικευμένοι για την εγκατάσταση cross-docking περιορισμοί, όπως για παράδειγμα οι περιορισμοί ροής φορτίου.

Περιορισμός εξυπηρέτησης εισερχόμενων και εξερχόμενων φορτηγών:

Κάθε εισερχόμενο φορτηγό j – εξερχόμενο φορτηγό l φορτηγό θα εξυπηρετείται σε μια και μόνο πόρτα και με μια και μόνο σειρά εξυπηρέτησης .

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{j,i,k} = 1, \quad \forall j \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K y_{l,m,k} = 1, \quad \forall l \quad (2)$$

Περιορισμοί σειράς εξυπηρέτησης:

Κάθε θύρα εισόδου i (εξόδου m) μπορεί να εξυπηρετεί ένα μόνο εισερχόμενο j – (εξερχόμενο l) φορτηγό ανά φορά. Για παράδειγμα, αν το εισερχόμενο φορτηγό j , εξυπηρετηθεί στην θύρα εισόδου i με σειρά εξυπηρέτησης k ($x_{j,i,k} = 1$) τότε ο όρος $1 - x_{j,i,k} = 0$, που σημαίνει ότι για κάθε άλλο εισερχόμενο φορτηγό j (διάφορο του j για την συγκεκριμένη θύρα εισόδου i με σειρά εξυπηρέτησης k) δεν μπορεί να έχουμε άλλο φορτηγό.

$$-M \times (1 - x_{j,i,k}) + x_{n \neq j, i, k} \leq 0, \quad \forall n \neq j, i, k \quad (3)$$

$$-M \times (1 - y_{l,m,k}) + y_{o \neq l, m, k} \leq 0, \quad \forall o \neq l, m, k \quad (4)$$

Περιορισμός ροής φορτίου

Η ροή από την θύρα εισόδου i προς την θύρα εξόδου m όταν το εισερχόμενο φορτηγό j κατανέμεται στην θύρα εισόδου i ($x_{j,i,k} = 1$) και το εξερχόμενο φορτηγό l κατανέμεται στην θύρα εξόδου m ($y_{l,m,k'} = 1$) ισούται με τη ροή $V_{j,l}$. Σε κάθε άλλη περίπτωση η $f_{j,i,m,l}$ θα ισούται με 0.

$$V_{j,l} - f_{j,i,m,l} \leq M(2 - x_{j,i,k} - y_{l,m,k'}), \quad \forall j, i, k, l, m, k' \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M f_{j,i,m,l} = V_{j,l}, \quad \forall j, l \quad (6)$$

Έναρξη εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών

Ο χρόνος έναρξης εξυπηρέτησης εισερχομένων j / εξερχομένων l φορτηγών πρέπει να είναι μεταγενέστερος από τον χρόνο άφιξης και πρέπει να είναι μηδενικός αν τα εισερχόμενα/εξερχόμενα φορτηγά δεν εξυπηρετούνται στη θύρα εισόδου/εξόδου (i/m), δηλαδή εφόσον $x_{j,i,k} = 0$ τότε $0 \leq ITTS_{j,i,k} \leq 0$. (όμοια για το $OTTS_{l,m,k}$).

$$ITAT_j \cdot x_{j,i,k} \leq ITTS_{j,i,k} \leq Mx_{j,i,k}, \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

$$OTAT_l \cdot y_{l,m,k} \leq OTTS_{l,m,k} \leq My_{l,m,k}, \quad \forall l, m, k \quad (8)$$

Έναρξη φόρτωσης

Ο χρόνος έναρξης φόρτωσης του εξερχομένου φορτηγού l θα πρέπει να είναι μεταγενέστερος του χρόνου που το τελευταίο εμπόρευμα είναι έτοιμο να φορτωθεί στο εξερχόμενο φορτηγό l στη θύρα εξόδου m . Άρα θα πρέπει ο χρόνος άφιξης ενός εισερχομένου φορτηγού j στη θύρα εισόδου i συν το χρόνο παραμονής στην θύρα i και το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά των προϊόντων από τη θύρα εισόδου i στη θύρα εξόδου m εφόσον τα φορτηγά j και l εξυπηρετούνται στις αντίστοιχες θύρες, να είναι

μικρότερος από τον χρόνο έναρξης της φόρτωσης του εξερχόμενου φορτηγού l στην θύρα εξόδου m .

$$OTTS_{l,m,k'} \geq (ITTS_{j,i,k} + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k}) DV_{j,i} + speed \cdot f_{j,i,m,l} \cdot d_{i,m} - M(1 - y_{l,m,k'})$$

$$\forall j, i, l, m, k, k' \quad (9)$$

Έναρξη εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών

Ο χρόνος έναρξης εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών σύμφωνα με το $(k + 1)$ φορτηγό θα πρέπει να είναι μεταγενέστερος του χρόνου λήξης παροχής εξυπηρέτησης του προγενέστερου φορτηγού.

$$ITTS_{n \neq j, i, k+1} \geq ITTS_{j, i, k} + C_{j, i} \cdot x_{j, i, k} + M(x_{j, i, k} + x_{n \neq j, i, k+1} - 2), \quad \forall n \neq j, i, k \quad (10)$$

$$OTTS_{o \neq l, m, k+1} \geq OTTS_{l, m, k} + H_{l, m} \cdot y_{l, m, k} + M(y_{l, m, k} + y_{o \neq l, m, k+1} - 2), \quad \forall o \neq l, m, k \quad (11)$$

Διαδοχή σειράς εξυπηρέτησης

Η σειρά στις θύρες εισόδου/εξόδου θα πρέπει να είναι διαδοχική

$$-1 + k \times x_{j, i, k} \leq \sum_{n \neq j}^J \sum_{h < k}^K x_{n, i, h}, \quad \forall j, i, k > 1 \quad (12)$$

$$-1 + k \times y_{l, m, k} \leq \sum_{o \neq l}^L \sum_{h < k}^K y_{o, m, h}, \quad \forall l, m, k > 1 \quad (13)$$

Χρόνος αναχώρησης εξερχόμενων φορτηγών

Ορισμός της αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών, όπου θα πρέπει ο χρόνος αναχώρησης ενός εξερχόμενου φορτηγού l να είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο έναρξης της

φόρτωσης και τον χρόνο παραμονής αυτού στη θύρα εξόδου m , εφόσον το φορτηγό l εξυπηρετείται στη θύρα m .

$$TD_l \geq OTTS_{l,m,k} + H_{l,m} \times y_{l,m,k} - M \times (1 - y_{l,m,k}), \quad \forall l, m, k \quad (14)$$

3.2 Μαθηματικό μοντέλο όπου όλες οι θύρες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως θύρες εισόδου είτε ως θύρες εξόδου

3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο με ελεύθερες τις θύρες εισόδου και εξόδου

Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα εξετάζει τον προγραμματισμό εισερχομένων και εξερχομένων φορτηγών σε μια εγκατάσταση cross docking όπου κάθε πόρτα δεν θα είναι προκαθορισμένη και θα μπορεί να λειτουργήσει είτε σαν πόρτα εισόδου είτε σαν πόρτα εξόδου. Να σημειωθεί ότι όλες οι προϋποθέσεις που έχουμε λάβει υπόψη για την δημιουργία του πρώτου μοντέλου ισχύουν και σε αυτή την περίπτωση.

Πριν από την παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλο δίνονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι και οι μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο:

ΔΕΙΚΤΕΣ

i	Σύνολο όλων των θυρών $i = 1, 2, \dots, I$
j	Σύνολο εισερχομένων φορτηγών $j = 1, 2, \dots, J$
l	Σύνολο εξερχομένων φορτηγών $l = 1, 2, \dots, L$
k, k'	Σειρά εξυπηρέτησης για φορτηγά (είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα) $k = 1, 2, \dots, K$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

$ITAT_j$	Χρόνος άφιξης εισερχομένων φορτηγών j
$OTAT_l$	Χρόνος άφιξης εξερχομένων φορτηγών l
$C_{j,i}$	Χρόνος εκφόρτωσης των εισερχομένων φορτηγών j στις θύρες i
$H_{l,i}$	Χρόνος φόρτωσης των εξερχομένων φορτηγών l στις θύρες i
$V_{j,l}$	Ροή φορτίου (αριθμός παλετών) από το εισερχόμενο στο εξερχόμενο φορτηγό
$DV_{j,l}$	Διαδικός πίνακας, εάν υπάρχει ροή φορτίου ανάμεσα στο φορτηγό j και το φορτηγό l ($V_{j,l}>0$), $DV_{j,l}=1$, αλλιώς 0
$d_{i,i'}$	Απόσταση μεταξύ της θύρας i και της θύρας i'
$speed$	Χρόνος μετακίνησης μιας μονάδας φορτίου (παλέτα) ανά πόδι
M	Μεγάλος θετικός αριθμός

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

ΑΠΟΦΑΣΗΣ

$x_{j,i,k}$	Διαδική μεταβλητή, $x_{j,i,k} = 1$ εάν τα εισερχόμενα φορτηγά j εξυπηρετούνται από τη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$y_{l,i,k}$	Διαδική μεταβλητή, $y_{l,i,k} = 1$ εάν τα εξερχόμενα φορτηγά l εξυπηρετούνται από τη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$f_{j,i,i',l}$	Μη αρνητική μεταβλητή, ροή παλετών μεταξύ i και i' όταν το εισερχόμενο φορτηγό j κατανέμεται σε θύρα εισόδου i και όταν το εξερχόμενο φορτηγό l κατανέμεται σε θύρα εξόδου i' ,
$ITTS_{j,i,k}$	Μη αρνητική μεταβλητή, χρόνος έναρξης εκφόρτωσης εισερχομένου φορτηγού j στη θύρα εισόδου i ως k -οστό φορτηγό εάν j εξυπηρετείτε στη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
$OTTS_{l,i,k}$	Μη αρνητική μεταβλητή, χρόνος έναρξης φόρτωσης εξερχομένου φορτηγού l στη θύρα εξόδου i ως k -οστό φορτηγό εάν l εξυπηρετείτε στη θύρα i ως k -οστό φορτηγό, αλλιώς 0,
TD_i	Χρόνος αναχώρησης εξερχομένου φορτηγού.

3.2.2 Περιορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα 16 σύνολα περιορισμών που αναπτύχθηκαν για την μοντελοποίηση μιας εγκατάστασης cross-docking. Αφού αρχικά παρουσιαστούν οι γενικοί περιορισμοί που χρησιμοποιούνται σε κάθε πρόβλημα ανάθεσης (assignment problem) δίνονται οι εξειδικευμένα για την εγκατάσταση cross-docking περιορισμοί, όπως για παράδειγμα οι περιορισμοί ροής φορτίου.

Περιορισμός εξυπηρέτησης εισερχόμενων και εξερχόμενων φορτηγών:

Κάθε εισερχόμενο φορτηγό j – εξερχόμενο φορτηγό l φορτηγό θα εξυπηρετείται σε μια και μόνο πόρτα και με μια και μόνο σειρά εξυπηρέτησης .

