



**ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ LOGISTICS**

**ΘΕΜΑ**

**Hub Location Problem στην Εφοδιαστική  
Αλυσίδα Ζυθοποιίας**

Επιβλέποντες καθηγητές: Ιωάννης Γιαννίκος και Παύλος Ειρηνάκης

Γιώργος Νικολακόπουλος  
Πειραιάς 2019

## *Ευχαριστίες*

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των υποχρεώσεων φοίτησης στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν στην εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Γιαννίκο για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις του, καθώς και για όλη την πολυετή συνεργασία μας. Η παρουσία του ήταν καθοριστική στην ακαδημαϊκή μου πορεία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Παύλο Ειρηνάκη για την συμβολή του στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Ευχαριστώ επίσης τους υπεύθυνους της Ολυμπιακής Ζυθοποιίας για την βοήθεια, την συνεργασία τους και την παροχή των απαραίτητων στοιχείων για την ολοκλήρωση της μελέτης. Ιδιαίτερος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κ. Γιώργο Βλαχάκη και κ. Δημήτρη Λάμπρου για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση σε πρακτικά ζητήματα.

Ιδιαίτερη αναφορά στην αδελφή μου Παναγιώτα για την συμβολή της σε αυτή την εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάθε μέλος του οικογενειακού και φιλικού μου περιβάλλοντος για την υπομονή που επέδειξαν και την στήριξη τους διαχρονικά σε κάθε μου βήμα.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>4</b>
<b>Κεφάλαιο 1 Η φύση του προβλήματος</b>	<b>5</b>
1.1 Ταξινόμηση των HLP μοντέλων	7
1.2 Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management)	10
1.3 Multi-Period HLP	11
1.4 Αστικές Συγκοινωνίες και Θαλάσσιες Μεταφορές	12
<b>Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία</b>	<b>14</b>
2.1 Μαθηματικά μοντέλα	14
<b>Κεφάλαιο 3 Σενάριο και μοντελοποίηση</b>	<b>18</b>
3.1 Σενάριο	18
3.2 Μαθηματικό μοντέλο	21
<b>Κεφάλαιο 4 Επίλυση</b>	<b>24</b>
4.1 Aimms	24
4.2 Αποτελέσματα	26
<b>Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα</b>	<b>33</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>35</b>
<b>Πίνακες</b>	<b>37</b>
<b>Παράρτημα 1</b>	<b>42</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ρόλος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας σε έναν σύγχρονο οργανισμό έχει πλέον αναγνωριστεί, οριστεί και μελετηθεί από την επιστημονική κοινότητα σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο νέοι παράγοντες, όπως η γήρανση του πληθυσμού, η αστικοποίηση του, η αύξηση της διείσδυσης του ηλεκτρονικού εμπορίου κ.α. δημιουργούν νέες προκλήσεις. Ως εκ τούτου, στο κλασικό θέμα της τοποθεσίας των εγκαταστάσεων (Facility Location Problem) προστίθεται μια πιο εξειδικευμένη και σύγχρονη κατεύθυνση, αυτή της τοποθεσίας Hubs, γνωστή στην διεθνή βιβλιογραφία ως Hub Location Problem.

Αναλυτικότερα, επιχειρώντας παράλληλα μια απλούστευση της εικόνας της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, υπό το πρίσμα του προβλήματος Hub Location Problem, μπορεί να κατανοηθεί ως *το σύνολο της κίνησης (ροές) του εμπορεύματος (Transportation) και της στάσης (κόμβοι) του (Warehousing)*. Το σύνολο των ροών και των κόμβων δημιουργούν ένα Δίκτυο. Το Δίκτυο αποτελεί ένα δυναμικό πλαίσιο, με την κίνηση των ροών από τον κόμβο προέλευσης στον κόμβο προορισμού, μέσω κεντρικών Hubs. Τα Hubs είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν ως σημεία σύνδεσης, ενοποίησης και επανατροφοδοσίας των ροών ενός δικτύου ανάμεσα σε καθορισμένους κόμβους προέλευσης και προορισμού.

Σκοπός της εργασίας, στα πλαίσια της θεματικής ενότητας του Hub Location Problem, είναι η μελέτη ενός υπαρκτού και σύγχρονου Δικτύου, η εφαρμογή ενός ερευνητικού μοντέλου και η επίλυση του για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Στο πλαίσιο αυτό υπήρξε συνεργασία με την Ολυμπιακή Ζυθοποιία Α.Ε. για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών σχετικά με το Δίκτυο Διανομής το οποίο διαθέτει. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την δόμηση και την επίλυση του προβλήματος είναι το Aimms, ένα λογισμικό περιβάλλον δόμησης και επίλυσης μοντέλων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θεωρητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η εργασία είναι το πρόβλημα του Hub Location σε ένα Δίκτυο Μεταφορών. Η υιοθέτηση ενός συστήματος Hub & Spoke εξυπηρετεί την συγκέντρωση μικρών ροών από τους κόμβους προέλευσης σε επιλεγμένα κεντρικά Hubs, την ενοποίηση τους και την επαναπροώθηση της τελικής, προερχόμενη από αυτές τις ‘μικροροές’, συνολικής ροής στον κόμβο προορισμού. Κατά αυτόν τον τρόπο, ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος του Δικτύου, λόγω των οικονομιών κλίμακας που επιτυγχάνει η διοχέτευση των ροών μέσω των Hubs, συμβάλλοντας στην βέλτιστη αξιοποίηση των συνολικών δυνατοτήτων ενός δικτύου.

Πεδίο έρευνας θα αποτελέσει ένα κομμάτι της Εφοδιαστικής Αλυσίδας της Ολυμπιακής Ζυθοποιίας Α.Ε. και συγκεκριμένα η Διακίνηση (Transportation Network). Η Διακίνηση εκφράζει της ροές προϊόντων, πρώτων υλών, υλικών παραγωγής κ.α. ανάμεσα στις εγκαταστάσεις της εταιρίας. Σκοπός της εργασίας είναι η εφαρμογή ενός μοντέλου σε ένα πραγματικό πρόβλημα, η επίλυση του και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Στόχος, μέσα από την θεωρητική και πρακτική ενασχόληση με το Hub Location Problem, σε συνάρτηση με το στενό χρονικό πλαίσιο, είναι η κατάρτιση μιας διπλωματικής εργασίας, ικανής να αποτελέσει το έναυσμα και την βάση σε μια πιθανή μελλοντική ενασχόληση με το ίδιο πεδίο έρευνας. Στα θετικά και η προσωπική ωρίμανση και εξοικείωση του συγγραφέα με την κατάρτιση μιας θεωρητικής μελέτης και την εφαρμογή της σε πραγματικές συνθήκες.

Στο πρώτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κάνοντας μια σύντομη αναφορά σε μελέτες σταθμούς του Hub Location Problem. Από τις αρχές της βιβλιογραφικής αναφοράς του θέματος μέχρι και σήμερα, νέα δεδομένα και προκλήσεις απαιτούν την επικαιροποίηση των μελετών με ανανεωμένες επεξεργασίες. Επιπλέον, από την βιβλιογραφία παρουσιάζονται οι βασικές επεκτάσεις του Hub Location Problem σε πιο σύγχρονη βάση.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των μαθηματικών μοντέλων από τα οποία αποτελείται το τελικό μοντέλο, για την επίλυση του προβλήματος. Αναλύονται οι ιδιαιτερότητες και οι επιμέρους λεπτομέρειες τους.

Στο τρίτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το σενάριο του προβλήματος, οι ιδιαιτερότητές του και συνεπακόλουθα οι εξειδικεύσεις που έπρεπε να γίνουν στο μαθηματικό μοντέλο και η σύνθεση του τελικού μαθηματικού μοντέλου.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η δόμηση και η επίλυση του τελικού μοντέλου στην πλατφόρμα Aimms. Επιπλέον παρουσιάζονται τα κυριότερα αποτελέσματα από την επίλυση του μοντέλου και την ανάλυση ευαισθησίας.

Στο πέμπτο και τελευταίο Κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα και γίνονται οι αντίστοιχες προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

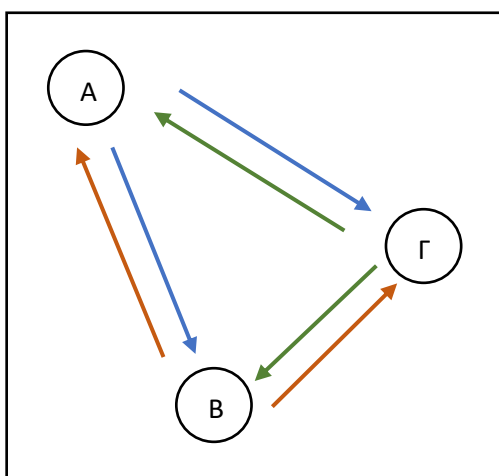
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

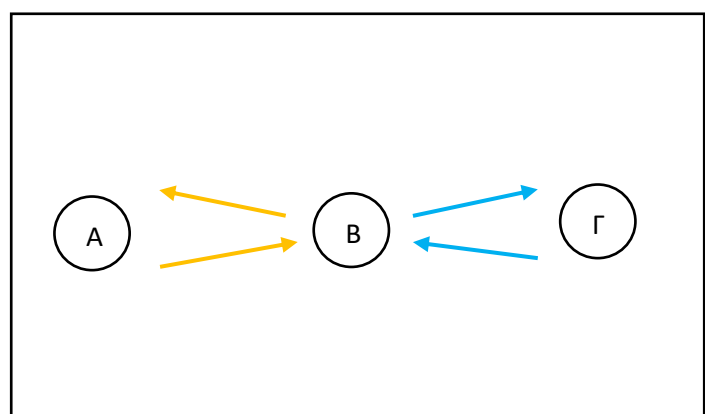
Κύριο στοιχείο της σύγχρονης ζωής αποτελεί η καθημερινή κίνηση και μεταφορά πόρων. Ροές ανθρώπων, εμπορευμάτων, ενέργειας και πληροφοριών, απαιτούν την ύπαρξη ενός πολύπλοκου Δικτύου με αλληπάλληλες συνδέσεις ανάμεσα σε σημεία προέλευσης και προορισμού, γνωστό στην βιβλιογραφία και ως πρόβλημα διανομής πολλά-προς-πολλά (Many-to-Many Distribution Problem). Μια πρόταση επίλυσης του παραπάνω προβλήματος αποτελεί και η δόμηση ενός Δικτύου Hub And Spoke, γνωστό ως πρόβλημα HLP. Στην θεωρία του HLP εντοπίζονται όμοιες καταβολές με τα αντίστοιχα προβλήματα Χωροθέτησης και Χωρικής Αλληλεπίδρασης (Location Theory και Spatial Interaction Models).

Σε ένα Δίκτυο Hub And Spoke, οι ροές ανάμεσα σε ζεύγη προέλευσης-προορισμού διαχέονται μέσω κεντρικών κόμβων που ονομάζονται Hubs και των ακροτάτων Κόμβων του Δικτύου. Όταν επιλεχθούν τα Hubs ενός Δικτύου οι εναπομείναντες Κόμβοι (spoke) συνδέονται με τα Hubs προκειμένου να μπορέσει να δημιουργηθεί το πλήρες γράφημα του Δικτύου με την κυκλοφορία των ροών μεταξύ των Κόμβων-Spoke μέσω των Hub. Η σύνδεση μπορεί να είναι είτε μονή (Single Allocation) με ένα και μόνο Hub, είτε πολλαπλή (Multiple Allocation), επιτρέποντας την σύνδεση ανάμεσα σε έναν Κόμβο-Spoke και σε περισσότερα του ενός Hub.

Τα Hubs απεικονίζουν Κεντρικές Εγκαταστάσεις ενός Δικτύου, η ύπαρξη των οποίων προσφέρει διπλό όφελος. Αφενός, η αντικατάσταση των απευθείας ροών ανάμεσα στους κόμβους με ροές που διοχετεύονται μέσω Hubs, για να φτάσουν στον τελικό προορισμό, απλοποιεί την δομή του Δικτύου, μειώνοντας τις κινήσεις ροών. Όπως φαίνεται και παρακάτω, ένα απλό Δίκτυο με τρεις Κόμβους Α, Β και Γ, με απευθείας ροές ανάμεσα στους Κόμβους, (βλέπε Σχήμα 1) είναι πιο πολύπλοκο σε σχέση με την εφαρμογή ενός Hub And Spoke συστήματος στο ίδιο ακριβώς Δίκτυο (βλέπε Σχήμα 2).



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Αφετέρου, τα Hubs λειτουργούν ως σημεία συγκέντρωσης και ομογενοποίησης μικρότερων ροών, συμβάλλοντας έτσι στην αποδοτικότερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός Δικτύου.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν τρεις βασικές παραδοχές κατά την μελέτη του προβλήματος Hub Location. Πρώτον, το Δίκτυο των Hubs είναι συνεχές, με σύνδεση όλων των Hubs μεταξύ τους. Δεύτερον, η διοχέτευση των ροών μέσω των Hubs, λόγω οικονομιών κλίμακας, έχει μικρότερο κόστος από την απευθείας σύνδεση δύο Spoke Κόμβων. Στα περισσότερα μοντέλα η παραπάνω παραδοχή απεικονίζεται με έναν παράγοντα έκπτωσης  $\alpha$ . Τρίτο, οι απευθείας συνδέσεις μεταξύ δύο Spoke Κόμβων δεν επιτρέπονται.

Κύριος στόχος ενός Hub And Spoke Δικτύου είναι η ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους. Το Συνολικό Κόστος συνήθως απεικονίζει το μεταφορικό κόστος, το κόστος εγκατάστασης ενός Hub και το λειτουργικό κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης. Επιπλέον, τίθενται στόχοι όπως η μεγιστοποίηση της δυναμικότητας ενός Δικτύου, η μεγιστοποίηση του επιπέδου εξυπηρέτησης, η ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης μια παραγγελίας κ.α. Τέλος, η ευρεία ανταπόκριση ενός Δικτύου Hub And Spoke οφείλεται στην θεαματική ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών, των μεταφορών και των Logistics με παραδείγματα εφαρμογής του Δικτύου να περιλαμβάνουν την πολιτική αεροπορία, εταιρίες courier, σιδηροδρομικές εφαρμογές κ.α.

Η ευρεία εφαρμογή σε πολλούς και διαφορετικούς κλάδους του Δικτύου Hub And Spoke, η σύνδεση με τον κλάδο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, η χρόνια μελέτη του και η ύπαρξη ενός ευρέως φάσματος υποκατηγοριών, αποτελούν μια πρόκληση για τον συγγραφέα καθιστώντας το HLP ενδιαφέρον και δυναμικό πρόβλημα. Σε συνδυασμό με τα οφέλη που μπορεί να επιτευχθούν σε επίπεδο οργάνωσης και οικονομίας, καθιστούν την μελέτη σύγχρονη και ελκυστική για οποιονδήποτε θα ήθελε να ασχοληθεί με το συγκεκριμένο θέμα.

