ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Λήψη αποφάσεων σχεδιασμού εφοδιαστικού δικτύου: Μελέτη Περίπτωσης Συλλογής και Ενδιάμεσης Αποθήκευσης Γεωργικών Υπολειμμάτων για την Παραγωγή Βιοαιθανόλης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Ι. ΡΙΖΟΥ

Επιβλέπων : Σταύρος Πόνης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

Ευχαριστίες

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου ως προπτυχιακού φοιτητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Σταμάτη Ανδριανόπουλο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ένας Μηχανολόγος Μηχανικός Παραγωγής. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όλες τις γνώσεις και την εμπειρία που μου μετέδωσε.

Επίσης, για το χρόνο που αφιέρωσε και τις παρατηρήσεις του, ευχαριστώ τον καθηγητή μου, Σταύρο Πόνη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που μου στάθηκε αρωγός καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η μείωση των εκπομπών αεριών του θερμοκηπίου αποτελεί ένα αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας στρατηγικής για μία βιώσιμη ανάπτυξη. Ένας από τους τομείς που καλείται μέσα στα επόμενα χρόνια να μειώσει δραστικά τις εκπομπές του είναι αυτός των οδικών μεταφορών. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η ενσωμάτωση βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα. Ήδη, από το 2007, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει εκδώσει οδηγία με την οποία θέτει ως ελάχιστο στόχο για κάθε χώρα μέλος την αντικατάσταση του 10% της κατανάλωσης βενζίνης και πετρελαίου στις μεταφορές με βιοκαύσιμα μέχρι το 2020.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραγωγικές δυνατότητες της ελληνικής γεωργίας, η παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετά και σχεδιάζει εφοδιαστική αλυσίδα για την παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς από γεωργικά υπολείμματα καλλιεργειών αραβοσίτου και σίτου της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Η Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου «Ολοκληρωμένη Διεργασία Παραγωγής Βιοαιθανόλης από Ελληνική Λιγνινοκυτταρινούχα Βιομάζα».

Για το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας γίνεται αρχικά επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων της καλλιέργειας των δύο προϊόντων, ανά δημοτική ενότητα της Θεσσαλίας. Από την ανάλυση των στοιχείων προκύπτει το συμπέρασμα, ότι πρέπει να δοθεί αυξημένη βαρύτητα στη συγκέντρωση του συνόλου των υπολειμμάτων αραβοσίτου, λόγω του ότι έχουν χαμηλότερη τιμή αγοράς από τα υπολείμματα σίτου, καθώς στη δεύτερη περίπτωση υπάρχουν ανταγωνιστικοί αγοραστές. Για αυτό το λόγο, για την παραγωγή του 67,67% της ποσότητας θα χρησιμοποιηθούν υπολείμματα αραβοσίτου, ενώ η παραγωγή της υπόλοιπης ποσότητας θα βασιστεί σε υπολείμματα σίτου.

Τα υπολείμματα σίτου συλλέγονται κατά την περίοδο του Ιουλίου – Αυγούστου, ενώ τα υπολείμματα αραβοσίτου την περίοδο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου. Η συλλογή της βιομάζας θα γίνει σε μεγάλα τετράγωνα δέματα, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε ταχύτητα συλλογής, εκμετάλλευση χώρου, αλλά και κατά την αποθήκευση τους σε σχέση με την άλλη επιλογή, των στρογγυλών δεμάτων. Η αποθήκευση των δεμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερα

χαρακτηριστικά και μελετάται αναλυτικά. Λόγω της μικρής περιόδου συλλογής της πρώτης ύλης, απαιτείται η διαχείριση υψηλών αποθεμάτων κατά τη διάρκεια του έτους. Σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι δυνατό να παρουσιαστούν απώλειες στη συλλεγμένη ποσότητα, οι οποίες οφείλονται κυρίως στα καιρικά φαινόμενα. Για αυτό το λόγο, μετά από μελέτη της αποτελεσματικότητας, αλλά και του κόστους των πιθανών αποθηκευτικών επιλογών, αποφασίστηκε η αποθήκευση των δεμάτων στην ύπαιθρο σε ξηρό υπόστρωμα από παλέτες και κάλυψη τους με ειδικό κάλυμμα ανά μπλοκ, εξαιτίας της ικανότητας της μεθόδου να διατηρεί την υγρασία των δεμάτων σε χαμηλά επίπεδα και του χαμηλού κόστους εφαρμογής της.

Ο όγκος των αποθεμάτων αποκλείει επίσης την αποθήκευση των δεμάτων στο χώρο του εργοστασίου. Για την αποθήκευση τους αποφασίστηκε η χρήση ενδιάμεσων αποθηκών σε συγκεκριμένα σημεία της Θεσσαλίας. Για τον προσδιορισμό των θέσεων και του αριθμού τους, αναπτύχθηκε αλγόριθμος ομαδοποίησης των δημοτικών ενοτήτων με τη μέθοδο k-διαμέσου, λαμβάνοντας υπόψιν την παραγωγή και τη γεωγραφική θέση του κέντρου των δημοτικών ενοτήτων, όπου έγινε η υπόθεση ότι η συγκεντρώνεται όλη η παραγωγή υπολειμμάτων. Μέσω του μοντέλου αντιστοιχείται κάθε δήμος σε μία ενδιάμεση αποθήκη, η οποία εξυπηρετεί τις αποθηκευτικές της ανάγκες. Για την επιλογή του αριθμού των αποθηκών λήφθηκαν υπόψιν τρεις περιορισμοί: μέγιστη απόσταση ενδιάμεσης αποθήκης από το κέντρο της δημοτικής ενότητας που εξυπηρετεί, συνολική έκταση της αποθήκης και τέλος, συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης. Τα δέματα θα μεταφέρονται από το αγρόκτημα στην ενδιάμεση αποθήκη από τους αγρότες – παραγωγούς, ενώ η μεταφορά τους στο εργοστάσιο θα γίνει από πάροχο 3PL.

Αφού γίνει ο προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των ενδιάμεσων αποθηκών, υπολογίζονται όλα τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, προτείνεται η δημιουργία 10 και 8 ενδιάμεσων αποθηκών για την αποθήκευση των υπολειμμάτων αραβοσίτου και σίτου αντίστοιχα. Τέλος, το συνολικό κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας που σχεδιάστηκε υπολογίζεται ίσο με 19.628.863,67 €.

Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, βιοαιθανόλη, εφοδιαστική αλυσίδα, ομαδοποίηση k-διαμέσου

Abstract

Reducing GHG emissions has become a vital part of the global strategy towards a sustainable development. One key-sector that bears a greater burden is the transportation sector. At the same time, the European Commission has already set mandatory targets, involving the replacement of 10% of gasoline and oil with biofuels by 2020.

Considering the production capabilities of the Greek agricultural sector, the present Diploma Thesis studies and develops a supply chain for the production of second generation bioethanol from corn and wheat residues in the municipality of Thessaly. The annual production goal was set equal to 50,000 cubic meters of bioethanol. This Diploma Thesis is part of the project "The Sustainable Integrated Method for the Production of Lignocellulosic Ethanol".

Initially, the production data of every municipal unit in Thessaly is analyzed. It is concluded, that the greater amount of biomass used should consist of corn residues, due to its lower buying price. As a result of this fact, the 67.67% of the produced bioethanol will use corn residues as its initial source.

Wheat residues are collected during July and August, whereas corn residues are collected during September and October. Both types of residues are collected in large rectangular bales, due to their higher baling speed and better stacking abilities. The stage of biomass storage is a critical link of the biomass supply chain. The short collecting period leads to managing a high-level inventory throughout the rest of the year. During this period, protecting the collected biomass from weather related effects can become a challenging task. For this reason, the effectiveness and cost of the different storage options are being studied. Finally, the method of elevated outside coverage is selected, due to its ability to keep the moisture of the residues in acceptable levels and its low cost of implementation.

The high inventory levels lead also to the need of intermediate storage locations between the fields and the power plant. In order to determine their number and exact location, a k-means clustering algorithm is developed. Its inputs consist of the production levels and the geographical coordinates of the center, where it is assumed that the residues are collected, at

each municipality unit. Three different constraints are taken into consideration: the maximum travelling distance between a farmer and his assigned storage location, the total area of the storage location and the total transportation and storage cost.

With the use of the proposed model, each municipality unit is assigned to an intermediate storage location. The bales are moved from the field to their respective storage location by the farmers, whereas 3PL companies transfer the bales to the plant.

The model suggested the development of 10 and 8 intermediate storage locations for corn and wheat respectively. Finally, the total cost of the proposed model is equal to 19,628,863.67 €.

Key words: biomass, bioethanol, supply chain, k-means clustering

Περιεχόμενα

Περίληψη vii

Abstract ix

Κατάλογος Πινάκων xv

Κατάλογος Διαγραμμάτων xvii

Κατάλογος Εικόνων xix

Κατάλογος Σχημάτων xxi

ΜΕΡΟΣ Α 25

1. Βιωσιμότητα 25

1.1 Η έννοια της βιωσιμότητας 25

1.2 Τα μοντέλα της βιώσιμης ανάπτυξης 27

1.2.1 Three Pillars Basic Model 27

1.2.2 Το ‘αυγό’ της βιωσιμότητας 28

1.2.3 Το μοντέλο της πυραμίδας του AtKisson 29

1.2.4 Το πρίσμα της βιωσιμότητας 30

1.2.5 Το μοντέλο της ‘αμοιβάδας’ 30

1.3 Σημεία - Σταθμοί για τη βιωσιμότητα 31

1.4 Συνέπειες του Πρωτοκόλλου του Κιότο 32

1.4.1 Σχέδιο Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ETS) 33

2. Ο ρόλος των μεταφορών στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου 35

2.1 Η κατάσταση στην Ευρώπη 35

2.2 Η κατάσταση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής 37

2.3 Μέτρα αντιμετώπισης 38

3. Βιοκαύσιμα 41

3.1 Ορισμοί 41

3.2 Κυριότερα υγρά βιοκαύσιμα 41

3.2.1 Πρώτη γενιά 41

3.2.2 Δεύτερη γενιά 42

3.2.3 Κυριότερα βιοκαύσιμα 42

3.3 Ιστορική αναδρομή στη χρήση βιοκαυσίμων 42

3.4 Η χρήση των βιοκαυσίμων σήμερα 45

4. Ολοκληρωμένη Διεργασία Παραγωγής Βιοαιθανόλης από Ελληνική Λιγνινοκυτταρινούχα Βιομάζα 49

ΜΕΡΟΣ Β 53

5. Ο αγροτικός τομέας στην Ελλάδα 53

5.1 Εισαγωγή 53

5.2 Ανάλυση της γεωργικής γης στην Ελλάδα 54

5.2.1 Αραβόσιτος 57

5.2.2 Σιτάρι 58

6. Δεδομένα του έργου 61

6.1 Παραγωγική μονάδα 61

6.2 Βιομάζα 61

7. Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας 69

7.1 Εισαγωγή 69

7.2 Ιδιαιτερότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας 71

7.3 Η διαδικασία 72

7.4 Συλλογή βιομάζας 74

7.4.1 Χρόνος συλλογής 76

7.4.2 Δεματοποίηση 79

7.4.3 Αποτελέσματα 97

7.5 Φόρτωση και μεταφορά βιομάζας 98

7.5.1 Μεταφορικά μέσα 98

7.5.2 Χρόνος φόρτωσης και μεταφοράς 101

7.5.3 Κόστος συλλογής και μεταφοράς βιομάζας 108

7.6 Αποθήκευση της βιομάζας 110
7.6.1 Μέθοδος αποθήκευσης βιομάζας 110
7.6.2 Τρόπος αποθήκευσης 112
7.6.3 Σχεδιασμός αποθήκης 122
7.7 Σύσταση κόστους 126
7.8 Μεταφορά βιοαιθανόλης 128
ΜΕΡΟΣ Γ 129
8. Μοντέλο προσδιορισμού θέσης ενδιάμεσων αποθηκών 129
8.1 Επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης 130
8.1.1 Μοντέλα μέγιστης απόστασης (Maximum Distance Models) 131
8.1.2 Το πρόβλημα p-διασποράς (The p-dispersion problem) 135
8.1.3 Μοντέλο συνολικής ή μέσης απόστασης (Total or average distance model) 136
8.2 Μέθοδοι επίλυσης 142
8.2.1 Η μέθοδος της απαρίθμησης 142
8.2.2 Η μέθοδος κλάδου και φράγματος 142
8.2.3 Ευρετικές μέθοδοι 144
8.3 Μοντελοποίηση στην εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας 144
8.3.1 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της συλλογής 145
8.3.2 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της μεταφοράς 146
8.3.3 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της αποθήκευσης 148
8.4 Μοντέλο 149
8.4.1 Διαγράμματα Voronoi 150
8.4.2 Ομαδοποίηση k-διαμέσου 153
8.4.3 Αλγόριθμος 158
ΜΕΡΟΣ Δ 167
9. Αποτελέσματα 167
9.1 Υπολείμματα αραβοσίτου 167

9.2 Υπολείμματα σίτου 183

9.3 Χρονικός προγραμματισμός 193

9.4 Υπολογισμός συνολικού κόστους 195

10. Μελλοντικά βήματα 199

ΜΕΡΟΣ Ε 201

11. Παράρτημα 201

11.1 Παραγωγή δημοτικών κοινοτήτων 201

Βιβλιογραφία 205

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.3-1: Μέθοδοι μείωσης εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών 39
Πίνακας 5.2-1: Παραγωγή αραβοσίτου στους νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας 58
Πίνακας 5.2-2: Παραγωγή σίτου στους νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας 59
Πίνακας 5.2-3: Στοιχεία καλλιεργειών 60
Πίνακας 6.2-1: Κατηγορίες δυναμικότητας αραβοσίτου.....64
Πίνακας 6.2-2: Κατηγορίες δυναμικότητας σίτου 65
Πίνακας 7.4-1: Ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων κατηγοριών αραβοσίτου.....78
Πίνακας 7.4-2: Ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων κατηγοριών σίτου 79
Πίνακας 7.4-3: Διαστάσεις δεμάτων.....80
Πίνακας 7.4-4: Ποσοστό εκτιθέμενου όγκου σε σχέση με την εκτιθέμενη περιοχή 88
Πίνακας 7.4-5: Βάρος δεμάτων υπολειμμάτων 98
Πίνακας 7.5-1: Μεταφορικά στοιχεία ρυμουλκούμενου 100
Πίνακας 7.5-2: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου ζαχαρότευτλων 108
Πίνακας 7.5-3: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων αραβοσίτου 109
Πίνακας 7.5-4: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων σίτου 109
Πίνακας 7.6-1: Προτεινόμενες ενέργειες ανά θερμοκρασία υπολειμμάτων 123
Πίνακας 7.6-2: Ασφαλή επίπεδα υγρασίας για δεματοποίηση 124
Πίνακας 8.4-1: Πολλαπλασιαστές δημοτικών ενοτήτων – Αραβόσιτος 161
Πίνακας 8.4-2: Πολλαπλασιαστές δημοτικών ενοτήτων – Σιτάρι.....161
Πίνακας 8.4-3: Χρέωση για μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων αραβοσίτου.....162
Πίνακας 8.4-4: Χρέωση για μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων σίτου 162
Πίνακας 9.1-1: Γεωγραφικές συντεταγμένες ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου 175
Πίνακας 9.1-2: Στοιχεία αποθηκών αραβοσίτου Α 179
Πίνακας 9.1-3: Κόστος ενοικίασης ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου 180
Πίνακας 9.1-4: Στοιχεία αποθηκών αραβοσίτου Β.....181
Πίνακας 9.1-5: Χρόνοι μεταφοράς για τροφοδότηση εργοστασίου με υπολείμματα αραβοσίτου 182
Πίνακας 9.1-6: Αριθμός φορτωτών για την τροφοδότηση του εργοστασίου με υπολείμματα αραβοσίτου 183
Πίνακας 9.2-1: Γεωγραφικές συντεταγμένες ενδιάμεσων αποθηκών σίτου 188
Πίνακας 9.2-2: Στοιχεία αποθηκών σίτου Α.....191
Πίνακας 9.2-3: Κόστος ενοικίασης αποθηκών σίτου 192

Πίνακας 9.2-4: Στοιχεία αποθηκών σίτου Β 192
Πίνακας 9.2-5: Χρόνοι μεταφοράς για τροφοδότηση εργοστασίου με υπολείμματα σίτου .. 193
Πίνακας 9.2-6: Αριθμός φορτωτών για την τροφοδότηση του εργοστασίου με υπολείμματα σίτου 193
Πίνακας 9.4-1: Υπολογισμός συνολικού κόστους αραβοσίτου 196
Πίνακας 9.4-2: Υπολογισμός συνολικού κόστους σίτου 197
Πίνακας 11.1-1: Παραγωγή δημοτικών ενοτήτων 203

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.4-1: Αποτελέσματα εκπομπών και στόχοι σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο 34
Διάγραμμα 2.1-1: Ποσοστό τομέα μεταφορών επί του συνόλου των εκπομπών 36
Διάγραμμα 2.1-2: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών και άλλου τομείς στην ΕΕ, 1990-2012 36
Διάγραμμα 3.3-1: Παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης, 1975-2006 44
Διάγραμμα 3.3-2: Παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ, 1975-2006 44
Διάγραμμα 3.3-3: Διακύμανση τιμών πετρελαίου, 1970-2008 45
Διάγραμμα 3.4-1: Παραγωγή βιοκαυσίμων σε επιλεγμένες χώρες το 2014 (σε 1.000 ΤΟΕ) . 46
Διάγραμμα 3.4-2: Ποσοστό ανανεώσιμων καυσίμων επί των συνολικών στην ΕΕ, 2013 47
Διάγραμμα 3.4-3: Κατάταξη χωρών στην παραγωγή βιοκαυσίμων, 2014 (σε 1.000 ΤΟΕ) 47
Διάγραμμα 3.4-4: Μέγεθος παγκόσμιας αγοράς βιοκαυσίμων, 2005-2013 (σε δισ. $) 48
Διάγραμμα 5.1-1: Η αγροτική οικονομία ως ποσοστό του ΑΕΠ επιλεγμένων χωρών, 2005-2014 54
Διάγραμμα 5.2-1: Αριθμός γεωργικών εκμεταλλεύσεων με χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση, κατά περιφέρεια 54
Διάγραμμα 5.2-2: Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση, κατά περιφέρεια 55
Διάγραμμα 5.2-3: Μέση χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση εκμεταλλεύσεων, κατά περιφέρεια 56
Διάγραμμα 5.2-4: Ποσοστιαία κατανομή της χρησιμοποιουμένης γεωργικής έκτασης των εκμεταλλεύσεων, κατά βασικές κατηγορίες χρήσης 56
Διάγραμμα 5.2-5: Παραγωγή αραβοσίτου, 2007-2013 58
Διάγραμμα 5.2-6: Παραγωγή σίτου, 2007-2013 59
Διάγραμμα 6.2-1: Κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία αραβοσίτου 64
Διάγραμμα 6.2-2: Ποσοστιαία κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία αραβοσίτου . 64
Διάγραμμα 6.2-3: Κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία σίτου 65
Διάγραμμα 6.2-4: Ποσοστιαία κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία σίτου 65
Διάγραμμα 7.1-1: Κατανομή ερευνητικών άρθρων ανά θεματική ενότητα, 2000-2009 70
Διάγραμμα 7.1-2: Κατανομή ερευνητικών άρθρων ανά είδος βιομάζας, 2000-2009 71
Διάγραμμα 7.4-1: Κόστος ανά τόνο, ανά τύπο δέματος, ανά απόδοση εκταρίου 85
Διάγραμμα 9.1-1: Συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης 168
Διάγραμμα 9.1-2: Ανάλυση κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης 169

Διάγραμμα 9.1-3: Ποσοστιαία ανάλυση κόστους μεταφοράς & αποθήκευσης 170
Διάγραμμα 9.1-4: Ανάλυση μεταφορικού κόστους 170
Διάγραμμα 9.1-5: Μέση διανυθείσα απόσταση 171
Διάγραμμα 9.1-6: Μέγιστη διανυόμενη απόσταση 172
Διάγραμμα 9.1-7: Κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς - Ρίσκο 173
Διάγραμμα 9.1-8: Έκταση μεγαλύτερης αποθήκης - Όριο 174
Διάγραμμα 9.2-1: Συνολικός κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης 184
Διάγραμμα 9.2-2: Ποσοστιαία ανάλυση κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης 185
Διάγραμμα 9.2-3: Ανάλυση μεταφορικού κόστους 185
Διάγραμμα 9.2-4: Μέση διανυθείσα απόσταση 186
Διάγραμμα 9.2-5: Μέγιστη διανυόμενη απόσταση 187
Διάγραμμα 9.2-6: Κόστος αποθήκευσης & μεταφοράς- Ρίσκο 187
Διάγραμμα 9.2-7: Έκταση μεγαλύτερης αποθήκης - Όριο 188

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.2-1: Three Pillar Basic Model 27
Εικόνα 1.2-2: Το 'αυγό' της βιωσιμότητας του IUCN 28
Εικόνα 1.2-3 Το πρίσμα της βιωσιμότητας 30
Εικόνα 1.2-4: Το μοντέλο της αμοιβάδας 31
Εικόνα 2.2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις ΗΠΑ, 1990-2013 37
Εικόνα 2.2-2: Ποσοστό εκπομπών ανά οικονομικό τομέα στις ΗΠΑ, 2013 38
Εικόνα 6.2-1: Στοιχεία παραγωγής αραβοσίτου, 2012 62
Εικόνα 6.2-2: Στοιχεία παραγωγής σίτου, 2012 63
Εικόνα 7.4-1: Κατηγορίες χορτοδετικών πρεσών 79
Εικόνα 7.4-2: Κόστος παραγωγής τετράγωνων δεμάτων 86
Εικόνα 7.4-3: Κόστος παραγωγής στρογγυλών δεμάτων 86
Εικόνα 7.4-4: Θεριζοαλωνιστική μηχανή 90
Εικόνα 7.4-5: Θεριζοαλωνιστικές μηχανές και σειρές υπολειμμάτων 90
Εικόνα 7.4-6: Χορτοσυλλέκτης 91
Εικόνα 7.4-7: Χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων 92
Εικόνα 7.4-8: Χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων 92
Εικόνα 7.4-9: Χωράφι με τετράγωνα δέματα υπολειμμάτων 93
Εικόνα 7.4-10: Εμπρόσθιος φορτωτής τετράγωνων δεμάτων 93
Εικόνα 7.4-11: Χορτοδετική πρέσα στρογγυλών δεμάτων 94
Εικόνα 7.4-12: Χορτοδετική πρέσα μεταβλητού θαλάμου στρογγυλών δεμάτων 94
Εικόνα 7.4-13: Χωράφι με στρογγυλά δέματα υπολειμμάτων 95
Εικόνα 7.4-14: Εμπρόσθιος φορτωτής στρογγυλών δεμάτων 95
Εικόνα 7.4-15: Σύνολο εξοπλισμού για την παραγωγή τετράγωνων δεμάτων 96
Εικόνα 7.5-1: Επιβατικό όχημα με ρυμουλκούμενη καρότσα 102
Εικόνα 7.5-2: Επικαθήμενο φορτηγό με καρότσα πάτωμα 103
Εικόνα 7.5-3: Αρθρωτό φορτηγό 103
Εικόνα 7.5-4: Γεωργικός ελκυστήρας με ρυμουλκούμενη καρότσα 104
Εικόνα 7.5-5: Φόρτωση τετράγωνων δεμάτων σε καρότσα πάτωμα 104
Εικόνα 7.5-6: Σταθεροποίηση φορτίου με ιμάντες 105
Εικόνα 7.5-7: Σταθεροποίηση δεμάτων με υδραυλικό σύστημα 105
Εικόνα 7.5-8: Μεταφορά και στοίβαξη τετράγωνων δεμάτων 106
Εικόνα 7.5-9: Καρότσα πάτωμα 107

Εικόνα 7.6-1: Στοίβαξη ακάλυπτων στρογγυλών δεμάτων στο έδαφος.....114
Εικόνα 7.6-2: Στοίβαξη ακάλυπτων τετράγωνων δεμάτων στο έδαφος.....115
Εικόνα 7.6-3: Κάλυψη στρογγυλού δέματος με πλαστικό κάλυμμα.....116
Εικόνα 7.6-4: Κάλυψη σειρά τετράγωνων δεμάτων δύο στρώσεων με πλαστικό κάλυμμα.117
Εικόνα 7.6-5: Κάλυψη σειράς στρογγυλών δεμάτων με πλαστικό κάλυμμα.....117
Εικόνα 7.6-6: Κάλυψη τετράγωνων δεμάτων σε στέγαστρο.....119
Εικόνα 7.6-7: Κάλυψη δεμάτων ανά μπλοκ και στοίβαξη στο έδαφος.....121
Εικόνα 7.6-8: Σκαρίφημα μεθόδου αποθήκευσης 121
Εικόνα 8.3-1: Παράδειγμα επιλογής περιοχών που ενδείκνυνται συλλογή 145
Εικόνα 8.3-2: Παράδειγμα συνδυασμού στατιστικών και γεωγραφικών στοιχείων 148
Εικόνα 8.4-1: Διάγραμμα Voronoi 20 σημείων με ευκλείδειες αποστάσεις 152
Εικόνα 8.4-2: Διάγραμμα Voronoi 20 σημείων με αποστάσεις city block.....152
Εικόνα 8.4-3 Εφαρμογή ομαδοποίησης k-διαμέσου 153
Εικόνα 8.4-4: Τυχαία αρχικοποίηση – Παράδειγμα 1 155
Εικόνα 8.4-5: Τυχαία αρχικοποίηση – Παράδειγμα 2 155
Εικόνα 8.4-6: Αρχικοποίηση μέσω δείγματος – Παράδειγμα 1 156
Εικόνα 8.4-7: Αρχικοποίηση μέσω δείγματος – Παράδειγμα 2 157
Εικόνα 9.1-1: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου .176
Εικόνα 9.1-2: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου .178
Εικόνα 9.2-1: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών σίτου 189
Εικόνα 9.2-2: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών σίτου 190
Εικόνα 9.3-1: Χρονικός προγραμματισμός 1ης αποθήκης αραβοσίτου 195
Εικόνα 9.3-2: Χρονικός προγραμματισμός 1ης αποθήκης σίτου 195

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 7.3-1: Στάδια εφοδιαστική αλυσίδας βιομάζας Α 73
Σχήμα 7.3-2: Στάδια εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας Β 73
Σχήμα 7.4-1: Χρόνος συλλογής υπολειμμάτων σίτου και αραβοσίτου 75
Σχήμα 7.6-1: Ενδεικτική κάτοψη αποθήκης 30 στρεμμάτων 125
Σχήμα 7.7-1: Σύσταση κόστους 127

ΜΕΡΟΣ Α

1. Βιωσιμότητα

1.1 Η έννοια της βιωσιμότητας

Η ρίζα της λέξης βιωσιμότητα ή αλλιώς αειφορίας προέρχεται από τη λατινική λέξη '*sustinere'*, η οποία με τη σειρά της σημαίνει διατηρώ, υποστηρίζω, αντέχω. Αρχίζοντας από το 1980, η λέξη αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για να περιγράψει έναν στόχο της ανθρωπότητας, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου ανέβηκε αρκετά ψηλά στη λίστα με τις προτεραιότητες πολλών οργανισμών, με κυριότερο από όλους τον ΟΗΕ. Σε μία από τις εκθέσεις του ΟΗΕ, της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, με τίτλο «Το κοινό μας μέλλον», ο πρόεδρος της Gro Harlem Bruntdland, έδωσε το Μάρτιο του 1987, τον εξής ορισμό για τη βιωσιμότητα:

«Η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες των σύγχρονων γενεών, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των επόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.»

Με τον ορισμό αυτό προσπάθησε να συγκεντρώσει τα ερωτήματα που είχαν αναπτυχθεί, για το κατά πόσο οι μεγάλοι ρυθμοί ανάπτυξης της εποχής εκείνης θα δημιουργούσαν μακροπρόθεσμα προβλήματα και αν θα ήταν εφικτό να παραμείνουν ίδιοι. Από τότε, έγινε ευρέως αποδεκτό ότι το ζήτημα της βιώσιμης ανάπτυξης θα πρέπει να αναδειχθεί σε μείζον ζήτημα διαβούλευσης, όπως και έγινε. Τον ορισμό αυτό ακολούθησαν αρκετοί άλλοι που προσπάθησαν να ερμηνεύσουν αυτή την πολυδιάστατη έννοια. Ο IUCN (The World Conservation Union), ένας οργανισμός που πραγματοποιεί πληθώρα ενεργειών κάθε χρόνο με

στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας, στελεχώνοντας από διεθνή συνέδρια μέχρι και ερευνητικά πειράματα, έδωσε το 1991 τον εξής ορισμό:

«Βιωσιμότητα είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσα στα πλαίσια των φερουσών ικανοτήτων των οικοσυστημάτων.»

Παρόλο που, η ταύτιση της έννοιας της βιωσιμότητας και της αειφορίας πολλές φορές συγχέεται και ταυτίζεται αποκλειστικά με τη διατήρηση του περιβάλλοντος και του φυσικού κόσμου, κάτι τέτοιο δεν αποτυπώνει το σύνολο της έννοιας. Για την ακρίβεια, η διατήρηση και η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί και περιγράφει ακριβώς μία από τις τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας. Σε αυτό το πλαίσιο, το Swiss Federal Statistical Office (SFSO), στα πλαίσια του έργου MONET – Monitoring Sustainable Development (2001), έδωσε τον εξής ορισμό για τη βιωσιμότητα:

«Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει διασφάλιση αξιοπρεπών συνθηκών διαβίωσης, με σεβασμό των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, μέσω της δημιουργίας και διατήρησης, όσο το δυνατόν περισσότερων επιλογών για τον καθορισμό ελευθέρων σχεδίων ζωής. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η αρχή της ισότητας μεταξύ των σημερινών και μελλοντικών γενεών, αναφορικά με τη χρήση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών πόρων. Η ικανοποίηση των αναγκών αυτών συνεπάγεται την ολοκληρωμένη προστασία της βιοποικιλότητας, όσον αφορά στα οικοσυστήματα, στα είδη και στη γενετική ποικιλομορφία, όλα από τα οποία είναι ζωτικά θεμέλια της ζωής.»