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{j,i,k} = 1, \quad \forall j \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{l,i,k} = 1, \quad \forall l \quad (16)$$

Περιορισμοί σειράς εξυπηρέτησης:

Κάθε θύρα εισόδου i - εξόδου m μπορεί να εξυπηρετεί ένα μόνο εισερχόμενο j - εξερχόμενο l φορτηγό ανά φορά. Για παράδειγμα, αν το εισερχόμενο φορτηγό j , εξυπηρετηθεί στην θύρα εισόδου i με σειρά εξυπηρέτησης k ($x_{j,i,k} = 1$) τότε ο όρος $1 - x_{j,i,k} = 0$, που σημαίνει ότι για κάθε άλλο εισερχόμενο φορτηγό j (διάφορο του j για την συγκεκριμένη θύρα εισόδου i με σειρά εξυπηρέτησης k) δεν μπορεί να έχουμε άλλο φορτηγό.

$$-M \times (1 - x_{j,i,k}) + x_{n \neq j, i, k} \leq 0, \quad \forall n \neq j, i, k \quad (17)$$

$$-M(1 - y_{l,i,k}) + y_{o \neq l, i, k} \leq 0, \quad \forall o \neq l, i, k \quad (18)$$

Ελευθερώνοντας τις πόρτες να δέχονται τόσο εξερχόμενα όσο και εισερχόμενα φορτηγά πρέπει στο καινούριο μας μοντέλο να εισαγάγουμε ένα περιορισμό ο οποίος θα αποκλείει την

περίπτωση μια πόρτα i να χρησιμοποιείται από εισερχόμενα φορτηγά (IT) και συγχρόνως από εξερχόμενα (OT). Για να αποφύγουμε αυτό το λάθος εισαγάγουμε τον περιορισμό (19).

$$-M(1 - y_{l,i,k}) + x_{j,i,k} \leq 0, \quad \forall j, l, i, k \quad (19)$$

Περιορισμός ροής φορτίου

Η ροή από την θύρα εισόδου i προς την θύρα εξόδου m όταν το εισερχόμενο φορτηγό j κατανέμεται στην θύρα εισόδου i ($x_{j,i,k} = 1$) και το εξερχόμενο φορτηγό l κατανέμεται στην θύρα εξόδου m ($y_{l,i,k'} = 1$) ισούται με τη ροή $V_{j,l}$. Σε κάθε άλλη περίπτωση η $f_{j,i,l}$ θα ισούται με 0.

$$V_{j,l} - f_{j,i,l} \leq M(2 - x_{j,i,k} - y_{l,i,k'}), \quad \forall j, i, k, l, i', k' \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^I f_{j,i,l} = V_{j,l}, \quad \forall j, l \quad (21)$$

Έναρξη εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών

Ο χρόνος έναρξης εξυπηρέτησης εισερχομένων j / εξερχομένων l φορτηγών πρέπει να είναι μεταγενέστερος από τον χρόνο άφιξης και πρέπει να είναι μηδενικός αν τα εισερχόμενα/εξερχόμενα φορτηγά δεν εξυπηρετούνται στη θύρα εισόδου/εξόδου (i/i'), δηλαδή εφόσον $x_{j,i,k} = 0$ τότε $0 \leq ITTS_{j,i,k} \leq 0$. (όμοια για το $OTTS_{l,i,k}$).

$$ITAT_j \cdot x_{j,i,k} \leq ITTS_{j,i,k} \leq Mx_{j,i,k} \quad \forall j, i, k \quad (22)$$

$$OTAT_{l'} \cdot y_{l,i,k} \leq OTTS_{l,i,k} \leq My_{l,i,k} \quad \forall l, i, k \quad (23)$$

Έναρξη φόρτωσης

Ο χρόνος έναρξης φόρτωσης του εξερχομένου φορτηγού l θα πρέπει να είναι μεταγενέστερος του χρόνου που το τελευταίο εμπόρευμα είναι έτοιμο να φορτωθεί στο εξερχόμενο φορτηγό l στη θύρα εξόδου i' . Άρα θα πρέπει ο χρόνος άφιξης ενός εισερχομένου φορτηγού j στη θύρα εισόδου i συν το χρόνο παραμονής στην θύρα i και το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά των προϊόντων από τη θύρα εισόδου i στη θύρα εξόδου i' εφόσον τα φορτηγά j και l εξυπηρετούνται στις αντίστοιχες θύρες, να είναι μικρότερος από τον χρόνο έναρξης της φόρτωσης του εξερχόμενου φορτηγού l στην θύρα εξόδου i' .

$$OTTS_{l,i',k} \geq (ITTS_{j,i,k} + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k})DV_{j,l} + speed \cdot f_{j,i,i',l} \cdot d_{i,i'} - M(1 - y_{l,i',k}), \quad \forall j, i, k, l, i', k' \quad (24)$$

Έναρξη εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών

Ο χρόνος έναρξης εξυπηρέτησης εισερχομένων/εξερχομένων φορτηγών σύμφωνα με το $(k + 1)$ φορτηγό θα πρέπει να είναι μεταγενέστερος του χρόνου λήξης παροχής εξυπηρέτησης του προγενέστερου φορτηγού.

Επίσης ένα άλλο πράγμα που πρέπει να λάβουμε υπόψη στο καινούριο μας μοντέλο είναι ότι αφού οι πόρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα από IT και OT τότε η αρχή που θα ξεφορτώσουμε ένα φορτηγό σε μία πόρτα θα ορίζεται από το προηγούμενο φορτηγό όπως και πριν το οποίο σε αυτή την περίπτωση θα μπορεί να είναι και IT και OT, γι' αυτό και πέρα των περιορισμών No11 και 13 που είχαμε και στο προηγούμενο μοντέλο θα πρέπει να εισαγάγουμε και τους περιορισμούς 26 και 28

$$ITTS_{n \neq j, i, k+1} \geq ITTS_{j, i, k} + C_{j, i} \cdot x_{j, i, k} + M(x_{j, i, k} + x_{n \neq j, i, k+1} - 2), \quad \forall n \neq j, i, k \quad (25)$$

$$ITTS_{j, i, k+1} \geq OTTS_{l, i, k} + H_{l, i} \cdot y_{l, i, k} + M(y_{l, i, k} + x_{j, i, k+1} - 2), \quad \forall j, l, i, k \quad (26)$$

$$OTTS_{o \neq l, i, k+1} \geq OTTS_{l, i, k} + H_{l, i} \cdot y_{l, i, k} + M(y_{l, i, k} + y_{o \neq l, i, k+1} - 2), \quad \forall o \neq l, i, k \quad (27)$$

$$OTTS_{l, i, k+1} \geq ITTS_{j, i, k} + C_{j, i} \cdot x_{j, i, k} + M(x_{j, i, k} + y_{l, i, k+1} - 2), \quad \forall j, l, i, k \quad (28)$$

Διαδοχή σειράς εξυπηρέτησης

Η σειρά στις θύρες εισόδου/εξόδου θα πρέπει να είναι διαδοχική

$$-2 + k \cdot (x_{j, i, k} + y_{l, i, k}) \leq \sum_{h < k} \left(\sum_{n \neq j} x_{n, i, h} + \sum_{o \neq l} y_{o, i, h} \right) \quad \forall j, l, i, k > 1 \quad (29)$$

Χρόνος αναχώρησης εξερχόμενων φορτηγών

Ορισμός της αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών, όπου θα πρέπει ο χρόνος αναχώρησης ενός εξερχομένου φορτηγού l να είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο έναρξης της φόρτωσης και τον χρόνο παραμονής αυτού στη θύρα εξόδου m , εφόσον το φορτηγό l εξυπηρετείται στη θύρα m .

$$TD_l \geq OTTS_{l, i, k} + H_{l, i} \cdot y_{l, i, k} - M(1 - y_{l, i, k}), \quad \forall l, i, k \quad (30)$$

3.2.2.1 Ελαχιστοποίηση του συνολικού starting time και handling time των ITs

Η διαδικασία του cross-docking ξεκινά όταν ένα εισερχόμενο φορτηγό (ITs) φτάνει στην εγκατάσταση και τελειώνει όταν τα προϊόντα φορτωθούν στα εξερχόμενα φορτηγά (OTs). Επικεντρώνοντας στις εργασίες που λαμβάνουν χώρα στις εισερχόμενες θύρες της εγκατάστασης παρατηρούμε τις εξής παραμέτρους: το χρόνο έναρξης της εξυπηρέτησης (starting time-ST) και το χρόνο εκφόρτωσης (εξυπηρέτησης) (handling time-HT) των εισερχόμενων φορτηγών. Ο πρώτος αναφέρεται στο χρόνο αναμονής των ITs, από την στιγμή που φτάνουν στο crossdock έως την στιγμή που θα εξυπηρετηθούν, ενώ ο δεύτερος

αναφέρεται στο χρόνο εκφόρτωσης των ITs. Η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των δυο χρόνων που περιγράψαμε οδηγούν στην μείωση του συνολικού χρόνου αναμονής και εξυπηρέτησης (makespan) της όλης διαδικασίας cross-docking [41]. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι νωρίτερος χρόνος έναρξης της εξυπηρέτησης των ITs δεν σημαίνει απαραίτητα μικρότερος χρόνος εκφόρτωσης των εμπορευμάτων (λόγω των διαφορετικών χρόνων εξυπηρέτησης του ίδιου φορτηγού από θύρα σε θύρα), οπότε θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και να βελτιστοποιηθούν συνολικά και οι δυο αυτές παράμετροι.

3.2.2.2 Ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης της διαδρομής των φορτίων

Τα προϊόντα που εκφορτώνονται από τα εισερχόμενα φορτηγά (ITs) μεταφέρονται στις θύρες εξόδου (ODs) και φορτώνονται εν συνεχεία στα εξερχόμενα φορτηγά (OTs) είτε απ'ευθείας, είτε μετά από προσωρινή αποθήκευση τους στην εγκατάσταση, είτε αφού διευθετηθούν σύμφωνα με την εκάστοτε παραγγελία. Ένας τρόπος για να μετρηθεί η απόδοση ενός συστήματος cross-docking είναι ο υπολογισμός της συνολικής απόστασης της διαδρομής που διανύουν τα προϊόντα για να φτάσουν από τις θύρες εισόδου (IDs) στις θύρες εξόδου (ODs) [7]. Οι Bartholdi και Gue παρουσιάζουν δυο μεθόδους για την αξιολόγηση της απόδοσης αυτής. Η πρώτη εξετάζει την απόσταση μεταξύ κάθε ζεύγους ID και OD και η δεύτερη την σταθμισμένη απόσταση κάθε διαδρομής που ακολουθεί ένα φορτίο. Οι έως τώρα μελέτες που συναντάμε βασίζονται στην απόσταση ανάμεσα στις IDs και ODs [7, 11]. Η εφαρμογή της νέας τεχνολογίας στις cross-docking εγκαταστάσεις παρέχει πλέον στον χειριστή ενός τέτοιου συστήματος πλήρεις πληροφορίες για την ροή των προϊόντων μέσα στη μονάδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την χρήση της σταθμισμένης απόστασης της διαδρομής των προϊόντων ως ένα μέτρο για την αποτελεσματικότερη αξιολόγηση της επίδοσης του crossdock. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του cross-docking είναι αποτελεσματική εφ' όσον το συνολικό λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είναι μικρότερο από το άθροισμα του κόστους που εξοικονομείται λόγω της μείωσης των αποθεμάτων και του

κόστους μεταφοράς των προϊόντων. Το λειτουργικό κόστος, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους εργασίας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση της διαδρομής που διανύουν τα προϊόντα, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από την αντιστοίχιση των εισερχομένων (ITs) και εξερχομένων (OTs) φορτηγών στις θύρες της εγκατάστασης. Οπότε συμπεραίνουμε ότι το λειτουργικό κόστος ενός συστήματος cross-docking μπορεί να μειωθεί με ελαχιστοποίηση της συνολικής σταθμισμένης απόστασης της διαδρομής των προϊόντων.

3.2.2.3 Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναχώρησης (departure time) των εξερχομένων φορτηγών (OTs)

Καθώς ο χρόνος αναχώρησης των OTs αποτελεί μια από τις διαδικασίες του makespan ενός συστήματος cross-docking, ελαχιστοποίησή του συνεπάγεται και άμεση ελαχιστοποίηση του makespan. Οι Wang et al. [25] παρουσιάζουν την σχέση ανάμεσα στο χρόνο αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών (OTs) και στο χρόνο αναμονής των φορτίων. Καθώς επιταχύνεται ο χρόνος αναχώρησης των OTs μειώνεται ο χρόνος που ξοδεύει ένα φορτίο μέσα στην εγκατάσταση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα όταν διακινούνται προϊόντα που μπορεί να αλλοιωθούν (π.χ. κατεψυγμένα προϊόντα) και δεν υπάρχει περιθώριο αποθήκευσής τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πολιτικές μηδενικού αποθέματος (zero-inventory) από τις αντίστοιχες εταιρείες διανομής. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η θύρα θα εξυπηρετήσει το επόμενο εξερχόμενο φορτηγό (OT) μόλις αναχωρήσει το προηγούμενο, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο αναχώρησης του προηγούμενου OT μειώνεται έμμεσα ο χρόνος αναμονής του επόμενου. Σε αντίθετη περίπτωση, μεγάλοι χρόνοι αναμονής των OTs μπορεί να προκαλέσουν κούραση και δυσαρέσκεια στους οδηγούς [41]. Συχνά ο χρόνος αναχώρησης αναφέρεται και ως χρόνος επεξεργασίας (processing time) των OTs στις θύρες εξόδου μιας εγκατάστασης crossdock [15].