Το κεφάλαιο αυτό θα φιλοξενήσει την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Για τις ανάγκες κάλυψης του θεωρητικού πλαισίου, μελετήθηκαν μια σειρά από άρθρα και επιστημονικές μελέτες. Αντί μιας ιστορικής αναδρομής, προτιμήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο να παρουσιαστεί μια ανάλυση των κυριότερων άρθρων της βιβλιογραφίας. Κρίθηκε σκοπιμότερο στα πλαίσια της εργασίας, ο αναγνώστης να λάβει μια ενημέρωση για την μαθηματική μοντελοποίηση του HLP προβλήματος και έπειτα κάποιες θεωρητικές προσεγγίσεις του θέματος.

Όσον αφορά την μαθηματική μοντελοποίηση του HLP, θα συζητηθεί παρακάτω το άρθρο το οποίο ασχολείται με την συστηματική κωδικοποίηση και παρουσίαση των βασικών μοντέλων ανάλυσης, δίνοντας την ευκαιρία για μια συνολικότερη εικόνα στην βασική μοντελοποίηση. Έπειτα, θα παρουσιαστούν τρία άρθρα το θεωρητικό πλαίσιο των οποίων ξεφεύγει από τα κλασικά πρότυπα του HLP. Τα συγκεκριμένα άρθρα επιλέχθηκαν καθώς αποτελούν σύγχρονες πτυχές του HLP σε τομείς που αν και δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά, σήμερα απασχολούν τόσο την ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και τον κλάδο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Εστιάζουν, αντίστοιχα, σε πτυχές πολλαπλών περιόδων (Multi-period) του HLP, σε μια υπό-ενότητα του τις Αστικές

Συγκοινωνίες και τις Θαλάσσιες Μεταφορές και τέλος στην Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας υπό το πρίσμα του HLP.

### **1.1 Ταξινόμηση των HLP μοντέλων**

Στο άρθρο των Farahani et al. (2013), επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή των κυριότερων μοντέλων HLP της διεθνούς βιβλιογραφίας μέχρι και το 2012.

Στην ιστορική αναδρομή μπορεί κανείς να εντοπίσει εύκολα τρεις ερευνητές, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, το έργο των οποίων υπήρξε σταθμός για την εξέλιξη και την έρευνα του HLP. Έτσι, αναφέρονται ο Hakimi (1964) με την έρευνα του για την βελτιστοποίηση Κόμβων (Node Optimality), μια πρώιμη μορφή του HLP, η έρευνα των Toh & Higgings (1985), η οποία προσέγγισε περισσότερο πλευρές του αεροπορικού κλάδου και της αεροπορικής βιομηχανίας και τέλος το έργο του O' Kelly (1986), με την πρώτη ιστορικά απόπειρα για μαθηματική διατύπωση και μεθοδολογία λύσης του προβλήματος HPL. Να σημειωθεί ότι στην τεκμηρίωση της αναγκαιότητας του άρθρου, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι πέραν της ιστορικής αναδρομής που έχουν προβεί, έχουν επεξεργαστεί και καταγράψει και τις σύγχρονες πλέον αναφορές στο θέμα από το 2007 μέχρι και την συγγραφή του άρθρου το 2012. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στον αναγνώστη να έρθει σε επαφή με σύγχρονες, σε κάποιες περιπτώσεις άγνωστες, πτυχές και επεξεργασίες του προβλήματος HPL.

Στο σημείο αυτό, προκειμένου να βοηθηθεί ο αναγνώστης στο επόμενο κεφάλαιο με την ανάλυση της μεθοδολογίας και τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του σεναρίου, παρουσιάζεται ολόκληρη η ανάλυση του άρθρου με τους ορισμούς και τα κριτήρια ταξινόμησης ενός HLP.

1. Πεδίο λύσης: Δίκτυο (οι υποψήφιες θέσεις Hub είναι το σύνολο των κόμβων-Spoke και των ακμών-Hubs του Δικτύου), Διακριτό (οι υποψήφιες θέσεις είναι μια σειρά από συγκεκριμένους κόμβους) και Συνεχές (οι υποψήφιες θέσεις είναι ένα επίπεδο ή μια σφαίρα).
2. Κριτήριο: Mini-Max, όταν ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του Κόστους Διακίνησης από τον Κόμβο προέλευσης στον Κόμβο προορισμού και Mini-Sum όταν ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους Διακίνησης και Κατασκευής των Hubs.
3. Η απόφαση του αριθμού των Κόμβων: Εξωγενής, όταν η απόφαση είναι προειλημμένη και γνωρίζουμε τον αριθμό των Hubs και Ενδογενής, όταν ο αριθμός των κόμβων προκύπτει ως λύση του μοντέλου.
4. Χωρητικότητα Hub: Απεριόριστη (incapacitated) και Περιορισμένη (capacitated).
5. Ο αριθμός των Hubs: Single Hub, όταν έχουμε ένα μόνο και Multiple Hub, όταν έχουμε παραπάνω από ένα.
6. Κόστος Κατασκευής Hub: Μηδενικό, Σταθερό ή Μεταβλητό Κόστος.



7. Σύνδεση Non-Hub Κόμβου με Hub Κόμβο: Single Allocation(μονή σύνδεση), όταν κάθε Non-Hub επικοινωνεί με ένα και μόνο Hub και Multiple Allocation(πολλαπλή σύνδεση), όταν κάθε Non-Hub μπορεί να επικοινωνεί με περισσότερα από ένα Hub.
8. Κόστος σύνδεσης της διαδρομής Non-Hub με Hub: Κανένα, Σταθερό ή Μεταβλητό Κόστος.

Τέλος, σύμφωνα και με την παραπάνω ταξινόμηση, παρουσιάζονται τα κυριότερα μαθηματικά μοντέλα που εντοπίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα στη βιβλιογραφία για τον σχεδιασμό ενός Hub and Spoke Δικτύου. Με τα συγκεκριμένα δεν εξαντλείται το θέμα, καθώς υπάρχουν νεότερα και πιο εξειδικευμένα μοντέλα, ωστόσο αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή ανάλυσης και σε πολλές περιπτώσεις την βάση για περαιτέρω ανάπτυξη ενός μοντέλου ή για τη δημιουργία ενός σύνθετου μαθηματικού μοντέλου. Συνοψίζοντας, παρουσιάζονται τα κυριότερα:

- Single-HLP, O'Kelly (1987)

Πεδίο λύσης: Δίκτυο  
 Κριτήριο: Mini-Sum  
 Απόφαση για Hub: Εξωγενής  
 Χωρητικότητα: Απεριόριστη  
 Αριθμός Hub: Ένα  
 Κόστος Κατασκευής Hub: Κανένα  
 Σύνδεση Non-Hub Κόμβου με Hub Κόμβο: Single Allocation

Οι εισροές στο μοντέλο είναι οι μεταφερόμενες ροές ανάμεσα στους Κόμβους και το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς τους. Οι εκροές του, η δυαδική τιμή απόφασης, που απεικονίζει την εγκατάσταση ή μη ενός Hub.

- P-HLP, O'Kelly (1987)

Πεδίο λύσης: Δίκτυο  
 Κριτήριο: Mini-Sum  
 Απόφαση για Hub: Εξωγενής  
 Χωρητικότητα: Απεριόριστη  
 Αριθμός Hub: Ορίζεται με P  
 Κόστος Κατασκευής Hub: Κανένα  
 Σύνδεση Non-Hub Κόμβου με Hub Κόμβο: Single Allocation

Χαρακτηριστικό του μοντέλου αποτελεί μια μεταβλητή 'έκπτωσης', η οποία απεικονίζει τις εξοικονομήσεις λόγω οικονομιών κλίμακας που πετυχαίνει το δίκτυο κατά την διακίνηση ανάμεσα στα Hubs. Κατά τα υπόλοιπα, το μοντέλο ακολουθεί τις ίδιες εισροές και εκροές με το Single-HLP.

- P-Hub median location problem (Multiple Allocation P-HLP), Campbell (1991)

Το μοντέλο θα αναλυθεί παρακάτω, στην μεθοδολογία, καθώς αποτελεί κομμάτι αυτής της εργασίας.

- P-HLP with fixed link cost, Campbell (1994b)

Το μοντέλο θα αναλυθεί παρακάτω, στην μεθοδολογία, καθώς αποτελεί κομμάτι αυτής της εργασίας.

- Minimum-Value Flow on links model, Campbell (1994b)

Το μοντέλο θα αναλυθεί παρακάτω, στην μεθοδολογία, καθώς αποτελεί κομμάτι αυτής της εργασίας.

- P-HLP with Limited Capacity, Campbell (1994b)

Το μοντέλο θα αναλυθεί παρακάτω, στην μεθοδολογία, καθώς αποτελεί κομμάτι αυτής της εργασίας.

- Continuous P-HLP, Aykin, (1988, 1995b), Aykin & Brown (1992), O'Kelly (1986a, 1986b)

Πεδίο λύσης: Συνεχές (οι υποψήφιες θέσεις είναι ένα επίπεδο ή μια σφαίρα)

Κριτήριο: Mini-Sum

Απόφαση για Hub: Εξωγενής

Χωρητικότητα: Απεριόριστη

Αριθμός Hub: Τουλάχιστον ένα ή το πολύ δύο

Κόστος Κατασκευής Hub: Κανένα

Σύνδεση Non-Hub Κόμβου με Hub Κόμβο: Single Allocation

Οι εισροές και εκροές του μοντέλου είναι παρόμοιες με το P-HPL, ωστόσο χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι μια μεταβλητή που απεικονίζει την διανυσματική θέση του Hub.

- Multi-Objective P-HLP, Costa, Captivo & Climaco (2008)

Πεδίο λύσης: Δίκτυο

Κριτήριο: Mini-Sum & Mini-Max

Απόφαση για Hub: Εξωγενής

Χωρητικότητα: Απεριόριστη

Αριθμός Hub: Τουλάχιστον ένα ή το πολύ δύο

Κόστος Κατασκευής Hub: Κανένα

Σύνδεση Non-Hub Κόμβου με Hub Κόμβο: Single Allocation

Χαρακτηριστικό του μοντέλου αποτελεί η διπλή αντικειμενική συνάρτηση της μοντελοποίησης με την πρώτη να ελαχιστοποιεί το Συνολικό Κόστος Διακίνησης και την δεύτερη να ελαχιστοποιεί τον μέγιστο χρόνο επεξεργασία της ροής από το Hub.

## **1.2 Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management)**

Στο άρθρο του Παπαγεωργίου (2009), ο συγγραφέας ασχολείται με το HLP πρόβλημα υπό το πρίσμα της Διοίκησης και Βελτιστοποίησης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management and Optimization). Η ανάγκη μιας τέτοιας προσέγγισης προκύπτει από την πολυεθνική φύση των σύγχρονων επιχειρήσεων. Συνήθως, οι δραστηριότητες μιας εταιρίας, οι εγκαταστάσεις παραγωγής, οι πρώτες ύλες και τα παραγόμενα προϊόντα είναι διασκορπισμένα σε διαφορετικές χώρες, ακόμα και ηπείρους σε κάποιες περιπτώσεις. Αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη μιας διεθνοποιημένης Εφοδιαστικής Αλυσίδας με κύριο ζητούμενο την εύρεση ισορροπίας ανάμεσα στο κόστος και την λειτουργικότητα.

Η εξισορρόπηση των παραπάνω αντικρουόμενων παραγόντων, είναι αυτή που θα δώσει και την επιθυμητή ανταγωνιστικότητα. Η ανταγωνιστικότητα μιας επιχείρησης σχετίζεται μεταξύ άλλων και με την Εφοδιαστική Αλυσίδα που διαθέτει. Αυτό, όχι μόνο για να μπορέσει να εξασφαλίσει την ύπαρξη της στις διεθνείς αγορές, αλλά κυρίως για να μπορέσει να ελαχιστοποιήσει το απόθεμα που διατηρεί για την εξασφάλιση του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης και να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του Δικτύου Μεταφορών που διαθέτει αποκτώντας πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών της. Στο παραπάνω πλαίσιο η Διοίκηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας καλείται να πάρει αποφάσεις που σχετίζονται με:

- Τον αριθμό, την δυναμικότητα και την τοποθεσία Κέντρων παραγωγής, Αποθηκών και Κέντρων Διανομής.
- Την σχεδίαση με βάση την ζήτηση της παραγωγής, μακροπρόθεσμα αλλά και στην 'τρέχουσα' περίοδο.
- Την δια-συνδεσιμότητα του Δικτύου με προμηθευτές, πελάτες και συνεργάτες.
- Τα επίπεδα αποθέματος και την ανατροφοδοσία.
- Τα μέσα μεταφοράς (Φορτηγά ΙΧ ή ΔΧ, τραίνο κ.τ.λ) και τους όγκους μεταφοράς ανά όχημα.

Συμπερασματικά, οι παραπάνω αποφάσεις καθώς και άλλες δευτερεύουσες που καλείται να πάρει η Διοίκηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: i) στον σχεδιασμό των υποδομών της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, ii) στον συγχρονισμό υποδομών, Δικτύου Μεταφοράς και του πλάνου παραγωγής κάτω από ένα ενιαίο σχέδιο και iii) στον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (real-time Management).

Προχωρώντας ο συγγραφέας κάνει μια ιστορική αναδρομή στις μελέτες που έχουν γίνει στο πλαίσιο του Supply Chain Management. Ασχολείται κυρίως με δύο μεγάλες θεματικές ενότητες, αυτή της στρατηγικής οργάνωσης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας και της αβεβαιότητας κατά μήκος της. Εδώ θα πρέπει να καταγραφεί η παρενθετική διαπίστωση, με την οποία ξεκινάει ο συγγραφέας, για την αναγκαιότητα της συνεργασίας όλων των μερών-εταιριών που αποτελούν μια Εφοδιαστική Αλυσίδα, για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων. Μια εταιρία για να μπορέσει να επωφεληθεί στο μέγιστο ποσοστό από τις υποδομές της, δεν μπορεί παρά

κατά τον αρχικό σχεδιασμό να συμπεριλάβει στην διαδικασία λήψης της απόφασης, την αλληλεπίδρασή της με προμηθευτές, πελάτες και τις εταιρίες στις οποίες έχει κάνει outsourcing κομμάτια της δραστηριότητάς της.

Όσον αφορά τις μελέτες για θέματα στρατηγικής και τακτικής της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, γίνεται αντιληπτή η ωρίμανση καθώς φτάνουμε στις πιο πρόσφατες. Αρχικά, τέθηκαν πιο πρακτικά επιχειρησιακά ζητήματα, όπως η τοποθεσία των εγκαταστάσεων σε σχέση με το πελατολόγιο και η οργάνωση της παραγωγής του προϊόντος. Έπειτα, ενσωματώθηκε και το στοιχείο του χρόνου για την ικανοποίηση ενός σχεδιασμού πολλαπλών περιόδων (Multi-period). Ενδιαφέρον εδώ έχει η προσπάθεια κάποιων μοντέλων να ενσωματώσουν σύγχρονες αναζητήσεις όπως η ελαστικότητα και η ευελιξία της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, τα διαφορετικά χρονοδιαγράμματα σε παραγωγή και διανομή κ.α. Τα τελευταία μοντέλα εστίασαν σε προβλήματα κλάδων, όπως η χημική βιομηχανία, από τους Karimi et al. (2005) και Huang & Karimi(2006), η πετρελαϊκή βιομηχανία από τους Neiro & Pinto (2004) και Schulz et al. (2005) και τέλος η βιομηχανία υδρογόνου από τους Almansoori & Shah (2006).