Όλοι οι παραπάνω ορισμοί, είτε άμεσα είτε έμμεσα, εμπεριέχουν τα εξής χαρακτηριστικά, που στην ουσία περιγράφουν και το σύνολο των αξιών που συγκεντρώνει η έννοια της βιωσιμότητας και διατυπώθηκαν για πρώτη φορά από τον ΟΗΕ:

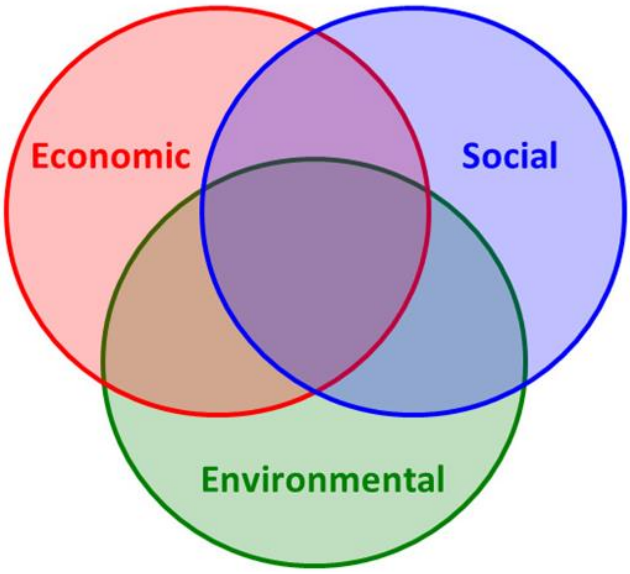
- Κοινωνικό - ανθρωπιστικό επίπεδο: Μία κοινωνία που έχει ενσωματώσει στις δομές την έννοια της βιωσιμότητας, έχει καταστίσει ουσιαστικό εφικτό στους πολίτες που την αποτελούν, να ικανοποιούν τις ανάγκες τους, αλλά και ταυτόχρονα να μπορούν να δημιουργούν νέες, οι οποίες όμως δεν αντιβαίνουν, ούτε παραλλάσουν το βιώσιμο χαρακτήρα αυτής.
- Οικονομικό επίπεδο: Το οικονομικό περιβάλλον πρέπει να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπει την οικονομική ανάπτυξη και την ευημερία στις οντότητες (φυσικά πρόσωπα, ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς κ.α.) που το απαρτίζουν, αλλά και να δώσει την επιλογή, και στις οντότητες των επόμενων γενεών να εκμεταλλευτούν τις ίδιες.

- Περιβαλλοντικό επίπεδο: Όλες οι δραστηριότητες των κοινωνιών, κάθε μία από τις οποίες αποτελεί ένα μικρότερο οικοσύστημα, προστατεύουν και ενισχύουν την αειφορία του φυσικού περιβάλλοντος, με διαρκή στόχο, αυτό είναι σε θέση να συνεχίζει αέναα να φιλοξενεί τα υπάρχοντα και τα νέα οικοσυστήματα.

1.2 Τα μοντέλα της βιώσιμης ανάπτυξης

Καθώς η βιωσιμότητα αποτελεί μία τόσο πολυδιάστατη έννοια, έχουν δημιουργηθεί διάφορα μοντέλα με στόχο την περιγραφή της. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα από αυτά.

1.2.1 Three Pillars Basic Model



Εικόνα 1.2-1: Three Pillar Basic Model[1]

Στην Παγκόσμια Σύνοδο για την Κοινωνική Ανάπτυξη του ΟΗΕ, το 2005, ορίστηκαν οι 3 διαστάσεις της βιωσιμότητας, η οικονομική, η κοινωνική και η περιβαλλοντική. Οι τρεις αυτές διαστάσεις, όπως φαίνεται και από την ανάλυση τους παραπάνω, δεν αποτελούν ξεχωριστές οντότητες, αλλά η κάθε μία συμπληρώνει και πλαισιώνει τις υπόλοιπες.

Το σημείο τομής μεταξύ δύο διαστάσεων ορίζεται ως σημείο μερικής βιώσιμης ανάπτυξης και αποτελεί ουσιαστικά τον 'κοινό τόπο', στον οποίο οι δύο διαστάσεις μπορούν να αναπτυχθούν παράλληλα πάνω σε ένα κοινό επίπεδο με συναφείς στόχους και σκοπούς, οδηγώντας σε κοινή

[1] Πηγή: http://greenartlaballiance.eu/?page_id=924, 9/2015

πρόοδο. Το σημείο τομής και των τριών διαστάσεων αποτελεί τη βέλτιστη κατάσταση. Την κατάσταση δηλαδή κατά την οποία, και οι τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας έχουν ενσωματωθεί πλήρως στο οικοσύστημα και αναπτύσσονται παράλληλα σε πλήρη εναρμονισμό.

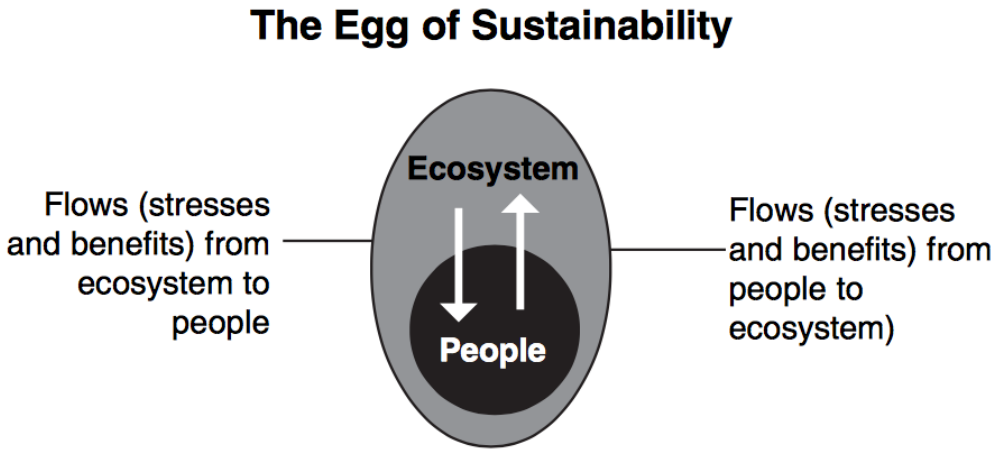
1.2.2 Το 'αυγό' της βιωσιμότητας

Ο Robert Prescott Allen, μέλος του IUCN (The World Conservation Union) και γνωστή προσωπικότητα στον κόσμο της βιωσιμότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος, έχει δώσει τον εξής ορισμό για τη βιωσιμότητα:

«Βιωσιμότητα είναι ένας άλλος τρόπος για να εκφραστεί η έννοια της 'ποιοτικής ζωής', ως ένας συνδυασμός, (α) υψηλού επιπέδου της ανθρώπινης ευημερίας και, (β) υψηλού επιπέδου ευημερίας του οικοσυστήματος που την υποστηρίζει.»

Με τον ορισμό αυτό προσπαθεί να κάνει σαφές, πως η βιωσιμότητα μίας ανθρώπινης ύπαρξης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την βιωσιμότητα του οικοσυστήματος στο οποίο αναπτύσσεται, αλλά και το αντίθετο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο καθορίζει το μέλλον της κοινής τους πορείας, αλλά και το μέλλον τους ξεχωριστά.

Ο Robert Prescott Allen, σε συνεργασία με τους Irene Guijt and Alex Moiseev, δημιούργησαν το 1994 για λογαριασμό του IUCN, το εξής μοντέλο, για να περιγράψουν την παραπάνω αλληλεπίδραση.



Εικόνα 1.2-2: Το 'αυγό' της βιωσιμότητας του IUCN[2]

[2] Πηγή: http://cmsdata.iucn.org/downloads/resource_kit_a_eng.pdf, 9/2015

Η σχέση μεταξύ των δύο είναι ακριβώς η ίδια με αυτή μεταξύ των μερών ενός αυγού. Η κατάσταση του όλου συστήματος εξαρτάται από την κατάσταση κάθε μεμονωμένου τμήματος του. Σε αυτήν τη μοντελοποίηση, το οικοσύστημα θεωρείται ότι συμβολίζει το περιβάλλον και αποτελεί ένα υπερσύνολο, το οποίο περιλαμβάνει, τόσο την κοινωνία, όσο και την οικονομία. Αυτό, γιατί, με μία πιο γενική ματιά, το περιβάλλον είναι αυτό που ανάλογα με τις δυνατότητες και τα αποθέματα του σε φυσικούς πόρους, καθορίζει την πορεία της οικονομίας και της κοινωνίας που αναπτύσσεται στα πλαίσια του. Σύμφωνα με τον IUCN, ισχύει η σχέση:

sustainable development = human well-being + ecosystem well-being

1.2.3 Το μοντέλο της πυραμίδας του AtKisson

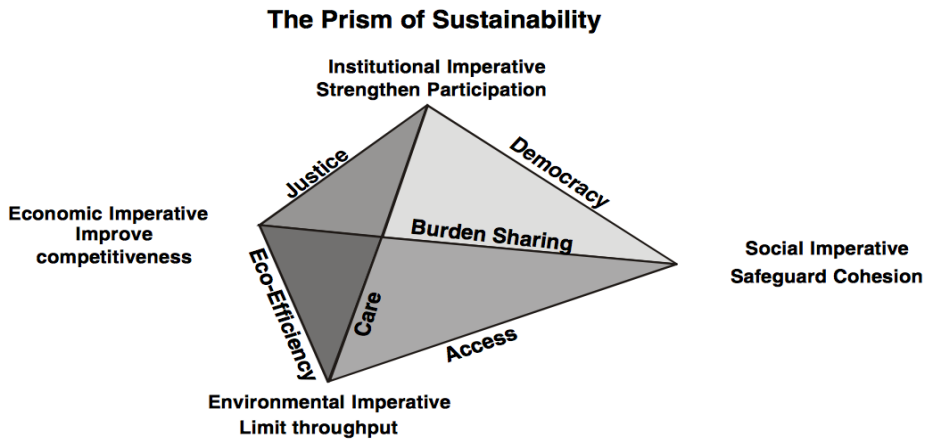
Ο στόχος αυτού του μοντέλου, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Alan AtKisson, ιδρυτή του συμβουλευτικού οργανισμού σε θέματα βιωσιμότητας AtKisson Group, είναι να παραθέσει τα βήματα που απαιτούνται για να μετατραπεί μία ιδέα για βιώσιμη ανάπτυξη σε πράξη. Τα βήματα αυτά έχουν αυξανόμενη σταδιακά βαρύτατα, και για αυτό παρουσιάζονται με τη μορφή πυραμίδας. Αυτά είναι:

I. Δείκτες – Μέτρηση και εντοπισμός τάσεων
II. Συστήματα – Εντοπισμός σχέσεων
III. Καινοτομίες – Ανάπτυξη νέων ιδεών
IV. Στρατηγικές – Από τη θεωρία στην πράξη
V. Συμφωνίες – Υλοποίηση

Τα παραπάνω βήματα έχουν τέτοια δομή, ώστε να βοηθούν τα μέλη οποιουδήποτε οργανισμού να υλοποιούν τις ιδέες που αναπτύσσουν πάνω σε θέματα αειφορίας.

1.2.4 Το πρίσμα της βιωσιμότητας

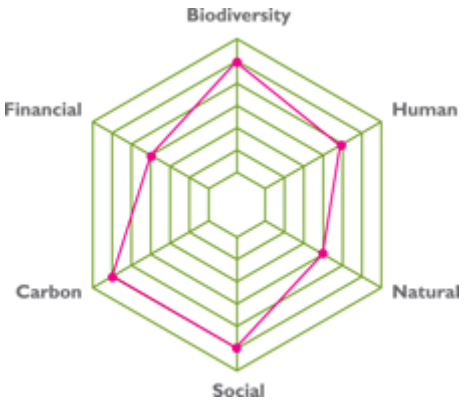
Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε από το Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy και εισάγει μία τέταρτη διάσταση, αυτή των οργανισμών. Οι οργανισμοί είχαν ανέκαθεν πολύ σημαντικό ρόλο στη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος στο οποίο δραστηριοποιούνταν. Πέρα από αυτή την προσθήκη, το μοντέλο αυτό, χρησιμοποιώντας τη μορφή του πρίσματος, παρουσιάζει τις σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων μερών, οι οποίες οδηγούν το σύστημα στη βιωσιμότητα. Κάθε ακμή του πρίσματος αντικατοπτρίζει τη σχέση που πρέπει να επικρατεί μεταξύ των δύο άκρων της.



Εικόνα 1.2-3 Το πρίσμα της βιωσιμότητας

1.2.5 Το μοντέλο της 'αμοιβάδας'

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει την κατάσταση ενός συστήματος σε σχέση με τη βέλτιστη δυνατή. Το μοντέλο έχει κυκλικό σχήμα, όπου στο εξωτερικό βρίσκονται οι δείκτες που απασχολούν κάθε ανάλυση. Το κέντρο του σχήματος, που συμβολίζει μία μη βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται με ευθείες με τους δείκτες, οι οποίες συμβολίζουν μία διαρκή μεταβολή από το μη βιώσιμο στο βιώσιμο. Το μοντέλο αυτό δίνει τη δυνατότητα της έποψης περισσότερων δεικτών ταυτόχρονα, αλλά και τη μεταξύ τους σύγκριση. Για αυτό το λόγο θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα μοντέλα για την απεικόνιση της βιωσιμότητας ενός συστήματος.



Εικόνα 1.2-4: Το μοντέλο της αμοιβάδας

1.3 Σημεία - Σταθμοί για τη βιωσιμότητα

Τα τελευταία 40 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πληθώρα διασκέψεων, τόσο σε εθνικό, όσο και παγκόσμιο επίπεδο, με αντικείμενο τη χάραξη πορείας με τελικό στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές διασκέψεις, οι οποίες αποτελούν σταθμό, λόγω τις βαρύτητας των αποτελεσμάτων τους.

- Stockholm Conference, 1972

Το συνέδριο είναι επίσης γνωστό και ως The United Nations Conference on the Human Environment. Κατά τη διάρκεια του συνεδρίου διατυπώθηκε η ανάγκη της υιοθέτησης μίας κοινής παγκόσμιας στρατηγικής και κοινών αρχών, με σκοπό την κατεύθυνση προς έναν τρόπο ζωής, ο οποίος ενισχύει και συνυπάρχει αρμονικά με το φυσικό περιβάλλον.

- The Brundtland Commission, 1983

Η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (World Commission on Environment and Development - WCED), συγκροτήθηκε το 1983 από τον ΟΗΕ, με πρόεδρο τον Gro Harlem Brundtland. Αποστολή της επιτροπής ήταν να αξιολογήσει την αναπτυσσόμενη αβεβαιότητα για τη συνεχή επιτάχυνση της υποβάθμισης του ανθρωπίνου περιβάλλοντος και την εξάντληση των φυσικών πόρων, καθώς και της συνέπειες αυτής της επιδείνωσης για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

Τα πεπραγμένα και το πόρισμα της επιτροπής εκδόθηκαν το 1987, με τίτλο ‘Το κοινό μας μέλλον’, αλλάζοντας για πάντα την παγκόσμια αντίληψη για τη βιωσιμότητα.

- Earth Summit, 1992

Σε μία από τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ηγετών στην ιστορία, μέλη 178 κυβερνήσεων έλαβαν μέρος στη διάσκεψη το 1992, στο Rio de Janeiro. Στόχος του συνεδρίου ήταν να παρακινηθούν όλα τα συμμετέχοντα κράτη, για να ξεκινήσει μία παγκόσμια προσπάθεια με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη. Μεταξύ τον πιο σημαντικών αποτελεσμάτων του συνεδρίου ήταν η υπογραφή της Ατζέντας 21, ενός αναλυτικού σχεδίου, το οποίο περιλαμβάνει ενέργειες σε παγκόσμιο, εθνικό και τοπικό επίπεδο, για κάθε τομέα, όπου ο άνθρωπος αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον.

- Kyoto Protocol, 1997

Στο Κιότο το 1997, μετά από διαρκείς και έντονες διαπραγματεύσεις, υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο από 150 χώρες. Το έγγραφο αυτό αποτελεί το πρώτο νομικά δεσμευτικό έγγραφο για τη μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου, βασισμένο στο ότι, (α) το φαινόμενο του θερμοκηπίου υφίσταται, και (β) δημιουργήθηκε από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Προέβλεπε μείωση ίση με 5,2% των εκπομπών μέχρι το 2012, σε σχέση με το 1990.

- Rio +20, 2012

Είκοσι χρόνια μετά τη διάσκεψη κορυφής στο Ρίο, το 1992, πραγματοποιήθηκε μία σύνοδος που είχε διττό στόχο. Αφενός, να αξιολογήσει τα αποτελέσματα και τις αλλαγές που επιτεύχθηκαν τα τελευταία 20 χρόνια και αφετέρου, να τεθούν νέοι στόχοι για το μέλλον.

1.4 Συνέπειες του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Παρόλο που κάθε ένα από τα παραπάνω σημεία σταθμοί για τη βιωσιμότητα είχε τη δική του βαρύτητα, η υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο σίγουρα ξεχωρίζει μεταξύ αυτών. Αυτό, γιατί ήταν η πρώτη φορά που η βιωσιμότητα ποσοτικοποιήθηκε ξεκάθαρα και κάθε χώρα ανέλαβε συγκεκριμένες ευθύνες. Αυτές περιλάμβαναν την υποχρέωση της χώρας να μειώσει της εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγει κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, με γνώμονα την εναρμόνιση της με ένα βιώσιμο πρότυπο λειτουργίας και ανάπτυξης.

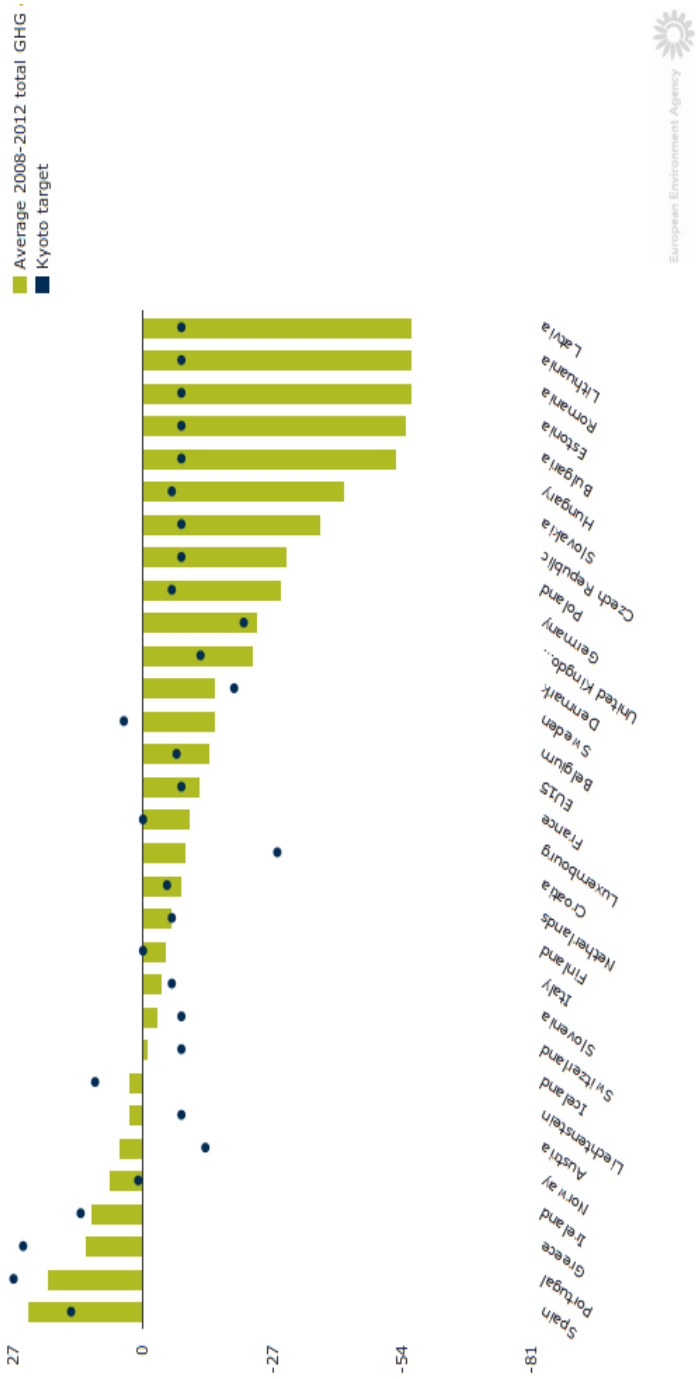
Το Πρωτόκολλο υπογράφηκε το 1997 και τέθηκε σε εφαρμογή στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Η πρώτη περίοδος ανάληψης υποχρεώσεων ξεκίνησε το 2008 και διήρκησε μέχρι το 2012. Η δεύτερη περίοδος υποχρεώσεων αποφασίστηκε να είναι η 2012 – 2020 (Doha Amendment). Παρόλα αυτά, η εφαρμογή της δεν έχει ξεκινήσει.

1.4.1 Σχέδιο Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ETS)

Στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου, δημιουργήθηκαν ομάδες κρατών, οι οποίες θα αναλάμβαναν μείωση εκπομπών, ως ομάδα και όχι ως μεμονωμένα κράτη. Η πρώτη τέτοια ομάδα δημιουργήθηκε από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και παραμένει ως σήμερα η μεγαλύτερη τέτοια πρωτοβουλία, καθώς σε αυτή συμμετέχουν 31 κράτη.

Σύμφωνα με το Σχέδιο τίθεται ένα μέγιστο όριο εκπομπών από δραστηριότητες της βιομηχανίας, το οποίο αφορά το σύνολο των κρατών μελών. Οι δραστηριότητες αυτές αφορούν εργοστάσια, εργοστάσια παραγωγής ρεύματος και άλλες εγκαταστάσεις που παράγουν αέρια του θερμοκηπίου. Συνολικά, το Σχέδιο Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλύπτει το 45% του συνόλου των εκπομπών της. Η εφαρμογή του στους συγκεκριμένους τομείς γίνεται, γιατί σε αυτούς είναι δυνατή η λεπτομερής καταγραφή και μπορεί να δημιουργηθεί αξιόπιστη βάση δεδομένων. Το σχέδιο βασίζεται στις Άδειες εκπομπών, οι οποίες αγοράζονται από τα κράτη μέλη για να καλύψουν τις εκπομπές τους. Τα κράτη μέλη με τη σειρά τους διανείμουν τις άδειες στις βιομηχανίες που οφείλονται για τις εκπομπές. Αν κάποιο κράτος μέλος δεν ξεπεράσει το όριο που δικαιούται από το σύνολο των αδειών που έχει αγοράσει, μπορεί να πουλήσει τις εναπομένουσες άδειες.

Το σχέδιο χωρίστηκε σε τρεις περιόδους συναλλαγών. Η πρώτη περίοδος διήρκησε από το Ιανουάριο του 2005 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2007, και χαρακτηρίστηκε και ως περίοδος δοκιμής, καθώς το εγχείρημα δεν είχε πραγματοποιηθεί ξανά σε τέτοιο επίπεδο και παρουσίαζε αρκετές προκλήσεις. Σε αυτό συμμετείχαν τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εκείνης της περιόδου (EU-15). Η δεύτερη περίοδος τοποθετήθηκε παράλληλα με την πρώτη περίοδο εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο, δηλαδή από τον Ιανουάριο του 2008 μέχρι το Δεκέμβριου του 2012. Σε αυτή συμμετείχαν και τα κράτη μέλη που προστέθηκαν στην Ευρωπαϊκής Ένωση στη διάρκεια των προηγούμενων ετών (EU-28). Αυτή η φάση θεωρείται ως πραγματική εφαρμογή του προγράμματος, καθώς συλλέχθηκε όλη η απαιτούμενη εμπειρία από την 1η αναγνωριστική φάση, και έτσι έγιναν αρκετές διορθώσεις σε διάφορα σημεία του μηχανισμού. Η τρίτη περίοδος άρχισε τον Ιανουάριο του 2013 και θα διαρκέσει μέχρι το τέλος του 2020. Στο Διάγραμμα 1.4-1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιόδου 2008 – 2012, καθώς και οι στόχοι που τέθηκαν για κάθε χώρα σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο.



Διάγραμμα 1.4-1: Αποτελέσματα εκπομπών και στόχοι σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο[3]

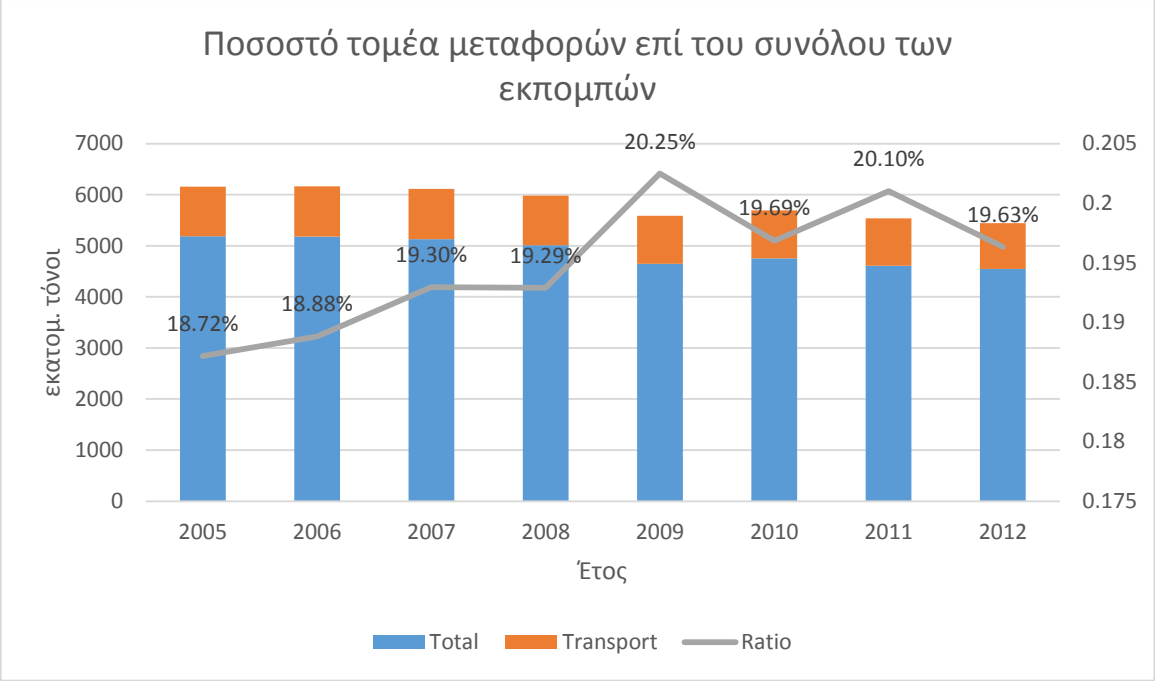
[3] Πηγή: European Environment Agency

2. Ο ρόλος των μεταφορών στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου

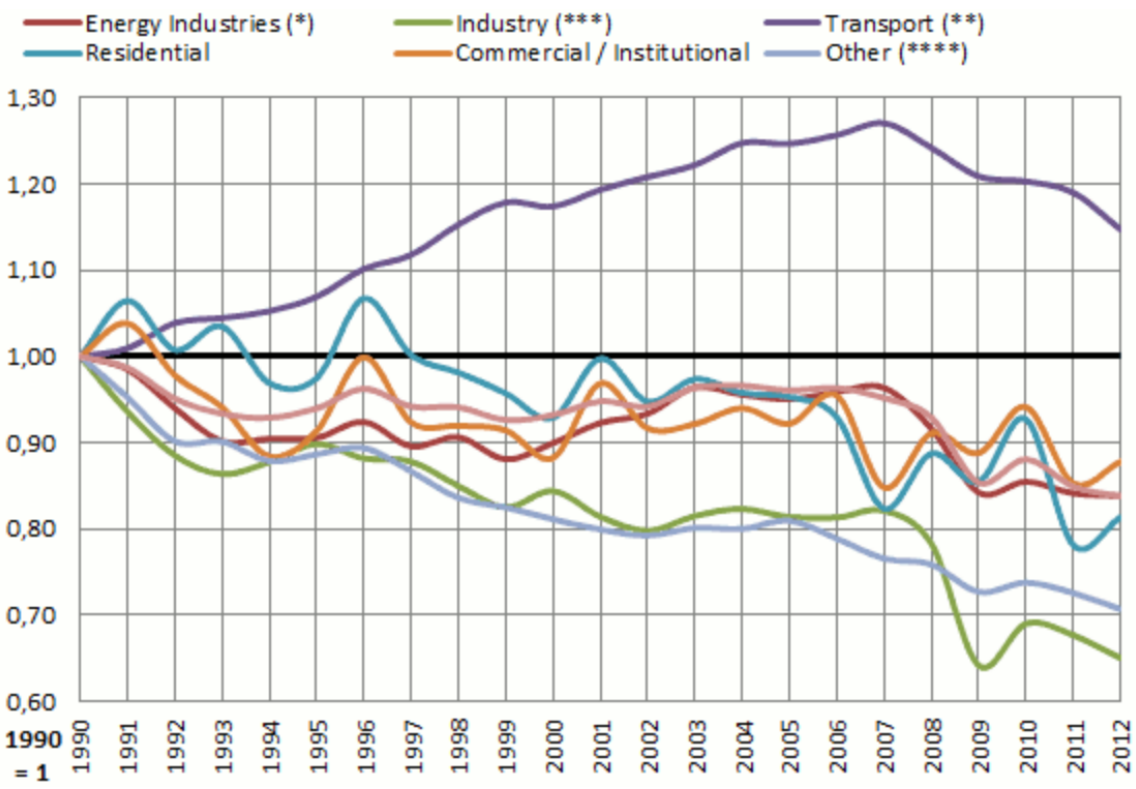
Ο τομέας των μεταφορών περιλαμβάνει τη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών μέσω αυτοκινήτων, φορτηγών, τρένων, καραβιών, αεροπλάνων και άλλων μεταφορικών μέσων. Το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών αποτελούν οι εκπομπές CO_2, εξαιτίας κυρίως της χρήσης προϊόντων, των οποίων η σύσταση βασίζεται στο πετρέλαιο, όπως η καύση βενζίνης στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών αναλογεί στα επιβατικά οχήματα και στα ημι-φορτηγά.

2.1 Η κατάσταση στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη, ο τομέας των μεταφορών φέρει την ευθύνη για περίπου το ένα πέμπτο των συνολικών εκπομπών, δεύτερος μετά από αυτόν της ενέργειας. Ενώ από το 1990 και μετά οι εκπομπές από άλλους τομείς παρουσίασαν πτωτική τάση, αυτές του τομέα των μεταφορών είχαν συνεχή αύξηση. Αυτό διήρκησε μέχρι το 2008, όπου και άρχισαν να φθίνουν εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως η αύξηση της τιμής του πετρελαίου και η εξάπλωση των οχημάτων νέας γενιάς (Διάγραμμα 2.1-1).