3.2.3 Αντικειμενικές συναρτήσεις

Στην παρούσα εργασία για την σύγκριση των σχημάτων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο 2 κάνουμε χρήση δύο αντικειμενικών συναρτήσεων. Η πρώτη περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Θεωρούμε ότι από τις παραπάνω τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις που παρουσιάστηκαν αν θα πρέπει να εστιάσουμε την προσοχή μας σε κάποια, και να βελτιστοποιήσουμε κατά προτεραιότητα, αυτή είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών μίας και ο σημαντικός μας στόχος είναι τα προϊόντα να φτάσουν στον τελικό παραλήπτη όσο το δυνατόν ποίο γρήγορα. Έτσι για την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναχώρησης αθροιστικά όλων των εξερχόμενων φορτηγών και για τα δύο μοντέλα που παρουσιάστηκαν παραπάνω ορίζουμε την παρακάτω συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση:

$$\text{Min} \sum_{l=1}^L TD_l$$

Για μία ποιο εμπειριστατωμένη σύγκριση των διαφορετικών εγκαταστάσεων εισήχθη και μία δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση η οποία λαμβάνει υπόψην της όλα μαζί τα αντικείμενα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση είναι και πάλι μια συνάρτηση ελαχιστοποίησης και περιλαμβάνει τον χρόνο εξυπηρέτησης των εισερχομένων φορτηγών, την συνολική απόσταση της διαδρομής των φορτίων και τους χρόνους αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών. Για την ισοβαρή υιοθέτηση αυτών των αντικειμένων στην αντικειμενική συνάρτηση κάθε στοιχείο της πολλαπλασιάζεται με 2 παράγοντες: α) τον σταθερό αριθμό 0,33 μιας και η συνάρτηση περιλαμβάνει 3 στοιχεία και β) την βέλτιστη τιμή του αντικειμένου αν αυτό βελτιστοποιηθεί ξεχωριστά χωρίς να λάβουμε υπόψη τα άλλα δύο αντικείμενα.

Για το πρώτο μοντέλο:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{l=1}^L TD_l^*} \right) \sum_{l=1}^L TD_l \\
 & + 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (ITTS_{j,i,k}^* + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k}^*)} \right) \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (ITTS_{j,i,k} + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k}) \\
 & + 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M f_{j,i,m,l}^* \cdot d_{i,m}} \right) \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M f_{j,i,m,l} \cdot d_{i,m}
 \end{aligned}$$

Για το δεύτερο μοντέλο:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{l=1}^L TD_l^*} \right) \sum_{l=1}^L TD_l \\
 & + 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (ITTS_{j,i,k}^* + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k}^*)} \right) \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (ITTS_{j,i,k} + C_{j,i} \cdot x_{j,i,k}) \\
 & + 0,33 * \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{i'=1}^{I'} f_{j,i,i',l}^* \cdot d_{i,i'}} \right) \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{i'=1}^{I'} f_{j,i,i',l} \cdot d_{i,i'}
 \end{aligned}$$

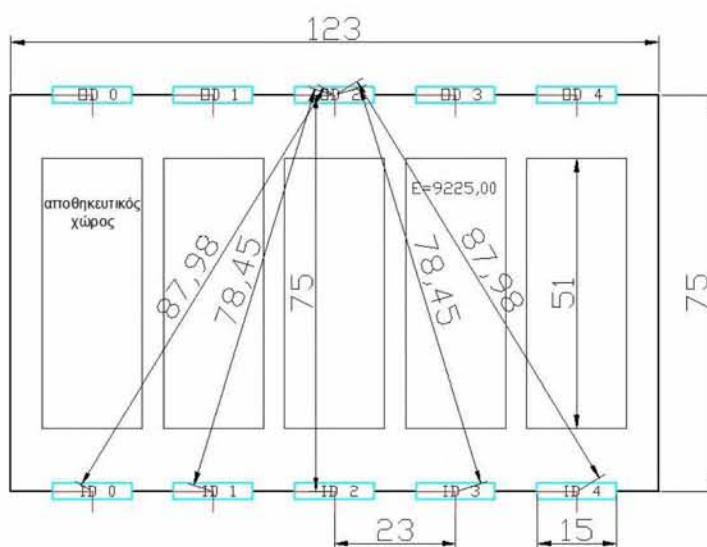
Παρατηρούμε ότι η χρήση των παραπάνω τελεστών θα μας δίνει βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία όσο πιο κοντά είναι στον αριθμό ένα (1) τόσο πιο καλά λειτουργεί η εγκατάσταση μας. Αν η βέλτιστη τιμή είναι ίση με 1 τότε αυτό σημαίνει ότι η βελτιστοποίηση όλων των αντικειμένων μαζί μας δίνει την βέλτιστη τιμή που μπορεί να πάρει καθεμία από αυτές ξεχωριστά.

3.3 Αριθμητικά δεδομένα

Στις προηγούμενες ενότητες ορίσαμε τις παραμέτρους που θα βρίσκονται στις αντικειμενικές συναρτήσεις που τίθενται προς βελτιστοποίηση και στις οποίες είτε θα δώσουμε (τυχαία έχοντας σαν βάση μια σειρά πραγματικών δεδομένων) εμείς κάποιες τιμές όπως στις $C_{i,j}$ (Χρόνος εκφόρτωσης των εισερχομένων φορτηγών j στις θύρες εισόδου i), $ITAT_j$ (Χρόνος άφιξης

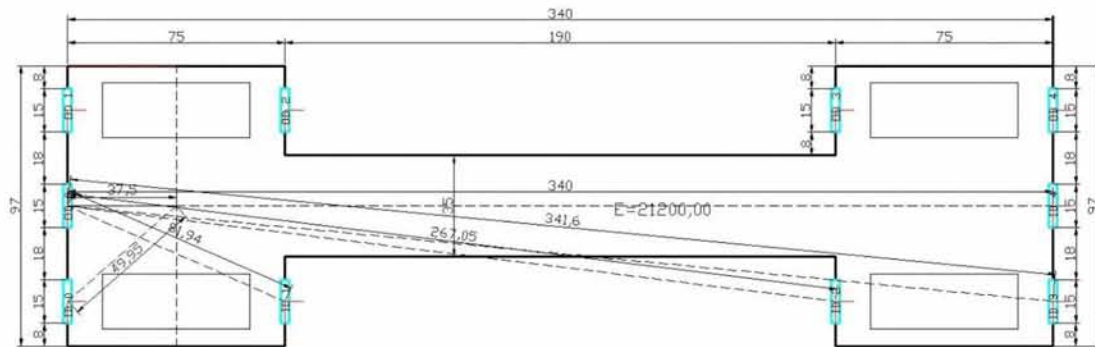
εισερχομένων φορτηγών j), $OTAT_l$ (Χρόνος άφιξης εξερχομένων φορτηγών l), $H_{l,m}$ (Χρόνος παραμονής των εξερχομένων φορτηγών l στις θύρες εξόδου m), $V_{j,l}$ (Ροή φορτίου (αριθμός παλετών) από το εισερχόμενο φορτηγό j στο εξερχόμενο φορτηγό

l) είτε οι τιμές τους θα προκύψουν με βάση τα σχήματα που σχεδιάσαμε στο 2^ο Κεφάλαιο όπως το $d_{i,m}$ (αφορά την απόσταση ανάμεσα στην θύρα εξόδου m με κάθε μία από τις θύρες εισόδου i). Έτσι για τον υπολογισμό της κάθε απόστασης πήγαμε σε κάθε σχήμα και μετρήσαμε την απόσταση ανάμεσα στις θύρες εισόδου και κάθε μια από τις θύρες εξόδου όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1 Μέτρηση αποστάσεων ανάμεσα σε θύρα εξόδου με κάθε μια από τις θύρες εισόδου

Στις περιπτώσεις όπου οι θύρες εισόδου και εξόδου βρίσκονται από την ίδια πλευρά του σχήματος (π.χ. στο σχήμα 'Η' (Εικόνα 3.2) η θύρα OD0 και ID0) ως απόσταση μεταξύ τους υπολογίσαμε την διαδρομή των εμπορευμάτων από την θύρα εισόδου έως το μέσο του τμήματος και στη συνέχεια την διαγώνια απόσταση έως τη και την θύρα εξόδου.



Εικόνα 3.2 Υπολογισμός απόστασης για θύρες που βρίσκονται στην ίδια πλευρά μιας εγκατάστασης cross docking

Το ίδιο εφαρμόσαμε και για τις αποστάσεις στη εγκατάσταση σχήματος 'Ο' όπου επίσης μετρήσαμε την διαδρομή από το κέντρο κάθε θύρας μέχρι το κέντρο της εγκατάστασης και την άφιξη των εμπορευμάτων στην εκάστοτε θύρα εξόδου. Οι τιμές που προέκυψαν για κάθε ένα από τα σχήματα, τόσο αυτών που σχεδιάστηκαν με τις ελάχιστες αποστάσεις όσο και αυτών που σχεδιάστηκαν με γνώμονα την ομοιότητα των εμβαδόν τους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος για κάθε ένα από τα σχήματα.

3.5 Επίλογος Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό είδαμε το μαθηματικό μοντέλο που θα στηριχθεί η σύγκριση των σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου τόσο στην περίπτωση όπου έχουμε προκαθορισμένες θύρες εισόδου και εξόδου όσο και στην περίπτωση που έχουμε απελευθερώσει αυτό τον περιορισμό και λειτουργούν και σαν θύρες εισόδου και σαν θύρες εξόδου. Έγινε παρουσίαση των δεικτών, των παραμέτρων και των μεταβλητών απόφασης όπως επίσης και των περιορισμών που προκύπτουν από τη λειτουργία μιας εγκατάστασης cross docking. Στην συνέχεια παραθέσαμε τις αντικειμενικές συναρτήσεις που θα τεθούν προς βελτιστοποίηση και με βάση τις οποίες θα έχουμε μία εικόνα για το ποίο σχήμα είναι το καλύτερο.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε τα αριθμητικά αποτελέσματα που παίρνουμε για όλα τα σχήματα εγκαταστάσεων cross docking που παρουσιάστηκαν στο 2^ο κεφάλαιο για 7 διαφορετικά είδη δεδομένων (δείτε Παράρτημα) και έχοντας ως αντικείμενα προς βελτιστοποίηση τις αντικειμενικές συναρτήσεις που παρουσιάστηκαν στις παραπάνω ενότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα δούμε τα αριθμητικά αποτελέσματα που εξήχθησαν έπειτα από την βελτιστοποίηση των αντικειμενικών συναρτήσεων του 3^{ου} Κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα εξετάσαμε επτά αριθμητικά παραδείγματα (δείτε Παράρτημα) για κάθε ένα από τα σχήματα που παρουσιάσαμε στο 2^ο Κεφάλαιο και για κάθε ένα από τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν. Θεωρήσαμε ότι σε κάθε εγκατάσταση έχουμε δέκα θύρες (πέντε θύρες εισόδου και πέντε θύρες εξόδου) και οργανώσαμε πρόγραμμα για είκοσι φορτηγά (δέκα εισερχόμενα και δέκα εξερχόμενα). Να σημειωθεί ότι όλα τα υπολογιστικά αποτελέσματα λαμβάνονται με τη χρήση του MIP solver της ILOG CPLEX 10.1 και έχουν κωδικοποιηθεί σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για να τρέξει το πρόγραμμα CPLEX έχει εξοπλισμό AMD Athlon 64 Processor 4 GHz, 4 GB of RAM.