Ο συγγραφέας συνεχίζει με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την βελτιστοποίηση της δομής ενός Δικτύου κάτω από την αβεβαιότητα στην Εφοδιαστική Αλυσίδα. Η αβεβαιότητα στην Εφοδιαστική Αλυσίδα εντοπίζεται στην κυμαινόμενη ζήτηση του προϊόντος, της τιμής, στην διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, στην εισαγωγή νέου προϊόντος στην αγορά, σε γεωπολιτικά ζητήματα. Τα μοντέλα επίλυσης τέτοιων σεναρίων είναι σαφώς πολύπλοκα και δύσκολα στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επίλυσης. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται και μελέτη που φτάνει στα όρια του Risk Management. Από την ανάλυση φαίνεται ότι η αβεβαιότητα στην Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας αποτελεί ένα σχετικά νέο πεδίο με νέες μελέτες και μεθοδολογίες να εμφανίζονται.

### **1.3 Multi-Period HLP**

Η μελέτη των Gelareh et al. (2011), καταπιάνεται με μια ενδιαφέρουσα και πρόσφατη πτυχή του προβλήματος HLP. Συνήθως η απόφαση για το στήσιμο μιας Εφοδιαστικής Αλυσίδας, αφορά έναν μακρόχρονο σχεδιασμό του Δικτύου. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις αφορά κυρίως ένα πιο ευέλικτο μικρό χρονικό διάστημα, με αντίστοιχες εναλλαγές των παραγόντων που επηρεάζουν την λήψη της απόφασης ανά περίοδο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, οι θαλάσσιες μεταφορές με τις περισσότερες ναυτιλιακές να μην έχουν στην ιδιοκτησία τους λιμάνια, αποθηκευτικές εγκαταστάσεις ή ακόμα και εξοπλισμό. Είθισται οι ναυτιλιακές εταιρίες να νοικιάζουν για ένα χρονικό διάστημα τις εγκαταστάσεις που θέλουν να δημιουργήσουν τα Hubs ή Container Terminals, όπως συνήθως ονομάζονται. Ωστόσο, η ευελιξία αυτή και το πλεονέκτημα της απουσίας ιδιοκτησίας, μειώνεται από τον ανταγωνισμό του κλάδου και το πολιτικό περιβάλλον, παράγοντες οι οποίοι πιέζουν σε μια πιο μακροχρόνια δέσμευση με το εκάστοτε Container Terminal.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην συγκεκριμένη προσέγγιση του HLP παρουσιάζει και η εξέλιξη της διεθνούς βιβλιογραφίας και έρευνας.

Αρχικά, μια πρώιμη μορφή του θέματος παρουσιάζεται από τον Campbell (1990), ο οποίος εφαρμόζει μια συνεχή προσέγγιση για την δραστηριότητα ενός μεταφορέα σε ένα σταθερό περιβάλλον, με αυξανόμενο όγκο ζήτησης. Έπειτα ο Gelareh (2008), αντιμετώπισε στην έρευνα του ένα δυναμικό περιβάλλον, όπου η αρχική μορφοποίηση του κατά την δημιουργία του Δικτύου, δίνει στην επόμενη φάση την θέση της σε ένα πιο μακρόχρονο πλάνο για το Δίκτυο διανομής με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, το οποίο αποτελείται από το κόστος εγκατάστασης, διατήρησης και απεγκατάστασης.

Αργότερα, οι Contreras et al.(2011b), δημοσίευσαν την μελέτη τους για ένα δυναμικό, απεριόριστης χωρητικότητας HLP. Στόχος της έρευνας ήταν η ελαχιστοποίηση του Κόστους, μέσω της αναζήτησης της καλύτερης τοποθεσίας για την λειτουργία ενός Hub, σε μια πεπερασμένη χρονική περίοδο, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την πλήρη ικανοποίηση της ζήτησης σε κάθε επιμέρους χρονική περίοδο. Το Κόστος αφορά την δημιουργία, την λειτουργία και το κλείσιμο των Hubs.

#### **1.4 Αστικές Συγκοινωνίες και Θαλάσσιες Μεταφορές**

Στο (Gelareh & Nickel, 2011) παρουσιάζεται μια ενδιαφέρουσα οπτική του HLP υπό το πρίσμα των Δημόσιων και Θαλάσσιων Μεταφορών. Εντοπίζοντας ένα κενό στην βιβλιογραφία του HLP για την μελέτη μοντέλων βασιζόμενων στην δομή ενός Δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών ή Θαλάσσιων Μεταφορών, παρουσιάζουν τους λόγους που καθιστούν τους συγκεκριμένους κλάδους πιο πολύπλοκους στην δόμηση ενός μοντέλου HLP και προτείνουν την δική τους μεθοδολογία.

Εισαγωγικά αναφέρονται στα πλεονεκτήματα της εφαρμογής ενός Hub & Spoke συστήματος, εστιάζοντας στην βελτιστοποίηση της χρήσης του εξοπλισμού και κυρίως των μεταφορικών μέσων. Ένα κοινό χαρακτηριστικό των συστημάτων Hub & Spoke είναι η έλλειψη απευθείας φορτίων ανάμεσα στους απλούς κόμβους Spoke ή έστω η ελαχιστοποίηση τους, με αποτέλεσμα την τροφοδοσία του κόμβου προορισμού μέσω των Hubs. Κατά αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιείται στο κατά περίπτωση εφικτό η χρήση οχημάτων, είτε αφορά σε οδικές μεταφορές και επομένως φορτηγά, είτε σε θαλάσσιες άρα πλοία, τα οποία θα ταξιδεύουν με μικρότερο από την χωρητικότητα τους φορτίο. Επομένως, από την σκοπιά του συνολικού Δικτύου, ελαχιστοποιείται ο ανεκμετάλλευτος χώρος των μεταφορικών μέσων.

#### **Αστικές συγκοινωνίες**

Το Δίκτυο των αστικών συγκοινωνιών κάθε πόλης, αποτελείται από τουλάχιστον δύο μεταφορικά μέσα με το λεωφορείο να είναι το πιο σύνηθες και να συμπληρώνεται ανά περίπτωση με ένα μέσο ταχείας κυκλοφορίας, όπως μετρό, ηλεκτρικό ή τραμ. Είθισται στο σύνολο του Δικτύου, οι σταθμοί μέσω των οποίων διέρχεται το μέσο

ταχείας κυκλοφορίας να θεωρούνται ως Hubs του Δικτύου. Αυτό διότι, στους σταθμούς αυτούς επιτυγχάνεται η διασυνδεσιμότητα των διαφόρων μέσων αστικής συγκοινωνίας, δηλαδή αποτελούν σταθμούς συνένωσης δυο ή και περισσότερων μέσων μεταφοράς. Επιπλέον, οι σταθμοί ταχείας κυκλοφορίας λειτουργούν ως τροφοδότες, του εκάστοτε τοπικού υπό-Δικτύου λεωφορείων, το οποίο δεχόμενο τις συγκεντρωμένες ροές από το μετρό, τις διασκορπίζει σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή μέσω των πολλαπλών στάσεων από τις οποίες διέρχεται ένα λεωφορείο.

Τα Δίκτυα αστικής συγκοινωνίας, παρά το γεγονός πως αποτελούν μια ειδικότερη κατηγορία του προβλήματος HLP, διαφοροποιούνται από αυτό σε ένα βασικό του σημείο. Στα περισσότερα μοντέλα HLP υπάρχει Point-to-Point σύνδεση των Hubs, δηλαδή απευθείας σύνδεση κάθε Hub με όλα τα υπόλοιπα του Δικτύου. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στα κοινά αστικά Δίκτυα συγκοινωνίας. Στα περισσότερα η απευθείας σύνδεση των Hubs είναι περιορισμένη, στην καλύτερη εκδοχή ανάμεσα σε κάποια Hubs και όχι στο σύνολο τους. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω φυσικών εμποδίων του περιβάλλοντος στην καθολική ανάπτυξη ενός Δικτύου, είτε λόγω αρχιτεκτονικών περιορισμών, είτε ακόμα και εξαιτίας της παλαιότητας κάποιου μέρους των υποδομών οι οποίες κατασκευάστηκαν για να καλύψουν παλαιότερες ανάγκες, εντελώς διαφορετικές από τις σύγχρονες. Σε αυτή την περίπτωση το υπό-Δίκτυο των Hubs δεν αποτελεί ένα ολοκληρωμένο γράφημα σύνδεσης, βασική βιβλιογραφική προϋπόθεση των προτεινόμενων μοντέλων HLP.

Συμπερασματικά, γίνεται κατανοητή η πολυπλοκότητα του θέματος HLP και το κενό της διεθνούς βιβλιογραφίας στην μελέτη και επεξεργασία τέτοιων εκδοχών του HLP, όταν φτάνουμε σε πιο σύγχρονες (Real Life) απαιτήσεις Αστικών Συγκοινωνιών και City Logistics.

### Θαλάσσιες Μεταφορές

Και στο θέμα των θαλάσσιων μεταφορών οι συγγραφείς αναδεικνύουν την πολυπλοκότητα και την έλλειψη συμβατότητας με τα κλασικά μοντέλα HLP. Εδώ, κάνοντας χρήση ενός παραδείγματος μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από το Ευρωπαϊκό Rotterdam με τελικό προορισμό το λιμάνι Xiamen στην Ασία, αναδεικνύουν για ακόμα μια φορά, την ύπαρξη μιας σύγχρονης δομής που δεν ακολουθεί πιστά την κλασική φόρμα ενός HLP, χωρίς αυτό να είναι αρνητικό. Στην διαδρομή από το λιμάνι προέλευσης στο λιμάνι προορισμού, το πλοίο θα περάσει με την σειρά από λιμάνια Hubs, φορτώνοντας Container που έχουν έρθει είτε από άλλα μικρότερα λιμάνια (με ρόλο Spoke στο Δίκτυο), είτε έχουν συγκεντρωθεί με σιδηροδρομική, οδική ή και άλλης μορφής μεταφορά στο λιμάνι Hub. Επομένως σε κάθε λιμάνι θα φορτώσει συνεχίζοντας στο επόμενο διαγράφοντας μέχρι το λιμάνι προορισμού ένα ταξίδι όπου τα λιμάνια Hubs δεν συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, αλλά διαδοχικά το ένα μετά το άλλο. Ακόμα, επιστρέφοντας ένα πλοίο μπορεί να ακολουθήσει μια διαφορετική πορεία ανάμεσα από λιμάνια Hubs, μέχρι το τελικό. Ένα τέτοιο δίκτυο, δεν έχει ανάγκη να αποτελεί ένα ολοκληρωμένο γράφημα σύνδεσης καθενός Hub με όλα τα άλλα, παρά μόνο να αποτελεί μια συνδεδεμένη δομή και τίποτα περισσότερο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Μεθοδολογία

#### 2.1 Μαθηματικά μοντέλα

Για τις ανάγκες της εργασίας χρειάστηκε να μελετηθούν τέσσερα διαφορετικά μοντέλα. Και τα τέσσερα ανήκουν στην θεματική ενότητα του προβλήματος Hub Location Problem και αποτελούν συχνή αναφορά της κλασικής βιβλιογραφίας. Έτσι, για την σύνθεση του σεναρίου μας μελετήθηκαν τα παρακάτω μοντέλα:

- P-Hub median location problem (Multiple Allocation P-HLP), Campbell (1991)
- P-HLP with fixed link cost, Campbell (1994b)
- Minimum-Value Flow on links model, Campbell (1994b)
- P-HLP with Limited Capacity, Campbell (1994b)

Παρακάτω ακολουθεί μια παρουσίαση των βασικών στοιχείων καθενός ξεχωριστά.

#### ➤ P-Hub median location problem (Multiple Allocation P-HLP)

Το μοντέλο αποτελεί πρόταση του Campbell (1991) για μοντελοποίηση του HLP προβλήματος με χρήση γραμμικού προγραμματισμού. Παρουσιάζει ομοιότητες με το κλασικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του μεταφορικού κόστους P-median. Η συνάφεια του με τα μοντέλα P-Median και P-Hub απεικονίζεται στο όνομά του. Λόγω της δυνατότητας σύνδεσης κάθε Κόμβου σε ένα ή και περισσότερα Hubs, το μοντέλο ονομάζεται Multiple Allocation P-Hub Problem.

Στο μοντέλο το κριτήριο της αντικειμενικής συνάρτησης είναι Mini-Sum, δηλαδή η ελαχιστοποίηση του Συνολικού Μεταφορικού Κόστους. Πεδίο λύσης είναι όλο το Δίκτυο, καθώς όλοι οι Κόμβοι είναι υποψήφιες θέσεις Hub, υπάρχει σύνδεση ανάμεσα σε όλα τα Hubs και κάθε Κόμβος (Non Hub Node) μπορεί να συνδέεται με περισσότερα από ένα Hubs (Multiple Allocation).

Ορίζεται ως  $I(i)$  το σύνολο των κόμβων, όπου  $i$  ο κόμβος προέλευσης και  $j$  ο κόμβος προορισμού,  $K(k)$  το σύνολο των Hubs, όπου  $k$  και  $m$ , υποψήφιες θέσεις εγκατάστασης Hub,  $P$ , ο αριθμός των Hubs. Επιπρόσθετα, ως  $H_{ij}$  το ποσό της ροής από τον Κόμβο  $i$  στον  $j$ ,  $C_{ij}^{km}$ , το κόστος μεταφοράς από τον κόμβο  $i$  στον  $j$ , μέσω των Hubs  $k$  και  $m$ . Τέλος,  $X_k$  είναι η δυαδική μεταβλητή εγκατάστασης του Hub στην θέση  $k$ .

Όπως και στο P-Hub μοντέλο, θα συναντήσουμε τον συντελεστή  $a$ , μια από τις βασικότερες παραδοχές της κλασικής βιβλιογραφίας HLP. Ο  $a$  απεικονίζει τις εξοικονομήσεις που θα δημιουργηθούν λόγω οικονομιών κλίμακας, όταν οι ροές διοχετευθούν μέσω των Hubs. Οι εξοικονομήσεις αυτές αφορούν αποκλειστικά και μόνο το κομμάτι της διαδρομής ανάμεσα από τα Hubs. Σύμφωνα και με τα παραπάνω, το κόστος μεταφοράς πλέον είναι το άθροισμα του κόστους μεταφοράς από τους κόμβους στα Hubs και του κόστους μεταφοράς ανάμεσα στα Hubs. Στην μαθηματική του μορφή,  $C_{ij}^{km} = C_{ik} + aC_{km} + C_{mj}$ .