Διάγραμμα 2.1-1: Ποσοστό τομέα μεταφορών επί του συνόλου των εκπομπών[4]

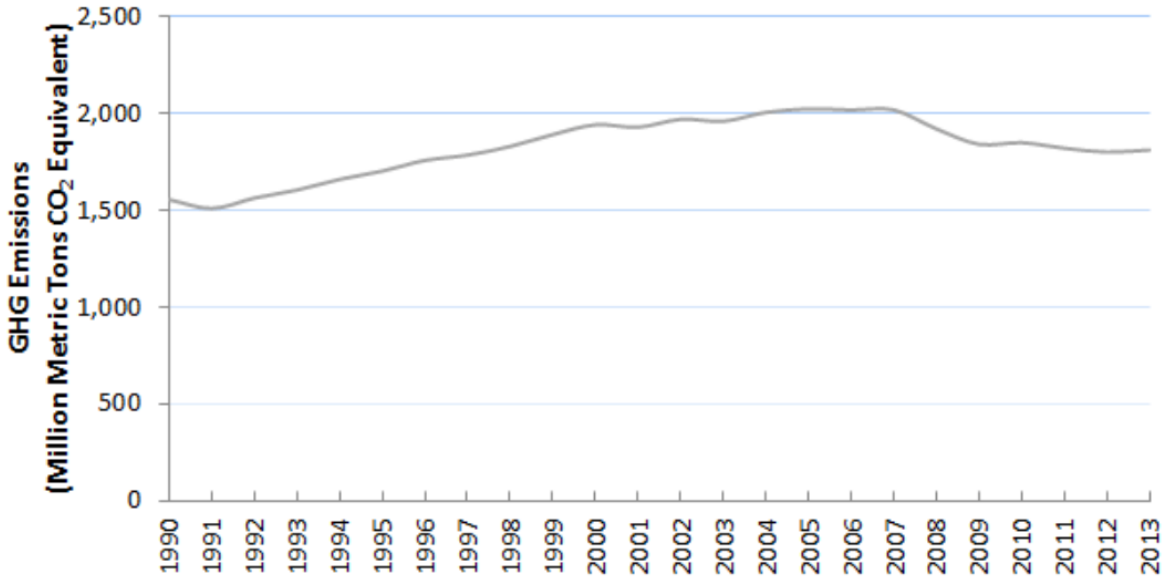


Διάγραμμα 2.1-2: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών και άλλου τομείς στην ΕΕ, 1990-2012[5]

[4] Πηγή: United Nations Framework Convention on Climate Change
[5] Πηγή: European Commission on Climate Action

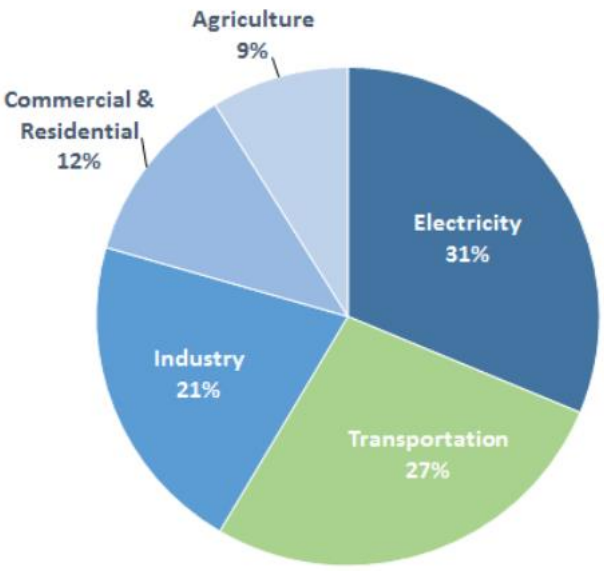
2.2 *Η κατάσταση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής*

Η κατάσταση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, την άλλη μεγάλη πηγή εκπομπών, παρουσιάζει την ίδια εικόνα. Το 2013, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αποτέλεσαν το 27% των συνολικών εκπομπών, αμέσως μετά τον τομέα της ενέργειας. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παρουσίασαν αύξηση της τάξης του 26% από 1990 μέχρι το 2013. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση στις κατά κεφαλήν διαδρομές, αλλά και στην παλαιότητα του στόλου των αυτοκινήτων. Η αύξηση στις διαδρομές ανά όχημα παρουσίασε την ίδια περίοδο αύξηση κατά 35%. Πτωτική τάση παρατηρήθηκε και εδώ από το 2008 και έπειτα, όχι όσο λόγω των αυξομειώσεων της τιμής του πετρελαίου, καθώς οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι λιγότερο ευάλωτες στη μεταβολή της τιμής του, παρά στην αύξηση των πωλήσεων οχημάτων νέων τεχνολογιών φιλικών προς στο περιβάλλον.



Εικόνα 2.2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις ΗΠΑ, 1990-2013[6]

[6] Πηγή: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2013



Εικόνα 2.2-2: Ποσοστό εκπομπών ανά οικονομικό τομέα στις ΗΠΑ, 2013[6]

2.3 Μέτρα αντιμετώπισης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει λάβει διάφορα μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου, τα οποία στοχεύουν, μακροπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές που οφείλονται στις μεταφορές.

- Οι εκπομπές της επιβατικής αεροπλοΐας προστέθηκαν στο Σχέδιο Ανταλλαγής Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Ειδικά προγράμματα υποχρεώνουν τις αρχές κάθε κράτους να καταγράφουν με ακρίβεια τις εκπομπές των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς και να δηλώνουν τα αποτελέσματα, καθώς και να αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για τη μείωση τους
- Τίθεται όριο για τις εκπομπές των νέων κινητήρων, το οποίο πρέπει να σέβονται όλοι οι κατασκευαστές
- Προωθείται η χρήση νέων καυσίμων, τα οποία λόγω τις μικρότερης περιεκτικότητας τους σε βενζίνη έχουν λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον
- Τίθενται αυστηρές προδιαγραφές για την κατασκευή και τη συντήρηση των ελαστικών των οχημάτων

Οι Ηνωμένες Πολιτείες, αντίστοιχα, έχουν πραγματοποιήσει αντίστοιχες κινήσεις, οι κυριότερες των οποίων συνοψίζονται στο παρακάτω πίνακα.

Τύπος	Τρόπος μείωσης εκπομπών	Παραδείγματα
Αλλαγή καυσίμων	Η χρήση καυσίμων που εκπέμπουν λιγότερο CO_2 από αυτά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο. Τέτοια καύσιμα μπορεί να είναι τα βιοκαύσιμα, το υδρογόνο, η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (αιολική ή ηλιακή) ή ορυκτά καύσιμα, τα οποία εκπέμπουν λιγότερο CO_2 από αυτά που αντικαθιστούν.	✓ Χρήση οχημάτων για τις δημόσιες μεταφορές τα οποία χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ή ντίζελ. ✓ Χρήση ηλεκτρικών ή υβριδικών οχημάτων ✓ Χρήση καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές, όπως βιοκαύσιμα.
Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω καλύτερου σχεδιασμού, νέων υλικών και τεχνολογίας	Χρήση νέων και πρωτοπόρων τεχνολογιών, νέων τεχνικών σχεδιασμού και ελαφρύτερων υλικών για την κατασκευή οχημάτων με μειωμένες εκπομπές	✓ Ανάπτυξη υβριδικών οχημάτων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας ✓ Μείωση του βάρους των οχημάτων μέσω της χρήσης ελαφρύτερων υλικών ✓ Μείωση των αεροδυναμικών αντιστάσεων
Μείωση της διανυόμενης απόστασης	Πολεοδομικός σχεδιασμός που επιτρέπει τη μείωση της απόστασης που διανύεται καθημερινά Βελτίωση των οδικών δικτύων των δημόσιων μέσων μεταφοράς, των ποδηλατοδρόμων και πεζοδρόμων	✓ Δημιουργία κατάλληλων υποδομών που υποστηρίζουν μέσα μεταφοράς με χαμηλές ή καθόλου εκπομπές

Πίνακας 2.3-1: Μέθοδοι μείωσης εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών

3. Βιοκαύσιμα

Παραπάνω παρουσιάστηκαν λύσεις τις οποίες έχουν ως σκοπό να εφαρμόσουν, ή ήδη εφαρμόζουν σε κάποιο βαθμό, δύο από τους μεγαλύτερους εκπομπείς αερίων του θερμοκηπίου. Μεταξύ των κοινών στοιχείων στις δύο λίστες ξεχωρίζουν δύο ενέργειες. Η μία είναι αυτή της τεχνολογικής βελτίωσης των κινητήρων και των οχημάτων και η άλλη είναι η υιοθέτηση καυσίμων φιλικών προς το περιβάλλον. Συγκρίνοντας τις δύο προτάσεις είναι φανερό πως η πρώτη παρουσιάζει μεγαλύτερες δυσκολίες στην εφαρμογή, καθώς έρχεται αντιμέτωπη με τεχνολογικούς περιορισμούς, και επίσης βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ιδιωτική πρωτοβουλία των αυτοκινητοβιομηχανιών. Αντίθετα, η λύση των φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων, ή αλλιώς βιοκαυσίμων, αποτελεί μία ρεαλιστική επιλογή, η οποία έχει τεθεί σε εφαρμογή, έχει δοκιμαστεί και έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί βιώσιμη επιλογή.

3.1 Ορισμοί

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να δοθούν κάποιοι ορισμοί, ώστε να είναι σαφείς οι έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

«βιομάζα»: το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων[7]

«βιοκαύσιμα»: υγρά ή αέρια καύσιμα κίνησης τα οποία παράγονται από βιομάζα[7]

3.2 Κυριότερα υγρά βιοκαύσιμα

3.2.1 Πρώτη γενιά

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς ή αλλιώς συμβατικά βιοκαύσιμα παράγονται κυρίως από γεωργικά προϊόντα όπως ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλο, αραβόσιτο, σόργο και σιτάρι, και άλλες μορφές βιομάζας.

[7] Πηγή: ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ, 2009

3.2.2 Δεύτερη γενιά

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς δεν διαφοροποιούνται στο είδος των καυσίμων, αλλά στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τους. Δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη χρήση πρώτων υλών τα οποία δεν αποτελούν βιομάζα με αρχικό προορισμό την ανθρώπινη κατανάλωση. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς παράγονται από λιγνινοκυτταρινούχα βιομάζα, όπως ενεργειακά φυτά, αγροτικά και δασικά υπολείμματα.

3.2.3 Κυριότερα βιοκαύσιμα

Ένα από τα κυριότερα βιοκαύσιμα είναι η βιοαιθανόλη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο της βενζίνης στις μηχανές εσωτερικής καύσης με οποιαδήποτε αντιστοιχία. Η πλειονότητα των σύγχρονων κινητήρων μπορεί να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα με καύσιμο με περιεκτικότητα ως και 15% σε βιοαιθανόλη. Επιπρόσθετα, η βιοαιθανόλη ως καύσιμο έχει περισσότερα οκτάνια από την κοινή βενζίνη. Παράλληλα όμως, παρουσιάζει μικρότερη ενεργειακή απόδοση, απαιτώντας έτσι περισσότερη ποσότητα για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας.

Το δεύτερο κυριότερο βιοκαύσιμο είναι το βιοντίζελ. Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ αποτελούν τα ζωικά λίπη, φυτικά έλαια, σόγια και η ελαιοκράμβη. Αντίστοιχα, το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες ντίζελ, αν αναμιχθεί με κοινό ντίζελ. Η χρήση του σε ποσοστό 100% είναι πιο σπάνια.

3.3 Ιστορική αναδρομή στη χρήση βιοκαυσίμων

Η χρήση βιοκαυσίμων για τη λειτουργία κινητήρων αποτελεί μία πολύ παλιά τακτική. Αρχίζοντας από το 1820, όπου ο Samuel Morey χρησιμοποίησε αιθανόλη για να θέσει σε λειτουργία μία από τις πρώτες μηχανές εσωτερικής καύσης, και συνεχίζοντας με τον Nicholas Otto, ο οποίος δοκίμασε ένα από τα πρώτα πρωτότυπα του με αυτή. Μάλιστα, ακόμα και το Model T του Ford μπορούσε με απλές παραμετροποιήσεις να χρησιμοποιήσει μίγμα βενζίνης και αιθανόλης. Η χρήση της όμως περιορίστηκε σημαντικά και σχεδόν απομονώθηκε στις αρχές της προηγούμενης χιλιετίας όταν και το πολύ φθηνότερο πετρέλαιο και τα παράγωγα του κατέκλυσαν την αγορά.

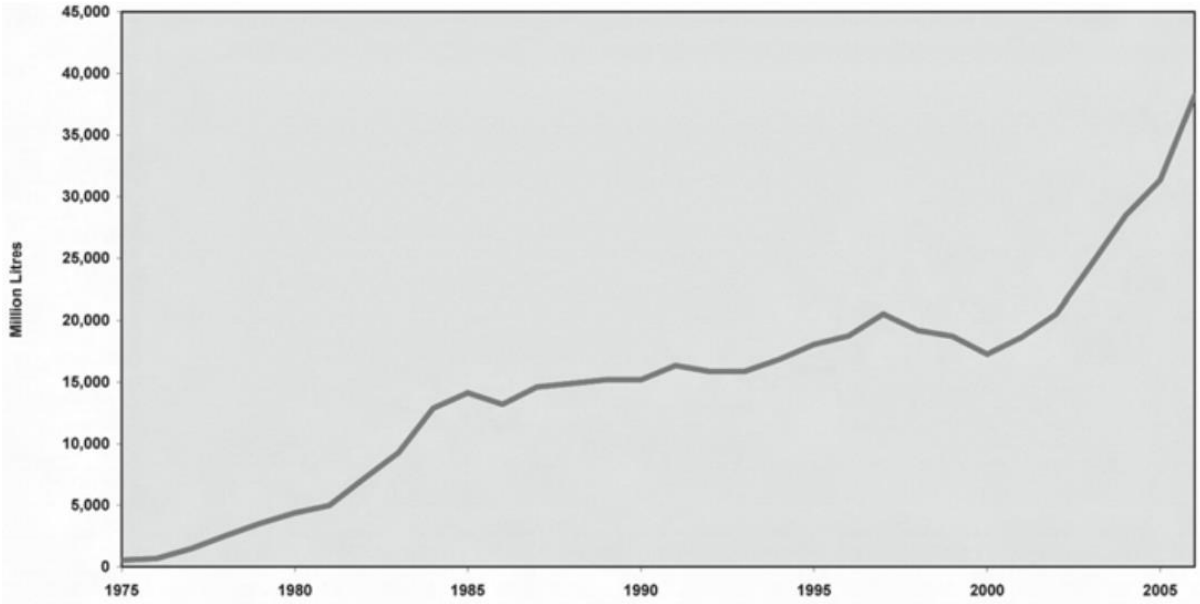
Τα βιοκαύσιμα εγκαταλείφθηκαν για πολλά χρόνια και χρησιμοποιούνταν μόνο σε περιοχές, όπου δεν υπήρχε σταθερή πρόσβαση σε προϊόντα πετρελαίου. Η χρήση του αυξήθηκε για μερικά χρόνια κατά τη διάρκεια των δύο Παγκοσμίων Πολέμων, ως καύσιμα για στρατιωτικά οχήματα, λόγω των ελλείψεων που είχε προκαλέσει η υπερ-κατανάλωση του. Παρόλα αυτά,

μετά τη λήξη των πολέμων και την ομαλοποίηση των παγκόσμιων εμπορικών σχέσεων και δραστηριοτήτων, το πετρέλαιο κυριάρχησε και πάλι κατά κράτος.

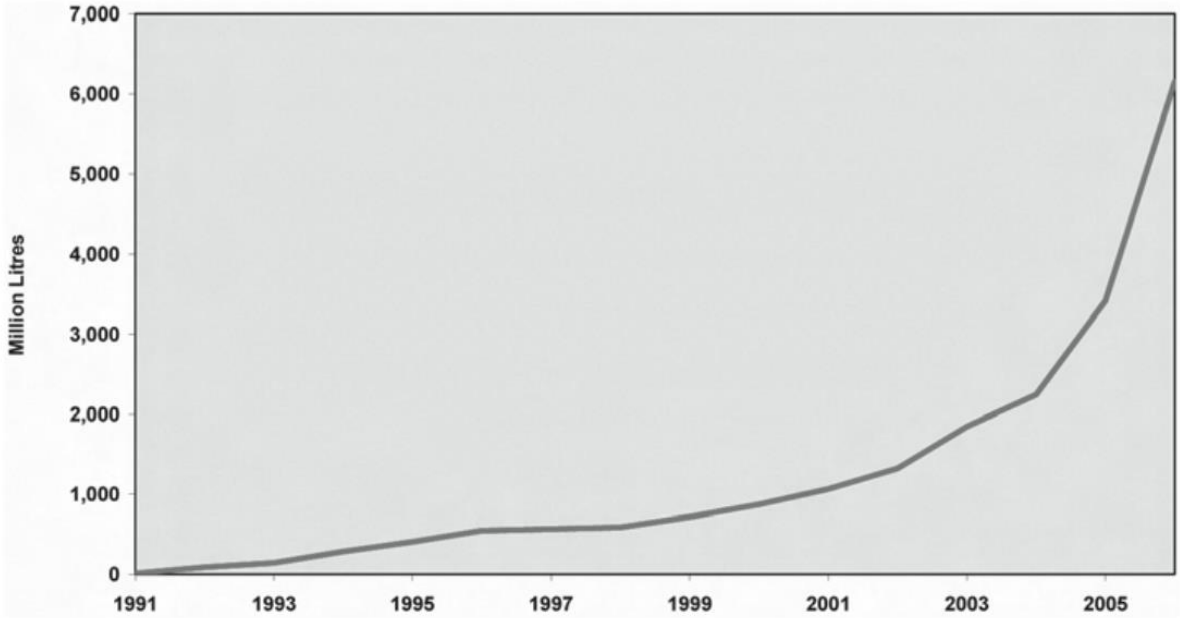
Η στροφή προς εναλλακτικά καύσιμα ξεκίνησε το 1970, λόγω της σταδιακής αύξησης των τιμών του πετρελαίου. Η αρχή έγινε από τη Βραζιλία, η οποία, με φόντο το μεγάλο εξωτερικό χρέος της εκείνη την εποχή, για να ελέγξει τις τεράστιες ποσότητες που εισήγαγε, οι οποίες ανέρχονταν στο 80% των καυσίμων που χρησιμοποιούσε, άρχισε ένα μεγάλο εθνικό πρόγραμμα παραγωγής αιθανόλης με στόχο την αντικατάσταση του πετρελαίου, ως κυρίου καυσίμου κίνησης. Κρίσιμο στοιχείο σε αυτή την κίνηση αποτέλεσε η τεράστια εγχώρια παραγωγή ζαχαροκάλαμων της Βραζιλίας. Η επιτυχία του σχεδίου ήταν μεγάλη, καθώς ήδη το 1980, η αιθανόλη αποτελούσε το 60% των χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Αντίστοιχα, η Αμερική ακολούθησε τον ίδιο δρόμο, αλλά προφανώς, καθώς το οικονομικό κίνητρο δεν ήταν το ίδιο, σε πολύ μικρότερο βαθμό.

Με τα ίδια κίνητρα, και διάφορα άλλα κράτη άρχισαν παρόμοιες προσπάθειες, αλλά λόγω της πτώσης της τιμής του πετρελαίου τη δεκαετία του 1980, οι περισσότερες από αυτές εγκαταλείφθηκαν.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η παραγωγή βιοαιθανόλης την περίοδο 1975 - 2006 και βιοντίζελ την περίοδο 1991 – 2006. Στο τρίτο διάγραμμα παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των τιμών του πετρελαίου και ιστορικά γεγονότα που την επηρέασαν.

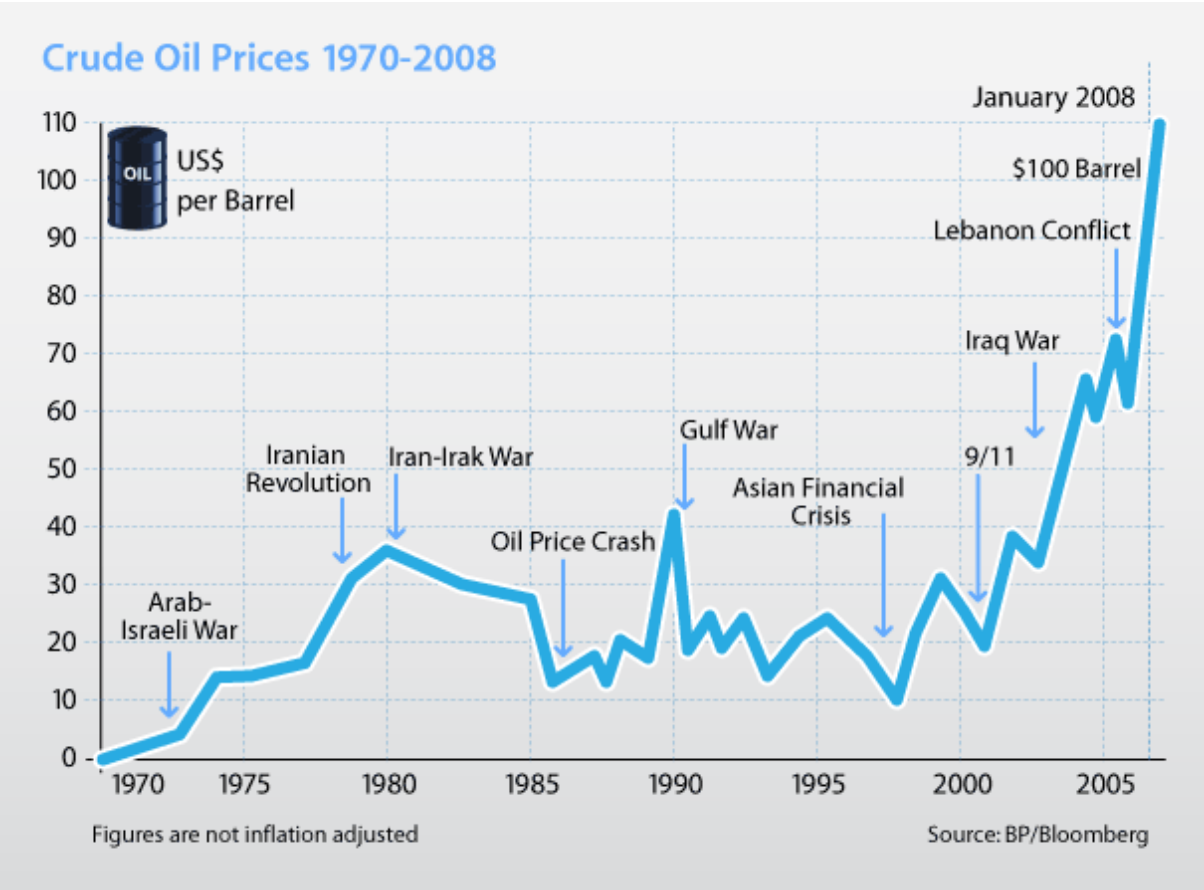


Διάγραμμα 3.3-1: Παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης, 1975-2006[8]



Διάγραμμα 3.3-2: Παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ, 1975-2006[8]

[8] Πηγή: F.O. Licht

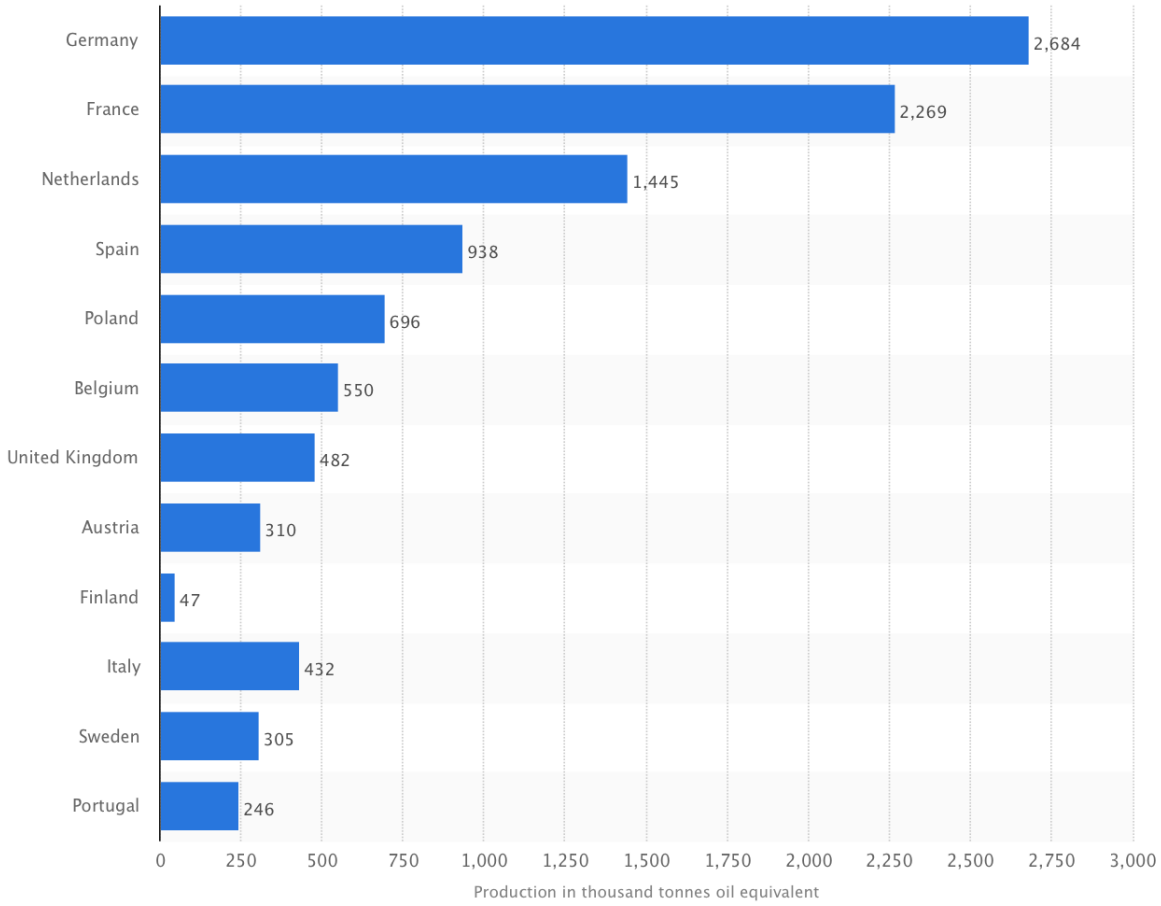


Διάγραμμα 3.3-3: Διακύμανση τιμών πετρελαίου, 1970-2008[9]

3.4 Η χρήση των βιοκαυσίμων σήμερα

Η Ευρώπη είναι σταθερά από τους μεγαλύτερους παραγωγούς και χρήστες ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς το 24,3% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει προέρχεται από αυτή. Η πιο σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η βιομάζα, η οποία ευθύνεται για το 64,2% της συνολικής παραγωγής. Όσον αφορά στην παραγωγή βιοκαυσίμων, ο μεγαλύτερος παραγωγός το 2014 ήταν η Γερμανία με 2684 χιλιάδες ΤΟΕ, ακολουθούμενη από τη Γαλλία με 2269 χιλιάδες ΤΟΕ (Διάγραμμα 3.4-1).

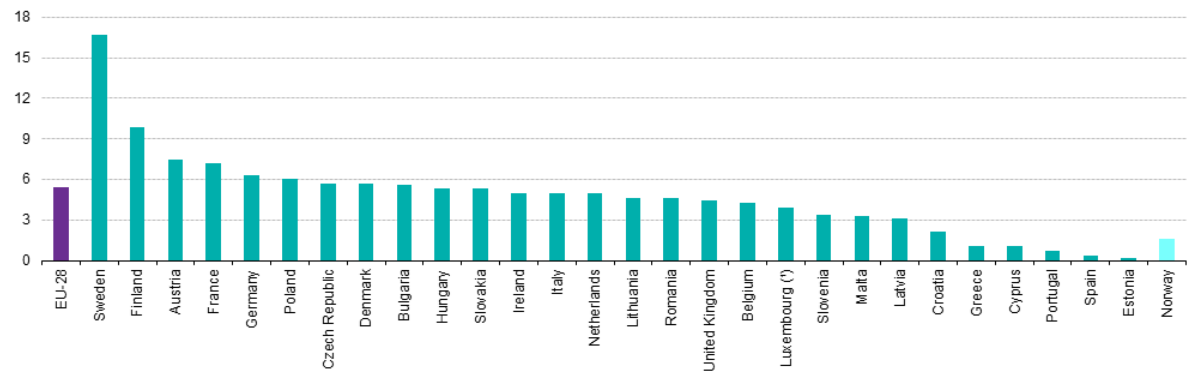
[9] Πηγή: BP, Bloomberg



Διάγραμμα 3.4-1: Παραγωγή βιοκαυσίμων σε επιλεγμένες χώρες το 2014 (σε 1.000 TOE)[10]

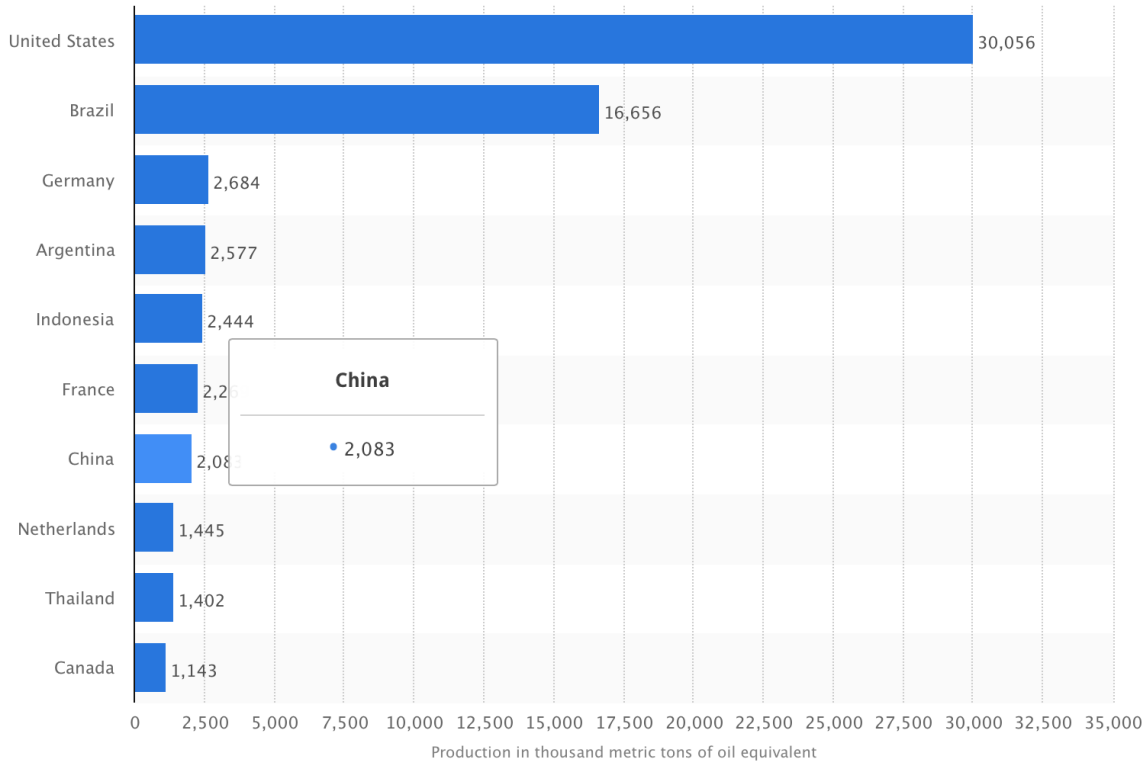
Στα τέλη του 2008, τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμφώνησαν να θέσουν στόχο το 10% των χρησιμοποιούμενων καυσίμων του τομέα των μεταφορών να προέρχεται από ανανεώσιμα καύσιμα. Η μέση ενσωμάτωση ανανεώσιμων καυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2013 ήταν 5,4%.