4.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την πρώτη σειρά σχημάτων και το πρώτο μαθηματικό μοντέλο

4.2.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την πρώτη σειρά σχημάτων

Ο Πίνακας 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζει τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης που αφορά την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών για την πρώτη σειρά σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου.

Πίνακας 4.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης						
Σχήμα Εγκατάστασης						
	‘Γ’	‘Π’	‘Λ’	‘Η’	‘Τ’	‘Ο’
Σύνολο Δεδομένων 1	4553	9811	6512	11213	12129	3889
Σύνολο Δεδομένων 2	5099	11185	7945	12671	12372	4706
Σύνολο Δεδομένων 3	4691	10402	7468	12037	11258	4376
Σύνολο Δεδομένων 4	5738	10610	8289	11435	11821	4814
Σύνολο Δεδομένων 5	4462	9517	5731	9867	11523	3578
Σύνολο Δεδομένων 6	4008	8602	5733	9865	10650	3425
Σύνολο Δεδομένων 7	4489	9720	6994	10852	11502	3802
Μέσος Όρος	4720,14	9977,96	6953,12	11134,3	11607,76	4084,22

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι το εύρος τιμών κυμαίνεται από 3425 λεπτά έως 12372 λεπτά, με την ελάχιστη τιμή να ανήκει στη εγκατάσταση σχήματος ‘Ο’ ενώ η

μέγιστη τιμή στην εγκατάσταση σχήματος 'Τ'. Παρατηρώντας ότι σε κάθε παράδειγμα η τιμή που προκύπτει για την εγκατάσταση 'Ο' είναι μικρότερη από κάθε άλλη τιμή των υπολοίπων σχημάτων συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Ο' είναι καλύτερη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σχήματα εγκαταστάσεων που εξετάστηκαν . Δηλαδή στην εγκατάσταση σχήματος 'Ο' τα φορτηγά εξυπηρετούνται κατά μέσο όρο κάθε 2 ώρες και 52 λεπτά ενώ υπάρχει και η εγκατάσταση 'Τ' στην οποία ο χρόνος εξυπηρέτησης φτάνει τις 10 ώρες και 19 λεπτά. Η ελάχιστη τιμή για την εγκατάσταση 'Ο' προκύπτει χρησιμοποιώντας το Σύνολο δεδομένων 6 ενώ μέγιστη τιμή για την εγκατάσταση σχήματος 'Τ' προκύπτει βασιζόμενοι στο Σύνολο δεδομένων 2. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω δεδομένα είναι ότι οι εγκαταστάσεις 'Γ', 'Π', 'Η' και 'Τ' έχουν ελάχιστη τιμή επίσης για τα δεδομένα 6, ενώ η εγκατάσταση 'Λ' για τα δεδομένα 5.

Από τον μέσο όρο όλων των παραδειγμάτων βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Ο' είναι καλύτερη από όλες τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, ακολουθεί η εγκατάσταση 'Γ', η 'Λ', έπειτα η 'Π' και η 'Η' ενώ χειρότερη εγκατάσταση είναι η 'Τ'.

Πίνακας 4.2 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
Σχήμα Εγκατάστασης					
	‘Γ’	‘Π’	‘Λ’	‘Η’	‘Τ’
Σύνολο Δεδομένων 1	17%	152%	67%	188%	212%
Σύνολο Δεδομένων 2	8%	138%	69%	169%	163%
Σύνολο Δεδομένων 3	7%	138%	71%	175%	157%
Σύνολο Δεδομένων 4	19%	120%	72%	138%	146%
Σύνολο Δεδομένων 5	25%	166%	60%	176%	222%
Σύνολο Δεδομένων 6	17%	151%	67%	188%	211%
Σύνολο Δεδομένων 7	18%	156%	84%	185%	203%
Μέσος Όρος	16%	146%	70%	174%	188%

Ο Πίνακας 4.2 μας δείχνει την ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά του σχήματος 'Ο'. Η εγκατάσταση με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτή του σχήματος 'Τ' (φθάνει έως το 222% για το Σύνολο δεδομένων 5) κάτι που αναμέναμε καθώς πρόκειται και για την εγκατάσταση με το μεγαλύτερο εμβαδό από όσες μελετήσαμε. Παρόμοια αποτελέσματα είχαμε και για την εγκατάσταση σχήματος 'Η' η οποία μάλιστα για κάποια σύνολα δεδομένων (π.χ. Σύνολο δεδομένων 2 και 3) είναι και χειρότερη από την

εγκατάσταση 'Τ'. Η εγκατάσταση που έπεται σε αποτελέσματα αυτή του σχήματος 'Ο' είναι η 'Γ' της οποίας τα αποτελέσματα είναι κοντά (μέγιστη απόκλιση 25% για το Σύνολο δεδομένων 5) αλλά σε κάθε περίπτωση χειρότερα από τη βέλτιστη περίπτωση που προέκυψε μετά από την παραπάνω σύγκριση. Οι εγκαταστάσεις σχήματος 'L' και 'Π' έχουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά καθώς τα αποτελέσματά τους είναι μεν χειρότερα από αυτά της εγκατάστασης 'Ο' (που αποτελούν και τα ελάχιστα ανάμεσα στα σχήματα μας) αλλά καλύτερα από αυτά των σχημάτων 'Τ' και 'Η'.

Συμπερασματικά η σειρά προτίμηση σχήματος εγκατάστασης τύπου cross docking που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση που παρουσιάστηκε στους δύο αυτούς πίνακες είναι η κάτωθι: βέλτιστο σχήμα το 'Ο', έπειτα το 'Γ', το 'L', ακολουθεί το 'Π' το 'Η' ενώ χειρίστο είναι το σχήμα 'Τ'.

4.2.2 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης για την πρώτη σειρά σχημάτων

Στη συνέχεια ο Πίνακας 4.3 που ακολουθεί παρουσιάζει τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης η οποία αφορά ακόμα μια συνάρτηση ελαχιστοποίησης που περιλαμβάνει τον χρόνο εξυπηρέτησης των εισερχομένων φορτηγών, την συνολική απόσταση της διαδρομής των φορτίων και τους χρόνους αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών για την πρώτη σειρά σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου.

Πίνακας 4.3 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης						
Σχήμα Εγκατάστασης						
	‘Γ’	‘Π’	‘Λ’	‘Η’	‘Τ’	‘Ο’
Σύνολο Δεδομένων 1	2,22	4,77	3,17	5,46	5,90	2,15
Σύνολο Δεδομένων 2	4,04	6,66	4,73	7,55	7,37	3,15
Σύνολο Δεδομένων 3	3,82	6,25	4,49	7,23	6,77	2,89
Σύνολο Δεδομένων 4	5,32	9,83	7,68	10,60	10,96	4,85
Σύνολο Δεδομένων 5	6,07	12,94	7,79	13,41	15,66	5,12
Σύνολο Δεδομένων 6	4,98	10,68	7,12	12,25	13,23	4,89
Σύνολο Δεδομένων 7	4,06	8,80	6,33	9,82	10,41	3,66
Μέσος Όρος	4,36	8,56	5,90	9,48	10,04	3,82

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το εύρος τιμών κυμαίνεται από 2,15 έως 15,66, με την ελάχιστη τιμή να ανήκει στη εγκατάσταση σχήματος 'Ο' ενώ η μέγιστη τιμή στην εγκατάσταση σχήματος 'Τ'. Παρατηρώντας ότι σε κάθε παράδειγμα η τιμή που προκύπτει για την εγκατάσταση 'Ο' είναι μικρότερη από κάθε άλλη τιμή των υπολοίπων σχημάτων συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Ο' είναι καλύτερη και με βάση την συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σχήματα εγκαταστάσεων που εξετάστηκαν. Η ελάχιστη τιμή για την εγκατάσταση 'Ο' προκύπτει χρησιμοποιώντας το Σύνολο δεδομένων 1 ενώ μέγιστη τιμή για την εγκατάσταση σχήματος 'Τ' προκύπτει βασιζόμενοι στο σύνολο δεδομένων 5. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω δεδομένα είναι ότι οι εγκαταστάσεις 'Γ', 'Π', 'Η', 'Λ' και 'Τ' έχουν ελάχιστη τιμή επίσης για τα δεδομένα 1.

Από τον μέσο όρο όλων των παραδειγμάτων βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Ο' είναι καλύτερη από όλες τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, ακολουθεί η εγκατάσταση 'Γ', η 'Λ', έπειτα η 'Π' και η 'Η' ενώ χειρότερη εγκατάσταση είναι η 'Τ'.

Πίνακας 4.4 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
Σχήμα Εγκατάστασης					
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	3%	122%	47%	154%	174%
Σύνολο Δεδομένων 2	28%	112%	50%	140%	134%
Σύνολο Δεδομένων 3	32%	116%	55%	150%	134%
Σύνολο Δεδομένων 4	10%	103%	58%	119%	126%
Σύνολο Δεδομένων 5	18%	153%	52%	162%	206%
Σύνολο Δεδομένων 6	2%	119%	46%	151%	171%
Σύνολο Δεδομένων 7	11%	140%	73%	168%	184%
Μέσος Όρος	15%	123%	55%	149%	161%

Ο Πίνακας 4.4 μας δείχνει την ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά του σχήματος 'Ο'. Η εγκατάσταση με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτή του σχήματος 'Τ' (φθάνει έως το 206% για το Σύνολο δεδομένων 5) κάτι αναμενόμενο όμως καθώς πρόκειται για την εγκατάσταση με το μεγαλύτερο εμβαδό από όσες μελετήσαμε. Παρόμοια αποτελέσματα είχαμε και για την εγκατάσταση σχήματος 'Η' η οποία μάλιστα για κάποια σύνολα δεδομένων (π.χ. Σύνολο δεδομένων 2 και 3) είναι και χειρότερη από την εγκατάσταση 'Τ'. Η εγκατάσταση που έπεται σε αποτελέσματα αυτή του σχήματος 'Ο' είναι

η 'Γ' της οποίας τα αποτελέσματα είναι κοντά (μέγιστη απόκλιση 32% για το Σύνολο δεδομένων 3) αλλά σε κάθε περίπτωση χειρότερα από τη βέλτιστη περίπτωση που προέκυψε μετά από την παραπάνω σύγκριση. Οι εγκαταστάσεις σχήματος 'L' και 'Π' έχουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά καθώς τα αποτελέσματά τους είναι μεν χειρότερα από αυτά της εγκατάστασης 'Ο' (που αποτελούν και τα ελάχιστα ανάμεσα στα σχήματα μας) αλλά καλύτερα από αυτά των σχημάτων 'Τ' και 'Η'.

Τέλος η σειρά προτίμηση σχήματος εγκατάστασης τύπου cross docking που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση που παρουσιάστηκε στους δύο αυτούς πίνακες είναι η κάτωθι: βέλτιστο σχήμα το 'Ο', έπειτα το 'Γ', το 'L', ακολουθεί το 'Η' το 'Π' ενώ χειρίστο είναι το σχήμα 'Τ'.