Τέλος, εισροές του μοντέλου αποτελούν, οι ροές ανάμεσα στους Κόμβους και το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς και εκροές, η δυαδική μεταβλητή απόφασης εγκατάστασης ενός Hub ή μη και η μεταβλητή σύνδεσης ενός Κόμβου με Hub, η οποία σε αντίθεση με το μοντέλο P-Hub δεν αποτελείται από μια δυαδική μεταβλητή, αλλά υιοθετείται η μεταβλητή  $Z_{ij}^{km} \geq 0$ , η οποία είναι μη μηδενική και εκφράζει την ροή από τον αρχικό κόμβο  $i$  στον τελικό  $j$ , διαμέσου των Hubs που βρίσκονται στις θέσεις  $k$  και  $m$ . Έτσι έχουμε:

$$\min \sum_i \sum_j \sum_s \sum_t C_{ij}^{km} * H_{ij} * Z_{ij}^{st} \quad (1)$$

$$S.T. \quad \sum_k X_k = P \quad (2)$$

$$\sum_k \sum_m Z_{ij}^{km} = 1 \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$Z_{ij}^{km} \leq X_m \quad \forall i, j, k, m \quad (4)$$

$$Z_{ij}^{km} \leq X_k \quad \forall i, j, k, m \quad (5)$$

$$Z_{ij}^{km} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (6)$$

$$X_k \in \{0,1\} \quad \forall k \quad (7)$$

Η (1) ελαχιστοποιεί το Συνολικό Μεταφορικό Κόστος, η (2) διασφαλίζει την επιλογή ακριβώς  $P$  Hubs, ενώ η (3) ότι κάθε ζεύγος  $(i,j)$  συνδέεται με ένα και μόνο ζεύγος Hubs  $(k,m)$ . Οι (4) και (5) ότι η ροή από τον Κόμβο  $i$  στον  $j$  θα περάσει από τα Hubs  $k$  και  $m$ , μόνο εάν επιλεγούν και τα δύο και σε καμιά άλλη περίπτωση. Τέλος οι (6) και (7) ορίζουν το εύρος των μεταβλητών απόφασης.

Αδυναμία του μοντέλου αποτελεί ο μεγάλος αριθμός πιθανών συνδέσεων. Στα προβλήματα Δικτύου HLP, κάθε αρχικός και τελικός Κόμβος αποτελεί υπογήφια θέση Hub, δημιουργώντας μια μεγάλη δεξαμενή μεταβλητών  $Z_{ij}^{km}$ . Το πρόβλημα διογκώνεται όσο ο αριθμός των Κόμβων αυξάνεται.



➤ P-HLP with fixed link cost

Ο Campbell το 1994 πρότεινε μια διεύρυνση των κλασικών μοντέλων με ένα σταθερό κόστος σύνδεσης Κόμβου-Hub. Καθώς κάθε Κόμβος (Non Hub) συνδέεται με ένα ή και παραπάνω Hub, δημιουργείται σε πολλές περιπτώσεις ένα σταθερό κόστος σύνδεσης των δύο. Στην πραγματικότητα, αυτό το κόστος μπορεί να αφορά μια επένδυση της εκάστοτε εταιρίας σε εξοπλισμό και εργατικό δυναμικό, έξοδα πετρελαίου ή μετακινήσεων και άλλα πάγια έξοδα κατά την ενεργοποίηση αυτής της διαδρομής.

Οι εισροές και εκροές του μοντέλου είναι ίδιες με το P-Hub median location problem. Ορίζεται ως  $g_{ik}$  το σταθερό κόστος σύνδεσης του Κόμβου  $i$  με το Hub  $k$ . Επιπλέον ορίζεται η δυαδική μεταβλητή απόφασης  $W_{ik}$ , με τιμή 1 εάν το ζεύγος  $(i,k)$  συνδέεται και 0 σε αντίθετη περίπτωση. Στην αντικειμενική συνάρτηση που είδαμε παραπάνω προστίθεται ο όρος που αφορά το σταθερό κόστος:

$$\sum_i \sum_k g_{ik} * W_{ik} \quad (8)$$

**Παρατήρηση:** Το συγκεκριμένο μοντέλο στην εργασία μας θα χρησιμοποιηθεί παραλλαγμένο, για να εκφράσει το σταθερό κόστος εγκατάστασης νέου Hub, το οποίο θα χρειαστούμε για τις ανάγκες του σεναρίου μας.

➤ Minimum-Value Flow on links model

Μια διαφορετική πρόταση του Campbell (1994), όπου αντί της σύνδεσης ενός Κόμβου(non Hub) με ένα Hub, θεωρεί πρακτικότερο να οριστεί ένα ελάχιστο επίπεδο ροών ανάμεσα σε κάθε Κόμβο και Hub, το οποίο θα πρέπει να ικανοποιείται.

Το μοντέλο είναι ανάλογα δομημένο με ένα P-Hub Median Location Problem πρόβλημα. Επιπρόσθετα ορίζεται ως  $L_{ik}$ , το ελάχιστο επίπεδο ροής από τον Κόμβο  $i$  στο Hub  $k$  και μια δυαδική μεταβλητή απόφασης  $Y_{ik}$ , με την τιμή 1 να εκφράζει την ύπαρξη σύνδεσης του Κόμβου  $i$  με το Hub  $k$  και την τιμή 0 την έλλειψη σύνδεσης. Οι εισροές και εκροές του μοντέλου είναι ίδιες με το P-Hub median location problem. Στην μαθηματική διατύπωση του P-Hub Median Location problem, θα χρειαστεί να προστεθούν:

$$Y_{ik} + Y_{jm} - 2Z_{ij}^{st} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (9)$$

$$\sum_m \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{km} + \sum_p \sum_s H_{pi} * Z_{pi}^{sk} \geq L_{ik} * Y_{ik} \quad \forall i, k \quad (10)$$

Η (9) αναγκάζει την ζήτηση από τον Κόμβο  $i$  στον Κόμβο  $j$ , να περάσει μέσω των Hubs  $k$  και  $m$ , μόνο εφόσον ο Κόμβος  $i$  συνδέεται με το Hub στην θέση  $k$  και ο Κόμβος  $j$  με το αντίστοιχο Hub της θέσης  $m$ . Οποσδήποτε πρέπει να υφίστανται και οι

συνδέσεις ταυτόχρονα. Η (10) ασχολείται με το ελάχιστο επίπεδο ροών. Ο πρώτος όρος της ανίσωσης υπολογίζει τον συνολικό όγκο της ροής από έναν Κόμβο σε ένα Hub. Ο δεύτερος τον όγκο ροών από ένα ζευγάρι Hubs, με προορισμό έναν συγκεκριμένο Κόμβο, μέσω ενός συγκεκριμένου Hub. Το άθροισμα αυτών των ροών πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή τουλάχιστον ίσο με το ελάχιστο επίπεδο ροών, αν η σύνδεση ανάμεσα σε ένα Κόμβο και Hub έχει δημιουργηθεί.

➤ P-HLP with Limited Capacity

Ακόμα μια πρόταση του Campbell (1994) που στο επίκεντρό της έχει την χωρητικότητα των Hubs. Για την ακρίβεια ο Campbell, φέρνοντας το μοντέλο πιο κοντά στην πραγματική διάσταση ενός Hub, υποστήριξε ότι κάθε εγκατάσταση έχει συγκεκριμένες δυνατότητες, οι οποίες και θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν στην δόμηση ενός μαθηματικού μοντέλου. Έτσι οι εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές θα πρέπει να περιοριστούν στο επίπεδο της χωρητικότητας του εκάστοτε Hub. Οι εισροές και εκροές του μοντέλου ακολουθούν αυτές του P-Hub median location problem. Επιπρόσθετα ορίζεται ως  $\theta_k$  η χωρητικότητα του Hub k. Επομένως θα χρειαστεί να προστεθεί ο παρακάτω περιορισμός:

$$\sum_m \sum_i \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{km} + \sum_s \sum_i \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{sk} \leq \theta_k * X_k \quad \forall k \quad (11)$$

Ο πρώτος όρος της ανίσωσης υπολογίζει τις εισερχόμενες ροές και ο δεύτερος τις εξερχόμενες του Hub k.

**Παρατήρηση:** Το συγκεκριμένο μοντέλο στην εργασία μας θα χρησιμοποιηθεί παραλλαγμένο. Στην πραγματικότητα για τις ανάγκες του σεναρίου μας, ορίζεται χωρητικότητα για κάθε Κόμβο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Εμπειρική εφαρμογή

#### 3.1 Σενάριο

Αρχική επιθυμία ήταν η εύρεση και η μελέτη ενός σύγχρονου Δικτύου υπό το πρίσμα του HLP. Για την κάλυψη αυτής ζητήθηκε η συνεργασία από την Ολυμπιακή Ζυθοποιία Α.Ε.

Η κουλτούρα της εταιρίας δημιουργείται από την συνένωση της χρόνιας παρουσίας στον Ελλαδικό χώρο και τον διεθνή χαρακτήρα του Ομίλου Carlsberg, μέρος του οποίου αποτελεί. Στην Ελλάδα είναι η δεύτερη μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής μπίρας, θέτοντας ως στόχο 'να αλλάξει τον χάρτη της μπίρας στην Ελλάδα'. Διαθέτει δύο ιδιόκτητα Εργοστάσια Παραγωγής (βλέπε Εικόνα 1) σε Σίνδο και Ριτσώνα με ετήσια δυναμικότητα παραγωγής 2.2 εκατομμύρια εκατόλιτρα. Στην ιδιοκτησία της επίσης βρίσκονται και δύο αποθήκες, το Κέντρο Διανομής Ασπροπύργου και η Αποθήκη στην Κρήτη. Διαθέτει δεκαεπτά 17 εμπορικά σήματα (brands) εκ των οποίων τα δέκα (10) ελληνικά, με ενενήντα χιλιάδες (90000) σημεία πώλησης και εξαγωγική δραστηριότητα σε 35 χώρες. Ο αριθμός των προμηθευτών ανέρχεται στους δυο χιλιάδες και πλέον (2000+).



*Εικόνα 1 Εγκαταστάσεις της Ολυμπιακής Ζυθοποιίας Α.Ε.*

Από τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται φανερό ότι διαθέτει μια Εφοδιαστική Αλυσίδα με πανελλαδική δραστηριότητα καλύπτοντας όλο το φάσμα δραστηριοτήτων από την απόκτηση της πρώτης ύλης από τον παραγωγό-προμηθευτή, στην μεταφορά στα παραγωγικά κέντρα, μετέπειτα στην μεταφορά του έτοιμου προϊόντος σε Κέντρα Διανομής, μέχρι και την μεταφορά στα τελικά σημεία διάθεσης, τα οποία είναι κυρίως

Χονδρεμπόροι και Super Market. Τα κύρια χαρακτηριστικά που κάνουν την Εφοδιαστική Αλυσίδα της Ολυμπιακής Ζυθοποιίας κατάλληλο υποκείμενο εξέτασης είναι:

- Ύπαρξη οργανωμένης ΕΑ, απλωμένης σε όλη την Ελλάδα
- Ύπαρξη ποικιλίας Κόμβων, διαθέτοντας Εργοστάσια, Αποθήκες, Κέντρα Διανομής και συνεργαζόμενες 3PL εταιρίες.
- Η ΕΑ απεικονίζει τις ευκαιρίες καθώς και τις ελλείψεις μιας εταιρίας η οποία δεν αποτελεί τον πρώτο «παίκτη» του κλάδου που ενδεχομένως να έχει παγιώσει μια σταθερή ΕΑ, χωρίς άμεση διάθεση αλλαγής. Αυτό δίνει τον απαραίτητο χώρο σε μια έρευνα.
- Η εγχώρια ΕΑ αποτελεί ένα κομμάτι της διεθνούς ΕΑ του Ομίλου Carlsberg, το οποίο είναι προτιμότερο χαρακτηριστικό σε σχέση με μια κατεξοχήν εγχώρια ΕΑ ενός τοπικού προϊόντος.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ως αντικείμενο μελέτης το Δίκτυο Διακίνησης της εταιρίας. Η μελέτη της Διανομής ξεφεύγει από τα πλαίσια και τα όρια αυτής της εργασίας. Στην πραγματικότητα, αν και σε ένα δεδομένο δίκτυο η Διακίνηση και η Διανομή θεωρούνται ενιαίο κομμάτι, η μελέτη των σημείων πώλησης που περιλαμβάνει η Διανομή, είναι ένα πολύπλοκο εγχείρημα το οποίο θα απαιτούσε από την εταιρία εξαιρετικά μεγάλο επίπεδο αφοσίωσης και παροχής βοήθειας στον μελετητή με αποτέλεσμα να είναι ανέφικτο να υλοποιηθεί η εργασία στα χρονικά πλαίσια αυτής της Διπλωματικής.

Αρχικά ορίζεται το *Δίκτυο  $N$*  το οποίο περιλαμβάνει δέκα(10) *Κόμβους*,  $n(1, \dots, 10)$ . Δεν αποτελούν και οι δέκα ένα ενιαίο σύνολο, με τους επτά(7) πρώτους να αποτελούν εγκαταστάσεις προ-εγκατεστημένες και έτοιμες να λειτουργήσουν σαν Hub και τους άλλους τρεις(3) να αποτελούν δυνητικές θέσεις Hub, οι οποίες όμως δεν διαθέτουν τις απαραίτητες εγκαταστάσεις και τον απαιτούμενο εξοπλισμό. Επομένως ορίζουμε ως  *$s$  το δείκτη που παίρνει τιμές στις επτά(7) υποψήφιες θέσεις Hub* οι οποίες είναι έτοιμες να λειτουργήσουν απευθείας και ως  *$t$  το δείκτη που παίρνει τιμές στις τρεις(3) υποψήφιες θέσεις χωρίς υποδομές* για την λειτουργία ενός Hub.

Η Διακίνηση εκδηλώνεται ως ζήτηση του Κόμβου  $j$  από τον Κόμβο  $i$ . Ορίζονται ως  $i$  ο *Αρχικός Κόμβος ή Κόμβος Προέλευσης* και ως  $j$  ο *Τελικός Κόμβος ή Κόμβος Προορισμού*. Ορίζουμε ως  $H_{ij}$ , την *ζητούμενη ποσότητα Διακίνησης* από τον αρχικό Κόμβο  $i$  στον τελικό Κόμβο  $j$ . Το *Μοναδιαίο Κόστος Διακίνησης* από τον Κόμβο  $i$  στον Κόμβο  $j$ , ορίζεται ως  $C_{ij}$ .

Η απόφαση για την δημιουργία Hubs είναι εξωγενής με την εταιρία να έχει αποφασίσει να δημιουργήσει ένα Δίκτυο με δύο (2) Hubs, ορίζοντας ως  *$k$  την εκάστοτε υποψήφια θέση Hub*. Καθένα από αυτά θα επιλεγεί από διαφορετική δεξαμενή Κόμβων. Η μια αφορά τις  $s$  υποψήφιες θέσεις και η άλλη τις  $t$  υποψήφιες θέσεις. Σε αυτό το σημείο για τις ανάγκες του μαθηματικού μοντέλου, χρειάζεται να οριστούν δύο δυαδικές μεταβλητές  $X_s$  και  $X_t$ , με τιμή  $1$  *εάν εγκαταστήθηκε Hub* στην θέση  $s$  και  $t$  αντίστοιχα και  $0$  *εάν όχι*. Οι τρεις υποψήφιες θέσεις  $t$ , όπως έχει προαναφερθεί δεν απεικονίζουν κάποια υπάρχουσα εγκατάσταση της εταιρίας, παρά γεωγραφικές θέσεις,

σε μια από τις οποίες η εταιρία θα εξασφαλίσει τον απαραίτητο εξοπλισμό για την λειτουργία ενός καινούργιου Hub. Επομένως, για τις ανάγκες της εγκατάστασης ορίζουμε ως  **$D_t$  το Κόστος Εγκατάστασης του Hub  $t$** .