[10] Πηγή: BP, Statista



Διάγραμμα 3.4-2: Ποσοστό ανανεώσιμων καυσίμων επί των συνολικών στην ΕΕ, 2013[11]

Σε παγκόσμιο επίπεδο, 3 ευρωπαϊκές χώρες είναι μέσα στους μεγαλύτερους παραγωγούς βιοκαυσίμων. Η μεγαλύτερη παραγωγή παρατηρείται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ενώ στη δεύτερη θέση είναι η Βραζιλία (Διάγραμμα 3.4-3).

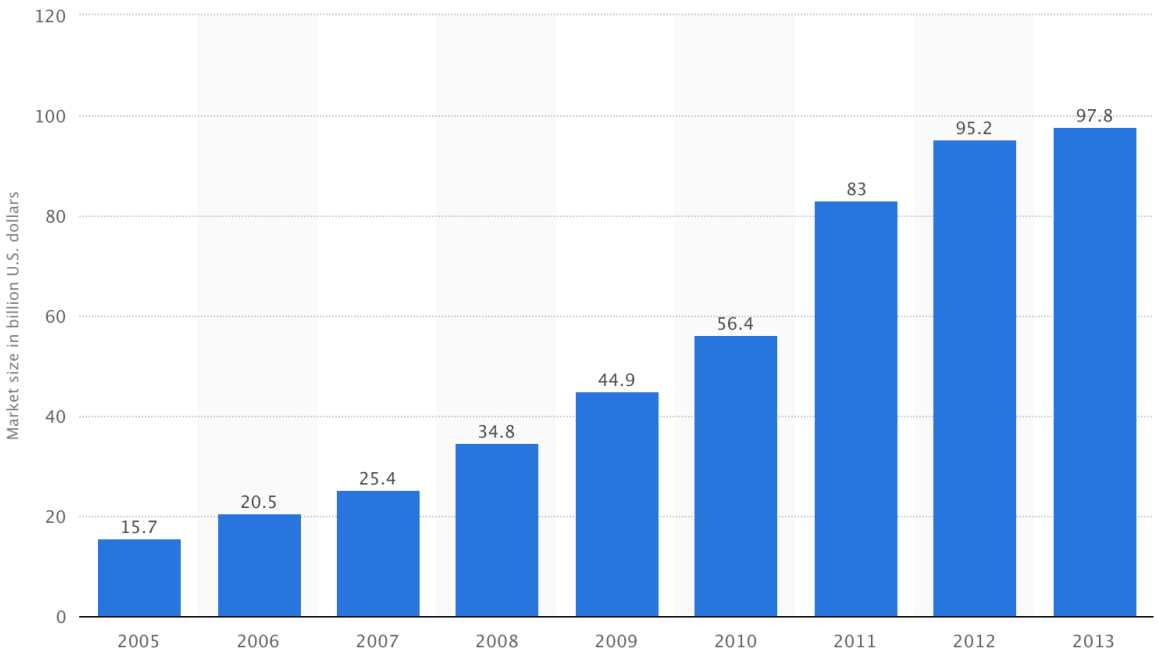


Διάγραμμα 3.4-3: Κατάταξη χωρών στην παραγωγή βιοκαυσίμων, 2014 (σε 1.000 ΤΟΕ)[12]

Τέλος, η συνεχής διάδοση της χρήσης των βιοκαυσίμων, αλλά και οι διεθνείς οδηγίες που απαιτούν την ενσωμάτωση τους στο ενεργειακό μείγμα των μεταφορών, έχει οδηγήσει στην

[11] Πηγή: Eurostat, 2013
[12] Πηγή: BP, EIA, F.O. Licht, Statista

ανάλογη αύξηση του μεγέθους της αγοράς των βιοκαυσίμων, η οποία σημείωσε αύξηση 522% μέσα σε 8 χρόνια (Διάγραμμα 3.4-4).



Διάγραμμα 3.4-4: Μέγεθος παγκόσμιας αγοράς βιοκαυσίμων, 2005-2013 (σε δισ. $)[13]

[13] Πηγή: Clean Edge, 2015

4. Ολοκληρωμένη Διεργασία Παραγωγής Βιοαιθανόλης από Ελληνική Λιγνινοκυτταρινούχα Βιομάζα

Το 2007, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο έθεσε στόχο για την Κοινότητα, το 20% της συνολικής κατανάλωσης να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2020. Μετά την κατανομή μεταξύ των μελών της Κοινότητας, ο στόχος που αναλογεί για την Ελλάδα είναι ίσος με 18%. Επίσης, όλα τα κράτη μέλη ανέλαβαν την υποχρέωση να πετύχουν μέχρι το 2020, το 10% της κατανάλωσης βενζίνης και βιοκαυσίμου στις μεταφορές να προέρχεται από βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς[14].

Στην Ελλάδα και ειδικότερα στην περιφέρεια της Θεσσαλίας, ο αγροτικός τομέας είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένος και παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομία της περιοχής. Η δυνατότητα να αξιοποιηθούν τα γεωργικά υπολείμματα είναι πολύ σημαντική για τη βιωσιμότητα της ελληνικής οικονομίας. Η παραγωγή λιγνινοκυτταρινούχας βιοαιθανόλης είναι μία από τις πιο υποσχόμενες διαδικασίες για την παραγωγή βιοκαυσίμων και η παραγωγή της βασίζεται σε χρήση γεωργικών υπολειμμάτων. Επιπρόσθετα, η εισαγωγή της βιοαιθανόλης στο ενεργειακό μείγμα που χρησιμοποιείται στη χώρα, είναι πολύ σημαντική, καθώς η Ελλάδα βασίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό, σε εισαγωγές πετρελαίου. Παράλληλα, με αυτό τον τρόπο η Ελλάδα θα μπορέσει να περιορίσει τις εκπομπές της σε αέρια του θερμοκηπίου και έτσι, θα πλησιάσει ακόμα περισσότερο το στόχο που έχει θέσει στα πλαίσια των ευρωπαϊκών προγραμμάτων.

Στα πλαίσια αυτά αναπτύχθηκε και υλοποιείται το έργο «Ολοκληρωμένη Διεργασία Παραγωγής Βιοαιθανόλης από Ελληνική Λιγνινοκυτταρινούχα Βιομάζα». Ο σκοπός του προγράμματος είναι ο σχεδιασμός ολοκληρωμένης διεργασίας παραγωγής βιοαιθανόλης από

[14] ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ, 2009

λιγνινοκυτταρινούχα υλικά, υπολείμματα καλλιεργειών αραβοσίτου και σίτου, η οποία θα είναι ανταγωνιστική και οικονομικά βιώσιμη.

Το έργο χωρίζεται σε έξι ενότητες εργασίας στις οποίες μελετώνται όλα τα στάδια της προτεινόμενης διεργασίας. Οι ενότητες αυτές συνοπτικά είναι οι εξής:

WP1

Στην πρώτη ενότητα εργασίας θα μελετηθούν τα είδη και η διαθεσιμότητα της βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Στο έργο θα χρησιμοποιηθούν στελέχη αραβόσιτου και σίτου. Επίσης, θα διερευνηθεί η πιθανότητα χρήσης ενεργειακών φυτών. Για την επιλεγμένη βιομάζα, θα γίνει μελέτη της διαθεσιμότητας των υπολειμμάτων, καθώς και των τρόπων διαχείρισης τους. Θα γίνει αποδελτίωση όλου του στατιστικού υλικού αναφορικά με την παραγωγή των επιλεγμένων πρώτων υλών και θα αναζητηθούν βέλτιστοι τρόποι για τη συντήρηση και την αποθήκευση της βιομάζας.

WP2 – WP6

Στις ενότητες αυτές θα γίνει μελέτη των τεχνικών της ενεργειακής βιομετατροπής της λιγνινοκυτταρινούχας βιομάζας. Αρχικά, θα ερευνηθούν τεχνολογίες προκατεργασίας της βιομάζας. Στη συνέχεια, θα μελετηθεί η υδρόλυση του κυτταρινούχου υπολείμματος της προκατεργασίας και θα επιδιωχθεί η ζύμωση του υγρού, αλλά και του ρευστοποιημένου στερεού υπολείμματος της προκατεργασίας. Τέλος, θα δοθεί βάση στην επεξεργασία των στερεών και υγρών αποβλήτων των παραπάνω διεργασιών.

WP7

Στη τελευταία ενότητα του έργου θα γίνει πλήρης τεχνοοικονομική μελέτη και ανάλυση του κύκλου ζωής της προτεινόμενης διεργασίας βιομετατροπής. Αρχικά, θα σχεδιασθεί η πλήρης εφοδιαστική αλυσίδα για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Θα μελετηθούν τα στάδια της συλλογής και της μεταφοράς της βιομάζας. Ακόμα, θα συγκριθούν οι πιθανοί τρόποι αποθήκευσης και θα υπολογιστεί το συνολικό κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και το ενεργειακό της αποτύπωμα. Στη συνέχεια, με βάση στοιχεία από όλες τις προηγούμενες ενότητες, θα γίνει τεχνοοικονομική μελέτη, με σκοπό τον υπολογισμό του συνολικού κόστους και τον έλεγχο της βιωσιμότητας της προτεινόμενης διαδικασίας. Τέλος, θα γίνει ανάλυση κύκλου ζωής (LCA), όπου θα εξετασθεί αν η παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνινοκυτταρινούχα βιομάζα πετυχαίνει τον αρχικό σκοπό της, δηλαδή τη μείωση των εκπομπών.

Οι συμμετέχοντες φορείς στη σύμπραξη του έργου είναι οι εξής: ΕΜΠ/Εργαστήριο Βιοτεχνολογίας, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων/Εργαστήριο περιβαλλοντικών καυσίμων και υδρογονανθράκων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας/Εργαστήριο γεωργικής μηχανολογίας, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μότορ Όιλ Ελλάς Διυλιστήρια Κορίνθου Α.Ε, Bios Agrosystems A.B.E.E., Planning Σύμβουλοι Οργανώσεως Επιχειρήσεων Α.Ε.

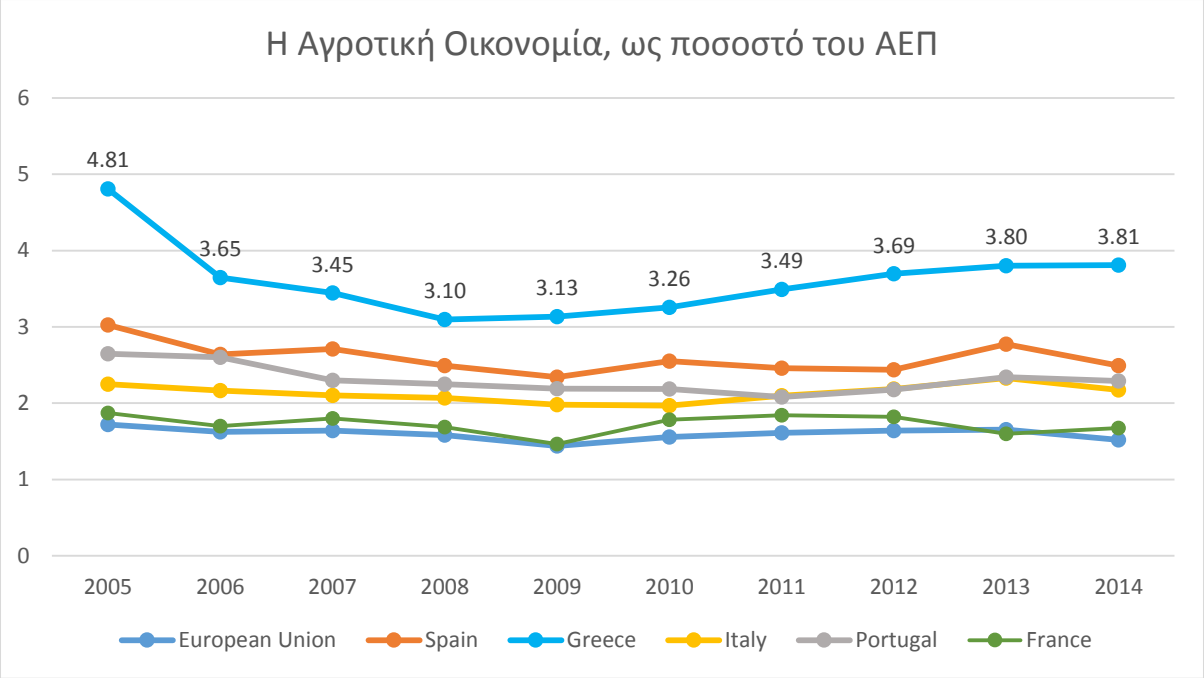
Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί μέρος της 7ης ερευνητικής ενότητας του έργου. Αντικείμενο της είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, με σκοπό την παραγωγή βιοαιθανόλης. Πιο συγκεκριμένα, θα μελετηθούν οι παραγωγικές δυνατότητες της Περιφέρειας Θεσσαλίας, οι συνήθεις πρακτικές της συλλογής αγροτικών υπολειμμάτων, θα ληφθούν αποφάσεις αναφορικά με τη μεταφορά της βιομάζας, και τέλος θα εντοπισθεί η κατάλληλη επιλογή για την αποθήκευση της, με τη χρήση υπολογιστικού μοντέλου.

ΜΕΡΟΣ Β

5. Ο αγροτικός τομέας στην Ελλάδα

5.1 Εισαγωγή

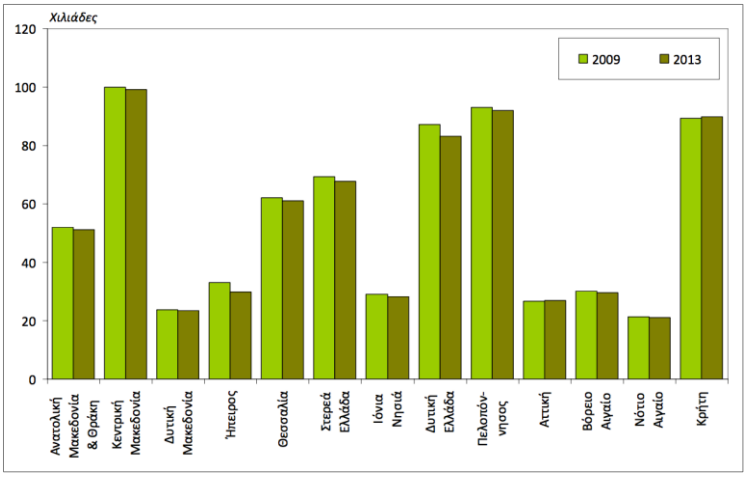
Ο αγροτικός τομέας διαδραματίζει διαχρονικά έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην ελληνική οικονομία. Τα τελευταία 4 χρόνια παρουσίασε σημαντική ανάπτυξη, κάτι αναμενόμενο καθώς οι άλλοι τομείς της ελληνικής οικονομίας παρουσίασαν πολύ έντονα προβλήματα λόγω της οικονομικής κρίσης. Το 2014 έφτασε να αποτελεί το 3,8% του ΑΕΠ, 2,5 φορές περισσότερο από το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τη σημαντικότητα της αγροτικής οικονομίας, αλλά και το πόσο βασίζεται πάνω της η Ελλάδα καταδεικνύει και το γεγονός, ότι ο αγροτικός τομέας, μαζί με τον τουριστικό, είναι αυτός που καλείται να αντισταθμίσει την απουσία ισχυρής βιομηχανικής δραστηριότητας στη χώρα μας. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, είναι αναμενόμενο η αγροτική οικονομία ως ποσοστό του ΑΕΠ, να ξεπερνά κατά πολύ και αυτό άλλων μεσογειακών χωρών, οι οποίες ομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με την Ελλάδα, όσον αφορά τη φύση και τη μορφή του αγροτικού τους τομέα, αλλά όχι το συνολικό μέγεθος. Η κατάσταση σε αυτήν αντικατοπτρίζεται στο Διάγραμμα 5.1-1.



Διάγραμμα 5.1-1: Η αγροτική οικονομία ως ποσοστό του ΑΕΠ επιλεγμένων χωρών, 2005-2014

5.2 Ανάλυση της γεωργικής γης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την «Έρευνα Διάρθρωσης Γεωργικών και Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων, Έτους 2013», η οποία εκπονήθηκε από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, ο αριθμός των γεωργικών εκμεταλλεύσεων[15] στην Ελλάδα ανήλθε στις 709.449, μειωμένος κατά 1,9% σε

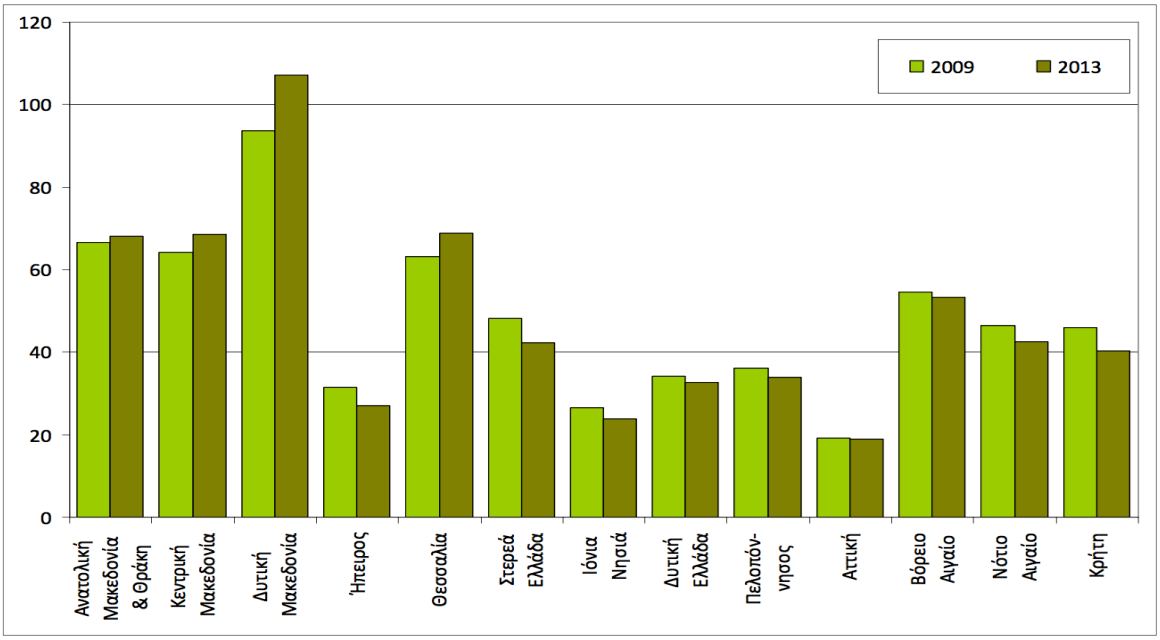


Διάγραμμα 5.2-1: Αριθμός γεωργικών εκμεταλλεύσεων με χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση, κατά περιφέρεια[16]

[15] Ως γεωργική εκμετάλλευση ορίζεται η μονάδα παραγωγής προς πώληση αγροτικών προϊόντων. Στις δραστηριότητες της αγροτικής εκμετάλλευσης περιλαμβάνεται εκτός από την παραγωγή των προϊόντων και η αποθήκευση, τυποποίηση, συσκευασία και η εν γένει τοποθέτηση μέχρι και του σταδίου της χονδρικής και λιανικής πώλησης αποκλειστικά των προϊόντων που παράγει η ίδια η αγροτική εκμετάλλευση, καθώς και η πρώτη χωρική ή οικοτεχνική μεταποίησή τους.

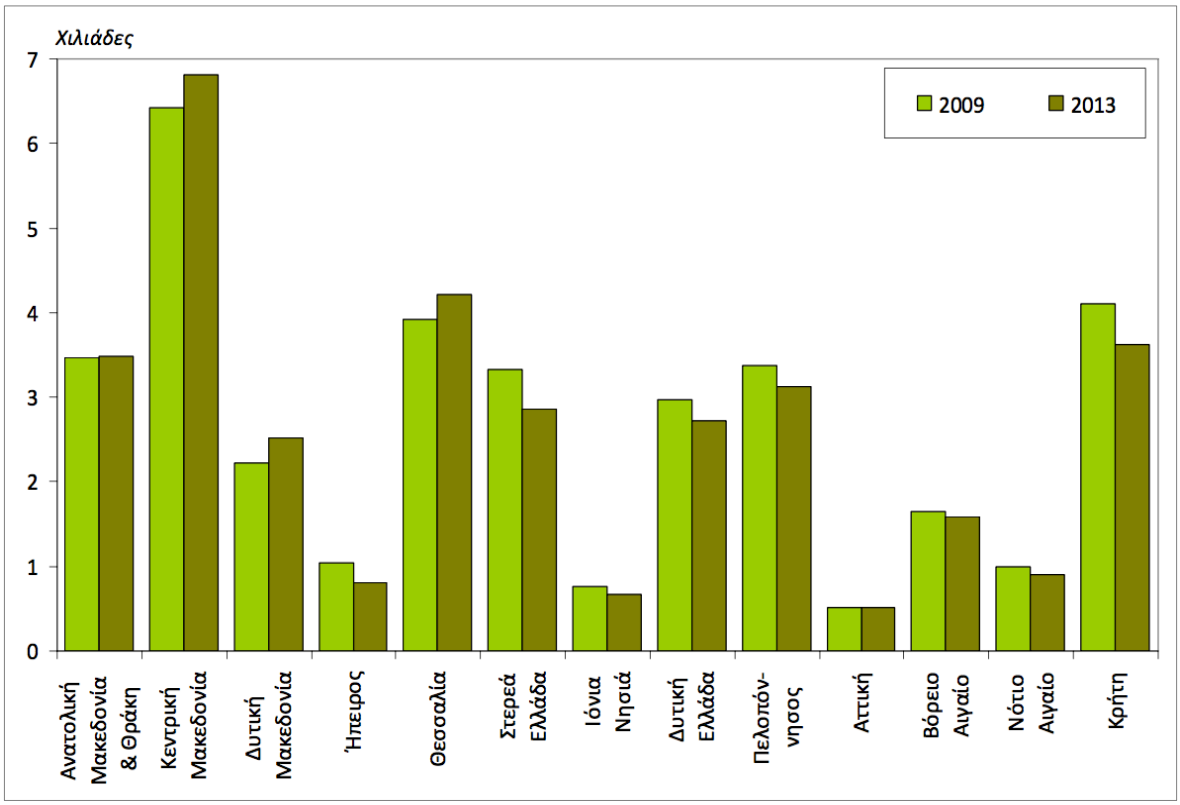
[16] Έρευνα Διάρθρωσης Γεωργικών και Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων, 2013

σχέση με το 2009. Ταυτόχρονα, οι εκμεταλλεύσεις με ΧΓΕ[17] ανήλθαν σε 703.535, το οποίο αντιστοιχεί σε 33.815.000 στρέμματα. Στο Διάγραμμα 5.2-1 και στο Διάγραμμα 5.2-3 παρουσιάζεται ο αριθμός των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και χρησιμοποιούμενων γεωργικών εκτάσεων ανά περιφέρεια. Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί από τα διαγράμματα, ένα από τα αρνητικά στοιχεία του ελληνικού αγροτικού τομέα, το οποίο είναι ο κατακερματισμός της αγροτικής γης, δηλαδή μικρής αναλογίας, μεταξύ συνολικής έκτασης και ΧΓΕ. Το φαινόμενο αυτό είναι αρνητικό, καθώς αποτελεί μία κύρια αιτία για τη χαμηλή παραγωγικότητα του αγροτικού τομέα. Άμεση συνέπεια του είναι η διατήρηση του κόστους παραγωγής και διάθεσης πολλών αγροτικών προϊόντων στην Ελλάδα πολύ υψηλότερα σε σχέση με άλλες χώρες (Βεντούρης & Τσακανίκας, 2011). Το φαινόμενο του κατακερματισμού της ελληνικής αγροτικής γης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.2-3, όπου φαίνεται πως το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο, ειδικά σε περιοχές, όπως η Ήπειρος, η Δυτική Ελλάδα, και η Πελοπόννησος.



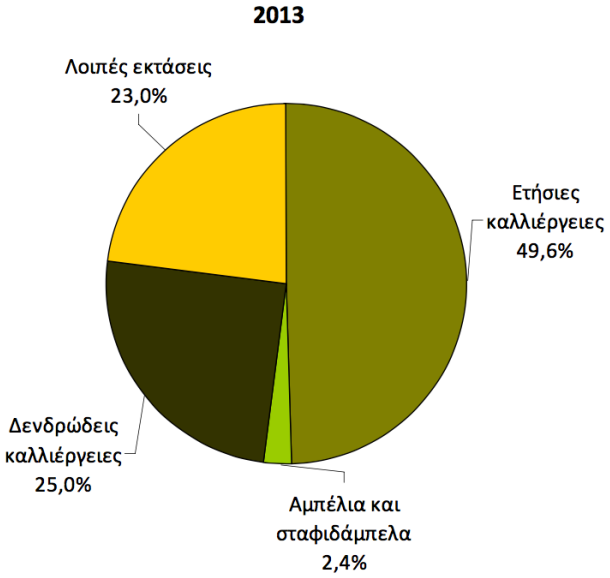
Διάγραμμα 5.2-2: Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση, κατά περιφέρεια[16]

[17] Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση



Διάγραμμα 5.2-3: Μέση χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση εκμεταλλεύσεων, κατά περιφέρεια[16]

Ένα άλλο πολύ ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει από την έρευνα είναι ότι, ενώ οι ετήσιες καλλιέργειες, όπως του σίτου και του αραβόσιτου, παρουσιάζουν μείωση σε σχέση με το 2009, αυξάνονται επί του συνόλου κατά 3,7% και φτάνουν να αποτελούν το 2013 το 49,6% των χρησιμοποιούμενων γεωργικών εκτάσεων (Διάγραμμα 5.2-4).



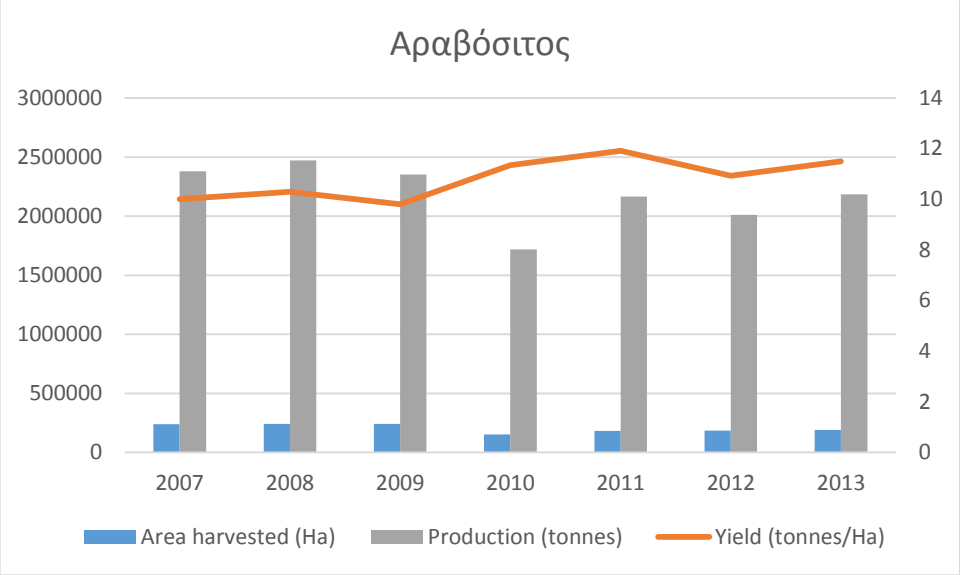
Διάγραμμα 5.2-4: Ποσοστιαία κατανομή της χρησιμοποιουμένης γεωργικής έκτασης των εκμεταλλεύσεων, κατά βασικές κατηγορίες χρήσης[16]

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην Ελλάδα, και όπως φαίνεται από τα στατιστικά στοιχεία που παρατέθηκαν, ιδιαιτέρως στην περιφέρεια της Θεσσαλίας, υπάρχει ιδιαίτερη αγροτική δραστηριότητα. Η Θεσσαλία είναι μία περιφέρεια, της οποίας η οικονομία, στηρίζεται στη γεωργία, ίσως περισσότερο από κάθε άλλη στην Ελλάδα. Κατέχοντας το 12,45% των συνολικά καλλιεργήσιμων εκτάσεων και το 14,11% των αμιγώς γεωργικών, η Θεσσαλία καλλιεργεί το 30% της συνολικής επιφάνειας της. Όπως είναι λογικό, η καλλιέργεια τέτοιων ποσοτήτων δημιουργεί και την ανάλογη ποσότητα υπολειμμάτων στις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Ως υπόλειμμα νοείται οποιοδήποτε μέρος του συλλεχθέντος αγαθού δεν αποτελεί μέρος του κυρίου προϊόντος (άχυρο σιτηρών, στελέχη βαμβακιών κ.α.) και άρα δεν είναι κύριος στόχος της διαδικασίας συλλογής στο χωράφι. Για αυτό το λόγο η συλλογή του γίνεται κυρίως σε δεύτερο χρόνο, με στόχο την πώληση του συνήθως σαν ζωοτροφή, είτε δε γίνεται καθόλου και αφήνεται σα λίπασμα στο χωράφι ή καταστρέφεται.

5.2.1 Αραβόσιτος

Ο αραβόσιτος αποτελεί το τρίτο περισσότερο καλλιεργούμενο γεωργικό προϊόν στην Ελλάδα. Αποτελεί μία κλασσική ετήσια καλλιέργεια και καλλιεργείται σε μεγάλο βαθμό στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Συνολικά, καλλιεργήθηκαν το 2013 στην Ελλάδα 1.900.000 στρέμματα αραβόσιτου, που απέδωσαν 2.185.000 τόνους αραβόσιτο. Η καλλιέργεια του αραβόσιτου επηρεάστηκε ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια από την οικονομική κρίση, με αποτέλεσμα η παραγωγή του να μειωθεί κατά περίπου 20% από το 2007.

Η απόδοση της καλλιέργειας του αραβόσιτου είναι υψηλή σχετικά με άλλα γεωργικά προϊόντα, καθώς αποδίδει 1,15 τόνους ανά στρέμμα. Επίσης, υψηλή είναι και η ποσότητα υπολειμμάτων που παράγονται μετά το θερισμό του, καθώς αποδίδει 1 τόνο υπολείμματα ανά στρέμμα καλλιέργειας.



Διάγραμμα 5.2-5: Παραγωγή αραβοσίτου, 2007-2013[18]

Η καλλιέργεια του αραβόσιτου στους νομούς της Θεσσαλίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Νομός	Αραβόσιτος	
	Αριθμός παραγωγών	Καλλιεργούμενη έκταση (ha)
Λαρίσης	4851	13790
Τρικάλων	4435	10127
Καρδίτσας	3554	5816
Μαγνησίας	2006	1800

Πίνακας 5.2-1: Παραγωγή αραβοσίτου στους νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας[19]

Σύμφωνα με μελέτη του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, η ενεργειακή απόδοση του άχυρου αραβοσίτου, σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική που επιλέχθηκε στα πλαίσια του έργου, είναι ίση με 6,66 τόνους αχύρου για 1 m^3 βιοαιθανόλης.