4.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την δεύτερη σειρά σχημάτων για το πρώτο μαθηματικό μοντέλο

4.3.1 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων

Πίνακας 4.5 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων						
Σχήμα Εγκατάστασης						
	‘Γ’	‘Π’	‘Λ’	‘Η’	‘Τ’	‘Ο’
Σύνολο Δεδομένων 1	9152	10694	9912	13343	12129	9839
Σύνολο Δεδομένων 2	10798	12191	11999	15078	12372	11905
Σύνολο Δεδομένων 3	10768	11338	12035	14324	11258	11072
Σύνολο Δεδομένων 4	11889	12189	13139	13608	11821	12179
Σύνολο Δεδομένων 5	8968	10373	9541	11742	11523	9052
Σύνολο Δεδομένων 6	8556	9376	8789	11739	10650	8665
Σύνολο Δεδομένων 7	9023	10595	9754	12913	11502	9618
Μέσος Όρος	9879,12	10965,19	10738,43	13249,81	11607,76	10333,07

Ο Πίνακας 4.5 παρουσιάζει τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης που αφορά την ελαχιστοποίηση του

συνολικού χρόνου αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών για την δεύτερη σειρά σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου. Σ' αυτή την ενότητα του 4^{ου} Κεφαλαίου θα εξετάσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αντικειμενικές συναρτήσεις μετά από την επανασχεδίαση των εγκαταστάσεων έχοντας πλέον σχεδόν ίδια μεγέθη εγκαταστάσεων (Πίνακας 2.2). Έτσι με βάση τον Πίνακα 4.5 το εύρος των τιμών θα κυμαίνεται από 8556 λεπτά έως 15078 λεπτά με την ελάχιστη τιμή να ανήκει στην εγκατάσταση σχήματος 'Γ' και την μέγιστη στην εγκατάσταση σχήματος 'Η'. Δηλαδή στην εγκατάσταση σχήματος 'Γ' τα φορτηγά εξυπηρετούνται κατά μέσο όρο κάθε 7 ώρες και 8 λεπτά ενώ υπάρχει και η εγκατάσταση 'Η' στην οποία ο χρόνος εξυπηρέτησης φτάνει τις 12 ώρες και 34 λεπτά. Βλέπουμε ότι έχουμε μια διαφοροποίηση ως προς το πιο σχήμα έχει καλύτερη και χειρότερη συμπεριφορά καθώς όταν οι εγκαταστάσεις έχουνε παραπλήσιο εμβαδό, η εγκατάσταση 'Γ' αντικαθιστά την εγκατάσταση 'Ο' ως βέλτιστη λύση και η εγκατάσταση 'Η' την εγκατάσταση 'Τ' ως χειρότερη.

Από τον μέσο όρο όλων των παραδειγμάτων βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Γ' είναι καλύτερη από όλες τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, ακολουθεί η εγκατάσταση 'Ο', η 'L', έπειτα η 'Π' και η 'Τ' ενώ χειρότερη εγκατάσταση είναι η 'Η'.

Πίνακας 4.6 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
Σχήμα Εγκατάστασης					
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	-7%	9%	1%	36%	23%
Σύνολο Δεδομένων 2	-9%	2%	1%	27%	4%
Σύνολο Δεδομένων 3	-3%	2%	9%	29%	2%
Σύνολο Δεδομένων 4	-2%	0%	8%	12%	-3%
Σύνολο Δεδομένων 5	-1%	15%	5%	30%	27%
Σύνολο Δεδομένων 6	-1%	8%	1%	35%	23%
Σύνολο Δεδομένων 7	-6%	10%	1%	34%	20%
Μέσος Όρος	-4%	7%	4%	29%	14%

Ο Πίνακας 4.6 μας δείχνει την ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά του σχήματος 'Ο'. Έχοντας ως βάση την εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Ο' βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Γ' έχει καλύτερα αποτελέσματα, μικρότερη ελάχιστη τιμή για την συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση. Η εγκατάσταση με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτή του σχήματος 'Η' (φθάνει έως το 36% για το Σύνολο δεδομένων 1). Παρόμοια όμως αποτελέσματα με την εγκατάσταση 'Ο' είχαμε για τις εγκαταστάσεις σχήματος 'Π' και 'Λ' παραδείγματα 3, 4 και 1, 2. Η εγκατάσταση σχήματος 'Τ' που στην

προηγούμενη ενότητα ήταν χειρότερη από κάθε άλλη εγκατάσταση βλέπουμε ότι για κάποια παραδείγματα (Σύνολο δεδομένων 2 και 3) έχουμε όμοια αποτελέσματα με αυτά της εγκατάστασης 'O' ενώ για το Σύνολο δεδομένων 4 η ελάχιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι καλύτερη.

Τέλος η σειρά προτίμηση σχήματος εγκατάστασης τύπου cross docking που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση που παρουσιάστηκε στους δύο αυτούς πίνακες είναι η κάτωθι: βέλτιστο σχήμα το 'I', έπειτα το 'O', το 'L', ακολουθεί το 'Π' το 'T' ενώ χειρίστο είναι το σχήμα 'H'.

4.3.2 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης για την δεύτερη σειρά σχημάτων

Στη συνέχεια ο Πίνακας 4.7 που ακολουθεί παρουσιάζει τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης η οποία αφορά ακόμα μια συνάρτηση ελαχιστοποίησης που περιλαμβάνει τον χρόνο εξυπηρέτησης των εισερχομένων φορτηγών, την συνολική απόσταση της διαδρομής των φορτίων και τους χρόνους αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών για την δεύτερη σειρά σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου.

Πίνακας 4.7 Αριθμητικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης						
Σχήμα Εγκατάστασης						
	‘Γ’	‘Π’	‘Λ’	‘Η’	‘Τ’	‘Ο’
Σύνολο Δεδομένων 1	4,45	5,20	4,86	6,49	5,90	4,80
Σύνολο Δεδομένων 2	7,41	8,26	7,77	8,98	7,84	7,42
Σύνολο Δεδομένων 3	7,52	7,50	7,56	8,61	7,33	7,03
Σύνολο Δεδομένων 4	11,17	12,7	12,47	12,61	12,95	12,27
Σύνολο Δεδομένων 5	12,61	14,10	12,92	15,96	15,66	12,44
Σύνολο Δεδομένων 6	11,23	12,69	12,85	14,58	13,23	12,39
Σύνολο Δεδομένων 7	9,38	9,59	10,25	11,69	10,41	9,46
Μέσος Όρος	9,11	10,01	9,81	11,28	10,47	9,40

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το εύρος τιμών κυμαίνεται από 4,45 έως 15,96, με την ελάχιστη τιμή να ανήκει στη εγκατάσταση σχήματος 'Γ' ενώ η μέγιστη τιμή στην εγκατάσταση σχήματος 'Η'. Παρατηρώντας ότι σε κάθε παράδειγμα (εκτός του παραδείγματος 6 που η ελάχιστη τιμή ανήκει στη εγκατάσταση σχήματος 'Ο') η τιμή που προκύπτει για την εγκατάσταση 'Γ' είναι μικρότερη από κάθε άλλη τιμή των υπολοίπων σχημάτων συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Γ' είναι καλύτερη με βάση την συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σχήματα εγκαταστάσεων που εξετάστηκαν. Η ελάχιστη τιμή για την εγκατάσταση 'Γ' προκύπτει χρησιμοποιώντας το Σύνολο δεδομένων 1 ενώ μέγιστη τιμή για την εγκατάσταση σχήματος 'Η' προκύπτει βασιζόμενοι στο Σύνολο δεδομένων 5. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω δεδομένα είναι ότι οι εγκαταστάσεις 'Γ', 'Π', 'Η', 'L' και 'T' έχουν ελάχιστη τιμή επίσης για τα δεδομένα 1.

Από τον μέσο όρο όλων των παραδειγμάτων βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Γ' είναι καλύτερη από όλες τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, ακολουθεί η εγκατάσταση 'Ο', η 'L', έπειτα η 'Π' και η 'T' ενώ χειρότερη εγκατάσταση είναι η 'Η'.

Πίνακας 4.8 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
Σχήμα Εγκατάστασης					
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	-7%	8%	1%	35%	23%
Σύνολο Δεδομένων 2	0%	11%	5%	21%	6%
Σύνολο Δεδομένων 3	7%	7%	8%	22%	4%
Σύνολο Δεδομένων 4	-9%	4%	2%	3%	6%
Σύνολο Δεδομένων 5	1%	13%	4%	28%	26%
Σύνολο Δεδομένων 6	-9%	2%	4%	18%	7%
Σύνολο Δεδομένων 7	-1%	1%	8%	24%	10%
Μέσος Όρος	-3%	6%	4%	17%	10%

Ο Πίνακας 4.8 μας δείχνει την ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά του σχήματος 'Ο'. Έχοντας ως βάση την εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Ο' βλέπουμε ότι η εγκατάσταση σχήματος 'Γ' έχει καλύτερα αποτελέσματα, μικρότερη ελάχιστη τιμή για την συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση (εκτός από το 2^ο παράδειγμα στο οποίο

έχουμε ίδια ελάχιστη τιμή με την εγκατάσταση 'Ο' και το 5^ο παράδειγμα στο οποίο η εγκατάσταση σχήματος 'Ο' έχει καλύτερη ελάχιστη τιμή). Η εγκατάσταση με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτή του σχήματος 'Η' (φθάνει έως το 35% για το Σύνολο δεδομένων 1). Παρόμοια όμως αποτελέσματα με την εγκατάσταση 'Ο' είχαμε για την εγκατάσταση 'L'.

Τέλος η σειρά προτίμηση σχήματος εγκατάστασης τύπου cross docking που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση που παρουσιάστηκε στους δύο αυτούς πίνακες είναι η κάτωθι: βέλτιστο σχήμα το 'Γ', έπειτα το 'Ο', το 'L', ακολουθεί το 'Π' το 'Τ' ενώ χειρίστο είναι το σχήμα 'Η'.

4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την πρώτη σειρά σχημάτων για το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε την ποσοστιαία απόκλιση της βέλτιστης τιμής της ελαχιστοποίησης του χρόνου αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών (πρώτη αντικειμενική συνάρτηση) και την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος του χρόνου εξυπηρέτησης των εισερχομένων φορτηγών, της συνολικής απόστασης της διαδρομής των φορτίων και τους χρόνους αναχώρησης των εξερχομένων φορτηγών (δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση) για το δεύτερο μοντέλο και για τις δύο σειρές σχημάτων. Στο παρακάτω Πίνακα 4.9 φαίνονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα σε ότι αφορά την πρώτη αντικειμενική συνάρτηση.

Πίνακας 4.9 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
Σχήμα Εγκατάστασης					
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	22%	155%	85%	188%	275%
Σύνολο Δεδομένων 2	11%	138%	91%	165%	208%
Σύνολο Δεδομένων 3	10%	139%	94%	174%	222%
Σύνολο Δεδομένων 4	27%	123%	95%	132%	201%
Σύνολο Δεδομένων 5	33%	169%	81%	171%	285%
Σύνολο Δεδομένων 6	22%	161%	95%	180%	285%
Σύνολο Δεδομένων 7	24%	156%	110%	168%	271%
Μέσος Όρος	21%	149%	93%	168%	250%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του σχήματος 'Ο' σε σχέση με το 'Γ' έχει μεγαλώσει κατά 30% κατά μέσο όρο ενώ στα άλλα σχήματα παρατηρούνται ανάλογες τιμές με το προηγούμενο μοντέλο (βλέπε πίνακα 4.2 στήλη σχήματος 'Τ' και σε μερικές περίπτωση λίγο καλύτερες από την περίπτωση καθορισμένων πορτών όπως για παράδειγμα το σχήμα 'Η' (βλέπε πίνακα 4.2). Έτσι μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι όταν αφήνοντας ελεύθερες τις πόρτες να δέχονται και εισερχόμενα και εξερχόμενα φορτηγά τότε μπορεί να πάρουμε και καλύτερες

λύσεις από ότι όταν αυτές είναι προκαθορισμένες. Αυτό ερμηνεύεται μαθηματικά με το γεγονός ότι το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο είναι μια χαλάρωση του πρώτου και ότι η βέλτιστη λύση του πρώτου είναι εφικτή και για το δεύτερο αλλά όχι πάντα και η βέλτιστη.

Σε ότι αφορά την δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση και πάλι για την πρώτη σειρά σχημάτων αυτή εμφανίζει ανάλογα αποτελέσματα όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα οπού επίσης διακρίνουμε μια αύξηση της απόκλισης ανάμεσα στο σχήμα 'Ο' και το σχήμα Γ' οπού πλέον είναι πιο ξεκάθαρο ότι το σχήμα 'Ο' έχει καλύτερη συμπεριφορά από όλα τα υπόλοιπα σχήματα.