Η Χωρητικότητα των Κόμβων του Δικτύου είναι περιορισμένη. Στο σενάριό μας τίθεται περιορισμός **χωρητικότητας σε κάθε Κόμβο** και ορίζεται ως  **$ST_i$** . Οι Κόμβοι του Δικτύου αντιπροσωπεύουν εγκαταστάσεις με διαφορετική κύρια δραστηριότητα και επομένως και διαφορετική χωρητικότητα. Ειδικότερα, οι Κόμβοι εκφράζουν Εργοστάσια, Αποθήκες, 3PL, άρα για παράδειγμα ο χώρος αποθήκευσης ενός εργοστασίου είναι σαφώς μικρότερος από τον αντίστοιχο μιας Αποθήκης.

Επιπλέον, η εταιρία παρακολουθώντας τις ροές ανάμεσα στους Κόμβους και θέλοντας να πετύχει μια επικερδή συνεργασία με τις συνεργαζόμενες εταιρίες που αναλαμβάνουν την μεταφορά των ροών, έχει αποφασίσει να θέσει ένα μηνιαίο ελάχιστο επίπεδο ροών ανά διαδρομή. Το **Ελάχιστο Επίπεδο Ροών από τον Κόμβο  $i$  στο Hub  $s$**  ορίζεται ως  **$L_{is}$**  είναι προκαθορισμένο και πρέπει να ικανοποιείται από την τελική διάταξη του Δικτύου. Αντίστοιχα ορίζεται για το **Hub  $t$ ,  $L_{it}$** .

Όπως είδαμε και παραπάνω στην παρουσίαση των τεσσάρων(4) μαθηματικών προσεγγίσεων του HLP, βασική παραδοχή της κλασικής βιβλιογραφίας αποτελούν οι **εξοικονομήσεις** που δημιουργούνται **λόγω των οικονομιών κλίμακας** στις ροές του Δικτύου ανάμεσα στα Hubs. Στο μοντέλο μας η έκπτωση αυτή ορίζεται ως  **$a$** . Εδώ να σημειωθεί πως το Κόστος μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψιν και την παράμετρο  **$a$** , διαμορφώνεται ως  **$C_{ij} = C_{is} + a * C_{st} + C_{jt}$** .

Τέλος, η ροή από τον αρχικό Κόμβο  $i$  στον τελικό Κόμβο  $j$ , μέσω των Hubs  $s$  και  $t$ , ορίζεται ως  **$Z_{ij}^{st}$** . Στόχος του μοντέλου μας είναι η ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους.

### **3.2 Μαθηματικό μοντέλο**

Παραπάνω παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα και το σενάριο πάνω στο οποίο στήθηκε το μοντέλο της εργασίας. Ακολουθεί η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου μας.

#### **Θεματική ενότητα:**

Hub location problem

#### **Θεωρητικά μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν:**

- P-Hub median location problem
  - P-HLP with fixed link cost
- Minimum-Value flow on links model
  - P-HLP with limited capacity

---

<b>N</b>	Κόμβοι
<b>I</b>	Κόμβος προέλευσης-Αρχικός Κόμβος
<b>J</b>	Κόμβος προορισμού-Τελικός Κόμβος
<b>H<sub>ij</sub></b>	Ζητούμενη ποσότητα για μεταφορά από τον Κόμβο i στον j
<b>C<sub>ij</sub></b>	Μοναδιαίο κόστος Διακίνησης από τον Κόμβο i στον j
<b>K</b>	Hubs
<b>S</b>	Θέση Hub1
<b>T</b>	Θέση Hub2
<b>X<sub>k</sub></b>	Δυαδική μεταβλητή απόφασης για την εγκατάσταση του Hub k
<b>X<sub>s</sub></b>	Δυαδική μεταβλητή απόφασης για την εγκατάσταση του Hub1 στην θέση s
<b>X<sub>t</sub></b>	Δυαδική μεταβλητή απόφασης για την εγκατάσταση του Hub2 στην θέση t
<b>D<sub>t</sub></b>	Κόστος Εγκατάστασης του Hub2 στην θέση t
<b>ST<sub>n</sub></b>	Χωρητικότητα Κόμβου n
<b>L<sub>ik</sub></b>	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από τον Κόμβο i στο Hub k
<b>A</b>	Εξοικονομήσεις λόγω οικονομιών κλίμακας
<b>Z<sub>ij</sub><sup>st</sup></b>	Ροή από τον αρχικό Κόμβο i στον τελικό Κόμβο j, μέσω των Hubs s και t

---

Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το συνολικό Κόστος. Στο μοντέλο μας διακρίνονται δύο ειδών Κόστη: το Κόστος Διακίνησης και το Κόστος Εγκατάστασης του νέου Hub. Το Κόστος Διακίνησης προκύπτει από την ζητούμενη ποσότητα μεταφοράς και το μοναδιαίο Κόστος Διακίνησης.

$$\sum_i \sum_j \sum_s \sum_t C_{ij} * H_{ij} * Z_{ij}^{st} \quad (12)$$

Στην παράσταση (12) ο τελεστής  $Z_{ij}^{st}$  εκφράζει το μέρος της ροής από τον Κόμβο i στον j, το οποίο πέρασε από τα Hubs s και t. Η ζητούμενη ποσότητα ενός Κόμβου, δεν μεταφέρεται με ένα και μόνο δρομολόγιο. Όπως είναι λογικό, επιμερίζεται σε περισσότερα δρομολόγια. Σε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση, κάποια από αυτά τα φορτία θα περάσουν μέσω των Hubs και τα υπόλοιπα θα διακινηθούν απευθείας ή μέσω

άλλης διαδρομής. Στην εργασία, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω, έχει τεθεί περιορισμός, αυτές οι ροές να διέρχονται όλες μέσω των Hubs, θέλοντας έτσι να περάσει το 100% των ροών μας. Επομένως, για κάθε ζεύγος Hubs (s,t) το οποίο δεν πληροί τον περιορισμό της διακίνησης όλου του όγκου ροών μέσω των δύο Hubs το Κόστος Διακίνησης θα είναι μηδενικό και μόνο για το ζεύγος Hubs (s,t) μέσω του οποίου διέρχεται το 100% των ροών, το Κόστος Διακίνησης θα αυξηθεί κατά το αντίστοιχο κόστος. Τον συγκεκριμένο περιορισμό θα τον δούμε παρακάτω αναλυτικότερα.

Επιπλέον, το Μοναδιαίο Κόστος Μεταφοράς  $C_{ij}$  μέσω των Hubs (s,t) διαμορφώνεται ως  $C_{ij} = C_{is} + a * C_{st} + C_{jt}$ .

Το Κόστος εγκατάστασης ορίζεται ως:

$$\sum_t D_t * X_t \quad (13)$$

Η δυαδική μεταβλητή απόφασης  $X_t$  θα υποδεικνύει σε ποια θέση t θα δημιουργηθεί το Hub, επηρεάζοντας αντίστοιχα και το Κόστος Εγκατάστασης. Το κομμάτι αυτό, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μια παραλλαγή του θεωρητικού μοντέλου P-HPL with fixed link cost. Προσαρμοσμένο στις ανάγκες του προβλήματός μας, το σταθερό κόστος σύνδεσης Κόμβων και Hub του υποδείγματος, μεταφράζεται στο σταθερό Κόστος Εγκατάστασης του Hub t το οποίο αθροίζεται στην αντικειμενική συνάρτηση.

Συμπερασματικά η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται:

$$\min \sum_i \sum_j \sum_s \sum_t C_{ij} * H_{ij} * Z_{ij}^{st} + \sum_t D_t * X_t \quad (14)$$

Οι περιορισμοί:

$$\sum_s \sum_t Z_{ij}^{st} = 1 \quad \forall i, j \quad (15)$$

$$Z_{ij}^{st} \leq X_s \quad \forall i, j, s, t \quad (16)$$

$$Z_{ij}^{st} \leq X_t \quad \forall i, j, s, t \quad (17)$$

$$\sum_s X_s = 1 \quad (18)$$

$$\sum_t X_t = 1 \quad (19)$$

$$\sum_t \sum_i \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{nt} + \sum_s \sum_i \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{sn} \leq ST_n \quad \forall n \quad (20)$$

$$\sum_t \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{kt} + \sum_s \sum_j H_{ij} * Z_{ij}^{sk} \geq L_{ik} * X_k \quad \forall i, k \quad (21)$$

$$Z_{ij}^{st} \geq 0 \quad \forall i, j, s, t \quad (22)$$

$$X_k, X_s, X_t \in \{0,1\} \quad \forall k, s, t \quad (23)$$

Ο περιορισμός (15) διασφαλίζει την σύνδεση κάθε ζευγαριού Κόμβων Προέλευσης-Προορισμού (i,j) με ένα και μόνο συνδυασμό Hub (s,t). Οι επόμενοι δύο συνδυασμοί (16) & (17) διασφαλίζουν ότι η Ζητούμενη Ποσότητα από τον Κόμβο i στον Κόμβο j, δεν θα μπορεί να διέλθει από το ζεύγος Hubs (s,t) παρά μόνο αν και οι δύο Κόμβοι (s,t) έχουν επιλεγεί από το μοντέλο μας ως Hubs. Στην συνέχεια οι δύο επόμενοι περιορισμοί, (18) & (19) εξασφαλίζουν την επιλογή δύο Hub, όσων δηλαδή είχαμε θέσει στο σενάριο μας και παράλληλα, την επιλογή του ενός από την περιοχή των s, προ-εγκαταστημένων, υποψηφίων θέσεων Hub και του δεύτερου από την περιοχή των t, μη έτοιμων, υποψηφίων θέσεων Hub.

Ο περιορισμός (20) αποτελεί την συμβολή του P-HLP με περιορισμένη δυναμικότητα (P-HLP with limited capacity), στο μοντέλο μας. Ο πρώτος όρος της ανίσωσης αποτελεί τις εισροές του Κόμβου n και ο δεύτερος τις εκροές του, οι οποίες στο σύνολο τους δεν μπορούν να ξεπεράσουν την χωρητικότητα του Κόμβου.

Παρομοίως ο περιορισμός (21) αποτελεί την επιρροή του P-HLP με ελάχιστο επίπεδο ροών (Minimum-Value flow on links model), στο σενάριο μας. Κατά την ανίσωση οι εκροές του Κόμβου προς το Hub k και οι εισροές από αυτός πρέπει να ξεπερνά το ελάχιστο όριο που έχει τεθεί.

Τέλος, στον (22) το  $Z_{ij}^{st}$  είναι μη αρνητικό και στον (23) οι μεταβλητές αποτελούν δυαδικές μεταβλητές απόφασης.

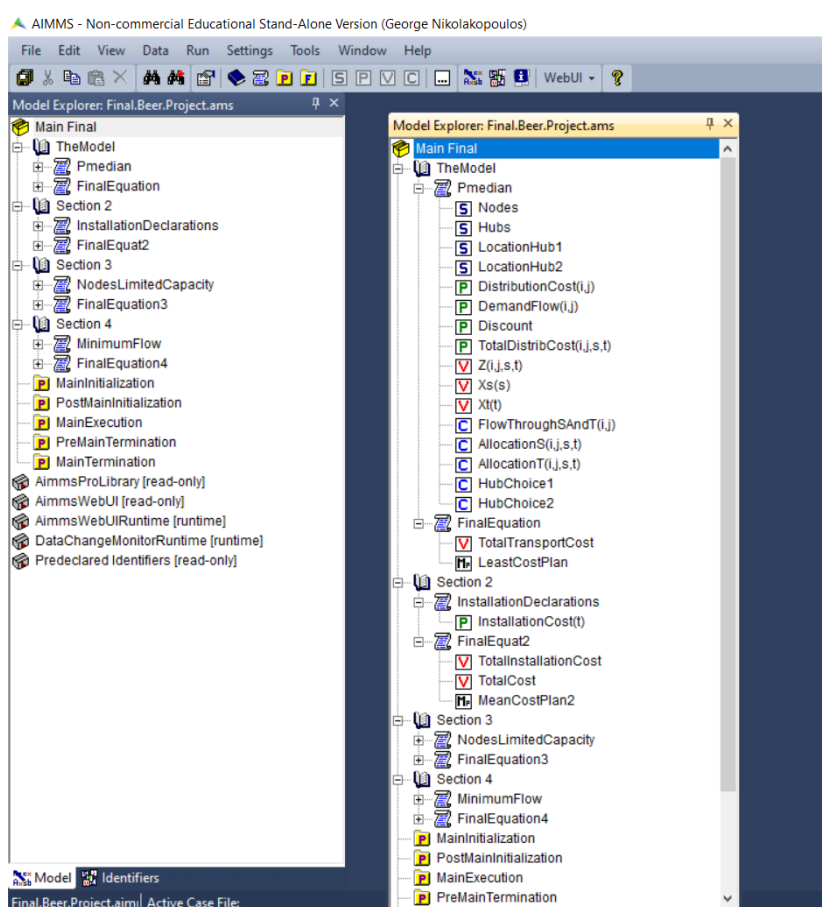


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΠΙΛΥΣΗ

#### 4.1 Aimms

Για την επίλυση του μοντέλου μας χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Aimms. Το Aimms, αποτελεί ένα επαγγελματικό περιβάλλον δόμησης, ανάπτυξης και επίλυσης μοντέλων μέσω δύο κύριων εργαλείων, του AIMMSDeveloper και του AIMMSPRO. Το AIMMSDeveloper προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα μοντελοποίησης ενός προβλήματος και στην συνέχεια της επίλυσής του. Επιπλέον, αν η διαδικασία λήψης απόφασης για το ίδιο πρόβλημα απαιτεί και την συμμετοχή τρίτων, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει την αντίστοιχη εφαρμογή η οποία μέσω του AimmsPro θα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τους τελικούς χρήστες. Ανάμεσα στα βασικά εργαλεία του λογισμικού που διαθέτει είναι η πολυδιάστατη γλώσσα προγραμματισμού Mathematical Modeling Languages, το User Interface για ταχύτητα στην δόμηση, το Productivity Tools και το Diagnostic Tools για αυτόματη εύρεση λογικών ή συντακτικών λαθών στο γράψιμο των εντολών. Επιπλέον, διευκολύνεται η σύνδεση με βάσεις δεδομένων μέσω του Data Management και η πρόσβαση, μετά το πέρας της μοντελοποίησης, από τον τελικό χρήστη μέσω του Model Deployment. Τέλος, διαθέτει μία ευρεία γκάμα εργαλείων επίλυσης (Solvers), στους οποίους περιλαμβάνεται η CPLEX, ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα επίλυσης προβλημάτων γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού.