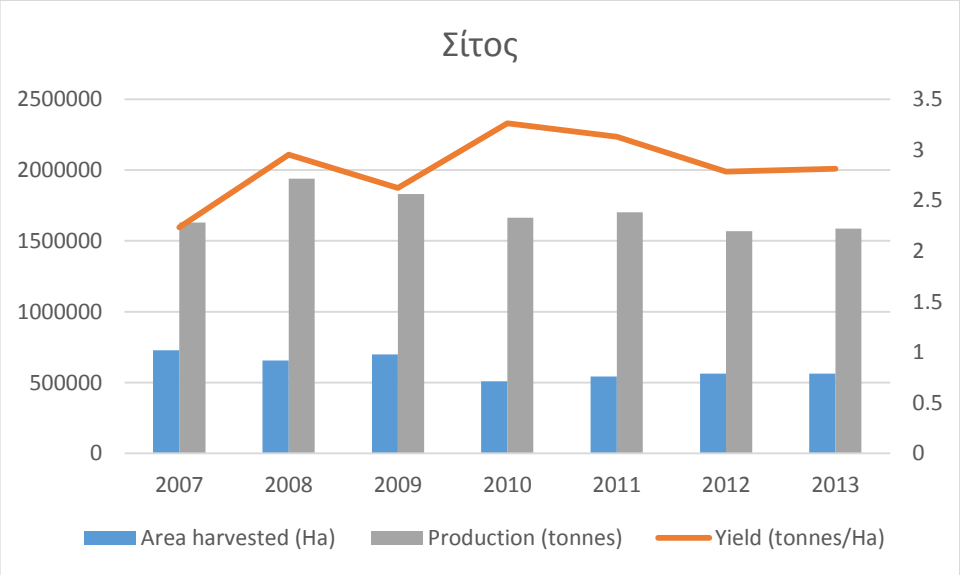
5.2.2 Σιτάρι

Το σιτάρι είναι το πιο κοινό καλλιεργούμενο αγροτικό προϊόν στην Ελλάδα και στο νομό Θεσσαλίας. Συνολικά, καλλιεργήθηκαν στην Ελλάδα το 2013 5.640.000 στρέμματα σίτου, τα οποία απέδωσαν 1.585.600 τόνους. Λόγω της ευρείας καλλιέργειας του, αλλά και λόγω των

[18] Πηγή: FAOSTAT
[19] Πηγή: GAIA, 2012

υψηλών τιμών που πετυχαίνει λόγω της υψηλής ποιότητας του, η παραγωγή σιταριού δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα από την οικονομική κρίση στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια.

Οι καλλιέργειες σίτου πετυχαίνουν μέτριες αποδόσεις με 0.3 τόνους ανά στρέμμα, και αποδίδουν 0,3 τόνους υπολειμμάτων.



Διάγραμμα 5.2-6: Παραγωγή σίτου, 2007-2013[18]

Η καλλιέργεια του σίτου στους νομούς της Θεσσαλίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Νομός	Σιτάρι	
	Αριθμός παραγωγών	Καλλιεργούμενη έκταση (ha)
Λαρίσης	14849	67255
Τρικάλων	1598	2724
Καρδίτσας	5271	13163
Μαγνησίας	2460	2724

Πίνακας 5.2-2: Παραγωγή σίτου στους νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας[19]

Σύμφωνα με μελέτη του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου, η ενεργειακή απόδοση του άχυρου σίτου, σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική που επιλέχθηκε στα πλαίσια του έργου, είναι ίση με 5,33 τόνους αχύρου για 1 m^3 βιοαιθανόλης.

Η στρεμματική απόδοση των δύο πρώτων υλών, η παραγωγή υπολειμμάτων, καθώς και η βιομετατροπή τους για την παραγωγή βιοαιθανόλης συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πρώτη ύλη	Στρεμματική απόδοση (τόνοι / στρέμμα)	Παραγωγή υπολειμμάτων (τόνοι / στρέμμα)	Απόδοση (τόνοι / 1 m^3 βιοαιθανόλης)	Βιομετατροπή
Αραβόσιτος	1	1	6,66	12%
Σιτάρι	0,3	0,3	5,33	15%

Πίνακας 5.2-3: Στοιχεία καλλιεργειών

6. Δεδομένα του έργου

6.1 Παραγωγική μονάδα

Η παραγωγική μονάδα αποτελεί τις εγκαταστάσεις, όπου θα γίνεται η μετατροπή της βιομάζας (άχυρο αραβόσιτου και σίτου) σε βιοαιθανόλη. Για να σχεδιαστεί πλήρως η εφοδιαστική αλυσίδα, υποθέτουμε πως το εργοστάσιο παραγωγής βιοαιθανόλης θα είναι η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης, και πιο συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις της στη Λάρισα, οι οποίες βρίσκονται έξω από την πόλη, στο 2^{ο} χιλιόμετρο της επαρχιακής οδού Λάρισας – Συκουρίου. Οι εγκαταστάσεις αυτές σήμερα χρησιμοποιούνται ως μονάδα αποθήκευσης ζάχαρης, στα πλαίσια του δικτύου διανομής της εταιρίας. Παρόλα αυτά, οι εγκαταστάσεις του εργοστασίου έχουν τη δυνατότητα να φιλοξενήσουν μελλοντικά τον απαραίτητο εξοπλισμό για την πραγματοποίηση των απαραίτητων ενεργειών. Η υπόθεση αυτή έγινε για να ανταποκρίνεται η εφοδιαστική αλυσίδα όσο το δυνατόν περισσότερο σε πραγματικό σενάριο. Φυσικά, ο τρόπος σχεδιασμού της, όπως αυτός παρουσιάζεται παρακάτω, επιτρέπει την αλλαγή της τοποθεσίας του εργοστασίου ή και ακόμα την προσθήκη επιπλέων θέσεων επεξεργασίας και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε καινούργια δεδομένα.

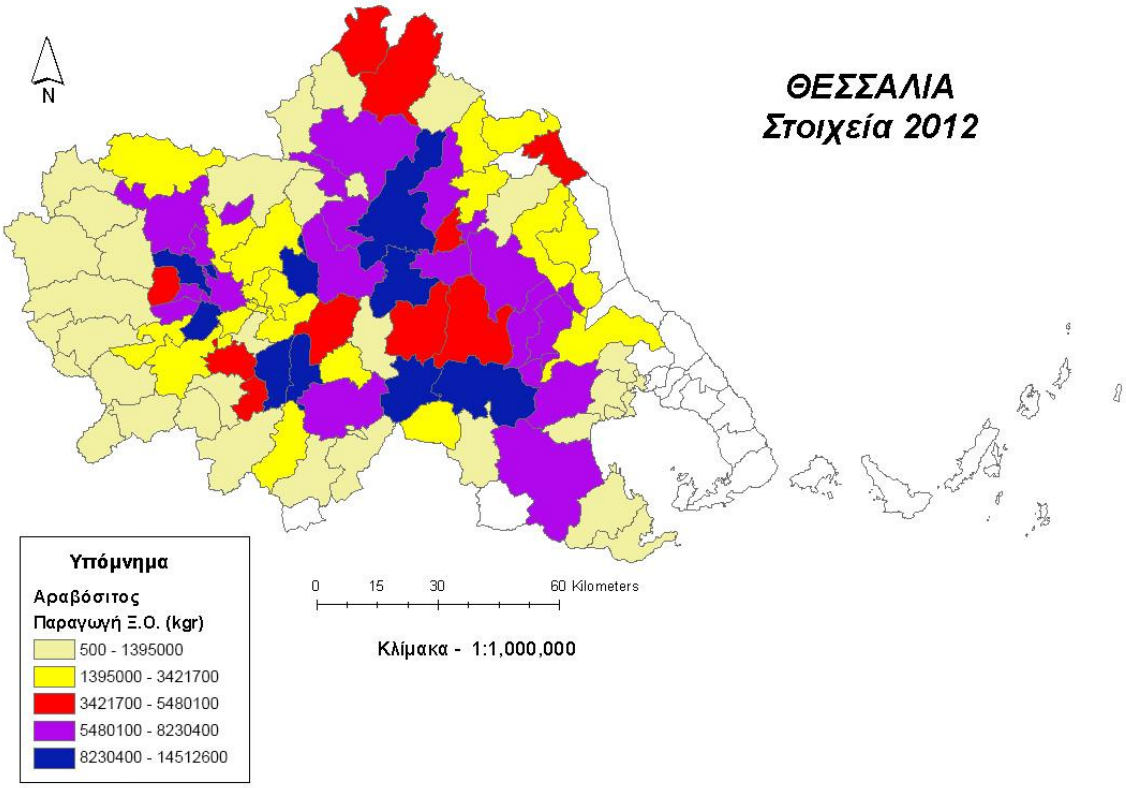
Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου, ο στόχος της παραγωγικής διαδικασίας είναι η παραγωγή 50.000 m^3 ή 40.000 tn βιοαιθανόλης το χρόνο. Το εργοστάσιο θα είναι πλήρους λειτουργίας και θα λειτουργεί σε συνεχή ημερήσια βάση. Αυτό μεταφράζεται σε 333 ημέρες ή 8.000 ώρες λειτουργίας το χρόνο. Η παραγωγή θα πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό κατά τη διάρκεια του χρόνου, κάτι που μεταφράζεται σε 150,15 m^3 ή 120 tn βιοαιθανόλης ανά ημέρα.

6.2 Βιομάζα

Η βιομάζα που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της δεύτερης γενιάς βιοαιθανόλης θα αποτελείται από υπολείμματα καλλιεργειών σιταριού και αραβοσίτου. Τα υπολείμματα αυτά θα προέρχονται από τις καλλιέργειες των αντίστοιχων προϊόντων στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων που είναι διαθέσιμες έγινε χρήση στατιστικών στοιχείων για την παραγωγή σίτου και αραβόσιτου για το έτος 2012, τα οποία παραχωρήθηκαν από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Δεν έγινε χρήση στοιχείων πιο πρόσφατης χρονολογίας, καθώς το 2012 ήταν το τελευταίο έτος, για το οποίο λήφθηκαν αναλυτικά στατιστικά στοιχεία του εύρους της παραγωγικότητας κάθε δημοτικής ενότητας στην Περιφέρεια. Η ακρίβεια των

στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη για να υπάρχει σαφή εικόνα της διαθέσιμης πρώτης ύλης και έτσι να σχεδιαστεί με περισσότερη ακρίβεια η εφοδιαστική αλυσίδα της βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς. Ακόμα, κατά τη χρήση των στοιχείων για τον υπολογισμό της διαθέσιμης βιομάζας, λήφθηκε υπόψιν συντελεστής ασφαλείας ίσος με 30% επί των τιμών. Άρα, η τελική στόχευση αντιστοιχεί στο 70% των παραγόμενων ποσοτήτων. Ο λόγος που έγινε αυτή η υπόθεση είναι ότι δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία για τα επόμενη έτη, και έτσι δεν μπορούμε να βασιστούμε στο ότι η παραγωγή συνέχισε με τους ίδιους ρυθμούς σε κάθε δημοτική ενότητα. Επίσης, ο συντελεστής αυτός εξασφαλίζει, πως ο σχεδιασμός θα ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες, ακόμα και αν η παραγωγή μειωθεί για διαφόρους λόγους, καθώς συντελεστής ασφαλείας ίσος με 30% είναι αρκετά ικανοποιητικός.

Παρακάτω ακολουθούν τα στοιχεία της παραγωγής αραβοσίτου για τις δημοτικές ενότητες του νομού Θεσσαλίας. Ο χρωματισμός κάθε δημοτικής ενότητας επεξηγείται στο υπόμνημα.

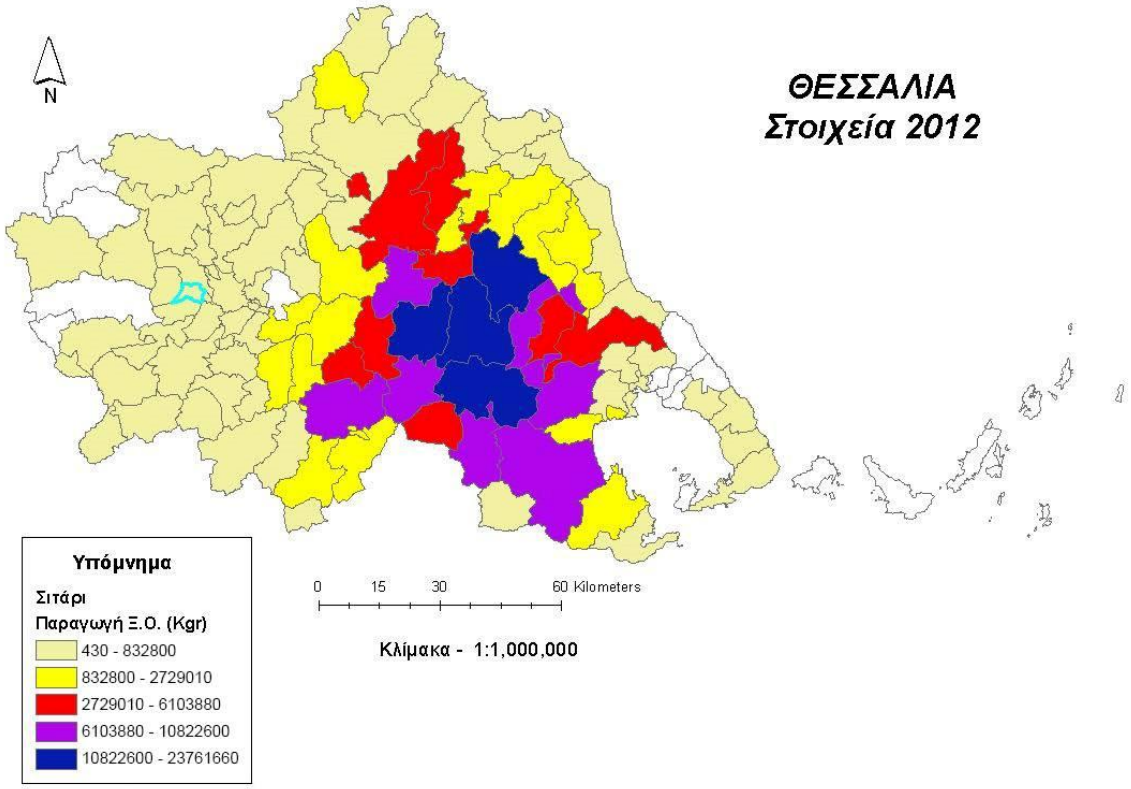


Εικόνα 6.2-1: Στοιχεία παραγωγής αραβοσίτου, 2012[20]

[20] Πηγή: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Από την εικόνα μπορούμε να επιβεβαιώσουμε τα στοιχεία που παρατέθηκαν παραπάνω αναφορικά με την καλλιέργεια αραβοσίτου στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Είναι φανερό, πως η μεγαλύτερη παραγωγή λαμβάνει χώρο στην κεντρική Θεσσαλία, και πιο συγκεκριμένα στο νομό Λαρίσης.

Αντίστοιχα, στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η παραγωγή σιταριού.



Εικόνα 6.2-2: Στοιχεία παραγωγής σίτου, 2012[20]

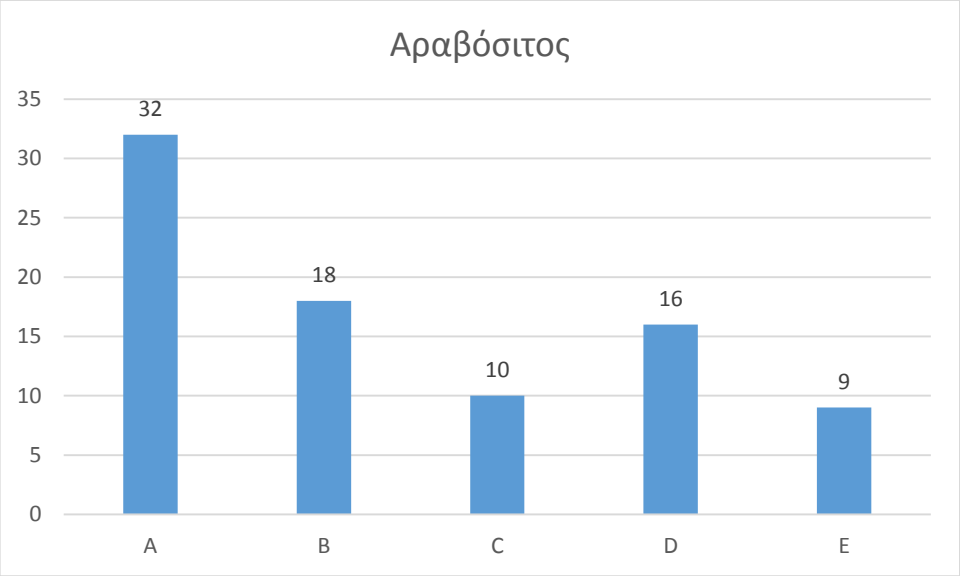
Από την εικόνα είναι φανερό πως το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής συγκεντρώνεται στην κεντρική και νότια Θεσσαλία, και συγκεκριμένα στο νομό Λαρίσης.

Η παραγωγή κάθε δημοτικής ενότητας λήφθηκε ίση με το μέσο όρο του εύρους στο οποίο ανήκει. Άρα, διαμορφώνονται συνολικά 5 κατηγορίες, των οποίων η δυναμικότητα παρουσιάζεται στον πίνακα, μαζί με τη την τελική θεωρούμενη, η οποία αποτελεί όπως αναφέρθηκε το 70% της μέσης. Και στις δύο περιπτώσεις, η τελική ποσότητα υπολειμμάτων ταυτίζεται με την παραγωγή ωφέλιμου προϊόντος, λόγω των αναλογιών που παρουσιάστηκαν στον Πίνακας 2.3-1.

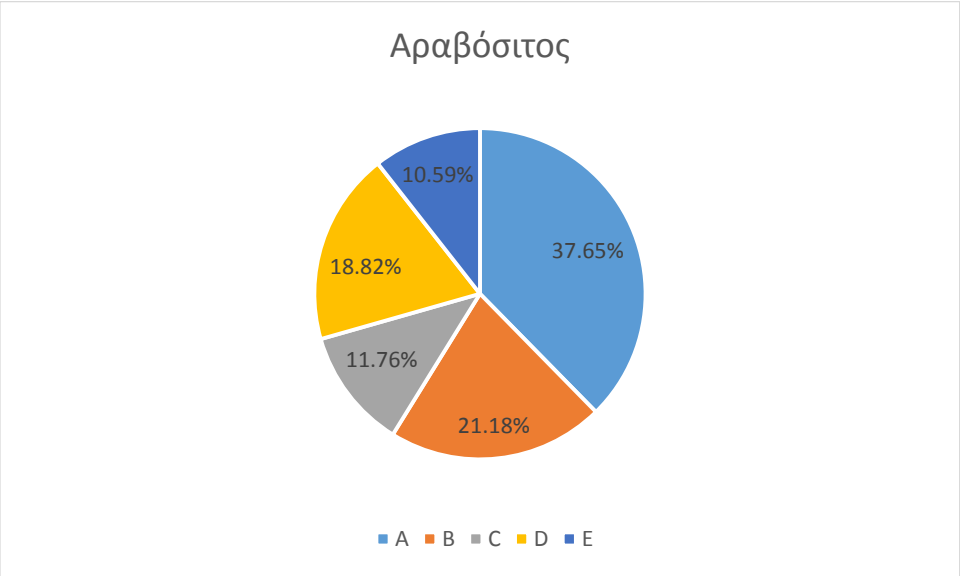
Στους πίνακες που ακολουθούν βλέπουμε τις διαθέσιμες ποσότητες υπολειμμάτων για κάθε κατηγορία, καθώς και τη στατιστική τους ανάλυση.

Αραβόσιτος					
	Αριθμός	Από	Έως	Μέση Δυναμικότητα (tn)	Διαθέσιμο (tn)
A	32	0.5	1395	697.8	488.4
B	18	1395	3422	2408.5	1686.0
C	10	3422	5480	4451.0	3115.7
D	16	5480	8230	6855.0	4798.5
E	9	8230	14513	11371.5	7960.1

Πίνακας 6.2-1: Κατηγορίες δυναμικότητας αραβοσίτου



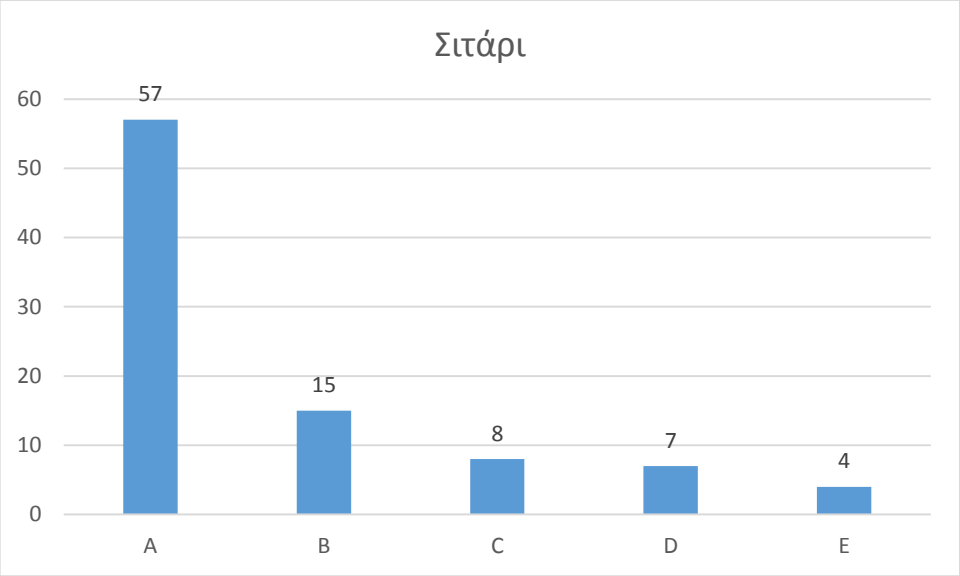
Διάγραμμα 6.2-1: Κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία αραβοσίτου



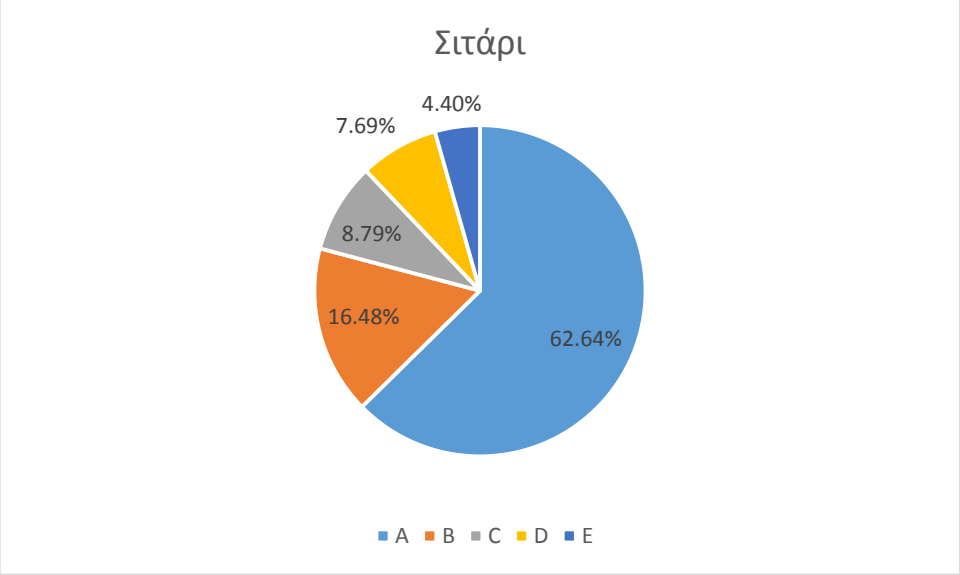
Διάγραμμα 6.2-2: Ποσοστιαία κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία αραβοσίτου

Σιτάρι					
	Αριθμός	Από	Έως	Μέση Δυναμικότητα (tn)	Διαθέσιμο (tn)
A	57	0.43	833	416.7	291.7
B	15	833	2729	1781.0	1246.7
C	8	2729	6104	4416.5	3091.6
D	7	6104	10823	8463.5	5924.5
E	4	10823	23762	17292.5	12104.8

Πίνακας 6.2-2: Κατηγορίες δυναμικότητας σίτου



Διάγραμμα 6.2-3: Κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία σίτου



Διάγραμμα 6.2-4: Ποσοστιαία κατανομή δημοτικών ενοτήτων ανά κατηγορία σίτου

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία και αφού αποδελτιωθούν οι δύο χάρτες, εξάγουμε την παραγωγή υπολειμμάτων κάθε δημοτικής ενότητας της περιφέρειας Θεσσαλίας, η οποία παρατίθεται στο Παράρτημα. Αθροίζοντας την παραγωγή των δημοτικών ενοτήτων, καταλήγουμε πως η συνολική παραγωγή αχύρου αραβοσίτου της Περιφέρειας Θεσσαλίας ανέρχεται σε 225.550,2 τόνους, ενώ αχύρου σίτου σε 149.950,0 τόνους.

Οι παραπάνω ποσότητες εκφράζουν τη συνολική διαθέσιμη ποσότητα υπολειμμάτων, δηλαδή τη διαθέσιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Λαμβάνοντας τις ενεργειακές αποδόσεις των δύο ειδών υπολειμμάτων, είναι φανερό πως οι παραπάνω ποσότητες ξεπερνούν το στόχο του έργου, οπότε και πρέπει να γίνει επιλογή των ποσοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε υπόλειμμα. Για να γίνει αυτό πρέπει να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά των δύο ειδών βιομάζας που θα επηρεάσουν την επιλογή, καθώς και ο ανταγωνισμός στην προμήθειά τους από άλλους πιθανούς αγοραστές.

Το υπόλειμμα αραβοσίτου δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη χρησιμότητα για τον αγρότη. Μετά τον αλωνισμό του κυρίου προϊόντος, το υπόλειμμα που παραμένει είτε καταστρέφεται με τη χρήση κατάλληλων μηχανημάτων και αφήνεται στο χωράφι με το ρόλο του λιπάσματος, είτε καταστρέφεται απευθείας με την καύση του ενόσω βρίσκεται στο χωράφι. Άρα, πρακτικά, δεν υπάρχει καμία αξία στα υπολείμματα αραβόσιτου. Οι παραπάνω λόγοι έχουν και την ανάλογη επίπτωση στην τιμή του, η οποία είναι μηδενική. Αυτό σημαίνει, πως η ποσότητα που βρίσκεται στο χωράφι δίδεται δωρεάν από τους αγρότες σε οποιονδήποτε αγοραστή. Φυσικά, για τον αγρότη προκύπτει κέρδος από επιπρόσθετες διαδικασίες που πρέπει να γίνουν, ώστε να είναι σε θέση να δοθεί στον ενδιαφερόμενο. Όσον αφορά άλλους πιθανούς ενδιαφερόμενους, αυτοί δεν υπάρχουν, καθώς τα υπολείμματα αραβοσίτου δεν έχουν κάποια χρησιμότητα σε άλλου είδους βιομηχανία ή αγορά.

Το υπόλειμμα σίτου, αντίθετα από την άλλη πηγή βιομάζας στο έργο, παρουσιάζει ανταγωνισμό στην προμήθεια του. Ο ανταγωνισμός προέρχεται εξαιτίας του γεγονότος ότι το υπόλειμμα χρησιμοποιείται και σαν ζωοτροφή στην κτηνοτροφία, και άρα μετατρέπει τους κτηνοτρόφους σε ανταγωνιστές. Αυτό συνεπάγεται, ότι το υπόλειμμα σίτου δεν είναι δωρεάν, αλλά έχει κόστος αγοράς ήδη από το χωράφι, πέρα από τα επιπλέον κόστη χειρισμού του.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι από τη διαθέσιμη ποσότητα υπολειμμάτων, θα εστιάσουμε στο σύνολο αυτής του αραβοσίτου και οι υπόλοιπες ανάγκες θα καλυφθούν από αυτή του σίτου, όπου θα υπάρχει και ανταγωνισμός στην τιμή, λόγω της παρουσίας των κτηνοτρόφων. Από την διαθέσιμη ποσότητα υπολειμμάτων αραβοσίτου μπορούν να παραχθούν 27.066 tn

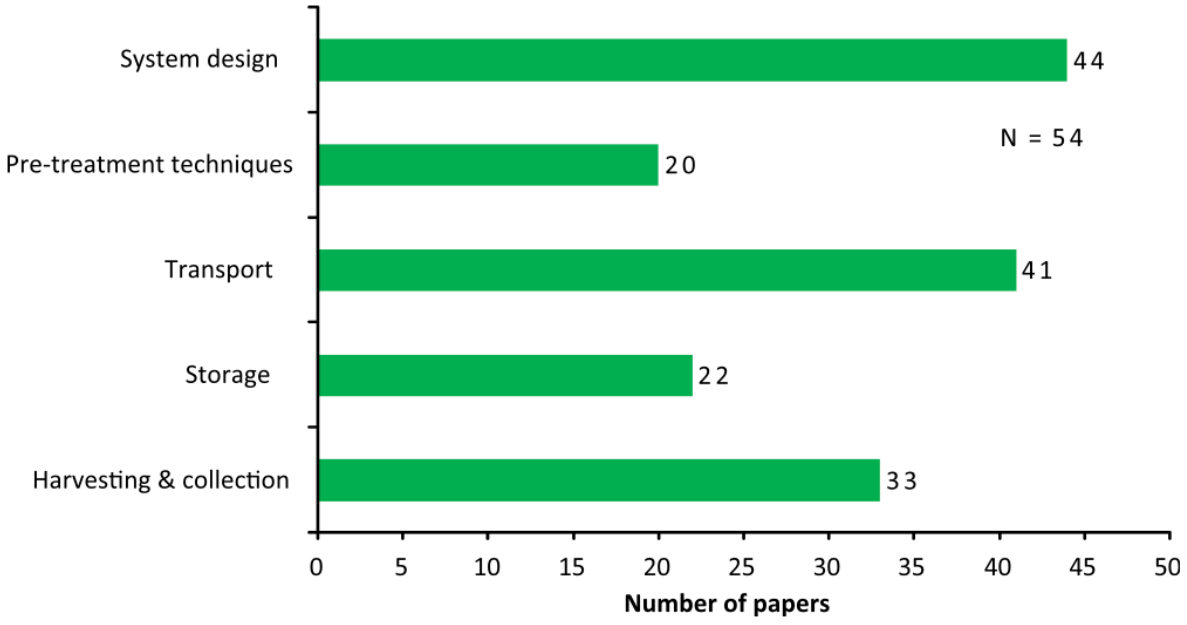
βιοαιθανόλης, ποσότητα η οποία αποτελεί το 67,67% της ζητούμενης. Η υπόλοιποι ποσότητα θα καλυφθεί από τη βιομετατροπή υπολειμμάτων σίτου, από τα οποία χρειάζονται 86.450 tn από το σύνολο των 149.950 για την παραγωγή των υπόλοιπων 12.967 tn βιοαιθανόλης.

7. Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας

7.1 Εισαγωγή

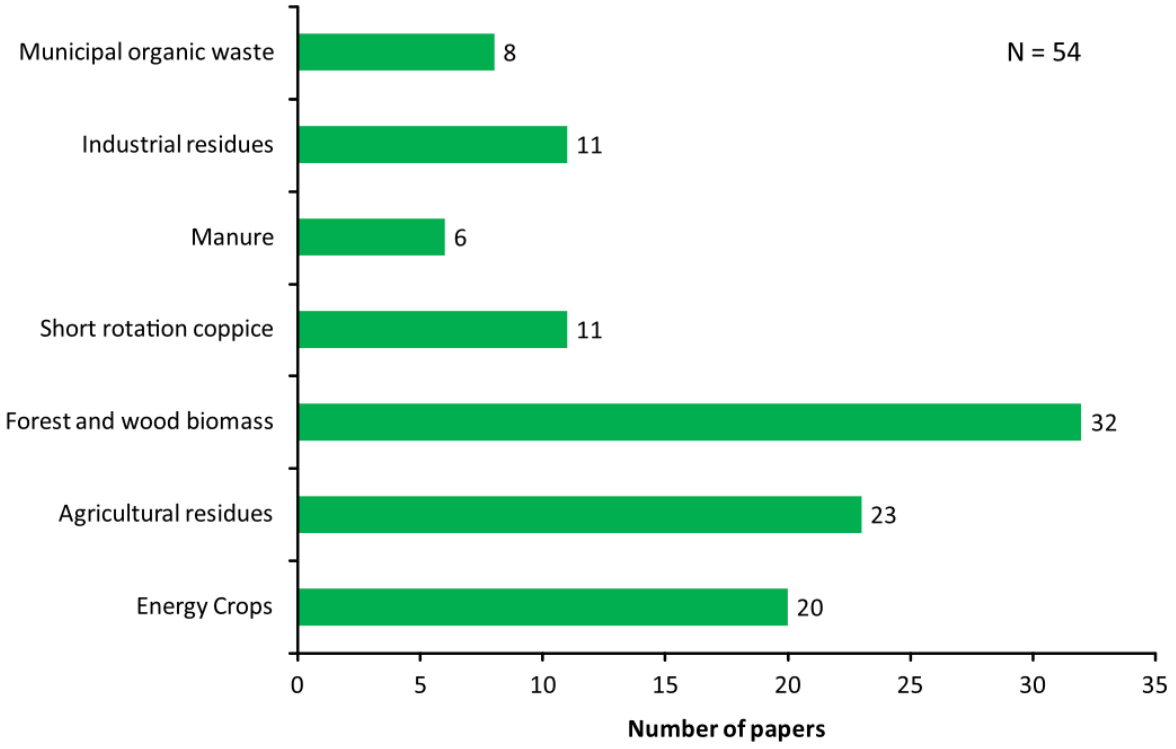
Ως εφοδιαστική αλυσίδα για τη συλλογή της βιομάζας ορίζεται το σύνολο των απαιτούμενων διαδικασιών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, από τη συλλογή της βιομάζας μέχρι και τη μεταφορά της στην εγκατάσταση επεξεργασίας της (Gold & Seuring, 2011). Όπως φαίνεται ήδη από τον ορισμό, δύο αναπόσπαστα μέρη της εφοδιαστική αλυσίδας είναι η συλλογή και η μεταφορά. Αν λάβουμε υπόψιν τη συνολική ποσότητα που υπολογίστηκε παραπάνω ότι απαιτείται για να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος, προκύπτει εύλογα η ανάγκη της αποθήκευσης. Άρα, καταλήγουμε στα τρία βασικά σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, τα οποία είναι η συλλογή, η μεταφορά και η αποθήκευση. Κάθε ένα από αυτά επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συνολική διαδικασία και απαιτεί εντελώς ξεχωριστό χειρισμό. Αυτό ενισχύεται επίσης, από το γεγονός ότι σε κάθε ένα από τα παραπάνω σκέλη εμπλέκονται διαφορετικά τρίτα πρόσωπα, που απαιτούν ξεχωριστή μεταχείριση και οργάνωση. Στο πιο γενικό επίπεδο τα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας για τη συλλογή της βιομάζας είναι τα εξής: ο προμηθευτής της βιομάζας, ο μεταφορέας – διανομέας, ο φορέας που θα αναλάβει την επεξεργασία αυτής για μετατροπή της και ο φορέας που θα φροντίσει να γίνει το τελικό προϊόν προσβάσιμο στον τελικό καταναλωτή, καθώς και το κράτος, το οποίο παρεμβαίνει στην όλη διαδικασία μέσω των νομοθετικών πλαισίων.

Όπως είναι λογικό, η διαθέσιμη βιβλιογραφία δίνει το ανάλογο βάρος τόσο στο γενικό σχεδιασμό, όσο και στα επιμέρους στάδια. Όσον αφορά τα στάδια της συλλογής και της αποθήκευσης, η διαθέσιμη βιβλιογραφία, επικεντρώνεται στην ανάλυση νέων τεχνικών, αλλά και την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την πραγματοποιούμενη διαδικασία. Η βιβλιογραφία παρουσιάζει πιο έντονη ενασχόληση με τη μελέτη τόσο του γενικού μοντέλου, όσο και του θέματος της μεταφοράς της βιομάζας. Τα δύο αυτά θέματα είναι λογικό να έλκουν παραπάνω το ενδιαφέρον των ερευνητών, καθώς αποτελούν ενδιαφέρουσες περιπτώσεις επιχειρησιακής έρευνας. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η κατανομή των ερευνητικών άρθρων της περιόδου 2000 - 2009, ανά θεματική ενότητα (Gold & Seuring, 2011).



Διάγραμμα 7.1-1: Κατανομή ερευνητικών άρθρων ανά θεματική ενότητα, 2000-2009

Ακόμα, θα πρέπει να αναφερθεί, πως παρόλο που οι τρεις αυτές βασικές ενέργειας είναι κοινές στην πλειονότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων βιομάζας, οι επιμέρους δραστηριότητες μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το είδος της βιομάζας που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Αυτό γιατί, κάθε είδος βιομάζας διαφέρει ακόμα και στα πιο βασικά χαρακτηριστικά, όπως η μορφή του ή το βάρος του. Χαρακτηριστικό επί αυτού είναι επίσης, και το γεγονός ότι κατά τη μελέτη της βιβλιογραφίας επί του θέματος, είναι σαφής ο διαχωρισμός μεταξύ των επιστημονικών άρθρων ανάλογα με το είδος της βιομάζας του οποίου η εφοδιαστική αλυσίδα μελετάται (Διάγραμμα 7.1-2). Όπως προκύπτει από τη μελέτη της βιβλιογραφίας της περιόδου 2000 -2009, τα περισσότερα άρθρα αφορούσαν υπολείμματα αγροτικής και δασικής βιομάζας, κάτι που συνάδει με το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας (Gold & Seuring, 2011).



Διάγραμμα 7.1-2: Κατανομή ερευνητικών άρθρων ανά είδος βιομάζας, 2000-2009

7.2 Ιδιαιτερότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας, παρόλο που ομοιάζει με πολλές άλλες αναφορικά με τα μέρη που την απαρτίζουν, παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες, οι οποίες είναι εμφανείς σε διάφορα στάδια της. Αρχικά, η εφοδιαστική αλυσίδα των περισσότερων ειδών βιομάζας χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα. Αυτό, γιατί τα περισσότερα είδη, όπως το σιτάρι, ο αραβόσιτος και άλλα, παράγονται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κάθε χρόνο, το οποίο είναι αρκετά περιορισμένο. Αυτό οδηγεί στη συγκέντρωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων πρώτης ύλης σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι συνέπειες αυτού του γεγονότος έχουν αντίκτυπο τόσο στη συλλογή του, όσο και στην αποθήκευση του. Αναφορικά με τη συλλογή, απαιτείται πολύ μεγάλος όγκος εργασίας για μικρή χρονική περίοδο, και άρα το κόστος των απαιτούμενων πόρων (μηχανήματα, μεταφορικά μέσα κα) και της ανθρώπινης εργασίας είναι αυξημένο, λόγω της εποχικής και όχι μακροχρόνιας σύμβασης εργασίας. Επίσης, η συλλογή της βιομάζας απαιτεί εξειδικευμένο, αλλά και ακριβό εξοπλισμό, ο οποίος δεν αφθονεί τις περισσότερες φορές. Άρα, απαιτείται κατάλληλος προγραμματισμός, ώστε να συλλεχθεί όλη η απαιτούμενη ποσότητα. Ταυτόχρονα, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι, κάτι που συνεπάγεται υψηλό κόστος σύστασης, οι οποίοι καθ' όλη τη διάρκεια του υπόλοιπου χρόνου έχουν υψηλά επίπεδα αποθέματος.

Παράλληλα, η συλλεγόμενη βιομάζα αποτελεί ένα υλικό πολύ χαμηλής πυκνότητας, το οποίο αν συνδυαστεί με τη χαμηλή θερμογόνο ικανότητα του σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, οδηγεί στη συλλογή μεγάλου όγκου, κάτι που έχει τις ανάλογες συνέπειες για το χειρισμό, τη μεταφορά και την αποθήκευση του, καθώς οδηγεί σε πολύ μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα μεταφερόμενης ενέργειας (Iakovou, Karagiannidis, Vlachos, Toka, & Malamakis, 2010).

Ακόμα, η βιομάζα αποτελεί ένα πολύ ευαίσθητο προϊόν, όσον αφορά στην επίδραση που δέχεται από τα καιρικά φαινόμενα. Η βροχή επηρεάζει τα επίπεδα υγρασίας της βιομάζας και άρα μεταβάλλει την πυκνότητα της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση περισσότερης πρώτης ύλης για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας, επιβαρύνοντας έτσι το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς.

Τέλος, μία πολύ μεγάλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τη φάση του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας είναι η αδυναμία πρόβλεψης της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών. Καθώς πρόκειται για ένα αγροτικό προϊόν, η παραγωγή του και η τελική ποσότητα της διαθέσιμης πρώτης ύλης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τους αγρότες, τη διεθνή ζήτηση, άλλα και την τιμή του κυρίου προϊόντος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει επίσης και σε ανακατατάξεις στην κατανομή των καλλιεργειών που καλλιεργούνται ανά δημοτική ενότητα, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο το τελικό ισοζύγιο.

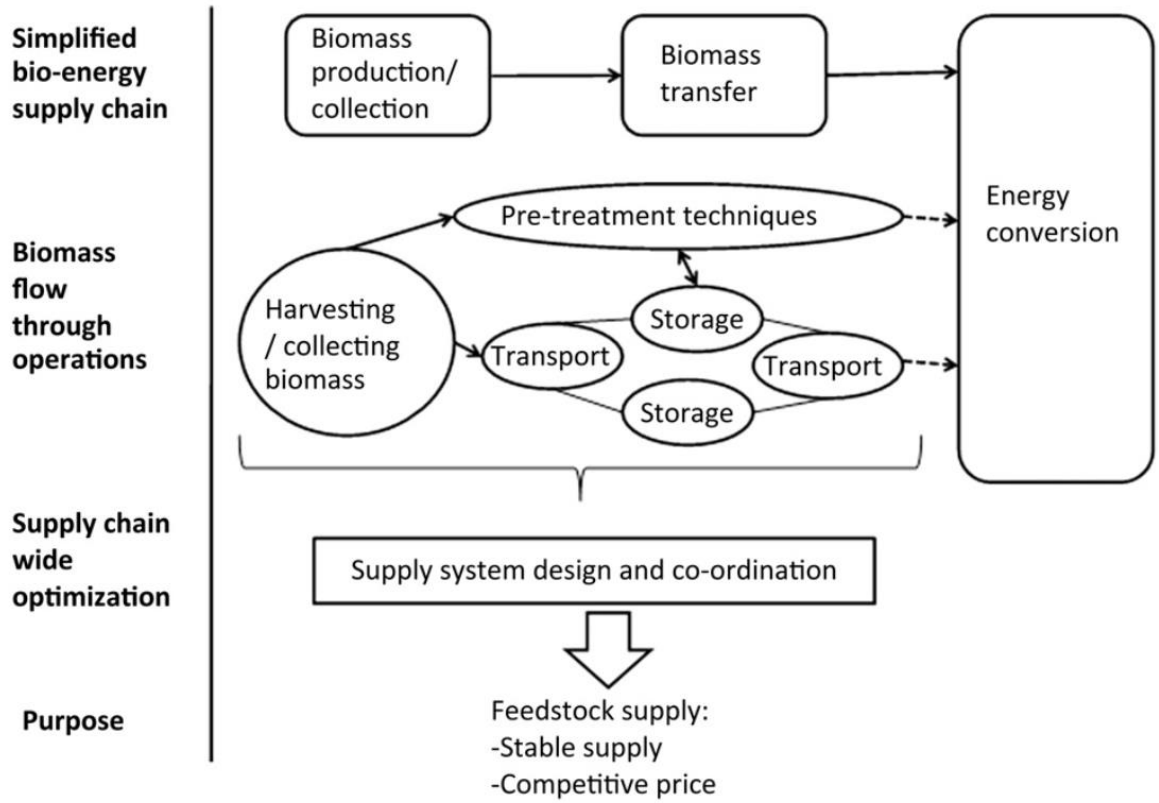
Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό την εφοδιαστική αλυσίδα και τις διαδικασίες της, κάτι που συνεπάγεται την αύξηση του συνολικού κόστους.

7.3 Η διαδικασία

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί μέχρις ότου η βιομάζα να μετατραπεί σε τελικό προϊόν μπορεί να χωριστεί σε πέντε στάδια. Τα στάδια αυτά αποτελούν αναπόφευκτες ενέργειες για να δημιουργηθεί μία εφοδιαστική αλυσίδα που θα επιτρέπει την παραγωγή βιοκαυσίμων. Τα στάδια, όπως φαίνονται και στο Σχήμα 7.3-1 είναι τα εξής: συγκομιδή και συλλογή της βιομάζας, προ-επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά, και ενεργειακή μετατροπή (Iakovou, Karagiannidis, Vlachos, Toka, & Malamakis, 2010). Κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια αποτελείται από επιμέρους διαδικασίες, κάθε μία από τις οποίες έχει μοναδικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να μεταβληθούν επηρεάζοντας έτσι άλλα επιμέρους στοιχεία της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Σχήμα 7.3-1: Στάδια εφοδιαστική αλυσίδας βιομάζας Α

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ανάλυση της διαδικασίας από τους Gold & Seuring (2011), οι οποίοι παρουσιάζουν 3 διαφορετικές οπτικές της (Σχήμα 7.3-2).



Σχήμα 7.3-2: Στάδια εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας Β

Σύμφωνα με τη παραπάνω ανάλυση, η απλοποιημένη εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει την παραγωγή – συλλογή της βιομάζας, τη μεταφορά της και την ενεργειακή μετατροπή της, όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω. Στην περίπτωση που η εφοδιαστική αλυσίδα αναλυθεί κατά δραστηριότητα, έχουμε τη συλλογή και κατόπιν μία παράλληλη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει την προ-επεξεργασία της βιομάζας και την μεταφορά – αποθήκευση της. Η διαδικασία καταλήγει στην ενεργειακή μετατροπή της σε βιοκαύσιμο. Τέλος, η ανάλυση καταλήγει συνοψίζοντας ότι ο κύριος σκοπός του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να υπάρχει προμήθεια της βιομάζας σε ανταγωνιστική τιμή, με ότι αυτό συνεπάγεται για τη χρήση οικονομιών κλίμακας, και επίσης, να διασφαλίσει τη σταθερή και απρόσκοπτη παροχή πρώτης ύλης στη φάση της βιομετατροπής της.

Η εφοδιαστική αλυσίδα που σχεδιάστηκε για το παρόν εργο, περιλαμβάνει τη συλλογή της βιομάζας, την μεταφορά της σε ενδιάμεσες αποθήκες και τέλος τη μεταφορά της στο εργοστάσιο επεξεργασίας.

Στην εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας υπάρχουν αρκετοί εμπλεκόμενοι, με μικρότερο ή μεγαλύτερο μερίδιο εργασίας. Οι κυριότεροι παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αγρότης: Ο αγρότης, αφού ολοκληρώσει το θερισμό του κύριου προϊόντος, είναι επιφορτισμένος με τη συλλογή των υπολειμμάτων και τη δεματοποίηση τους.
- Φορτωτής: Ο φορτωτής αναλαμβάνει τη φόρτωση και εκφόρτωση των δεμάτων στα μεταφορικά οχήματα. Μπορεί να είναι υπάλληλος ή αγρότης με ιδιόκτητο ή ενοικιαζόμενο μηχάνημα. Δραστηριοποιείται σε όλους τους χώρους στους οποίες διακινείται η βιομάζα, δηλαδή στο αγρόκτημα, στο χώρο αποθήκευσης και στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου.
- Μεταφορέας: Ο μεταφορέας αναλαμβάνει τη μεταφορά των υπολειμμάτων. Μπορεί να είναι ο ίδιος ο αγρότης που τα παράγει, αγρότης που απλά αναλαμβάνει τη μεταφορά τους ή πάροχος μεταφορικών υπηρεσιών.
- Χειριστής: Ο χειριστής είναι επιφορτισμένος με τη χρήση των μηχανών που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υπολειμμάτων.
- Διαχειριστής αποθηκευτικού χώρου: Ο διαχειριστής είναι υπεύθυνος για το συντονισμό και την καθοδήγηση των εργαζομένων στο χώρο αποθήκευσης των υπολειμμάτων. Μπορεί να έχει και το ρόλο του χειριστή.

7.4 Συλλογή βιομάζας

Το πρώτο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η συλλογή της βιομάζας. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει ότι τα αγροκτήματα, των οποίων τα υπολείμματα θα χρησιμοποιηθούν, έχουν καλλιεργηθεί και έχουν επιμεληθεί σωστά κατά τη διάρκεια της χρονιάς, ώστε να έχουν τα απαιτούμενο ποσοτικό και ποιοτικό αποτέλεσμα. Η συλλογή της βιομάζας πραγματοποιείται σε δεδομένο χρονικό διάστημα για κάθε είδος υπολείμματος και η περίοδος αυτή ταυτίζεται με τη συλλογή του κύριου προϊόντος. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.4-1, η περίοδος συλλογής υπολειμμάτων σίτου διαρκεί τους μήνες Ιούλιου και Αύγουστο, ενώ η περίοδος συλλογής υπολειμμάτων αραβοσίτου διαρκεί τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο.

Μήνας	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος
Υπόλειμμα						
Σιτάρι						
Αραβόσιτος						

Σχήμα 7.4-1: Χρόνος συλλογής υπολειμμάτων σίτου και αραβοσίτου

Σε αυτό το σημείο, προτού προχωρήσει η ανάλυση συγκεκριμένων πτυχών της συλλογής υπολειμμάτων, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί η γενική μορφή της διαδικασίας, ώστε ο αναγνώστης να έχει μία εποπτική εικόνα. Παρακάτω παρατίθενται τα βήματα που πραγματοποιούνται κατά την τυπική συλλογή:

1. Είσοδος αλωνιστικής μηχανής στο χωράφι.
2. Συλλογή κυρίου προϊόντος. Η συλλογή του προϊόντος γίνεται είτε από τον ιδιοκτήτη του χωραφιού είτε από ιδιώτη αγρότη, με ιδιόκτητο ή ενοικιαζόμενο μηχάνημα. Η αλωνιστική μηχανή κόβει το μεγαλύτερο μέρος από το φυτό και αφήνει περίπου 10 – 20 cm από αυτό στο έδαφος. Η μηχανή δεν κόβει χαμηλότερα για λόγους προστασίας του κοπτικού εργαλείου, καθώς είναι πιθανό να χτυπήσει σε κάποιο ανώμαλο σημείου του εδάφους ή σε κάποια πέτρα. Κατόπιν, η μηχανή διαχωρίζει τον καρπό από το υπόλειμμα και αποθηκεύει τον καρπό. Το υπόλειμμα απορρίπτεται στο έδαφος.
3. Είσοδος γεωργικού ελκυστήρα με χορτοκοπτικό. Μετά τον αλωνισμό παραμένουν στο χωράφι τα στελέχη του φυτού, τα οποία έχουν ύψος που φτάνει μέχρι το 20 εκατοστά, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα. Το χορτοκοπτικό κόβει μεγάλο μέρος από το στέλεχος και το απορρίπτει στο έδαφος, από όπου μπορεί να συλλεχθεί.
4. Είσοδος γεωργικού ελκυστήρα με χορτοσυλλέκτη. Μετά τον αλωνισμό του χωραφιού και πριν τη συλλογή των υπολειμμάτων, εισέρχεται στο χωράφι ένας γεωργικός ελκυστήρας (τρακτέρ), με προσδεμένο στο πίσω μέρος του χορτοσυλλέκτη. Ο χορτοσυλλέκτης αποτελείται από δύο περιστρεφόμενα τμήματα τα οποία φέρουν εξαρτήματα που λειτουργούν σαν τσουγκράνες (χορτοσυλλέκτης ελικόπτερο), κάθε ένα από τα οποία έχει μήκος περίπου 3 m. Πραγματοποιώντας περιστρεφόμενες κινήσεις μεταφέρει τα υπολείμματα από περισσότερες σειρές αλωνισμού σε μία. Η αναλογία που επιτυγχάνεται συνήθως είναι 3:1 (Ntogkoulis, 2014).
5. Είσοδος γεωργικού ελκυστήρα. Αφού ο χορτοσυλλέκτης έχει περιορίσει τη διασπορά των υπολειμμάτων και τα έχει συγκεντρώσει σε γραμμές μέσα στο χωράφι, εισέρχεται σε αυτό γεωργικός ελκυστήρα, στον οποίο έχει προσδεθεί χορτοσυλλεκτική πρέσα. Ο χορτοσυλλέκτης περνάει πάνω από τα υπολείμματα και με τη χρήση μιας

περιστρεφόμενης ατράκτου τα εισάγει στο εσωτερικό του. Εκεί, η πρέσα τα συμπιέζει με αποτέλεσμα να παράγονται δέματα υπολειμμάτων. Το είδος και η μορφή των δεμάτων θα αναλυθεί παρακάτω. Τα δέματα αυτά εξάγονται από το πίσω μέρος του χορτοσυλλέκτη και αφήνονται σε τυχαία σημεία στο χωράφι, στις γραμμές που βρίσκονταν τα υπολείμματα.

6. Είσοδος γεωργικού ελκυστήρα και μεταφορικού οχήματος. Για τη συλλογή των δεμάτων χρησιμοποιείται εμπρόσθιος φορτωτής, στο εμπρός μέρος του οποίου είναι τοποθετημένα μαχαίρια. Τα μαχαίρια αυτά περνάνε μέσα στο δέμα και το φορτώνουν πάνω στο μεταφορικό όχημα, το οποίο βρίσκεται μέσα στο χωράφι.

Η διαδικασία της συλλογής που παρουσιάζεται παραπάνω αποτελεί τη γενική διαδικασία, όπως αυτή πραγματοποιείται στην Ελλάδα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές για κάθε ένα από τα βήματα της και έτσι αρκετές αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν για να σχεδιασθεί η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας.

7.4.1 Χρόνος συλλογής

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της συλλογής παίζει ο χρόνος της συλλογής των υπολειμμάτων. Ως χρόνος συλλογής εννοείται η στιγμή που αρχίζει η διαδικασία αφότου έχει συλλεχθεί ο καρπός και τα υπολείμματα έχουν αφεθεί στο έδαφος του χωραφιού.

Οι Gemtos & Tsiricoglou (1999) αναφέρουν πως στον προσδιορισμό του χρόνου συλλογής των υπολειμμάτων σημαντικό ρόλο παίζει ο καιρός. Προφανώς, προϋπόθεση για να γίνει η σπορά στο χωράφι και η προετοιμασία της καλλιέργειας για την επόμενη χρονιά, αποτελεί η συλλογή των υπολειμμάτων. Όσο πιο πολύ αργεί η περίοδος συλλογής των υπολειμμάτων τόσο μετατίθεται προς το φθινόπωρο η διαδικασία αυτή. Όμως αυτό δημιουργεί πιθανά προβλήματα, καθώς το όργωμα δεν είναι καλό να πραγματοποιείται σε βρεγμένο έδαφος. Οπότε το χωράφι πρέπει να είναι έτοιμο για όργωμα πριν τις πρώτες βροχές, και αν κρίνουμε από την περίπτωση του αραβοσίτου, ο οποίος συλλέγεται μέχρι και τα τέλη Οκτώβρη, αυτό πρέπει να γίνει όσο πιο σύντομα γίνεται. Άρα, από τα παραπάνω καταλήγουμε ότι μία καλή τακτική είναι η συλλογή των υπολειμμάτων να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα μετά τη συλλογή του καρπού, για να υπάρχει αρκετός χρόνος για το όργωμα πριν την έναρξη της περιόδου των βροχών.

Το ότι ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι τη συλλογή των υπολειμμάτων είναι καθοριστικός επισημαίνεται και από τους Rentizelas, Tolis, & Tatsiopoulos (2009). Στο άρθρο τους τονίζουν πως ο χρόνος συλλογής είναι σημαντικός καθώς επηρεάζεται άμεσα από την υγρασία. Αν τα

υπολείμματα συλλεχθούν ενώ έχουν υψηλά επίπεδα υγρασίας δημιουργείται σειρά προβλημάτων. Αρχικά, μειώνεται η πυκνότητα των δεμάτων και άρα αυξάνεται ο όγκος τους, οδηγώντας σε μειωμένη απόδοση. Επίσης, υψηλά επίπεδα υγρασίας της βιομάζας δημιουργούν προβλήματα κατά την ενεργειακή μετατροπή της στα μηχανήματα των εγκαταστάσεων.

Το πρόβλημα της αυξημένης υγρασίας τονίζουν και οι Allen, Browne, & Hunter (1998). Τα υπολείμματα αποτελούν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη υγρασίας. Ταυτόχρονα, η βιομάζα με υψηλά επίπεδα υγρασίας είναι χαρακτηριστική περιοχή ανάπτυξης μούχλας, κάτι που οδηγεί στην εμφάνιση μυκήτων. Οι μύκητες αποτελούν σοβαρό κίνδυνο αρχικά για το ανθρώπινο δυναμικό που εμπλέκεται στη συλλογή τους και κατά δεύτερον επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα και την ποσότητα της βιομάζας. Οι μύκητες που μπορεί να αναπτυχθούν είναι ικανοί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη ασθενειών σε όσους έρχονται σε επαφή με αυτούς. Επίσης, η παρουσία μυκήτων στη βιομάζα οδηγεί σε χημικές διεργασίες που μειώνουν την ποσότητα της. Ακόμη, οι διεργασίες αυτές οδηγούν στην αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των υπολειμμάτων, ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να οδηγήσει πιθανά σε φαινόμενα αυτανάφλεξης της βιομάζας, πράγμα που έχει εύλογες συνέπειες.

Οι Sokhansanj, et al. (2008) τονίζουν και αυτοί τον καθοριστικό ρόλο που παίζουν τα επίπεδα υγρασίας κατά τη συλλογή των υπολειμμάτων. Παραπέμπουν σε πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε αγροτεμάχια στην Καλιφόρνια και χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα τους καταλήγουν, πως ένα ασφαλές επίπεδο για την υγρασία των υπολειμμάτων αποτελεί το 20%. Προτείνουν μάλιστα να αφήνονται τα υπολείμματα στο χωράφι και να καθυστερεί η δεματοποιήση τους μέχρις ότου η υγρασία πέσει σε αποδεκτά επίπεδα. Στην περίπτωση αυτή, η πτώση της υγρασίας οφείλεται στην έκθεση του στον ήλιο.

Τέλος, ο Thornley (2008) επιχειρηματολογεί υπέρ της δεματοποίησης των υπολειμμάτων όσο το δυνατόν πιο σύντομα μετά το θερισμό, καθώς η παρουσία αέρα στην περιοχή της καλλιέργειας οδηγεί στη διασπορά της. Το φαινόμενο αυτό δε μπορεί να αντιμετωπιστεί αποδοτικά με το χορτοσυλλέκτη, καθώς διασπείρονται κομμάτια των υπολειμμάτων αρκετά μικρά, ώστε να μην είναι εφικτή η μετέπειτα συλλογή τους.

Παραπάνω παρατέθηκαν οι απόψεις που κυριαρχούν στη διεθνή βιβλιογραφία αναφορικά με την περίοδο και το χρόνο συλλογής των υπολειμμάτων. Εδώ, θα ήταν σημαντικό να συγκρίνουμε τα στοιχεία αυτά με αυτά που ισχύουν στην Περιφέρεια της Θεσσαλίας, και να ελέγξουμε κατά πόσο εναρμονίζονται με τις διεθνείς πρακτικές, ώστε να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας. Από τις παραπάνω αναφορές γίνεται σαφές ότι η

υγρασία παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο όσον αφορά στη συλλογή. Επίσης, η έναρξη των εργασιών των αγροτών για τις νέες καλλιέργειες είναι ένας λόγος που επιταχύνει τη συλλογή, ενώ τέλος, τα φυσικά φαινόμενα είναι ικανά να δημιουργήσουν προβλήματα στη συνολική ποσότητα που θα συλλεχθεί. Σύμφωνα με τη μελέτη του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, η υγρασία των υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή είναι ίση με 5% για τα υπολείμματα σίτου και 14,7% για τα υπολείμματα αραβοσίτου. Επίσης, μετά από επικοινωνία με αγρότες και παραγωγούς που δραστηριοποιούνται στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, έγινε σαφές, πως οι εργασίες για την προετοιμασία των αγροτεμαχίων για την καλλιέργεια της επόμενης χρονιάς ξεκινούν αμέσως μετά το θερισμό, για να προηγηθούν της περιόδου των βροχών. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω προκύπτει, πως λόγω του επιπέδου της υγρασίας, αλλά και του προγραμματισμού των αγροτών, τα υπολείμματα είναι έτοιμα και πρέπει να συλλεχθούν σε πολύ σύντομο χρόνο από το θερισμό. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα, πως τόσο τα υπολείμματα σίτου, όσο και τα υπολείμματα αραβοσίτου, θα συλλεχθούν μέσα στην περίοδο του θερισμού και του κύριου προϊόντος, το οποίο είναι ίσο με 60 ημέρες για το κάθε ένα. Όσον αφορά στο ρυθμό συλλογής, θα θεωρήσουμε πως αυτός είναι σταθερός και ίσος κάθε μέρα της περιόδου συλλογής. Η υπόθεση αυτή είναι βάσιμη λόγω του μεγάλου αριθμού παραγωγών, αλλά του μικρότερου αριθμού διαθέσιμων μηχανημάτων. Με βάση αυτή την υπόθεση υπολογίζουμε την ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων κάθε δημοτικής ενότητας, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει.