Πίνακας 4.10 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
	Σχήμα Εγκατάστασης				
	Γ'	Π'	Λ'	Η'	Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	4%	128%	57%	151%	223%
Σύνολο Δεδομένων 2	39%	120%	63%	138%	172%
Σύνολο Δεδομένων 3	39%	118%	67%	1445%	172%
Σύνολο Δεδομένων 4	13%	110%	70%	101%	161%
Σύνολο Δεδομένων 5	21%	155%	63%	151%	264%
Σύνολο Δεδομένων 6	5%	123%	57%	142%	219%
Σύνολο Δεδομένων 7	15%	142%	104%	151%	236%
Μέσος Όρος	19%	128%	69%	326%	206%

4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για την δεύτερη σειρά σχημάτων για το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο

Στους παρακάτω 2 πίνακες εμφανίζονται τα αποτελέσματα για την δεύτερη σειρά σχημάτων

Πίνακας 4.11 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
	Σχήμα Εγκατάστασης				
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	2%	12%	2%	34%	25%
Σύνολο Δεδομένων 2	11%	5%	3%	25%	9%
Σύνολο Δεδομένων 3	9%	5%	12%	29%	9%
Σύνολο Δεδομένων 4	8%	1%	11%	11%	9%
Σύνολο Δεδομένων 5	9%	16%	8%	28%	29%
Σύνολο Δεδομένων 6	5%	9%	5%	32%	27%
Σύνολο Δεδομένων 7	8%	11%	5%	32%	25%
Μέσος Όρος	7%	8%	7%	27%	19%

Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ίδια συγκριτικά αποτελέσματα με αυτά του Πίνακα 4.8 για την δεύτερη σειρά σχημάτων. Όπως βλέπουμε τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με πάλι καλύτερο σχήμα να εμφανίζεται το σχήμα 'Ο' το οποίο σε αυτή την περίπτωση είναι καλύτερο και από το 'Γ'.

Πίνακας 4.12 Ποσοστιαία απόκλιση αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτά της εγκατάστασης σχήματος 'Ο'					
	Σχήμα Εγκατάστασης				
	'Γ'	'Π'	'Λ'	'Η'	'Τ'
Σύνολο Δεδομένων 1	9%	9%	8%	34%	28%
Σύνολο Δεδομένων 2	9%	12%	8%	18%	8%
Σύνολο Δεδομένων 3	11%	8%	18%	18%	8%
Σύνολο Δεδομένων 4	13%	7%	12%	3%	12%
Σύνολο Δεδομένων 5	15%	16%	12%	27%	29%
Σύνολο Δεδομένων 6	12%	10%	18%	17%	18%
Σύνολο Δεδομένων 7	5%	9%	18%	21%	19%
Μέσος Όρος	11%	10%	13%	20%	17%

4.6 Συμπεράσματα

Η παρουσίαση των άνωθεν αριθμητικών αποτελεσμάτων είχε ως στόχο την εξεύρεση εκείνου του σχήματος εγκαταστάσεων cross docking που θα είναι το καλύτερο όσον αφορά τη συμπεριφορά σε σχέση με τις αντικειμενικές συναρτήσεις που εξετάστηκαν. Τηρώντας τις ελάχιστες αποστάσεις που προκύπτουν από το σχεδιασμό της κάθε εγκατάστασης, δηλαδή για την πρώτη σειρά σχημάτων του 2^{ου} Κεφαλαίου, προέκυψε ότι το βέλτιστο σχήμα είναι αυτό της εγκατάστασης 'Ο' το οποίο και αναμέναμε εφόσον η εγκατάσταση αυτή ήταν με το μικρότερο εμβαδόν από όλες τις υπόλοιπες. Αυτό ήτανε και ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου σχήματος που αποτυπώθηκε και στα αποτελέσματα που πήραμε.

Θέλοντας όμως, να έχουμε μια εναλλακτική και συγχρόνως ρεαλιστική εικόνα για τα σχήματα μιας εγκατάστασης, στη συνέχεια συγκρίναμε τα σχήματα έχοντας πλέον εγκαταστάσεις με σχεδόν ίδιο εμβαδόν (2^η σειρά σχημάτων 2^{ου} Κεφαλαίου). Στην περίπτωση αυτή είχαμε μια αλλαγή ως προς το ποια εγκατάσταση είναι η βέλτιστη ενώ το ίδιο ίσχυσε και για τη χειρίστη. Πιο συγκεκριμένα όπως είδαμε από τους Πίνακες 4.5 έως 4.8 ως βέλτιστο σχήμα εγκατάστασης εμφανίζεται να είναι το σχήμα 'Γ' απ' ότι το σχήμα 'Ο' ενώ χειρίστο είναι το 'Η' αντί για το 'Τ'. Η διαφορά όμως που προέκυψε ανάμεσα στα δύο επικρατέστερα σχήματα ήτανε πολύ μικρή (της τάξεως του 3%). Έτσι οφείλουμε να επισημάνουμε ότι το εμβαδόν της εγκατάστασης 'Ο' ήτανε μεγαλύτερο από αυτά των υπολοίπων εγκαταστάσεων (Πίνακας 2.2) κάτι που σημαίνει ότι οι αποστάσεις που διανύθηκαν για την μεταφορά των εμπορευμάτων στην συγκεκριμένη εγκατάσταση ήτανε κατάτι πιο μεγάλες απ' ότι στις υπόλοιπες εγκαταστάσεις. Αυτό όμως δεν έχει αντίκτυπο σε σχέση με τις εγκαταστάσεις 'Π', 'Λ', 'Τ', 'Η' οι οποίες συνεχίζουν και πάλι να είναι χειρότερες από την εγκατάσταση σχήματος 'Ο'. Όμως η παραπάνω λεπτομέρεια επηρεάζει το αποτέλεσμα ανάμεσα στις εγκαταστάσεις 'Γ' και 'Ο' δίνοντας ίσως εσφαλμένα την αίσθηση ότι το σχήμα 'Γ' είναι το βέλτιστο. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα δύο αυτά σχήματα που έχουνε και τη καλύτερη συμπεριφορά είναι σχήματα που έχουνε τους

λιγότερους δεσμευτικούς περιορισμούς. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι η χωροθέτηση των θυρών είναι τέτοια που δίνει την δυνατότητα στα φορτηγά να σταθμεύουν και να ελίσσονται χωρίς να χρειάζεται να τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις όπως σε άλλα σχήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 Επίλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως αντικείμενο την μελέτη του βέλτιστου σχήματος μιας εγκατάστασης τύπου cross docking μέσω της βελτιστοποίησης συγκεκριμένων αντικειμενικών συναρτήσεων.

Πιο συγκεκριμένα στο 1^ο Κεφάλαιο έγινε μια σύντομη ανάλυση για τα Logistics και τον τρόπο λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας, περιγράψαμε αναλυτικά την μέθοδο cross docking και πως αυτή λειτουργεί και αναλύσαμε το γιατί το σχήμα μιας εγκατάστασης που εφαρμόζει την συγκεκριμένη μέθοδο, αποτελεί κριτήριο διαφοροποίησης ανάμεσα στις εγκαταστάσεις.

Στο 2^ο Κεφάλαιο έγινε η αναλυτική παρουσίαση κάθε σχήματος που έχουμε συναντήσει έως τώρα καθώς και ενός σχήματος που αποτελεί και μια εναλλακτική πρόταση. Σχεδιάσαμε εγκαταστάσεις εφαρμόζοντας τους εκάστοτε περιορισμούς για κάθε σχήμα, προκύπτοντας έτσι η 1^η σειρά σχημάτων. Όμως για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη άποψη για να συγκρίνουμε τα σχήματα μεταξύ τους προχωρήσαμε στην επανασχεδίαση των εγκαταστάσεων, χαλαρώνοντας πλέον τους περιορισμούς ελαχίστου μεγέθους δημιουργώντας έτσι όμοιες εγκαταστάσεις ως προς το μέγεθος τους.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύθηκε το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ώστε να προκύψουν τα αριθμητικά αποτελέσματα που θα μας δώσουν την δυνατότητα να επιλέξουμε και το βέλτιστο σχήμα με βάση της παραμέτρους που αυτά εξετάστηκαν.

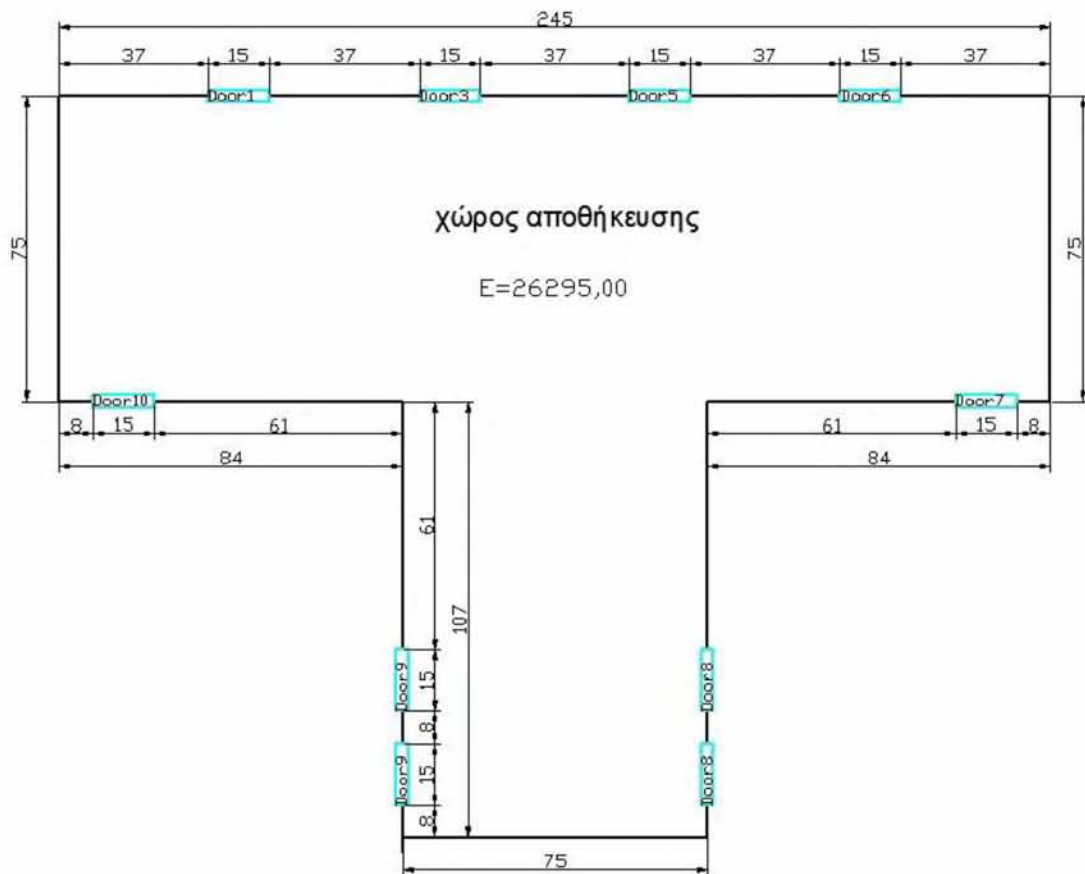
Στο 4^ο Κεφάλαιο έγινε η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε ένα από τα σχήματα, τα συγκρίναμε μεταξύ τους και προέκυψε η βέλτιστη εγκατάσταση.

Μετά από όλα όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια προέκυψε ότι η εγκατάσταση 'Ο' μπορεί να αποτελέσει μια επιλογή για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν την μέθοδο cross docking η οποία για μικρές εγκαταστάσεις (έως δέκα θύρες) είναι και η βέλτιστη λύση. Το βασικό πλεονέκτημα της εγκατάστασης είναι το μικρό μέγεθος της που δίνει την

δυνατότητα μείωσης της μεταφοράς των προϊόντων στο εσωτερικό της. Όμως η παραπάνω εγκατάσταση δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου τα προϊόντα είναι ογκώδη και απαιτούν μεγάλο χώρο αποθήκευσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Η εικόνα που ακολουθεί μας δείχνει μια διαφορετική χωροθέτηση των θυρών για μια εγκατάσταση cross docking σχήματος 'Γ', όπου όμως απορρίφθηκε διότι προκύπτει μια εγκατάσταση που έχει μεγαλύτερο εμβαδό από αυτή που προτιμήθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο.