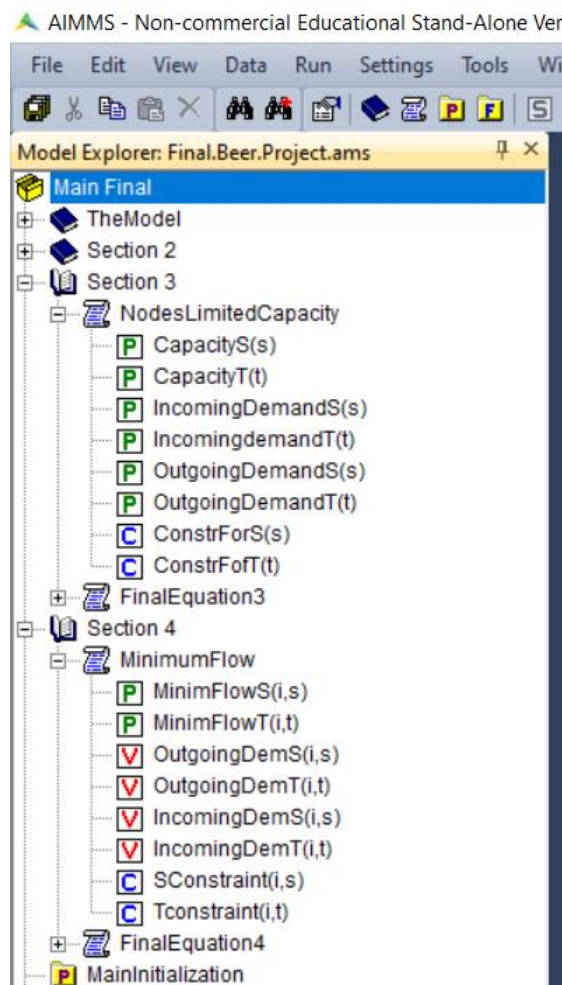


Εικόνα 2 Η δομή του μαθηματικού μοντέλου στο Aimms

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν δύο βασικά σημεία από την διαδικασία δόμησης του σεναρίου της εργασίας.

Κατά την δόμηση του μοντέλου στο Aimms επιλέχθηκε κάθε θεωρητικό μοντέλο να εισάγεται σε ξεχωριστή ενότητα (TheModel,...,Section 4) με όλους τους ορισμούς, τις μεταβλητές και τους εκάστοτε περιορισμούς του. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η απομόνωση κάθε ξεχωριστού μοντέλου σε περίπτωση λαθών ή μη συμβατότητας του μοντέλου με τα δεδομένα, επομένως και ο καλύτερος έλεγχος πάνω στο συνολικό μοντέλο.

Σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο δομήθηκε και το σενάριό μας στο Aimms. Χρειάστηκε να γίνουν μόνο δύο εξειδικεύσεις, για να διατηρηθεί δομικά το μοντέλο σε απλή προς τον ερευνητή μορφή (βλέπε *Εικόνα 3*). Οι εξειδικεύσεις αυτές έγιναν στους περιορισμούς Χωρητικότητας (βλέπε παραπάνω περιορισμό (20)) και Ελάχιστης Ροής (ομοίως περιορισμός (21)). Οι υποψήφιες θέσεις Hub (s,t) δεν αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο, αλλά σπάνε σε δύο υποομάδες με τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες. Για να εκφραστούν αυτές οι ιδιαιτερότητες, κρίθηκε απαραίτητο κάθε περιορισμός να διαχωριστεί σε δύο ανισότητες για τα Hubs s και t αντίστοιχα. Σε αντίθετη περίπτωση, θα προέκυπτε μια σύνθετη και πολύπλοκη ανισότητα, δύσκολη στην διαχείριση από θέμα δόμησης και συμβατότητας μοντέλου και δεδομένων.



Εικόνα 3 Οι εξειδικεύσεις του μοντέλου

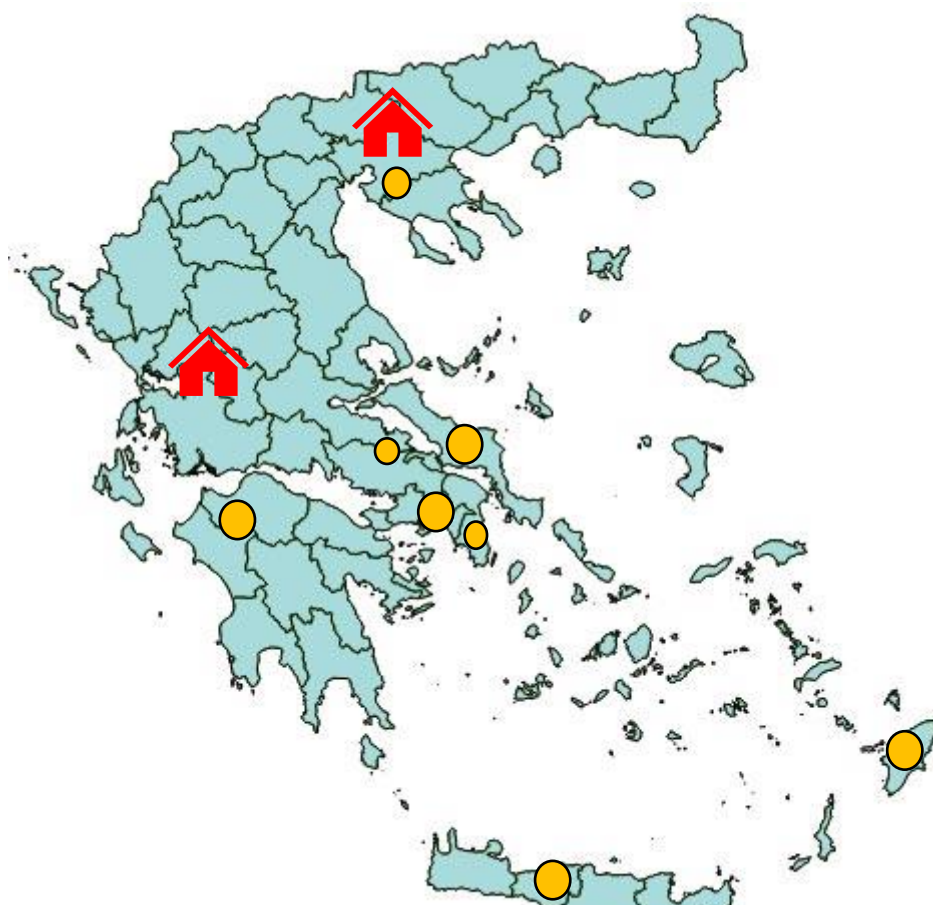
## 4.2 Αποτελέσματα

Μετά από την δόμηση του σεναρίου στο Aimms, ακολούθησε η συλλογή των δεδομένων και η τελική επίλυση του σεναρίου. Σε αυτή την ενότητα θα συζητηθούν τα αποτελέσματα της επίλυσης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση τους.

Τα αριθμητικά δεδομένα για την επίλυση του σεναρίου προέκυψαν σε συνεργασία με την Ολυμπιακή Ζυθοποιία Α.Ε. Για την ακρίβεια, θεωρήθηκε ρεαλιστικό να απεικονίζουν την εικόνα της Διακίνησης σε μια περίοδο αυξημένης ζήτησης, πιο κοντά στα μέγιστα όρια ζήτησης κατά την περίοδο της σεζόν, χωρίς ωστόσο να απεικονίζουν ακραίες καταστάσεις, όπως το μέγιστο σημείο ζήτησης κατά τους θερινούς μήνες ή το ελάχιστο κατά τους χειμερινούς. Μετά από αυτή την απόφαση, η εταιρία συνέλεξε και έδωσε τα απαραίτητα δεδομένα. Ως εκ τούτου, δεν χρειάστηκε να προχωρήσουμε σε κάποια περαιτέρω ανάλυση ή παραδοχή. Τα δεδομένα εμφανίζονται αναλυτικά παρακάτω στους Πίνακες 2 έως 6 στο Παράρτημα Πίνακες.

<i>Βέλτιστη λύση K</i>	<i>2, 10</i>	<i>%</i>
<i>Transportation Cost</i>	<i>495047</i>	<i>56%</i>
<i>Installation Cost</i>	<i>381600</i>	<i>44%</i>
<i>Total Cost</i>	<i>876647</i>	

Σχήμα 3



Εικόνα 4 Τοποθεσία Hubs στο Δίκτυο κατά τη βέλτιστη λύση

Το Σχήμα 3 απεικονίζει τον συνδυασμό Hubs κατά την βέλτιστη λύση όπως προέκυψε από το Aimms. Το Aimms έδωσε λύση σε δεκατρία δευτερόλεπτα ελαχιστοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση MeanCostPlan4, με αξιοσημείωτο το γεγονός των περίπου τεσσάρων χιλιάδων εξακοσίων (4.612) περιορισμών και δύο χιλιάδων (2.313) μεταβλητών (Εικόνα 5). Επιλέχθηκε για Hubs ο συνδυασμός  $K_{s,t} = (\text{Hub1}, \text{Hub2}) = (2,10)$ , (βλέπε Εικόνα 4).

Το Συνολικό Κόστος ανέρχεται περίπου στα 870 χιλιάδες ευρώ (876.647 €). Το Κόστος Διακίνησης, συμμετέχει κατά 56% στο Συνολικό Κόστος (495.047 €) με το Κόστος Εγκατάστασης να συμπληρώνει το 44%. Παρατηρεί κανείς, ότι η μεγάλη συμμετοχή του Κόστους Διακίνησης στο Συνολικό Κόστος, είναι αυτή που, συνεπακόλουθα καθορίζει και την επιλογή του Hub που θα εγκατασταθεί στις θέσεις  $t$ . Είναι άξιο αναφοράς, ότι δεν επιλέγεται ως Hub αυτό με το μικρότερο Κόστος Εγκατάστασης (Κόμβος 8), το οποίο θα συνέβαλε στο να μειωθεί ακόμα περισσότερο το Κόστος Διακίνησης. Αντίθετα, επιλέγεται ένα υψηλότερο κόστος για την εγκατάσταση, το οποίο σημαίνει ότι η μείωση του Κόστους Διακίνησης από την επιλογή του Κόμβου 10, είναι μεγαλύτερη από την μείωση του Κόστους Εγκατάστασης στην υποτιθέμενη επιλογή του φθηνότερου Κόμβου 8. Για την ακρίβεια ο συνδυασμός  $K_{s,t} = (2,8)$ , βλέπε Σχήμα 4, θα μείωνε το Κόστος Εγκατάστασης κατά -7%, ενώ παράλληλα θα εκτόξευε το Κόστος Διακίνησης με μια μεταβολή της τάξης του 126%. Συμπερασματικά, το σενάριο μας βελτιστοποιείται κατά την ελαχιστοποίηση του Κόστους Διακίνησης.

Progress	
READY	
AIMMS	: Final.Beer.Project.ams
Math.Program	: MeanCostPlan4
# Constraints	: 4612
# Variables	: 2313 (10 integer)
# Nonzeros	: 13869
Model Type	: MIP
Direction	: minimize
SOLVER	: CPLEX 12.8
Phase	: Postsolving
Iterations	: 358
Nodes	: 0 (Left: 0)
Best LP Bound	: 876646.8513 (Gap: 0.00%)
Best Solution	: 876646.8513
Solving Time	: 0.13 sec (Peak Mem: 0.2 Mb)
Program Status	: Optimal
Solver Status	: Normal completion
Total Time	: 0.00 sec
Memory Used	: 95.9 Mb
Memory Free	: 1533.8 Mb

Εικόνα 5 Αναφορά της βέλτιστης λύσης στο Aimms

Ζεύγη Hubs      2, 10      %      4, 9      %      2,9      %      6,8      %      2,8      %

Transportation	495047	56%	1280980	77%	3466115	90%	556389	61%	1118383	76%
Installation	381600	44%	381600	23%	381600	10%	354600	39%	354600	24%
Total	876647		1662580		3847715		910989		1472983	

Σχήμα 4

Μια από τις κυριότερες παραδοχές πάνω στις οποίες βασίζεται η κλασική βιβλιογραφία του HLP είναι οι εξοικονομήσεις που δημιουργούνται στις ροές ανάμεσα στα Hubs, λόγω οικονομιών κλίμακας. Στο σενάριό μας οι προαναφερθείσες εξοικονομήσεις, απεικονίζοντας μια ρεαλιστική προσέγγιση των σύγχρονων εταιριών, ισούνται με  $a=0.08$ , με την βέλτιστη λύση να υποδεικνύει τον συνδυασμό  $K_{s,t}=(2,10)$ . Τρέχοντας μια πρόχειρη ανάλυση ευαισθησίας έως και  $a=0.15$ , φάνηκε ότι δεν υπάρχει κάποια ουσιαστική αλλαγή στην προτεινόμενη λύση, με την πρόταση για Hubs να είναι  $K_{s,t}=(2,10)$ , παρά μόνο μια μικρή πτώση του Κόστους Διακίνησης και του Συνολικού Κόστους. Συνεχίζοντας την ανάλυση ευαισθησίας, το σημείο αλλαγής της βέλτιστης λύσης για το σενάριο μας βρέθηκε στο  $a=0.43$ , με τον βέλτιστο συνδυασμό να είναι ο  $K_{s,t}=(6,8)$ , βλέπε Σχήμα 5. Το Κόστος Διακίνησης έχει μια μικρή άνοδο, ωστόσο η επιλογή του φθηνότερου ως προς το Κόστος Εγκατάστασης, Κόμβου.8 για Hub μειώνει αισθητά το Συνολικό Κόστος καθιστώντας την διάταξη αυτή καλύτερη από την προηγούμενη  $K_{s,t}=(2,10)$ . Αν και θεωρητικά η λύση είναι αποδεκτή, πρακτικά μια εξοικονόμηση της τάξεως του 43% είναι ανέφικτη. Μια εταιρία επενδύοντας σε νέο εξοπλισμό, νέες τεχνολογίες και μεθόδους διακίνησης θα μπορούσε μέσα σε πολύ αυστηρά πλαίσια να πετύχει ένα ποσοστό εξοικονόμησης της τάξεως των 5-9%. Ακόμα και το σενάριο του 12%, για έναν Διευθυντή του Τμήματος Διακίνησης μιας εταιρίας, αποτελεί ένα αυστηρό άνω όριο, δείχνοντας απλά τον στόχο, χωρίς τις περισσότερες φορές να θεωρείται εφικτό σενάριο. Από την άλλη, η αντιμετώπιση ενός τέτοιου σεναρίου ως ρεαλιστικό, θα σήμαινε ότι το δίκτυο της εταιρίας έχει μεγάλα δομικά λάθη, δίνοντας από την μια μεγάλα περιθώρια βελτίωσης, ωστόσο σηματοδοτώντας ένα προγενέστερο, χρόνιο λάθος στην ανάπτυξη του Δικτύου της.