Αραβόσιτος					
	Αριθμός	Από	Έως	Ημερήσια παραγωγή (tn)	Σύνολο (tn)
A	32	0.5	1395	8.1	260.5
B	18	1395	3422	28.1	505.8
C	10	3422	5480	51.9	519.3
D	16	5480	8230	80.0	1279.6
E	9	8230	14513	132.7	1194.0

Πίνακας 7.4-1: Ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων κατηγοριών αραβοσίτου

Σιτάρι					
	Αριθμός	Από	Έως	Ημερήσια παραγωγή (tn)	Σύνολο (tn)
A	57	0.43	833	4.9	277.1
B	15	833	2729	20.8	311.7

C	8	2729	6104	51.5	412.2
D	7	6104	10823	98.7	691.2
E	4	10823	23762	201.7	807.0

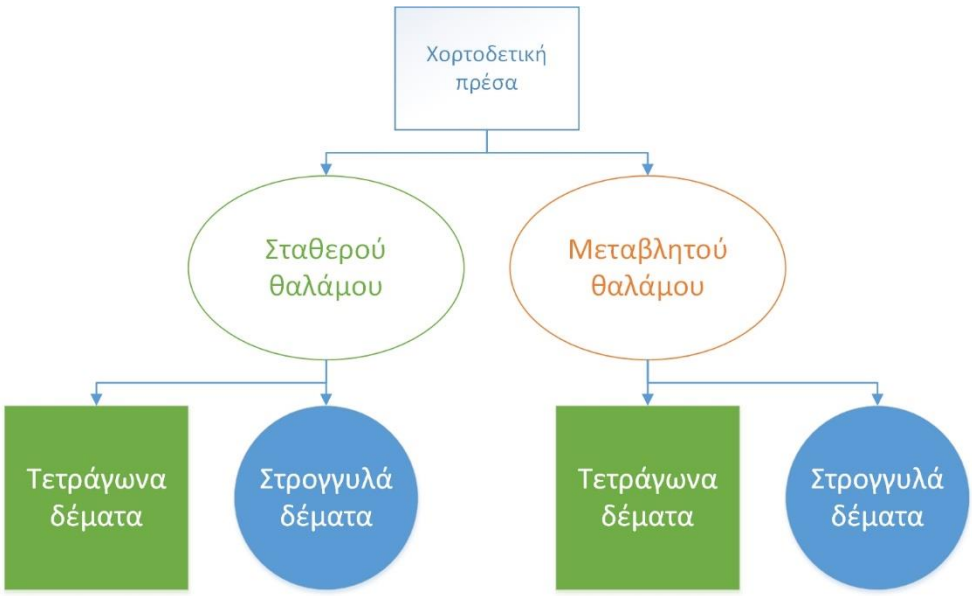
Πίνακας 7.4-2: Ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων κατηγοριών σίτου

Όπως ήταν αναμενόμενο, η μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων παρουσιάζεται στις δημοτικές ενότητες που ανήκουν στις κατηγορίες D και E, τόσο για τον αραβόσιτο, όσο και για το σιτάρι.

7.4.2 Δεματοποίηση

Η φάση της δεματοποίησης είναι καθοριστική για την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό γιατί επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα στάδια της αποθήκευσης και της μεταφοράς. Η δεματοποίηση καθορίζει τόσο τη μορφή, όσο το μέγεθος και το βάρος των δεμάτων των υπολειμμάτων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η δεματοποίηση πραγματοποιείται μέσω ειδικής μηχανής, η οποία συλλέγει τα υπολείμματα από το έδαφος του χωραφιού και χρησιμοποιώντας μία πρέσα τα συμπυκνώνει και τους δίνει την επιθυμητή μορφή. Κατόπιν, τα δέματα αφήνονται στο έδαφος του χωραφιού. Η μορφή και οι διαστάσεις των δεμάτων εξαρτώνται από τον τύπο της πρέσας και είναι γνωστά πριν την έναρξη της συλλογής. Το βάρος των δεμάτων εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα του υπολείμματος, η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με την υγρασία, αλλά και τη ποιότητα των υπολειμμάτων.

Οι χορτοδετικές πρέσες μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.4-1.



Εικόνα 7.4-1: Κατηγορίες χορτοδετικών πρεσών

Η πρώτη κατηγορία διαχωρισμού των χορτοδετικών πρεσών είναι ανάλογα με το θάλαμο τους. Ο θάλαμος της χορτοδετικής πρέσας είναι το μέρος της μηχανής, όπου συμπιέζονται τα υπολείμματα και διαμορφώνεται το δέμα. Η πρέσα μεταβλητού θαλάμου είναι ρυθμιζόμενη από το χειριστή, και επιτρέπει τη μεταβολή της μεγαλύτερης διάστασης του δέματος, ενώ οι άλλες δύο παραμένουν σταθερές ανάλογα με την πρέσα. Η εφαρμογή της ρύθμισης επιτυγχάνεται μέσω υδραυλικού συστήματος. Η πρέσα σταθερού θαλάμου αντίθετα, δεν επιδέχεται ρύθμισης και παράγει δέματα δεδομένων διαστάσεων.

Η δεύτερη κατηγορία διαχωρισμού των δεμάτων είναι ανάλογα με τη μορφή τους. Υπάρχουν δύο διαθέσιμες επιλογές, τετράγωνα (παραλληλόγραμμα) και στρογγυλά (κυλινδρικά) δέματα. Κάθε είδος έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω. Για κάθε είδος υπάρχει ένα μεγάλο εύρος πιθανών διαστάσεων. Οι συνηθισμένες διαστάσεις παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Οι διαστάσεις αυτές είναι αντιπροσωπευτικές για την παγκόσμια και την ελληνική αγορά, και μέσα στα όρια τους κυμαίνονται και οι πρέσες των μεγαλύτερων κατασκευαστών χορτοδετικών πρεσών.

Τύπος δέματος	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)
Μεγάλα τετράγωνα δέματα	2 – 3	0,8 – 1,2	0,9 – 1,3
Μικρά τετράγωνα δέματα	0,9	0,45	0,4
	Μήκος (m)	Διάμετρος (m)	
Στρογγυλά δέματα	0,6 – 2,2	1,10 – 1,9	

Πίνακας 7.4-3: Διαστάσεις δεμάτων

7.4.2.1 Τετράγωνα δέματα

Τα τετράγωνα δέματα αποτελούν τον πρώτο τύπο δέματος που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή αγροτικών προϊόντων. Ο δεματοποιητής τετράγωνων δεμάτων άρχισε να χρησιμοποιείται σε αγροτικές εφαρμογές από το 1930 και έπειτα. Η λειτουργία των σύγχρονων χορτοδετικών πρεσών τετράγωνων δεμάτων βασίζεται σε μία υδραυλική πρέσα στο εσωτερικό τους. Το δέμα μεταφέρεται μέσω ενός ραουλόδρομου στο εξωτερικό της μηχανής καθώς αυτό διαμορφώνεται. Μόλις το δέμα λάβει τις επιθυμητές διαστάσεις αποκόπτεται και αφήνεται στο έδαφος, ενώ παράλληλα το επόμενο δέμα διαμορφώνεται.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των τετράγωνων δεμάτων και της χρήσης των αντίστοιχων χορτοδετικών πρεσών.

- Υψηλή παραγωγικότητα. Εξαιτίας του μηχανισμού της, αλλά και του ότι διαμορφώνει τετράγωνα δέματα, η χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων μπορεί να λειτουργεί απρόσκοπτα, και δε χρειάζεται να σταματήσει για να εναποθέσει το δέμα. Αυτό επιτρέπει μέγιστη εκμετάλλευση χρόνου.
- Εύκολος χειρισμός. Η μορφή των τετράγωνων δεμάτων επιτρέπει αρχικά τον πολύ εύκολο χειρισμό τους, καθώς είναι πολύ εύκολο για έναν εμπρόσθιο φορτοεκφορτωτή να πιάσει το δέμα. Επίσης, λόγω της παραλληλόγραμμης μορφής του, είναι εφικτό να περαστεί από τα πιρούνια του φορτωτή από οποιαδήποτε πλευρά του.
- Μέγιστη εκμετάλλευση χώρου. Η κυβική μορφή των τετράγωνων δεμάτων προσφέρει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση χώρου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, τόσο στην αποθήκευση των δεμάτων, όσο και στη μεταφορά τους. Όσον αφορά την αποθήκευση τους, πέραν του ότι είναι πολύ σταθερή και επιτρέπει την στοίβαξη σε πολλές στρώσεις, υπάρχει και βέλτιστη χρήση του χρησιμοποιούμενου χώρου, καθώς ο χώρος που καταλαμβάνει ένα τετράγωνο δέμα για την αποθήκευση του είναι ίσος με τον όγκο του. Η εκμετάλλευση όγκου και η στοίβαξη αποτελούν πλεονεκτήματα και κατά τη μεταφορά του τετράγωνου δέματος.
- Υψηλή απόδοση. Σύμφωνα με στοιχεία της Αμερικάνικης Ένωσης Γεωπόνων και Βιολόγων Μηχανικών (ASABE), η απόδοση των πρεσών τετράγωνων δεμάτων είναι ίση με 0,8, κάτι που σημαίνει πως συλλέγουν το 80% των διαθέσιμων υπολειμμάτων ενός αγροτεμαχίου.
- Υψηλός χρόνος ζωής. Σύμφωνα με στοιχεία του ίδιου οργανισμού, ο χρόνος ζωής μίας χορτοδετικής πρέσας τετράγωνων δεμάτων είναι ίσος με 3000 ώρες.
- Υψηλότερη πυκνότητα. Λόγω του ότι χρησιμοποιείται υδραυλικός μηχανισμός, η χορτοδετικές μηχανές τετράγωνων δεμάτων μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη πυκνότητα. Αυτό έχει θετικές συνέπειες, τόσο στη μεταφορά, όσο και στην αποθήκευση των δεμάτων, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη αναλογία βάρους – όγκου.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης τετράγωνων δεμάτων είναι τα εξής:

- Συντήρηση. Λόγω της παρουσίας υδραυλικού συστήματος, αλλά και πολλών κινητών μερών στο ραουλόδρομο, οι χορτοδετικές πρέσες παρουσιάζουν μεγάλες ανάγκες συντήρησης.

- Μεγάλο βάρος. Το βάρος των μεγάλων τετράγωνων δεμάτων τείνει να είναι αρκετά μεγάλο, κάτι που συνεπάγεται ανάγκες χρήσης μηχανημάτων μεγάλης ισχύος, τόσο για το χειρισμό, όσο και για τη μεταφορά.
- Κόστος μηχανών. Το κόστος μίας χορτοδετικής πρέσας τετράγωνων δεμάτων είναι υψηλό σε σχέση με τις άλλες διαθέσιμες επιλογές.
- Αριθμός μηχανών. Λόγω των παραμέτρων του κόστους και της συντήρησης, οι χορτοδετικές τετράγωνων δεμάτων είναι λιγότερες σε αριθμό σε σχέση με αυτές των στρογγυλών δεμάτων.

7.4.2.2 Στρογγυλά δέματα

Τα στρογγυλά δέματα είναι η άλλη επιλογή για τη δεματοποίηση των υπολειμμάτων. Οι χορτοδετικές μηχανές στρογγυλών δεμάτων παράγονται από ένα σύστημα κινούμενων ταινιών, οι οποίες 'τυλίγουν' το άχυρο που εισέρχεται στο εσωτερικό της μηχανής. Όσο η διάμετρος του κυλίνδρου που σχηματίζεται μεγαλώνει, πιέζει ένα σύστημα αρθρώσεων το οποίο μεγαλώνει με τη σειρά το μήκος της ταινίας, μέχρις ότου αποκτηθεί η επιθυμητή διάμετρος. Κατόπιν, μέσω του ανοίγματος μίας καταπακτής, το δέμα αφήνεται να πέσει στο έδαφος.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της επιλογής αυτής είναι τα εξής:

- Μικρή απαιτούμενη ισχύς. Η απαιτούμενη ισχύς από τον γεωργικό ελκυστήρα είναι μικρή, καθώς η χορτοδετική πρέσα βασίζεται σε απλούς μηχανισμούς για τη λειτουργία της.
- Εύκολη συντήρηση. Οι πρέσες δεν περιλαμβάνουν κάποιον πολύπλοκο μηχανισμό και βασίζονται σε απλές αρχές λειτουργίας. Για αυτό το λόγο οι χειριστές μπορούν να παρέμβουν και να επιδιορθώσουν μικρής εμβέλειας βλάβες βασιζόμενοι στην εμπειρία και στις γνώσεις τους από παρόμοιες εφαρμογές, και άρα δε χρειάζονται να καταφεύγουν σε εξειδικευμένο μηχανικό και να παρεμβαίνουν στον προγραμματισμό της συλλογής.
- Προστασία από τα καιρικά φαινόμενα. Λόγω της κυλινδρικής μορφής τους, η οποία επιτρέπει την 'κάλυψη' μέρους του δέματος από το ίδιο το δέμα, τα στρογγυλά δέματα παρουσιάζουν μικρότερη έκθεση στα καιρικά φαινόμενα.
- Μικρή μηχανή. Η χορτοδετική στρογγυλών δεμάτων είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με αυτή των τετράγωνων δεμάτων, κάτι που δημιουργεί μεγαλύτερη ευκολία στους χειριστές για τη μεταφορά και την αποθήκευση της.

Τα μειονεκτήματα της επιλογής στρογγυλών δεμάτων είναι τα παρακάτω:

- Μικρή παραγωγικότητα. Οι χορτοδετικές στρογγυλών δεμάτων λόγω του ότι πρέπει να σταματήσουν την κίνηση τους για να απελευθερώσουν το δέμα, χρειάζονται παραπάνω χρόνο για τη συλλογή από έναν δεματοποιητή τετράγωνων δεμάτων.
- Κακή εκμετάλλευση χώρου. Η κυλινδρική μορφή των δεμάτων δημιουργεί προβλήματα στη μεταφορά και στην αποθήκευση των δεμάτων υπολειμμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις, ο όγκος που καταλαμβάνει το δέμα είναι μεγαλύτερος από τον όγκο του υλικού και έτσι, ειδικά κατά την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων, καταλαμβάνεται πολύς χώρος, χωρίς αυτός να χρησιμοποιείται.
- Μικρή απόδοση. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ASABE, η απόδοση των χορτοσυλλεκτών στρογγυλών δεμάτων είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με αυτή των τετράγωνων, καθώς συγκεντρώνουν μόνο το 65% της διαθέσιμης ποσότητας.
- Μικρός χρόνος ζωής. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του ίδιου οργανισμού, ο χρόνος ζωής των συγκεκριμένων μηχανών είναι σχεδόν ο μισός σε σχέση με αυτόν των χορτοδετικών πρεσών τετράγωνων δεμάτων, καθώς αυτός υπολογίζεται σε περίπου 1500 ώρες λειτουργίας.
- Πυκνότητα. Τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται ο μηχανισμός λειτουργίας των πρεσών στρογγυλών δεμάτων δεν μπορούν να ασκήσουν μεγάλες πιέσεις, με αποτέλεσμα τα δέματα τα οποία παράγονται να είναι μικρότερης πυκνότητας σε σχέση με αυτά που επιτυγχάνουν οι χορτοδετικές πρέσες τετράγωνων δεμάτων.

7.4.2.3 Κόστος δεματοποίησης

Όσον αφορά το κόστος των δύο ειδών δεματοποίησης θα πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που τους επηρεάζουν. Σύμφωνα με τους Sokhansanj & Turnhollow, 2002 οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος της δεματοποίησης είναι οι εξής:

1. Τα φυσικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του συλλεγόμενου προϊόντος
2. Αλληλουχία και αριθμός των πραγματοποιούμενων ενεργειών κατά τη συλλογή
3. Τύπος του εξοπλισμού, ηλικία, συντήρηση
4. Απόδοση εξοπλισμού
5. Οικονομικά δεδομένα, όπως φόροι, κόστος καυσίμου και εργασίας

Αν λάβουμε υπόψιν τα παραπάνω, γίνεται σαφές πως είναι αρκετά δύσκολο να γίνει ακριβής προσδιορισμός του κόστους δεματοποίησης, ειδικά στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου,

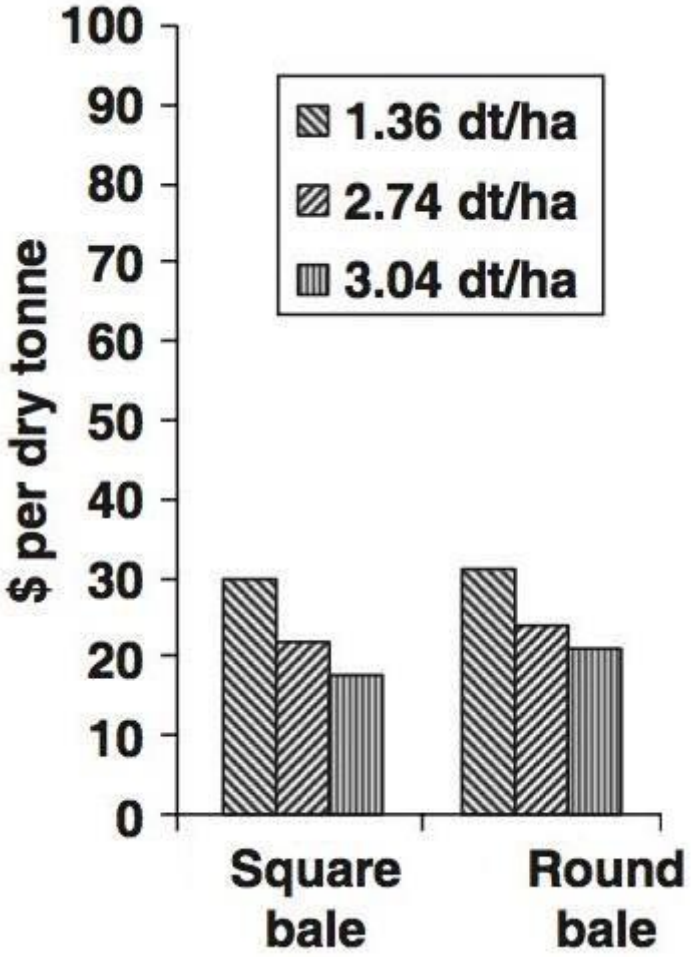
καθώς ο αριθμός των δεματοποιητών που χρησιμοποιούνται είναι πολύ μεγάλος και όπως είναι λογικό υπάρχει μεγάλη απόκλιση στα μεταξύ τους χαρακτηριστικά.

Ενδεικτικά, θα αναφέρουμε πως στην ίδια μελέτη, οι Sokhansanj & Turnhollow, 2002, έλαβαν στοιχεία από καλλιεργητές σε 4 διαφορετικές πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών, με σκοπό να προσδιορίσουν το κόστος δεματοποίησης. Όπως είναι λογικό, το εύρος των τιμών που συνέλεξαν ήταν αρκετά μεγάλο. Για τα στρογγυλά δέματα οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 6,90$ και 29,50$ ανά τόνο, ενώ για τα τετράγωνα 6,50$ και 38,90$ ανά τόνο. Παρατηρήθηκε όμως, πως ο μέσος όρος ανά πολιτεία παρουσίαζε πολύ μικρότερο εύρος, κάτι που υποδεικνύει πως σημαντικό ρόλο παίζουν τα οικονομικά στοιχεία, αλλά και η τάση της ενασχόλησης των καλλιεργητών με το αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα, το εύρος των μέσων όρων για τα στρογγυλά δέματα ήταν 10,80$ - 15,90$, ενώ για τα τετράγωνα, 9,20 – 12,00$. Επίσης, σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποίησαν οι ίδιοι, το κόστος για τα στρογγυλά δέματα ήταν 9,80$, ενώ για τα τετράγωνα 9,90$. Όπως προκύπτει από την παραπάνω μελέτη, η διαφορά του κόστους μεταξύ των ειδών δεμάτων είναι μικρή, με τα στρογγυλά δέματα να τείνουν να είναι ακριβότερα στην παραγωγή τους, σύμφωνα με τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τις πολιτείες.

Στην μελέτη του University of Illinois, δημοσιευμένη στο περιοδικό Farm Business Management, 2008, με τίτλο “Machinery Cost Estimates: Forage Field Operations”, γίνεται προσπάθεια υπολογισμού του κόστους των χορτοδετικών πρεσών στην περίπτωση που παράγουν στρογγυλά ή τετράγωνα δέματα. Το κόστος περιλαμβάνει τα έξοδα λειτουργίας της πρέσας, καθώς και τα έξοδα για καύσιμο και για ανθρώπινη εργασία. Στη συγκεκριμένη μελέτη, το κόστος για την δεματοποίηση ενός στρογγυλού δέματος βάρους 500 kg ήταν ίσο με 9,62$, ενώ το κόστος δεματοποίησης ενός τετράγωνου δέματος ίδιου βάρους ήταν ίσο με 7,88$. Η συνολική έκταση υπολειμμάτων που συλλέχθηκε με τετράγωνα δέματα ήταν ίση με 3500 στρέμματα, ενώ αυτή που συλλέχθηκε με στρογγυλά 1500 στρέμματα.

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί η σημαντικότητα του μεγέθους της καλλιεργούμενης έκτασης. Η επίδραση που έχει η συνολικά καλλιεργούμενη έκταση στο κόστος είναι σημαντική, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο περισσότερο επιτυγχάνεται φαινόμενα οικονομίας κλίμακας. Στο Διάγραμμα 7.4-1 παρουσιάζεται το κόστος ανά τόνο ξηρών υπολειμμάτων, ανάλογα με τη συνολική απόδοση της καλλιέργειας ανά εκτάριο (10 στρέμματα), όπως αυτό υπολογίστηκε από τους Sokhansanj, et al. (2008). Μπορούμε αρχικά να παρατηρήσουμε, πως όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή ανά εκτάριο τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος ανά τόνο ξηρής

βιομάζας. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει και η απόδοση της χορτοδετικής μηχανής, καθώς επηρεάζει την ποσότητα που συλλέγεται ανά δεδομένη έκταση. Σε αυτόν τον τομέα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι χορτοδετικές μηχανές τετράγωνων δεμάτων έχουν πλεονέκτημα, καθώς η απόδοση τους κυμαίνεται στο 80%, ενώ των χορτοδετικών πρεσών στρογγυλών δεμάτων μόλις στο 65%. Επίσης να σημειωθεί, πως και η παρούσα μελέτη καταλήγει στο ότι η δεματοποίηση τετράγωνων δεμάτων είναι πιο οικονομική από αυτή στρογγυλών.



Διάγραμμα 7.4-1: Κόστος ανά τόνο, ανά τύπο δέματος, ανά απόδοση εκταρίου

Στην μελέτη του Iowa State University, με τίτλο "Economics of Harvesting and Transporting Corn Stover", 2014, γίνεται ανάλυση του κόστους των δύο διαθέσιμων επιλογών. Αρχικά, επισημαίνεται, ότι τα μικρά τετράγωνα δέματα δεν προτιμώνται για μεγάλες εφαρμογές, γιατί δεν είναι εύκολος ο χειρισμός τους με μηχανικό εξοπλισμό, κάτι που αντιστοιχεί στην περίπτωση μας. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το κόστος ενός στρογγυλού δέματος και ενός τετράγωνου.

Description	Tractor	Baler
Size of implement	250 hp	3'x 4'x 8'
New list price	$250,000	$106,550
Assumed purchase price	$237,500	$101,223
Annual use	400 hours	3,500 acres
Fuel consumption	11 gal/hr	
Field capacity		14 ac/hr
Cost summary, $ per acre	**Tractor**	**Baler**
Depreciation, interest	$4.81	$4.65
Repairs	$ .50	$1.56
Fuel and lubrication	$3.16	
Twine		$2.00
Labor	$1.18	
Total	$9.65	$8.21
Total cost for operation	**$17.86**	
Total cost per bale (4/ac)	**$4.46**	

Εικόνα 7.4-2: Κόστος παραγωγής τετράγωνων δεμάτων

Description	Tractor	Baler
Size of implement	165 hp	60"x 72"
New list price	$165,000	$45,000
Assumed purchase price	$152,000	$42,750
Annual use	400 hours	2,250 acres
Fuel consumption	7.3 gal/hr	
Field capacity		9 ac/hr
Cost summary, $ per acre	**Tractor**	**Rake**
Depreciation, interest	$4.61	$3.06
Repairs	$ .50	$4.06
Fuel and lubrication	$3.25	
Twine and wrap		$6.00
Labor	$1.83	
Total	$10.19	$13.12
Total cost for operation	**$23.31**	
Total cost per bale (4/ac)	**$5.83**	

Εικόνα 7.4-3: Κόστος παραγωγής στρογγυλών δεμάτων

Από τις παραπάνω εικόνες λαμβάνουμε αρκετές πληροφορίες. Αρχικά, παρατηρούμε ότι το κόστος αγοράς μίας χορτοδετικής πρέσας τετράγωνων δεμάτων είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό μίας χορτοδετικής πρέσας στρογγυλών. Επίσης, παρατηρούμε πως η ιπποδύναμη που απαιτεί είναι αρκετά μεγάλη, και περίπου 100 hp μεγαλύτερη από αυτή για στρογγυλά δέματα,

κάτι που έχει και ανάλογες συνέπειες στην ιπποδύναμη του γεωργικού ελκυστήρα που απαιτείται για τη λειτουργία της. Αυτό έχει και ανάλογη επίπτωση στην κατανάλωση καυσίμου, η οποία πέφτει από 11 γαλόνια την ώρα σε 7,3. Σημαντικό είναι όμως επίσης, πως η ταχύτητα συλλογής της πρέσας τετράγωνων δεμάτων είναι περισσότερο από 50% μεγαλύτερη από αυτή στρογγυλών, με την πρώτη να είναι ίση με περίπου 60 στρέμματα την ώρα, ενώ η δεύτερη μόλις 36. Η εξήγηση αυτού του γεγονότος δόθηκε παραπάνω. Ο σημαντικός ρόλος που παίζει η απόδοση των δύο τύπων πρεσών φαίνεται στο δεύτερο μέρος των δύο εικόνων. Γίνεται σαφές, πως η μεγάλη απόδοση των χορτοδετικών τετράγωνων δεμάτων αντισταθμίζει την μεγάλη κατανάλωση και ανά 4 στρέμματα το κόστος καυσίμου είναι χαμηλότερο από αυτό της χορτοδετικής στρογγυλών δεμάτων (3,16$ και 3,25$). Επίσης, όπως αναφέραμε παραπάνω, παρατηρούμε ότι ο υψηλός χρόνος ζωής της πρέσας τετράγωνων δεμάτων έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο κόστος συντήρησης ανά 4 στρέμματα και ίσο με 1,56$, έναντι της πρέσας στρογγυλών δεμάτων, η οποία έχει περίπου το μισό χρόνο ζωής, και κόστος συντήρησης 4,06$ ανά 4 στρέμματα. Ακόμα, η υψηλή απόδοση μεταφράζεται και σε χαμηλότερα εργατικά κόστη για τη χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων, 1,18$ έναντι 1,83$ για αυτή στρογγυλών. Συνοψίζοντας τα παραπάνω στοιχεία, προκύπτει πως η δεματοποίηση με τετράγωνα δέματα κοστίζει 4,46$ ανά δέμα, για παραγωγή ίση με 1 δέμα ανά στρέμμα, ενώ η δεματοποίηση με στρογγυλά δέματα κοστίζει 5,83$ ανά δέμα, πράγμα που την καθιστά ακριβότερη.

Στην παραπάνω εικόνα πέρα από τα κόστη που έχουν αναφερθεί και σχολιαστεί μέχρι τώρα, παρατηρούμε στην περίπτωση του στρογγυλού δέματος υπάρχει και ένα επιπλέον κόστος που αναφέρεται ως wrap. Αυτό μεταφράζεται ως κάλυψη. Η κάλυψη των στρογγυλών δεμάτων με συνήθως πλαστικό φιλμ είναι μια συχνή στρατηγική για την προστασία τους από την υγρασία. Τα στρογγυλά δέματα μπορεί να παρουσιάζουν καλύτερη αντοχή στα καιρικά φαινόμενα λόγω της μορφής τους, αλλά παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα με την υγρασία. Ουσιαστικά μπορεί μία μικρής διάρκειας βροχή να μην προκαλεί μεγάλη ζημιά, αλλά η παραμονή σε περιβάλλον παρατεταμένης υγρασίας δημιουργεί αρκετά προβλήματα. Η μεγάλη εξωτερική επιφάνεια του δέματος, αλλά και το γεγονός ότι είναι το μεγαλύτερο του μέρος εκτεθειμένο, λόγω του ότι η επιφάνεια η οποία είναι σε επαφή με το έδαφος είναι μικρή, επιτρέπει στη βροχή να έρθει σε επαφή με μεγάλο μέρος του δέματος. Το γεγονός αυτό δημιουργεί ένα φιλμ νερού, το οποίο όταν βρεθεί σε περιβάλλον υγρασίας αρχίζει να αναπτύσσεται. Λόγω όμως της κυλινδρικής μορφής που έχει το δέμα, ακόμα και ο σχηματισμός ενός φιλμ υγρασίας μικρού πάχους, εκθέτει σε κίνδυνο μεγάλο ποσοστό του δέματος. Ένα πάχος έκθεσης ίσο με 2 ίντσες ισοδυναμεί με

την έκθεση σε υγρασία 16% του συνολικού υλικού σε ένα δέμα διαμέτρου 1,2 μέτρων και ίδιου ύψους, παρόλο που μόλις το 7% της διαμέτρου έχει εκτεθεί. Προφανώς, το ποσοστό της ποσότητας που εκτίθεται μικραίνει όσο οι διαστάσεις του δέματος αυξάνονται. Αντίθετα, όμως αυτό αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό, όσο το πάχος του φιλμ το οποίο έχει βραχεί μεγαλώνει (Collins, et al., 1997). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ποσοστό του εκτιθέμενου όγκου σε σχέση με το συνολικό, ανάλογα με τις διαστάσεις του στρογγυλού δέματος, αλλά και το πάχος της έκθεσης.

Διαστάσεις δέματος σε μέτρα		**Πάχος εκτεθειμένης περιοχής σε εκ.**			
Διάμετρος	**Ύψος**				
		5	10	15	20
		Ποσοστό εκτιθέμενου όγκου, %			
1,2	**1,2**	16	31	44	56
1,5	**1,2**	13	25	36	46
1,8	**1,5**	11	21	31	40

Πίνακας 7.4-4: Ποσοστό εκτιθέμενου όγκου σε σχέση με την εκτιθέμενη περιοχή

Αντίθετα, σε ανάλογη περίπτωση τα τετράγωνα δέματα εκτίθενται αρκετά λιγότερο. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές πως τα στρογγυλά δέματα δεν παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην υγρασία από τα τετράγωνα. Η τακτική για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, είναι η κάλυψη των στρογγυλών δεμάτων με πλαστικό υλικό, το οποίο αυξάνει την αντοχή τους στην υγρασία. Στόχος της κάλυψης είναι να μειωθεί η επαφή του δέματος με το εξωτερικό περιβάλλον και άρα να εξαλειφθεί η επαφή του με το οξυγόνο, το οποίο βοηθάει στην εξάπλωση της υγρασίας. Για αυτό το λόγο η κάλυψη με πλαστικό ονομάζεται και αναερόβιος προστασία. Η τακτική αυτή είναι συνήθης στα στρογγυλά δέματα, και ειδικά σε αυτά που πρόκειται να αποθηκευτούν για μεγάλο διάστημα. Παρατηρείται πιο σπάνια στα τετράγωνα δέματα, για τα οποία υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι προστασίας κατά την αποθήκευση. Για τις ανάγκες του έργου επιλέχθηκε ένας από αυτούς και θα γίνει περαιτέρω ανάλυση παρακάτω, στο κεφάλαιο της αποθήκευσης.