Εικόνα Π.1. Μια άλλη κατανομή των θυρών για το σχήμα 'Γ'

Αριθμητικά Δεδομένα για το 1^ο Παράδειγμα

Τα δεδομένα για το παράδειγμα Νο 1 προέκυψαν από μια πραγματική εγκατάσταση cross docking με 10 θύρες

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	0.79
ITAT _j	1	3.17
ITAT _j	2	8.40
ITAT _j	3	11.74
ITAT _j	4	16.30
ITAT _j	5	29.19
ITAT _j	6	36.32
ITAT _j	7	46.79
ITAT _j	8	55.25
ITAT _j	9	62.39

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 2^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	6.03
ITAT _j	1	18.20
ITAT _j	2	21.14
ITAT _j	3	37.81
ITAT _j	4	41.56
ITAT _j	5	58.52
ITAT _j	6	68.50
ITAT _j	7	73.19
ITAT _j	8	75.67
ITAT _j	9	100.79

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 3^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	5.22
ITAT _j	1	56.93
ITAT _j	2	76.19
ITAT _j	3	122.32
ITAT _j	4	157.3
ITAT _j	5	160.21
ITAT _j	6	165.67
ITAT _j	7	182.90
ITAT _j	8	183.67
ITAT _j	9	234.19

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 4^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	16.81
ITAT _j	1	18.69
ITAT _j	2	52.78
ITAT _j	3	79.43
ITAT _j	4	117.97
ITAT _j	5	157.87
ITAT _j	6	160.67
ITAT _j	7	171.57
ITAT _j	8	183.53
ITAT _j	9	222.16

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 5^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	3.97
ITAT _j	1	15.84
ITAT _j	2	42.02
ITAT _j	3	58.69
ITAT _j	4	81.49
ITAT _j	5	145.93
ITAT _j	6	181.61
ITAT _j	7	233.94
ITAT _j	8	276.27
ITAT _j	9	311.95

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 6^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	26.22
ITAT _j	1	116.3
ITAT _j	2	119.37
ITAT _j	3	121.08
ITAT _j	4	142.42
ITAT _j	5	163.87
ITAT _j	6	196.44
ITAT _j	7	199.59
ITAT _j	8	229.48
ITAT _j	9	295.38

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

Αριθμητικά Δεδομένα για το 7^ο Παράδειγμα

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	0	0	55.09
C _{ji}	0	1	52.3
C _{ji}	0	2	40.39
C _{ji}	0	3	32.42
C _{ji}	0	4	46.72
C _{ji}	1	0	54.43
C _{ji}	1	1	51.36
C _{ji}	1	2	42.01
C _{ji}	1	3	50.53
C _{ji}	1	4	54.11
C _{ji}	2	0	37.02
C _{ji}	2	1	45.62
C _{ji}	2	2	51.82
C _{ji}	2	3	36.61
C _{ji}	2	4	57.26
C _{ji}	3	0	37.69
C _{ji}	3	1	41.92
C _{ji}	3	2	46.37
C _{ji}	3	3	50.95
C _{ji}	3	4	57.17
C _{ji}	4	0	32.44
C _{ji}	4	1	42.67
C _{ji}	4	2	46.08
C _{ji}	4	3	55.37
C _{ji}	4	4	59.16

Παράμετρος	i	j	Τιμή
C _{ji}	5	0	49.02
C _{ji}	5	1	30.47
C _{ji}	5	2	39.78
C _{ji}	5	3	45.3
C _{ji}	5	4	41.78
C _{ji}	6	0	36.66
C _{ji}	6	1	38.28
C _{ji}	6	2	41.22
C _{ji}	6	3	40.5
C _{ji}	6	4	30.08
C _{ji}	7	0	39.58
C _{ji}	7	1	46.11
C _{ji}	7	2	40.61
C _{ji}	7	3	37.39
C _{ji}	7	4	55.88
C _{ji}	8	0	31.09
C _{ji}	8	1	37.58
C _{ji}	8	2	34.8
C _{ji}	8	3	32.4
C _{ji}	8	4	41.18
C _{ji}	9	0	32.8
C _{ji}	9	1	40.44
C _{ji}	9	2	54.39
C _{ji}	9	3	59.66
C _{ji}	9	4	47.02

Παράμετρος	l	Τιμή
OTAT _l	0	8.1963
OTAT _l	1	12.1541
OTAT _l	2	94.701
OTAT _l	3	98.3253
OTAT _l	4	116.6572
OTAT _l	5	209.7567
OTAT _l	6	260.8904
OTAT _l	7	285.0313
OTAT _l	8	286.7682
OTAT _l	9	288.1979

Παράμετρος	j	Τιμή
ITAT _j	0	8.68
ITAT _j	1	41.66
ITAT _j	2	91.37
ITAT _j	3	123.10
ITAT _j	4	204.95
ITAT _j	5	275.83
ITAT _j	6	277.92
ITAT _j	7	279.49
ITAT _j	8	298.85
ITAT _j	9	397.45

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	0	0	59.86
$H_{l,m}$	0	1	53.05
$H_{l,m}$	0	2	57.15
$H_{l,m}$	0	3	64.06
$H_{l,m}$	0	4	62.6
$H_{l,m}$	1	0	55.43
$H_{l,m}$	1	1	50.55
$H_{l,m}$	1	2	68.5
$H_{l,m}$	1	3	50.99
$H_{l,m}$	1	4	57.86
$H_{l,m}$	2	0	78.23
$H_{l,m}$	2	1	80.65
$H_{l,m}$	2	2	52.31
$H_{l,m}$	2	3	69.69
$H_{l,m}$	2	4	80.59
$H_{l,m}$	3	0	55.64
$H_{l,m}$	3	1	89.24
$H_{l,m}$	3	2	81
$H_{l,m}$	3	3	55.45
$H_{l,m}$	3	4	80.4
$H_{l,m}$	4	0	59.1
$H_{l,m}$	4	1	49.16
$H_{l,m}$	4	2	80.1
$H_{l,m}$	4	3	70.61
$H_{l,m}$	4	4	88.05

Παράμετρος	m	l	Τιμή
$H_{l,m}$	5	0	80.25
$H_{l,m}$	5	1	49.86
$H_{l,m}$	5	2	75.95
$H_{l,m}$	5	3	47.48
$H_{l,m}$	5	4	79.87
$H_{l,m}$	6	0	77.09
$H_{l,m}$	6	1	53.62
$H_{l,m}$	6	2	67.49
$H_{l,m}$	6	3	77.76
$H_{l,m}$	6	4	59.48
$H_{l,m}$	7	0	47.68
$H_{l,m}$	7	1	57.88
$H_{l,m}$	7	2	47.27
$H_{l,m}$	7	3	59.87
$H_{l,m}$	7	4	57.78
$H_{l,m}$	8	0	62.17
$H_{l,m}$	8	1	86.66
$H_{l,m}$	8	2	61.45
$H_{l,m}$	8	3	57.66
$H_{l,m}$	8	4	74.39
$H_{l,m}$	9	0	71.23
$H_{l,m}$	9	1	87.39
$H_{l,m}$	9	2	87.22
$H_{l,m}$	9	3	61.48
$H_{l,m}$	9	4	49.18

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	0	0	8
$V_{j,l}$	1	0	4
$V_{j,l}$	4	0	8
$V_{j,l}$	5	0	8
$V_{j,l}$	0	1	12
$V_{j,l}$	1	1	6
$V_{j,l}$	2	1	10
$V_{j,l}$	2	2	12
$V_{j,l}$	3	2	12
$V_{j,l}$	4	2	4
$V_{j,l}$	0	3	8
$V_{j,l}$	1	3	18
$V_{j,l}$	2	3	2
$V_{j,l}$	3	4	16
$V_{j,l}$	4	4	8
$V_{j,l}$	5	4	4

Παράμετρος	j	l	Τιμή
$V_{j,l}$	2	5	4
$V_{j,l}$	5	5	10
$V_{j,l}$	6	5	6
$V_{j,l}$	7	5	8
$V_{j,l}$	5	6	6
$V_{j,l}$	6	6	6
$V_{j,l}$	7	6	8
$V_{j,l}$	8	6	8
$V_{j,l}$	4	7	8
$V_{j,l}$	6	7	6
$V_{j,l}$	7	7	12
$V_{j,l}$	8	7	2
$V_{j,l}$	6	8	10
$V_{j,l}$	8	8	10
$V_{j,l}$	9	8	8
$V_{j,l}$	8	9	8
$V_{j,l}$	9	9	20

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Πίνακας Π.1					
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ					
Σχήμα 'Γ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	75	78.45	87.98	101.91	118.7
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	78.45	75	78.45	87.98	101.91
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	87.98	78.45	75	78.45	87.98
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	101.91	87.98	78.45	75	78.45
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
118.7	101.91	87.98	78.45	75	
Σχήμα 'Π ή Υ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	68.37	87.97	75	214.7	282.37
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	136.35	147.16	95.05	150.08	213.66
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	206.37	213.66	150.08	95.05	147.16
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	276.89	282.37	214.7	75	87.97
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
338	339.72	268.05	87.35	87.37	
Σχήμα 'Λ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	77.66	120.01	156.66	177.94	207.18
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	112.7	154.65	201.55	207.61	222.99
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	92.78	133.15	178.56	185.37	202.44
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	185.37	178.56	133.15	192.78	60.21
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
207.61	201.55	154.65	112.7	75.01	

Σχήμα 'Η'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	87.45	81.94	267.05	341.06	340
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	113.41	99.9	273.10	346.35	341.6
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	99.9	113.41	201.14	273.1	267.05
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	273.10	201.14	113.41	99.9	81.94
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
346.35	273.10	99.9	113.41	87.45	

Σχήμα 'Τ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	75.01	192.67	231.56	279.69	246.97
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	111.37	180.76	206.34	236.56	203.34
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	151.82	179.18	188.16	193.83	159.94
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	193.83	188.16	179.18	151.82	117.12
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
236.56	206.34	180.76	111.37	76.35	

Σχήμα 'Ο'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Πίνακας Π.2					
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ					
Νέο Σχήμα 'Γ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	133	138.6	154.18	177.14	205
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	138.6	133	138.6	154.18	177.14
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	154.18	138.6	133	138.6	154.18
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	177.14	154.18	138.6	133	138.6
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
205	177.14	154.18	138.6	133	
Νέο Σχήμα 'Π ή Υ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	73.22	96.64	85.33	225.34	295.43
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	143.21	156.48	104.63	159.52	224.65
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	215.61	224.65	159.52	104.63	156.48
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	288.62	295.43	225.34	85.33	96.64
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
353	355.15	280.06	94.03	94.16	
Νέο Σχήμα 'Λ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	108.09	169	196.12	223.97	265.17
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	123.98	181.62	225.79	231.76	254.74
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	102.65	156.98	198.83	205.58	231.18
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	205.58	198.83	156.98	102.65	69.87
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
231.76	225.79	181.62	123.98	78.77	

Νέο Σχήμα 'Η'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	103.34	96.97	313.37	401.85	400
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	133.43	117.69	320.39	407.34	401.85
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	117.69	133.43	234.97	320.39	313.37
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	320.39	234.97	133.43	117.69	96.97
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
407.34	320.39	117.69	133.43	103.34	

Νέο Σχήμα 'Τ'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	75.01	192.67	231.56	279.69	246.97
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	111.37	180.76	206.34	236.56	203.34
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	151.82	179.18	188.16	193.83	159.94
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	193.83	188.16	179.18	151.82	117.12
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
236.56	206.34	180.76	111.37	76.35	