Βέλτιστη λύση για $a=0.43$	6,8	%
Transportation Cost	498883	58%
Installation Cost	354600	42%
Total Cost	853483	

Σχήμα 5

Ο Πίνακας 1, απεικονίζει την οικονομική ταξινόμηση των παραπάνω βέλτιστων λύσεων από την πιο οικονομικά συμφέρουσα προς την λιγότερο. Εξετάζοντας την ταξινόμηση με μια πιο στρατηγική ματιά, κανείς παρατηρεί τη μικρή διαφορά στο κόστος των τριών οικονομικότερων συνδυασμών. Η οικονομική διαφορά ανάμεσα στην οικονομικότερη λύση, του συνδυασμού  $K_{s,t}=(2,10)$  και την τρίτη κατά σειρά, του συνδυασμού  $K_{s,t}=(6,8)$ , είναι στα  $910989\text{€} - 876647\text{€} = 34342\text{€}$ . Η διαφορά αυτή δεν είναι απαγορευτική, δίνοντας στην εταιρία την ευκαιρία να επιλέξει τον αντίστοιχο συνδυασμό Hubs, ανάλογα με την στρατηγική που θέλει να ακολουθήσει. Παράγοντες όπως ο χρόνος διακίνησης ή το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών, μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή μιας ακριβότερης λύσης. Για παράδειγμα, αν κάποια από τις δύο επόμενες επιλογές μείωνε αισθητά τον μέσο χρόνο εξυπηρέτησης πελατών, δίνοντας ένα στρατηγικό πλεονέκτημα στην εταιρία έναντι ανταγωνιστών, το πιθανότερο είναι ότι θα υιοθετούνταν από την εταιρία.

*Ζεύγη Hubs*      1, 8      %      3, 8      %      4, 9      %

<i>Transportation</i>	679612	66%	816981	70%	1280980	77%
<i>Installation</i>	354600	34%	354600	30%	381600	23%
<i>Total</i>	1034212		1171581		1662580	

Σχήμα 6α

*Ζεύγη Hubs*      5, 10      %      6, 8      %      7, 10      %

<i>Transportation</i>	526243	58%	556389	61%	798263	68%
<i>Installation</i>	381600	42%	354600	39%	381600	32%
<i>Total</i>	907843		910989		1179863	

Σχήμα 7b

Οικονομική ταξινόμηση  
των βέλτιστων λύσεων

Ζεύγη Hubs	Transportation	%	Installation	%	Total
2, 10	495047	56%	381600	44%	876647
5, 10	526243	58%	381600	42%	907843
6, 8	556389	61%	354600	39%	910989
1, 8	679612	66%	354600	34%	1034212
3, 8	816981	70%	354600	30%	1171581
7, 10	798263	68%	381600	32%	1179863
2, 8	1118383	76%	354600	24%	1472983
4, 9	1280980	77%	381600	23%	1662580
2, 9	3466115	90%	381600	10%	3847715

Πίνακας 1

Τέλος, θελήσαμε να δούμε τους συνδυασμούς-λύσεις, αν εξαναγκάσαμε το μοντέλο να επιλέξει συγκεκριμένο Κόμβο από το σύνολο των  $s$  και  $t$  αντίστοιχα. Τα Σχήματα 4 και 6α, 6β δείχνουν τις αντίστοιχες βέλτιστες λύσεις. Στο Σχήμα 4, εξαναγκάσαμε σε επιλογή από το σύνολο των  $t$ , όπου για  $t=9$  ο βέλτιστος συνδυασμός Hubs είναι  $K_{s,t}=(4,9)$  και για  $t=8$ ,  $K_{s,t}=(6,8)$  αντίστοιχα. Είναι ενδιαφέρον ότι και οι τρεις Κόμβοι, συνδυάζονται με διαφορετικό Κόμβο από το σύνολο των  $s$  στην βέλτιστη λύση τους. Επιπλέον, η μη επιλογή των συνδυασμών  $K_{s,t}=(2,8)$  και  $K_{s,t}=(2,9)$ , δηλαδή η μη επιλογή του Κόμβου 8 ή του Κόμβου 9 ως ζεύγος του Κόμβου 2, τεκμηριώνεται και από την εκτόξευση του Συνολικού Κόστους κυρίως λόγω μεγάλης αύξησης του Κόστους Διακίνησης.

Στα Σχήματα 6α και 6β παρατίθενται οι συνδυασμοί, που προκύπτουν όταν εξαναγκάσουμε το μοντέλο σε επιλογή κάθε Κόμβου, κατά σειρά, από το σύνολο των  $s$ , εκτός του Κόμβου 2 που αποτελεί μέρος της βέλτιστης λύσης. Μια τέτοια ανάλυση, συνηθίζεται σε εταιρικές έρευνες προκειμένου να διευκολυνθεί η μελέτη των εναλλακτικών σεναρίων και κυρίως λόγω περιορισμών που πολλές φορές υπάρχουν σε ένα Δίκτυο και εξαναγκάζουν προς επιλογή διαφορετική της βέλτιστης.

Το δεύτερο σημείο που εξετάστηκε κατά την ανάλυση ευαισθησίας είναι η Ζητούμενη Ποσότητα ροών ανάμεσα στους Κόμβους  $(i,j)$ . Δοκιμάστηκαν δύο σεναρία, το «αισιόδοξο», με αύξηση της ζήτησης και το «αρνητικό» με μείωση. Τέτοια σεναρία συνηθίζονται σε πολλές μελέτες, καθώς βοηθούν να υπάρχει μια ευρύτερη εικόνα του προβλήματος.

Ζεύγη Hubs	2, 10 με 10% αύξηση	%	2,10 με 40% αύξηση	%	2,10 με 10% μείωση	%	6,8 με 55% μείωση	%
Transportation	544552	59%	693066	64%	445543	54%	250375	41%
Installation	381600	41%	381600	36%	381600	46%	354600	59%
Total	926152		1074666		827143		604975	

Σχήμα 8

Στην πρώτη περίπτωση, όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 7 δοκιμάστηκε το θετικό πλάνο της αύξησης της ζήτησης κατά 10%. Σε αυτή την περίπτωση το Δίκτυο κρατάει τον σχηματισμό με Hubs το ζεύγος  $K_{s,t}=(2,10)$  και μόνη αλλαγή την αύξηση του Κόστους Διακίνησης και κατ' επέκταση του Συνολικού Κόστους. Η ανάλυση ευαισθησίας συνεχίστηκε φτάνοντας και σε επίπεδα αύξησης της ζήτησης της τάξης του 40%, χωρίς ωστόσο να προκύψει διαφορετική λύση ως προς το ζεύγος των Hubs. Αυτό δείχνει ότι όσο αυξάνεται η ζήτηση μεταφερόμενων ροών και επομένως το Κόστος Διακίνησης αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του Συνολικού Κόστους δεν υπάρχει καλύτερη επιλογή για Hubs πέραν του ζεύγους  $K_{s,t}=(2,10)$ . Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι ένα τέτοιο επίπεδο αύξησης της ζήτησης είναι υπερβολικά αισιόδοξο για τα δεδομένα κάθε επαγγελματικού οργανισμού. Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν σε μικρό χρονικό διάστημα και τόσο απότομα, μεγάλες αλλαγές.

Όσον αφορά την μείωση της ζήτησης, αρχικά δοκιμάστηκε ένα σενάριο με μείωση της ζήτησης κατά 10%, μια πολύ ρεαλιστική μεταβολή της ζήτησης σε κανονικές συνθήκες. Και σε αυτή την περίπτωση δεν υπήρξε κάποια αλλαγή στην δομή του δικτύου πέρα από την μείωση του κόστους. Συνεχίζοντας την ανάλυση ευαισθησίας, βρέθηκε το σημείο τομής με την μείωση να ανέρχεται σε 55%. Σε αυτή την περίπτωση, επιλέγεται το ζεύγος Hubs  $K_{s,t}=(6,8)$ . Έχει ενδιαφέρον ότι στο διάστημα μείωση της ζήτησης από 22%, όταν το Κόστος Διακίνησης(381186€) με το Κόστος Εγκατάστασης(381600€) είναι περίπου ίσα, μέχρι 55%, όπου το Κόστος Διακίνησης είναι 250.375€ κατά πολύ μικρότερο των 354.600€ που είναι το Κόστος Εγκατάστασης, παραμένει ως λύση το ζεύγος  $K_{s,t}=(2,10)$ . Σε αυτό το διάστημα, το Κόστος Διακίνησης είναι μικρότερο του κόστους Εγκατάστασης, ωστόσο στην βέλτιστη λύση δεν επιλέγεται ο Κόμβος 8 που έχει το μικρότερο Κόστος Εγκατάστασης. Φαίνεται ανάγλυφα, ότι βελτιστοποίηση του Συνολικού Κόστους, δεν σημαίνει βελτιστοποίηση κατά μέρη αλλά βελτιστοποίηση σαν σύνολο, σαν Δίκτυο ακόμα και αν αυτό σημαίνει ότι κάποιο από τα δύο επιμέρους Κόστη δεν έχει φτάσει στο ελάχιστο όριο του.

Τέλος, παρατηρήθηκε η συμπεριφορά του μοντέλου εάν υπάρξει κάποια αλλαγή στο ελάχιστο επίπεδο ροών,  $L_{ik}$ . Για μικρές αυξομειώσεις των ελάχιστων



απαιτούμενων ροών από τον Κόμβο  $i$  στο Hub  $k$ , των 10-20% δεν παρατηρήθηκε κάποια αλλαγή στην δομή του Δικτύου. Ακόμα και όταν δοκιμάστηκε, το ελάχιστο επίπεδο ροών  $L_{ik}$ , να είναι στα επίπεδα της ζητούμενης ποσότητας  $H_{ij}$ , με  $L_{ik} = H_{ij}$ , δεν υπήρξε κάποια αλλαγή.

Η παραπάνω εξέταση της συμπεριφοράς του Δικτύου σε σχέση με το ελάχιστο επίπεδο ροών ανά διαδρομή, δείχνει τα μεγάλα περιθώρια του σεναρίου για αλλαγές ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες και συνθήκες τις οποίες καλείται να αντιμετωπίσει η εταιρία σε πρακτικό επίπεδο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται το πρόβλημα της χωροθέτησης εγκαταστάσεων και βελτιστοποίησης της διανομής και συγκεκριμένα την ιδιαίτερη κατεύθυνση της τοποθέτησης κεντρικών εγκαταστάσεων Hubs, βιβλιογραφικά γνωστό ως πρόβλημα Hub Location Problem. Αποτελεί ένα διαχρονικό θέμα μελέτης και έρευνας, καθώς σχετίζεται με στρατηγικής σημασίας αποφάσεις για την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, την σύνδεση μεταξύ τους, το στήσιμο και την ανάπτυξη του Δικτύου της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Μετά την βιβλιογραφική μελέτη του θέματος ακολούθησε συγκεκριμένη εμπειρική εφαρμογή από τον κλάδο της Ζυθοποιίας.

Κατά την βιβλιογραφική ενασχόληση, μελετήθηκαν τα ιστορικά κυριότερα μαθηματικά μοντέλα δόμησης του προβλήματος και εξετάστηκε η εφαρμοσιμότητά τους στις απαιτήσεις της εμπειρικής εφαρμογής. Επιπλέον, εξετάστηκαν και παρουσιάζονται τρεις ιδιαίτερες πτυχές του προβλήματος HLP, μελετώντας αντίστοιχα το πρόβλημα στην διάσταση των πολλαπλών χρονικών περιόδων (Multi-period), σε Αστικό και Θαλάσσιο περιβάλλον μεταφορών και σε αλληλεπίδραση με το σύνολο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας.

Στην συνέχεια εξετάστηκε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα που αφορά στην σχεδίαση ενός σύγχρονου δικτύου διακίνησης της Ολυμπιακής Ζυθοποιίας Α.Ε. Με βάση τα μοντέλα της βιβλιογραφίας, προσαρμόστηκε ένα υπόδειγμα μικτού ακέραιου προγραμματισμού το οποίο αποτελεί σύνθεση των μοντέλων P-Hub median location problem (Multiple Allocation P-HLP), P-HLP με σταθερό κόστος (P-HLP with fixed link cost), P-HLP με ελάχιστο επίπεδο ροών (Minimum-Value Flow on links model) και P-HLP με περιορισμένη χωρητικότητα (P-HLP with Limited Capacity). Τέλος, αφότου είχαν συλλεχθεί τα δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε η βοήθεια του περιβάλλοντος δόμησης και επίλυσης μοντέλων, Aimms για την τελική επίλυση.

Η λύση του προβλήματος έδειξε ως βέλτιστο σχηματισμό Hubs το ζεύγος  $K_{s,t}=(2,10)$  με Συνολικό Κόστος 876.647 ευρώ. Στην συνέχεια, κατά την ανάλυση ευαισθησίας, δοκιμάστηκαν διάφορα σενάρια για να εξεταστεί η αντίδραση του μοντέλου και η ενδεχόμενη διαφοροποίηση της βέλτιστης λύσης. Αν και κάποιες λύσεις πρότειναν διαφορετικό σχηματισμό δικτύου, υπήρξαν προτάσεις με μικρή οικονομική διαφορά από την βέλτιστη λύση, δίνοντας την απαραίτητη ευελιξία στον αποδέκτη των αποτελεσμάτων να μπορεί να διαφοροποιήσει την στρατηγική του με μια ανεκτή οικονομική επίπτωση.

Τέλος, σε ενδεχόμενη ανάπτυξη του θέματος, θα ήταν ενδιαφέρον να ενσωματωθεί στο πρόβλημα η λήψη αποφάσεων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Multi period). Η εικόνα ενός προβλήματος πολλές φορές δεν παραμένει στατική κατά την διάρκεια του χρόνου, με τα δεδομένα να μεταβάλλονται ανά χρονική περίοδο. Επιπλέον, η ενσωμάτωση στο μοντέλο στοιχείων που σχετίζονται με την φύση ενός Δικτύου, ιδίως όταν αποτελεί μέρος μιας πολυεθνικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας, και την

ιδιαίτερη φύση του διακινούμενου εμπορεύματος θα ενίσχυαν την ρεαλιστικότητα και την πρακτικότητα των αποτελεσμάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Almansoori, A., & Shah, N. (2006) *Design and operation of a future hydrogen supply chain—Snapshot model*. Chemical Engineering Research & Design, 84, 423–438.
2. Aykin, T. (1988) *On the location of hub facilities*. Transportation Science, 22(2), 155–157.
3. Aykin, T. (1995b) *The hub location and routing problem*. European Journal of Operational Research, 83, 200–219.
4. Aykin, T., & Brown, G. F. (1992) *Interacting new facilities and location–allocation problem*. Transportation Science, 26(3), 212–222.
5. Campbell, J.F. (1990) *Locating transportation terminals to serve an expanding demand*. Transp. Res. Part B: Methodol. 24 (3), 173–192.
6. Campbell, J. F. (1991) *Hub location problems and the p-hub median problem*. Center for Business and Industrial Studies, University of Missouri – St. Louis, St. Louis, MO.
7. Campbell, J. F. (1994a) *Integer programming formulations of discrete hub location problems*. European Journal of Operational Research, 72, 387–405.
8. Contreras, I., Cordeau, J.-F., Laporte, G. (2011b) *The dynamic uncapacitated hub location problem*. Transp. Sci. 45 (1), 18–32.
9. Costa, M. G., Captivo, M. E., & Climaco, J. (2008) *Capacitated single allocation hub location problem – A bi-criteria approach*. Computers and Operations Research, 35(11), 3671–3695.
10. Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Arabani, A. B. και Nikbakhsh, E. (2013) *Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications*. Computers and Industrial Engineering, 64 (2013), 1096–1109.
11. Gelareh, S. (2008). *Hub location models in public transport planning*. Ph.D. thesis, Technical University of Kaiserslautern, Germany.
12. Gelareh, S. και Nickel, S. (2011) *Hub location problems in transportation networks*. Transportation Research, Part E 47 (2011), 1092–1111.
13. Gelareh, S., Monemi, R. N., Nickel, S. (2015) *Multi-period hub location problems in transportation*. Transportation Research, Part E 75 (2015), 67–94.
14. Gholizadeh R και Fazlollahtabar H (2015) *Capacitated location-allocation Hub Covering Problem in manufacturing-customer interaction*. J Appl Computat Math 4: 243.
15. Hakimi, S. L. (1964) *Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*. Operations Research, 12, 450–459.
16. Huang, C., & Karimi, I. A. (2006) *Scheduling trans-shipment operations in maritime chemical transportation*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 45, 1955–1973.
17. Karimi, I. A., Sharafali, M., & Mahalingam, H (2005) *Scheduling tank container movements for chemical logistics*. AIChE Journal, 51, 178–197.
18. Neiro, S. M. S., & Pinto, J. M. (2004) *A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains*. Computers & Chemical Engineering, 28, 871–896.

19. O'Kelly, M. E. (1986a) *The location of interacting hub facilities*. *Transportation Science*, 20, 92–106.
20. O'Kelly, M. E. (1986b) *Activity levels at hub facilities in interacting networks*. *Geographical Analysis*, 18(4), 343–356.
21. O'Kelly, M. E. (1987) *A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities*. *European Journal of Operational Research*, 32, 393–404.
22. Papageorgiou, L. G. (2009) *Supply chain optimization for the process industries: advances and opportunities*. *Computers and Chemical Engineering*, 33 (2009), 1931–1938.
23. Schulz, E. P., Diaz, M. S., & Bandoni, J. A. (2005) *Supply chain optimization of largescale continuous processes*. *Computers & Chemical Engineering*, 29, 1305–1316.
24. Toh, R. S., & Higgins, R. C. (1985) *The impact of hub and spoke network centralization and route monopoly on domestic airline profitability*. *Transportation Journal*, 24, 16–27.

## Πίνακες

**Πίνακας 2 Μοναδιαίο Κόστος Διακίνησης**

***Distribution  
Cost (€/case)***

<u>Κόμβοι</u>	<i>Κόμβος 1</i>	<i>Κόμβος 2</i>	<i>Κόμβος 3</i>	<i>Κόμβος 4</i>	<i>Κόμβος 5</i>	<i>Κόμβος 6</i>	<i>Κόμβος 7</i>	<i>Κόμβος 8</i>	<i>Κόμβος 9</i>	<i>Κόμβος 10</i>
<i>Κόμβος 1</i>		0.33	0.1	0.35	0.3	0.06	0.1	0.13	0.5	0.3
<i>Κόμβος 2</i>	0.32		0.31	0.67	0.03	0.18	0.32	0.46	1.78	0.04
<i>Κόμβος 3</i>	0.03	0.21		0.34	0.2	0.06	0.002	0.23	0.82	0.23
<i>Κόμβος 4</i>	0.44	0.47	0.45		0.5	0.4	0.5	0.6	0.1	0.5
<i>Κόμβος 5</i>	0.28	0.02	0.3	0.002	0	0.17	0.3	0.5	0.78	0.05
<i>Κόμβος 6</i>	0.05	0.3	0.06	0.32	0.3	0	0.05	0.1	0.5	0.3
<i>Κόμβος 7</i>	0.07	0.16	0.006	0.12	0.2	0.06	0	0.23	0.8	0.2
<i>Κόμβος 8</i>	0.0429	0.1518	0.0759	0.4	0.15	0.02	0.08		0.6	0.1
<i>Κόμβος 9</i>	0.165	0.5874	0.2706	0.1	0.6	0.2	0.6	0.6	0	0.8
<i>Κόμβος 10</i>	0.1	0.0132	0.0759	0.5	0.1	0.1	0.02	0.1	0.8	0

**Πίνακας 3 Ζητούμενη Ποσότητα Μεταφοράς (i,j)**

<i>Demand</i>										
<i>Flow(cases)</i>										
<u>Κόμβοι</u>	<i>Κόμβος</i> 1	<i>Κόμβος</i> 2	<i>Κόμβος</i> 3	<i>Κόμβος</i> 4	<i>Κόμβος</i> 5	<i>Κόμβος</i> 6	<i>Κόμβος</i> 7	<i>Κόμβος</i> 8	<i>Κόμβος</i> 9	<i>Κόμβος</i> 10
<i>Κόμβος 1</i>		26827	437	12980	0	23572	0	25074	42496	0
<i>Κόμβος 2</i>	174768		1514	64402	120514	19065	25200	20003	14877	40543
<i>Κόμβος 3</i>	116768	40051		37968	0	38014	143316	3865	2956	3918
<i>Κόμβος 4</i>	409	272	0		0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 5</i>	70225	163394	0	480	0	5258	0	0	9420	0
<i>Κόμβος 6</i>	1094	0	109	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 7</i>	138693	43410	64578	38004	0	20919	0	6060	0	0
<i>Κόμβος 8</i>	20059	8001	1546	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 9</i>	28472	5951	1182	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 10</i>	0	16217	1567	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 4 Ελάχιστη Μεταφερόμενη Ποσότητα (i,k)**

<b>Minimum Flow(cases)</b>										
<u>Κόμβοι</u>	<i>Hub 1</i>	<i>Hub 2</i>	<i>Hub 3</i>	<i>Hub 4</i>	<i>Hub 5</i>	<i>Hub 6</i>	<i>Hub 7</i>	<i>Hub 8</i>	<i>Hub 9</i>	<i>Hub 10</i>
<i>Κόμβος 1</i>	0	16096	175	9086	0	4714	0	12537	21248	0
<i>Κόμβος 2</i>	104861	0	757	48302	24103	11439	12600	10002	7439	20272
<i>Κόμβος 3</i>	46707	20026	0	27337	0	15206	28663	1933	1478	1959
<i>Κόμβος 4</i>	286	204	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 5</i>	42135	32679	0	360	0	3155	0	0	4710	0
<i>Κόμβος 6</i>	219	0	44	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 7</i>	55477	21705	12916	27363	0	8368	0	3030	0	0
<i>Κόμβος 8</i>	10030	4001	773	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 9</i>	14236	2975	591	0	0	0	0	0	0	0
<i>Κόμβος 10</i>	0	8109	784	0	0	0	0	0	0	0



***Πίνακας 5 Χωρητικότητα Κόμβων (n)***

<i>Κόμβοι</i>	<i>Χωρητικότητα παλετών</i>	<i>Χωρητικότητα Κιβωτίων(cases)</i>
<i>Κόμβος 1</i>	<i>2700</i>	<i>175500</i>
<i>Κόμβος 2</i>	<i>9000</i>	<i>585000</i>
<i>Κόμβος 3</i>	<i>3000</i>	<i>195000</i>
<i>Κόμβος 4</i>	<i>1100</i>	<i>71500</i>
<i>Κόμβος 5</i>	<i>6000</i>	<i>390000</i>
<i>Κόμβος 6</i>	<i>770</i>	<i>50050</i>
<i>Κόμβος 7</i>	<i>8000</i>	<i>520000</i>
<i>Κόμβος 8</i>	<i>1440</i>	<i>93600</i>
<i>Κόμβος 9</i>	<i>1440</i>	<i>93600</i>
<i>Κόμβος 10</i>	<i>1440</i>	<i>93600</i>

*Πίνακας 6 Κόστος Εγκατάστασης (t)*

<i>Κόμβοι</i>	<i>Κόστος Εγκατάστασης (€)</i>
<i>Κόμβος 8</i>	<i>354600</i>
<i>Κόμβος 9</i>	<i>381600</i>
<i>Κόμβος 10</i>	<i>381600</i>

## Παράρτημα 1

### *Κώδικας Aimms*

```
Model Main_Final {
  Section TheModel {
    DeclarationSection Pmedian {
      Set Nodes {
        Index: n, i, j;
        Definition: data{1..10};
      }
      Set Hubs {
        SubsetOf: Nodes;
        Index: k;
        Definition: data{1..10};
      }
      Set LocationHub1 {
        SubsetOf: Nodes;
        Index: s;
      }
      Set LocationHub2 {
        SubsetOf: Nodes;
        Index: t;
      }
      Parameter DistributionCost {
        IndexDomain: (i,j);
        Range: nonnegative;
      }
      Parameter DemandFlow {
        IndexDomain: (i,j);
        Range: nonnegative;
      }
      Parameter Discount;
      Parameter TotalDistribCost {
        IndexDomain: (i,j,s,t);
        Range: nonnegative;
        Definition: DistributionCost(i,s) +
DistributionCost(s,t)*(1-Discount) + DistributionCost(t, j);
      }
      Variable Z {
        IndexDomain: (i, j, s, t);
        Range: [0, 1];
        Comment: "Binary variable to denote arc starting
at i, ending at j and flowing through s and t";
      }
      Variable Xs {
        IndexDomain: s;
        Range: binary;
      }
      Variable Xt {
        IndexDomain: t;
        Range: binary;
      }
      Constraint FlowThroughSAndT {
```

```

        IndexDomain: (i,j);
        Definition: sum[(s, t), Z(i, j, s, t)] = 1;
    }
    Constraint AllocationS {
        IndexDomain: (i,j,s,t);
        Definition: Z(i, j, s, t) <= Xs(s);
    }
    Constraint AllocationT {
        IndexDomain: (i,j,s,t);
        Definition: Z(i, j, s, t) <= Xt(t);
    }
    Constraint HubChoice1 {
        Definition: sum [s,Xs(s)]=1;
    }
    Constraint HubChoice2 {
        Definition: sum[t, Xt(t)]=1;
    }
}
DeclarationSection FinalEquation {
    Variable TotalTransportCost {
        Range: free;
        Definition: sum[(i,j,s,t), TotalDistribCost(i, j,
s, t)*DemandFlow(i, j)*Z(i, j, s, t)];
    }
    MathematicalProgram LeastCostPlan {
        Objective: TotalTransportCost;
        Direction: minimize;
        Constraints: AllConstraints;
        Variables: AllVariables;
        Type: Automatic;
    }
}
}
Section Section_2 {
    DeclarationSection InstallationDeclarations {
        Parameter InstallationCost {
            IndexDomain: t;
        }
    }
    DeclarationSection FinalEquat2 {
        Variable TotalInstallationCost {
            Range: free;
            Definition: sum(t, InstallationCost(t)*Xt(t));
        }
        Variable TotalCost {
            Range: free;
            Definition: TotalTransportCost +
TotalInstallationCost;
        }
        MathematicalProgram MeanCostPlan2 {
            Objective: TotalCost;
            Direction: minimize;
            Constraints: AllConstraints;
            Variables: AllVariables;
            Type: Automatic;
        }
    }
}
}

```

```

Section Section_3 {
  DeclarationSection NodesLimitedCapacity {
    Parameter CapacityS {
      IndexDomain: s;
      Range: nonnegative;
    }
    Parameter CapacityT {
      IndexDomain: t;
      Range: nonnegative;
    }
    Parameter IncomingDemandsS {
      IndexDomain: s;
      Definition: sum[(i,j,t), DemandFlow(i,j)*Z(i, j,
s, t)];
    }
    Parameter IncomingdemandT {
      IndexDomain: t;
      Definition: sum[(i,j,s), DemandFlow(i,j)*Z(i, t,
s, j)];
    }
    Parameter OutgoingDemandsS {
      IndexDomain: s;
      Definition: sum[(t, i, j), DemandFlow(i,j)*Z(i,
j, t, s)];
    }
    Parameter OutgoingDemandT {
      IndexDomain: t;
      Definition: sum[(s, i, j), DemandFlow(i,j)*Z(i,
j, s, t)];
    }
    Constraint ConstrForS {
      IndexDomain: s;
      Definition: IncomingDemandsS(s)
+OutgoingDemandsS(s) <= CapacityS(s)*Xs(s);
    }
    Constraint ConstrFofT {
      IndexDomain: t;
      Definition: IncomingDemandsS(t)
+OutgoingDemandsS(t) <= CapacityS(t)*Xt(t);
    }
  }
  DeclarationSection FinalEquation3 {
    MathematicalProgram MeancostPlan3 {
      Objective: TotalCost;
      Direction: minimize;
      Constraints: AllConstraints;
      Variables: AllVariables;
      Type: Automatic;
    }
  }
}
Section Section_4 {
  DeclarationSection MinimumFlow {
    Parameter MinimFlowS {
      IndexDomain: (i,s);
    }
    Parameter MinimFlowT {
      IndexDomain: (i,t);
    }
  }
}

```

```

    }
    Variable OutgoingDemS {
      IndexDomain: (i,s);
      Range: free;
      Definition: sum[(j,t), DemandFlow(i,j)*Z(i, j, s,
t)];
    }
    Variable OutgoingDemT {
      IndexDomain: (i,t);
      Range: free;
      Definition: sum[(j,s), DemandFlow(i,j)*Z(i, j, t,
s)];
    }
    Variable IncomingDemS {
      IndexDomain: (i,s);
      Range: free;
      Definition: sum[(j,t), DemandFlow(j,i)*Z(j, i, t,
s)];
    }
    Variable IncomingDemT {
      IndexDomain: (i,t);
      Range: free;
      Definition: sum[(j,s), DemandFlow(j,i)*Z(j, i, s,
t)];
    }
    Constraint SConstraint {
      IndexDomain: (i,s);
      Definition: OutgoingDemS(i,s) + IncomingDemS(i,s)
>= MinimFlowS(i,s)*Xs(s);
    }
    Constraint Tconstraint {
      IndexDomain: (i,t);
      Definition: OutgoingDemT(i,t) + IncomingDemT(i,t)
>= MinimFlowT(i,t)*Xt(t);
    }
  }
  DeclarationSection FinalEquation4 {
    MathematicalProgram MeanCostPlan4 {
      Objective: TotalCost;
      Direction: minimize;
      Constraints: AllConstraints;
      Variables: AllVariables;
      Type: Automatic;
    }
  }
}
Procedure MainInitialization {
  Comment: "Add initialization statements here that do NOT
require any library being initialized already.";
}
Procedure PostMainInitialization {
  Comment: {
    "Add initialization statements here that require that
the libraries are already initialized properly,
or add statements that require the Data Management
module to be initialized."
  }
}
}

```

```

Procedure MainExecution {
    Body: {
        solve MeanCostPlan4;
    }
}
Procedure PreMainTermination {
    Body: {
        return DataManagementExit();
    }
    Comment: {
        "Add termination statements here that require all
libraries to be still alive.
        Return 1 if you allow the termination sequence to
continue.
        Return 0 if you want to cancel the termination
sequence."
    }
}
Procedure MainTermination {
    Body: {
        return 1;
    }
    Comment: {
        "Add termination statements here that do not require
all libraries to be still alive.
        Return 1 to allow the termination sequence to
continue.
        Return 0 if you want to cancel the termination
sequence.
        It is recommended to only use the procedure
PreMainTermination to cancel the termination sequence and let
this procedure always return 1."
    }
}
}

```