Νέο Σχήμα 'Ο'	Θύρα εξόδου $m=0$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα εξόδου $m=1$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα εξόδου $m=2$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα εξόδου $m=3$				
	Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
Θύρα εξόδου $m=4$					
Θύρα εισόδου $i=0$	Θύρα εισόδου $i=1$	Θύρα εισόδου $i=2$	Θύρα εισόδου $i=3$	Θύρα εισόδου $i=4$	
190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Πίνακας Π.3									
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ									
Σχήμα 'Γ'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	75	78.45	87.98	101.91	118.7	81.5	96.8	116	136.8
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	78.45	75	78.45	87.98	101.91	81.5	81.5	96.8	116
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	87.98	78.45	75	78.45	87.98	96.8	81.5	81.5	96.8
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	101.91	87.98	78.45	75	78.45	116	96.8	81.5	81.5
Θύρα $i=4$									
Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$	
118.7	101.91	87.98	78.45	75	136.8	116	96.8	81.5	

Σχήμα 'Π ή Υ'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	68.37	87.97	75	214.7	282.37	106.13	174.31	244.33	276.89
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	136.35	147.16	95.05	150.08	213.66	106.13	106.13	174.31	206.37
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	206.37	213.66	150.08	95.05	147.16	174.31	106.13	106.13	136.35
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	276.89	282.37	214.7	75	87.97	244.33	174.31	106.13	68.37
Θύρα $i=4$									
Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$	
338	339.72	268.05	87.35	87.37	276.89	206.37	136.35	68.37	

Σχήμα 'Λ'	Θύρα i=0								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	77.66	120.01	156.66	177.94	207.18	75.01	60.21	202.44	222.99
	Θύρα i=1								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	112.7	154.65	201.55	207.61	222.99	75.01	59.84	197.25	212.84
	Θύρα i=2								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	92.78	133.15	178.56	185.37	202.44	60.21	59.84	180.31	197.25
	Θύρα i=3								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	185.37	178.56	133.15	192.78	60.21	202.44	197.25	180.31	59.84
Θύρα i=4									
Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8	
207.61	201.55	154.65	112.7	75.01	222.99	212.84	197.25	59.84	

Σχήμα 'Η'	Θύρα i=0								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	87.45	81.94	267.05	341.6	340	87.45	81.94	267.05	341.6
	Θύρα i=1								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	113.41	99.9	273.1	346.35	341.6	87.45	75	265	340
	Θύρα i=2								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	99.9	113.41	201.14	273.10	267.05	81.94	75	190	265
	Θύρα i=3								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	273.1	201.14	113.41	99.9	81.94	267.05	265	190	75
Θύρα i=4									
Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8	
346.35	273.1	99.9	113.41	87.45	341.6	340	265	75	

Σχήμα 'Τ'	Θύρα i=0								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	75.01	192.67	231.56	279.69	246.97	76.35	117.12	159.94	203.34
	Θύρα i=1								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	111.37	180.76	206.34	236.56	203.34	76.35	76.35	117.12	159.94
	Θύρα i=2								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	151.82	179.18	188.16	193.83	159.94	117.12	76.35	76.35	117.12
	Θύρα i=3								
	Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8
	193.83	188.16	179.18	151.82	117.12	159.94	117.12	76.35	76.35
Θύρα i=4									
Θύρα i=0	Θύρα i=1	Θύρα i=2	Θύρα i=3	Θύρα i=4	Θύρα i=5	Θύρα i=6	Θύρα i=7	Θύρα i=8	
236.56	206.34	180.76	111.37	76.35	203.34	159.94	117.12	76.35	

Σχήμα 'Ο'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Πίνακας Π.4									
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $d_{i,m}$ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΣΕΙΡΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2^ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ									
Σχήμα 'Γ'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	133	138.6	154.18	177.14	205	143.59	169	201.08	236.08
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	138.6	133	138.6	154.18	177.14	143.59	143.59	169	201.08
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	154.18	138.6	133	138.6	154.18	169	143.59	143.59	169
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	177.14	154.18	138.6	133	138.6	201.08	169	143.59	143.59
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	205	177.14	154.18	138.6	133	236.08	201.08	169	143.59

Σχήμα 'Π ή Υ'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	73.22	96.64	85.33	225.34	295.43	114.37	184.46	256.83	288.62
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	143.21	156.48	104.63	159.52	224.65	114.37	114.37	184.46	215.61
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	215.61	224.65	159.52	104.63	156.48	184.46	114.37	114.37	143.21
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	288.62	295.43	225.34	85.33	96.64	256.83	184.46	114.37	73.22
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	353	355.15	280.06	94.03	94.16	288.62	215.61	143.21	73.22

Σχήμα 'L'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	108.09	169	196.12	223.97	265.17	78.77	69.87	231.18	254.74
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	123.98	181.62	225.79	231.76	254.74	78.77	78.31	203.13	221.32
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	102.65	156.98	198.83	205.58	231.18	69.87	78.31	183.14	203.13
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	205.58	198.83	156.98	102.65	69.87	231.18	203.13	183.14	78.31
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
231.76	225.79	181.62	123.98	78.77	254.94	221.32	203.13	78.31	

Σχήμα 'H'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	103.34	96.97	313.37	401.85	400	103.34	96.97	313.37	401.65
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	133.43	117.69	320.39	407.34	401.85	103.34	89	311	400
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	117.69	133.43	234.97	320.39	313.37	96.97	89	222	311
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	320.39	234.97	133.43	117.69	96.97	313.37	311	222	89
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
407.34	320.39	117.69	133.43	103.34	401.85	400	311	89	

Σχήμα 'T'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	75.01	192.67	231.56	279.69	246.97	76.35	117.12	159.94	203.34
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	111.37	180.76	206.34	236.56	203.34	76.35	76.35	117.12	159.94
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	151.82	179.18	188.16	193.83	159.94	117.12	76.35	76.35	117.12
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	193.83	188.16	179.18	151.82	117.12	159.94	117.12	76.35	76.35
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
236.56	206.34	180.76	111.37	76.35	203.34	159.94	117.12	76.35	

Σχήμα 'Ο'	Θύρα $i=0$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα $i=1$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα $i=2$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα $i=3$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22
	Θύρα $i=4$								
	Θύρα $i=0$	Θύρα $i=1$	Θύρα $i=2$	Θύρα $i=3$	Θύρα $i=4$	Θύρα $i=5$	Θύρα $i=6$	Θύρα $i=7$	Θύρα $i=8$
	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22	190.22

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, E. Simchi-Levi, "Designing and Managing the Supply Chain, McGraw-Hill, 2000
2. Schwind, 1996
3. Saxena, R., Cross-docking demystified, in Industrial Engineer, Sunday,2007
4. Stalk e t a l . , 1992
5. Aickelin, U. and A. Adewummi, Simulation optimization of the crossdock door assignment problem, presented in UK Operation Research Society Simulation Workshop 2006: Leamington Spa, UK.
6. Bartholdi III, J.J. and K.R. Gue, Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal, Operation Research, 48(6):p. 823-832, 2000.
7. Bartholdi III, J.J. and K.R. Gue, *The best shape for a Crossdock*. Transportation Science, 2004. 38(2): p. 235-244.
8. Bermudez, R.A., A genetic algorithm approach to LTL break-bulk terminal door assignment, University of Arkansas, 2002.
9. Peck, K.E., operational analysis of freight terminals handling less than container load shipments, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1983.
10. Tsui, L.Y. and C.-H. Chang, A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. Comput. Ind. Eng., 19(1-4): p. 309-312, 1990
11. Tsui, L.Y. and C.-H. Chang, *An optimal solution to a dock door assignment problem*. Computers & Industrial Engineering, 1992. 23(1-4): p. 283-286.
12. Vis, I., F.A. and K.J. Roodbergen, Short term storage of goods in cross-docking operations, Material Handling Research, p. 441-451, 2002
13. Vis, I., F.A. and K.J. Roodbergen, Positioning of goods in a cross-docking environment, Computers & Industrial Engineering, 2007

14. Bozer, Y.A. and H. J. Carlo, Optimizing inbound and outbound door assignment in less-than-truckload crossdocks. *IIE Transactions*, 40 (11): p. 1007-1018, 2008
15. Gue, K., R., The Effects of trailer Scheduling on the Layout of Freight Terminals, *Transportation Science*, 33 (4): p. 419-428, 1999
16. Alvarez-Perez, G., J. Gonzalez-Velarde, and J. Fowler, Crossdocking-Just in Time scheduling: an alternative solution approach. *Journal of Operational Research Society*, 1(11), 2008
17. Li, Y., A. Lim, and B. Rodrigues, Crossdocking-JIT scheduling with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 55: p. 1342-1351, 2004
18. Boysen, N., M. Fliedner, and A. Scholl, Scheduling indound and aoutbound trucks at cross docking terminals, *OR Spectrum*, 2008
19. Chen, F. and C.-Y. Lee, Minimizing the Makespan in a Two-Machine Cross-Docking Flow Shop Problem, *European Journal of Operational Research*, 193(1):p. 59-72, 2009
20. Chen, F. and K.L. Song, Cross docking logistics scheduling problem and its approximation and exact algorithms, *Industrial Engineering and Management*, 6: p. 53-58 (In Chinese), 2006
21. Chen, P., et al., Multiple crossdocks with inventory and time windows, *Comput. Oper. Res.*, 33 (1): p.43-63, 2006
22. Ma, D.Y. and F. Chen, Dynamic programming algorithm on two machines cross docking scheduling, *Journal of Shanghai Jiao tong University*, 36 (6): p. 2066-2073 (In Chinese), 2006
23. Yu, W. and P.J. Egbelu, Schedulingof inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage, *European Journal of Operational Research*, 184: p. 377-396, 2008
24. Wang, J.-F. and A. Regan, Real-Time Trailer Scheduling for Crossdock Operations, *Transportation Journal*, 47 (2): p. 5-20, 2008

25. Wang, J.-F., A. Regan, and M.-T. Tsai, *Minimizing Departure Time for Outgoing Trucks in a Crossdock*. presented in Annual Meeting of Transportation Research Board, 2008.
26. Lim, A., H. Ma, and Z. Miao, Truck Dock Assignment Problem with Time Windows and Capacity Constraint In Transshipment Network Through Crossdocks, In *Computational Science and Its Applications – ICCSA*. p. 688-697, 2006
27. Miao, Z., A. Lim, and H. Ma, Truck Dock Assignment Problem with Operational Time Constraint Within Crossdocks, *European Journal of Operational Research*, 4031: p. 262-271, 2006
28. Golias, M., et al., Scheduling Inbound Trucks at a Cross-Docking Facility: A Multi-objective and a Hierarchical Approach, presented in International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Montreal, Canada, 2009
29. Apte, U.M. and S. Viswanathan, *Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies*. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 3(3): p. 291-302, 2000.
30. Sandal, S., *Staging approaches to reduce overall cost in a crossdock environment*, in *Industrial Engineering*, University of Missouri-Columbia: Columbia, 2005
31. Bartholdi III, J.J. and S.T. Hackman, *Warehouse&Distribution Science*. Atlanta, 2008
32. Miao, Z., A. Lim, and H. Ma, *Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks*. *European Journal of Operational Research*, 192(1): p. 105-115, 2009
33. Song, K. and F. Chen. *Scheduling Cross Docking Logistics Optimization Problem with Multiple Inbound Vehicles and One Outbound Vehicle*. presented in *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 2007
34. Golias, M.M., et al., *A multi-objective decision and analysis approach for the berth scheduling problem*. *International Journal of Information Technology Project Management* (Forthcoming), 2009

35. Deb, K., *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, John Wiley and Sons, 2001
36. Arora, J.S., *Introduction to optimum design*, Academic Press, 2004
37. Collette, Y. and P. Siarry, *Multiobjective optimization: principles and case studies*, Springer, 2003
38. Zeleny, M., *Multiple criteria decision making*. New York: McGraw Hill Higher Education, 1982
39. Nedjah, N. and L.D.M. Mourelle, *Real-world multi-objective system engineering*, Nova Publishers, 2005
40. <http://www.stertil.nl/>, GENERAL INFORMATION ON HOW TO DESIGN A LOADING BAY, Stertil Dockproducts, 2011.
41. Zhang, T., et al., *Scheduling of inbound and outbound trucks at Cross-docks- Modeling and Analysis*. Journal of the Transportation Research Board, 2009.