Το κόστος της κάλυψης με πλαστικό εξαρτάται όπως είναι λογικό από την επιλογή του υλικού, από την ποσότητα των δεμάτων που πρόκειται να καλυφθούν, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού. Σύμφωνα με μελέτη του Purdue University, με τίτλο “Corn Stover for Bioenergy Production: Cost estimates and Farmer supply Response”, 2014, το κόστος της κάλυψης με πλαστικό υπολογίστηκε 5,6$ ανά τόνο. Όπως είδαμε παραπάνω, στην μελέτη “Economics of Harvesting and Transporting Corn Stover”, το κόστος υπολογίζεται ίσο με 4$ ανά τόνο. Οι Collins, et al. (1997) υπολόγισαν το κόστος ίσο με 3$ ανά

τόνο. Στα ίδιο αποτέλεσμα καταλήγει και μελέτη του Michigan University, τα αποτελέσματα της οποίας δημοσιεύονται στο άρθρο “The dollars and cents of bale wrapping haylage”.

Σύμφωνα με στοιχεία που συνέλεξε το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για λογαριασμό του έργου από παραγωγούς που δραστηριοποιούνται στην Περιφέρεια, η τιμή που χρεώνεται στην Ελλάδα η δεματοποίηση των μεγάλων τετράγωνων δεμάτων είναι ίση με 7 € ανά δέμα, ενώ για μεγάλα στρογγυλά δέματα περίπου 9 € ανά δέμα.

Εικόνα 7.4-4: Θεριζοαλωνιστική μηχανή

Εικόνα 7.4-5: Θεριζοαλωνιστικές μηχανές και σειρές υπολειμμάτων

Εικόνα 7.4-6: Χορτοσυλλέκτης

Εικόνα 7.4-7: Χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων

Εικόνα 7.4-8: Χορτοδετική πρέσα τετράγωνων δεμάτων

Εικόνα 7.4-9: Χωράφι με τετράγωνα δέματα υπολειμμάτων

Εικόνα 7.4-10: Εμπρόσθιος φορτωτής τετράγωνων δεμάτων

Εικόνα 7.4-11: Χορτοδετική πρέσα στρογγυλών δεμάτων

Εικόνα 7.4-12: Χορτοδετική πρέσα μεταβλητού θαλάμου στρογγυλών δεμάτων

Εικόνα 7.4-13: Χωράφι με στρογγυλά δέματα υπολειμμάτων

Εικόνα 7.4-14: Εμπρόσθιος φορτωτής στρογγυλών δεμάτων

Εικόνα 7.4-15: Σύνολο εξοπλισμού για την παραγωγή τετράγωνων δεμάτων

7.4.3 Αποτελέσματα

Παραπάνω παρουσιάστηκε όλη η διαδικασία συλλογής των υπολειμμάτων. Αρχικά, έγινε αναφορά στον ημερολογιακό χρόνο συλλογής, αλλά και στους περιορισμούς που υπάρχουν αναφορικά με τη στιγμή της συλλογής. Κατόπιν, παρουσιάστηκε η αλληλουχία των διαδικασιών που απαιτούνται για να συλλεχθεί η απαιτούμενη βιομάζα. Στη συνέχεια, έγινε ανάλυση κάθε βήματος ξεχωριστά και δόθηκε μεγάλο βάρος στη διαδικασία της δεματοποίησης, η οποία επηρεάζει ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας. Έγινε σύγκριση μεταξύ των δύο πιθανών επιλογών και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μελετών, καθώς και οι σχετικές αναφορές από τη διεθνή βιβλιογραφία. Από την ανάλυση προέκυψε, πως τα τετράγωνα δέματα είναι η πιο κατάλληλη επιλογή για τις ανάγκες του έργου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι υπάρχει απαίτηση για μεγάλες ποσότητες βιομάζας, κάτι που συνεπάγεται ανάλογες απαιτήσεις κατά την μεταφορά και αποθήκευση τους. Η επιλογή μεγάλων τετράγωνων δεμάτων για τη δεματοποίηση της βιομάζας προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα και για τις δύο φάσεις. Επίσης, η επιλογή μεγάλων τετράγωνων δεμάτων δεν αποκλείει τη χρήση και μικρών τετράγωνων δεμάτων. Είναι προφανές, ότι τόσο η μεταφορά, όσο και η αποθήκευση, από τη στιγμή που σχεδιαστούν για μεγάλα τετράγωνα δέματα, μπορούν να απορροφήσουν και μικρά, καθώς συνήθως η μόνη διάσταση που μεταβάλλεται είναι το μήκος του δέματος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πέρα από τον εξοπλισμό, σημαντικό ρόλο παίζει και η πυκνότητα της συλλεγόμενης βιομάζας. Βασιζόμενοι στη "ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΟ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ", αλλά και σε πληροφορίες που συλλέχθηκαν από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, μπορούμε να προσδιορίσουμε μία μέση τιμή της πυκνότητας για τα υπολείμματα σίτου και αραβοσίτου. Αρχικά, η πυκνότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από την υγρασία τους τη στιγμή της συλλογής, καθώς όσο πιο υγρό είναι το υπόλειμμα, τόσο πιο εύκολο είναι να συμπιεστεί, καθώς τα στελέχη μαλακώνουν από την υγρασία και κάμπτονται ευκολότερα. Η υγρασία του αραβοσίτου τη στιγμή της συλλογής είναι ίση με 14,70%, ενώ του σίτου 5%. Σύμφωνα με τη μελέτη, η πυκνότητα των μεγάλων τετράγωνων δεμάτων κυμαίνεται μεταξύ 180 – 220 kg/m^3. Για το υπόλειμμα αραβοσίτου θα ληφθεί πυκνότητα ίση με 200 kg/m^3, ενώ για το υπόλειμμα σίτου 150 kg/m^3, καθώς έχει αρκετά χαμηλότερη υγρασία. Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα:

Διαστάσεις δέματος (m)			Όγκος (m^3)
Μήκος	Πλάτος	Ύψος	
2.4	1.2	0.9	2.592
Υπόλειμμα		Πυκνότητα (tn/m^3)	Βάρος (tn/δέμα)
Σιτάρι		0.15	0.389
Αραβόσιτος		0.2	0.518

Πίνακας 7.4-5: Βάρος δεμάτων υπολειμμάτων

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατό να υπολογίσουμε το συνολικό διαθέσιμο δεμάτων ανά δημοτική ενότητα για την Περιφέρεια Θεσσαλίας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παράρτημα. Σύμφωνα με τις αποφάσεις που λήφθηκαν παραπάνω, δηλαδή ότι θα γίνει συλλογή όλων των διαθέσιμων υπολειμμάτων αραβοσίτου και η υπόλοιπη απαιτούμενη ποσότητα θα καλυφθεί από υπολείμματα σίτου, καταλήγουμε ότι θα συλλεχθούν συνολικά 435.425 μεγάλα τετράγωνα δέματα αραβοσίτου και 253.362 μεγάλα τετράγωνα δέματα σίτου.

7.5 Φόρτωση και μεταφορά βιομάζας

Η μεταφορά της βιομάζας αποτελεί το δεύτερο σκέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αφού τα υπολείμματα δεματοποιηθούν πρέπει να μεταφερθούν από το χωράφι, καθώς αυτό πρέπει να προετοιμαστεί για την επόμενη καλλιέργεια, και επίσης πρέπει να αποφευχθεί να εκτεθούν τα δέματα σε βροχή. Κατά τη δεματοποίηση, η χορτοδετική πρέσα αφήνει τα δέματα διασκορπισμένα μέσα στο χωράφι. Όσο η πρέσα δεματοποιεί, εισέρχεται μέσα στο αγροτεμάχιο ο εμπρόσθιος φορτωτής. Στην περίπτωση που το μέσο που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των δεμάτων βρίσκεται εκεί, ο εμπρόσθιος φορτωτής μεταφέρει τα δέματα και τα φορτώνει κατευθείαν σε αυτό. Σε αντίθετη περίπτωση, στοιβάζει τα δέματα στην άκρη του χωραφιού που βρίσκεται πιο κοντά στο οδικό δίκτυο ή σε κάποια δίοδο, και τα φορτώνει όταν έρθει το μεταφορικό μέσο.

7.5.1 Μεταφορικά μέσα

Για τη μεταφορά της βιομάζας που έχει δεματοποιηθεί σε μεγάλα τετράγωνα δέματα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά φορτηγά οχήματα. Αυτό γίνεται κυρίως, γιατί αρχικά τα

δέματα έχουν μεγάλο βάρος, για να φορτωθούν σε άλλο όχημα, και επίσης, η μεταφορά τους σε μικρές ποσότητες δεν είναι συμφέρουσα.

Σύμφωνα με το άρθρο "Transporting Biomass on Iowa Roadways", του Iowa State University, υπάρχουν τέσσερις εναλλακτικές επιλογές για την επιλογή μεταφορικού μέσου για τη μεταφορά βιομάζας:

1. Επιβατικό αγροτικό όχημα με ρυμουλκούμενη καρότσα
2. Αρθρωτό φορτηγό
3. Τράκτορας με επικαθήμενο (καρότσα πάτωμα)
4. Γεωργικός ελκυστήρας με ρυμουλκούμενη καρότσα

Από τις παραπάνω επιλογές, η πρώτη χρησιμοποιείται σπάνια στην Ελλάδα και κυρίως για μικρές ποσότητες μεταφοράς. Οι υπόλοιπες τρεις επιλογές είναι πιθανά σενάρια μεταφοράς. Θυμίζουμε σε αυτό το σημείο, πως τα δέματα της βιομάζας που μεταφέρονται είναι διαστάσεων: 2,4 m μήκος, 1,2 m πλάτος, 0,9 m ύψος. Επίσης, παραπάνω υπολογίστηκε το βάρος του δέματος αραβοσίτου ίσο με 518 κιλά και το βάρος του δέματος σίτου 388 κιλά.

Η συνηθέστερη επιλογή ρυμουλκούμενου είναι η καρότσα πάτωμα, καθώς προσφέρεται για χρήση από διαφορετικά οχήματα, και επίσης, είναι δυνατή η φόρτωση της από όλες τις πλευρές. Η προσβασιμότητα της είναι κομβικής σημασία, καθώς επιτρέπει στον εμπρόσθιο φορτωτή να τοποθετήσει το δέμα με τη μεγαλύτερη πλευρά, και έτσι να επιτύχει τη μεγαλύτερη εκμετάλλευση χώρου. Το πιθανό μήκος της επικαθήμενης καρότσας είναι 11, 13, 15 μέτρα. Μία άλλη πιθανή επιλογή για τη μεταφορά των δεμάτων αποτελεί και αρθρωτό λεωφορείο που ρυμουλκεί δύο καρότσες. Η επιλογή αυτή προσφέρει μεγαλύτερο μήκος και άρα έχει μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα.

Η νομοθεσία περιλαμβάνει αυστηρούς περιορισμούς για τις διαστάσεις και το βάρος του ωφέλιμου φορτίου. Το επιτρεπόμενο πλάτος είναι 2,55 μέτρα, κάτι που δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης δύο δεμάτων κατά πλάτος. Το επιτρεπόμενο ύψος φορτίου σύμφωνα με τη νομοθεσία δε μπορεί να ξεπερνάει τα 4 μέτρα. Θεωρώντας πως το ύψος της καρότσας είναι 1,2 μέτρα, το ωφέλιμο φορτίο μπορεί να φτάνει μέχρι τα 2,8 μέτρα, επιτρέποντας 3 δέματα καθ' ύψος. Τέλος, το μέγιστο μεταφερόμενο βάρος δεν μπορεί να ξεπερνάει τους 40 τόνους. Να σημειωθεί εδώ, πως η τοποθέτηση των δεμάτων στην καρότσα γίνεται έτσι, ώστε η μεγαλύτερη πλευρά του δέματος να τοποθετείται κατά μήκος της καρότσας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, πως ο φορτωτής πιάνει το δέμα από τη πλευρά με το μεγαλύτερο μήκος, και άρα από αυτή την πλευρά το φορτώνει και στην καρότσα.

Λαμβάνοντας υπόψιν τους παραπάνω περιορισμούς για τη μεταφορά φορτίου, αλλά και τις διάφορες διαστάσεις των μεταφορικών οχημάτων μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσότητα που είναι δυνατόν να μεταφερθεί από τις πιθανές επιλογές.

Στοιχεία ρυμουλκούμενου			
Μέτρα	11	13	15
Δέματα σε μήκος	4	5	6
Δέματα σε ύψος	3	3	3
Δέματα σε πλάτος	2	2	2
Σύνολο δεμάτων	24	30	36
Συνολικό βάρος (tn)			
Αραβόσιτος	12.44	15.55	18.66
Σιτάρι	9.33	11.66	14.00

Πίνακας 7.5-1: Μεταφορικά στοιχεία ρυμουλκούμενου

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε πόσο πολύ επηρεάζει η υγρασία το βάρος του δέματος και άρα τη συνολική μεταφορική ικανότητα. Όσον αφορά το θέμα της πληρότητας, θα πρέπει να αναφέρουμε πως αναμένεται αυτή να πλησιάζει πάντα το 100%, καθώς συνηθίζεται σε μία αποστολή να συμπεριλαμβάνονται δέματα από περισσότερους αγρότες στην περίπτωση που η παραγωγή ενός αγρότη δεν επαρκεί να συμπληρώσει ένα μόνο φορτίο. Για να επιτύχουν την αποστολή μέγιστου βάρους φορτίου και άρα το λιγότερο δυνατό κόστος ανά δέμα, οι αγρότες τις περισσότερες φορές συνεργάζονται στην αποστολή της βιομάζας.

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα βάρους, λαμβάνοντας υπόψιν την υγρασία που προστίθεται στο βάρος της ξηρής βιομάζας, το μέγιστο βάρος υπολογίζεται ίσο με 27 τόνους για τη μεταφορά αραβοσίτου και 14,7 για τη μεταφορά σίτου. Καμία από τις δύο περιπτώσεις δεν ξεπερνά το μέγιστο νόμιμο όριο.

Τα χρησιμοποιούμενα μεταφορικά μέσα έχουν μικτό ιδιοκτησιακό καθεστώς. Η μεταφορά μπορεί να γίνεται είτε με ιδιωτικά μέσα, είτε με την παροχή υπηρεσιών τρίτης ιδιωτικής εταιρίας. Επίσης, παρατηρείται πολύ συχνά, ένας ιδιώτης αγρότης να μεταφέρει τη βιομάζα που παρήγαγε ο ίδιος, καθώς και να εκτελεί χρέη μεταφορέα για άλλους αγρότες. Το ίδιο ισχύει επίσης και για τους εμπρόσθιους φορτωτές, οπού εδώ είναι ακόμα πιο συχνό το φαινόμενα ενοικίασης του μηχανήματος από άλλο αγρότη, ή από αντιπροσωπεία γεωργικών μηχανημάτων.

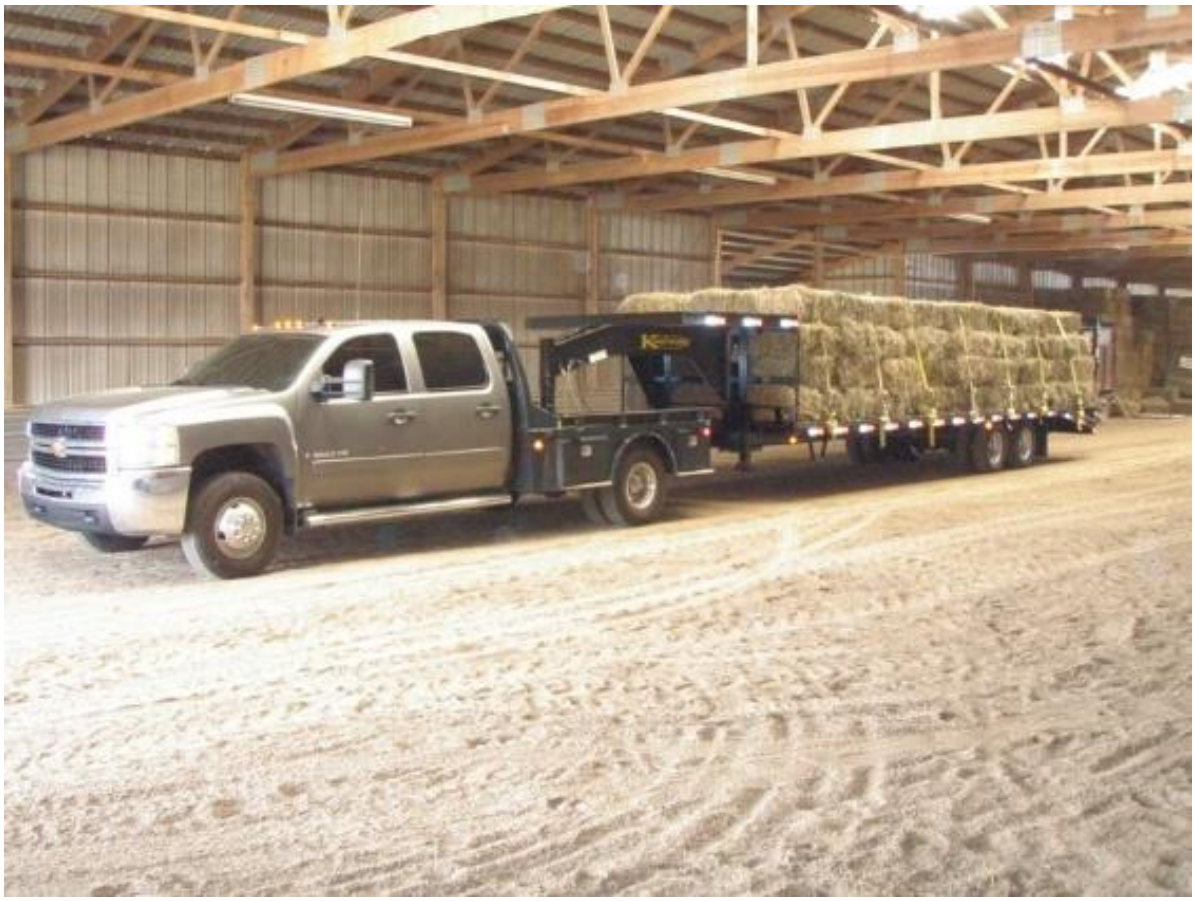
Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η ασφάλεια του φορτίου. Όπως είναι λογικό, το ύψος του φορτίου το καθιστά επισφαλές και η περίπτωση της ανατροπής του φορτίου είναι ένας πιθανός κίνδυνος. Ο πιο συχνός τρόπος ασφάλισης των δεμάτων είναι με τη χρήση ιμάντων με καστάνιες. Τοποθετούνται παράλληλα με τα δέματα και ο πιο συνηθισμένος κανόνας είναι η τοποθέτηση ενός ιμάντα ανά τρία μέτρα φορτίου. Επίσης, στις Ηνωμένες Πολιτείες αρκετοί κατασκευαστές παρουσιάζουν μεταφορικά οχήματα, τα οποία διασφαλίζουν τη σταθερότητα του φορτίου με τη χρήση υδραυλικών συστημάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.5-7.

7.5.2 Χρόνος φόρτωσης και μεταφοράς

Σύμφωνα με τη μελέτη “Productivity of Corn Stover Bale Handling Systems”, του Iowa State University,ένας εμπρόσθιος φορτωτής χρειάζεται 20 λεπτά για τη φόρτωση 36 μεγάλων τετράγωνων δεμάτων σε μία καρότσα πάτωμα. Επίσης, απαιτούνται ακόμα 15 λεπτά για την ασφάλιση του μεταφερομένου φορτίου. Άρα, σύμφωνα με τη μελέτη, συνολικά απαιτείται χρόνος 35 λεπτών για τη φόρτωση του μεγαλύτερου διαθέσιμου μεταφορικού μέσου. Τα ίδια περίπου στοιχεία λήφθηκαν και από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, αλλά και μέσω επικοινωνίας με αγρότες που δραστηριοποιούνται στην περιφέρεια Θεσσαλίας.

Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, η ταχύτητα των φορτωμένων μεταφορικών μέσων σε δύσβατο δρόμο (χωματόδρομο) είναι ίση με 30 km/h, ενώ σε ασφαλτωμένο δρόμο 70 km/h. Οι Rentizelas, Tolis, & Tatsiopoulos (2009) διαχωρίζουν την ταχύτητα του φορτηγού οχήματος, ανάλογα αν είναι άδειο ή αν μεταφέρει φορτίο. Θεωρούν πως το όχημα κινείται άδειο με ταχύτητα 50 km/h, ενώ γεμάτο με 40km/h. Λαμβάνοντας υπόψιν την κατάσταση των χωματόδρομων και των δρόμων στην Ελλάδα, αποφασίστηκε να ληφθούν ως δεδομένες οι ταχύτητες της δεύτερης μελέτης. Επίσης, σύμφωνα με το ίδιο επιστημονικό άρθρο, η μέγιστη απόσταση μεταφοράς είναι ίση με 40 km. Μετά από επικοινωνία με παραγωγούς που δραστηριοποιούνται στην πώληση βιομάζας, καταλήξαμε στο ίδιο αποτέλεσμα. Ακόμα, σύμφωνα με τις πληροφορίες που λάβαμε, η μεταφορά αντίστοιχων φορτίων με γεωργικό

ελκυστήρα πραγματοποιείται με 30 km/h, ταχύτητα ικανοποιητική, αν αναλογιστούμε ότι η μέγιστη ταχύτητα των μηχανημάτων αυτών είναι 40 km/h. Η θέσπιση μίας μέγιστης απόστασης οφείλεται στο γεγονός, πως κατά την περίοδο της συλλογής, οι αγρότες έχουν πολύ φορτωμένο πρόγραμμα, καθώς πέρα από το θερισμό και τη συλλογή των υπολειμμάτων, πρέπει να προετοιμάσουν και τα χωράφια για την επόμενη σοδειά. Αυτό περιορίζει τις χρονικές δυνατότητες τους για μεταφορά των υπολειμμάτων σε μακρινή απόσταση. Άρα, καταλήγουμε στο ότι η μέγιστη απόσταση μεταξύ αγρότη και ενδιάμεσης αποθήκης μπορεί να είναι ίση με 40 km. Οι συνέπειες αυτού του περιορισμού στο σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας θα φανούν παρακάτω, όπου και θα παρουσιαστεί το προτεινόμενο μοντέλο.



Εικόνα 7.5-1: Επιβατικό όχημα με ρυμουλκούμενη καρότσα

Εικόνα 7.5-2: Επικαθήμενο φορτηγό με καρότσα πάτωμα

Εικόνα 7.5-3: Αρθρωτό φορτηγό

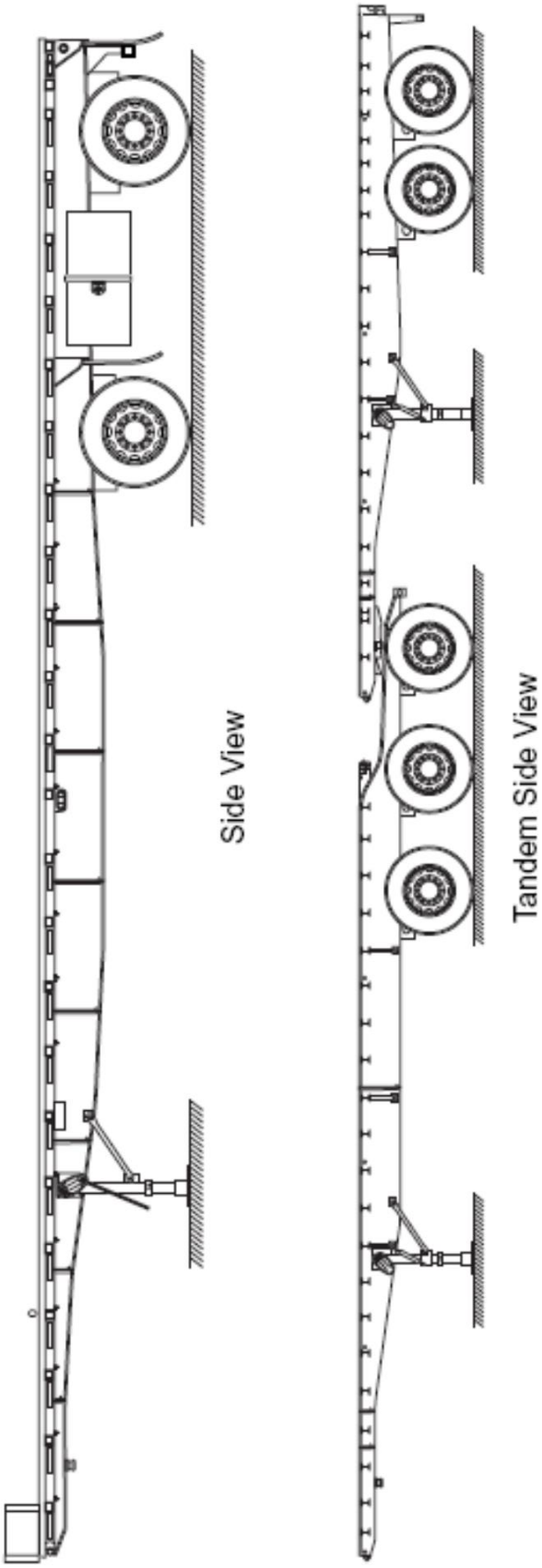
Εικόνα 7.5-4: Γεωργικός ελκυστήρας με ρυμουλκούμενη καρότσα

Εικόνα 7.5-5: Φόρτωση τετράγωνων δεμάτων σε καρότσα πάτωμα

Εικόνα 7.5-6: Σταθεροποίηση φορτίου με ιμάντες

Εικόνα 7.5-7: Σταθεροποίηση δεμάτων με υδραυλικό σύστημα

Εικόνα 7.5-8: Μεταφορά και στοίβαξη τετράγωνων δεμάτων



Εικόνα 7.5-9: Καρότσα πάτωμα

7.5.3 Κόστος συλλογής και μεταφοράς βιομάζας

Ο υπολογισμός του κόστους συλλογής δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι συνήθως ο πάροχος υπηρεσιών που θα αναλάβει τη συλλογή των υπολειμμάτων, θα αναλάβει και τη φόρτωση τους στο μεταφορικό μέσο, οπότε και δίνει μία τιμή για το σύνολο της διαδικασίας και όχι για κάθε επιμέρους δραστηριότητα. Ακόμα, πολλές φορές ένας αγρότης που θα ζητήσει συλλογή των υπολειμμάτων των χωραφιών του, θα διαθέτει αγροτεμάχια σε διάφορες περιοχές και όχι απαραίτητα πολύ κοντά μεταξύ τους. Αυτό περιπλέκει τον υπολογισμό του κόστους, καθώς ο ιδιοκτήτης των μηχανημάτων που θα αναλάβει τη συλλογή θα συμπεριλάβει στην τιμή και τα μεταφορικά κόστη, όχι απαραίτητα με βάση κάποια συγκεκριμένη τιμολόγηση, αλλά συνήθως εμπειρικά. Από επικοινωνία με παραγωγούς που πραγματοποιούν τέτοιες δραστηριότητες για λογαριασμό άλλων αγροτών, λάβαμε το εύρος τιμής 40 – 60 € ανά φορτίο 36 δεμάτων ή περίπου 1,4 € ανά δέμα. Με βάση αυτό το κόστος, μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος φόρτωσης ίσο με 609.595 € για τα δέματα αραβοσίτου και 311.132 € για τα δέματα σίτου.

Ακόμα, δύσκολος είναι επίσης ο υπολογισμός του κόστους μεταφοράς, καθώς εξαρτάται άμεσα από το βάρος του φορτίου. Στοιχεία από παρόμοιες εφαρμογές δεν υπάρχουν, καθώς δεν έχουν πραγματοποιηθεί, τουλάχιστον σε τέτοια κλίμακα. Για τον υπολογισμό των τιμών θα βασιστούμε στις τιμές που πληρώνει η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης για την προμήθεια ζαχαρότευτλων, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα.

Ζαχαρότευτλα							
	Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)		Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)
1	3.95	0	15	**8**	6.3	50	60
2	4.45	15	20	**9**	6.8	60	70
3	4.7	20	25	**10**	7.3	70	80
4	4.94	25	30	**11**	7.8	80	90
5	5.19	30	35	**12**	8.3	90	100
6	5.44	35	40	**13**	9	100	120
7	5.8	40	50	**14**	10.02	120	140

Πίνακας 7.5-2: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου ζαχαρότευτλων

Εξαιτίας της διαφορετικής πυκνότητα των ζαχαρότευτλων, είναι και διαφορετικό το βάρος του φορτίου που μεταφέρεται. Οπότε, βασιζόμενοι στο γεγονός πως μία καρότσα δεμάτων ζαχαρότευτλων 13 μέτρων με ίδια στοίβαξη ζυγίζει περίπου 30 τόνους, μπορούμε να αναγάγουμε τις παραπάνω τιμές για τη μεταφορά δεμάτων σίτου και αραβοσίτου, σύμφωνα με το βάρος του φορτίου που υπολογίστηκε παραπάνω. Η αναγωγή δε θα είναι ίση με το ανάλογο της χρέωσης, καθώς αυτό θα είναι ασύμφορο για τον αγρότη, λόγω του ότι θα κάνει την ίδια διαδρομή, αλλά με ένα φορτίο πολύ χαμηλότερης πυκνότητας. Η αναγωγή θα είναι ίση με το αντιστρόφως ανάλογο της χρέωσης. Ακολουθώντας την μέθοδο αυτή λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα:

Αραβόσιτος							
	Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)		Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)
1	7.62	0	15	**8**	12.15	50	60
2	8.59	15	20	**9**	13.12	60	70
3	9.07	20	25	**10**	14.08	70	80
4	9.53	25	30	**11**	15.05	80	90
5	10.01	30	35	**12**	16.01	90	100
6	10.50	35	40	**13**	17.36	100	120
7	11.19	40	50	**14**	19.33	120	140

Πίνακας 7.5-3: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων αραβοσίτου

Σιτάρι							
	Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)		Χρέωση (€)	Από (km)	Μέχρι (km)
1	10.16	0	15	**8**	16.21	50	60
2	11.45	15	20	**9**	17.50	60	70
3	12.09	20	25	**10**	18.78	70	80
4	12.71	25	30	**11**	20.07	80	90
5	13.35	30	35	**12**	21.36	90	100
6	14.00	35	40	**13**	23.16	100	120
7	14.92	40	50	**14**	25.78	120	140

Πίνακας 7.5-4: Χρέωση για τη μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων σίτου

Οι παραπάνω πίνακες αποτυπώνουν το κόστος που θα καταβάλει το εργοστάσιο ανά τόνο και απόσταση, για τη μεταφορά της βιομάζας από το αγρόκτημα στην ενδιάμεση αποθήκη. Η χρέωση αυτή θα είναι σταθερή, ανεξαρτήτως από ποιον γίνεται η μεταφορά, είτε από τον ίδιο τον αγρότη που έκανε τη συλλογή, είτε από κάποιον τρίτο που ανέλαβε τη μεταφορά. Το συνολικό κόστος της μεταφοράς των υπολειμμάτων θα υπολογιστεί παρακάτω, όταν και προσδιοριστούν οι θέσεις των ενδιάμεσων αποθηκών.

7.6 Αποθήκευση της βιομάζας

Το τρίτο σκέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας περιλαμβάνει την αποθήκευση των υπολειμμάτων σίτου και αραβοσίτου. Σύμφωνα με τους Gold & Seuring (2011), ο λόγος για τον οποίο αποθηκεύεται η βιομάζα είναι για να καλυφθούν η ανάγκες της μονάδας βιομετατροπής. Η επιστημονική, αλλά και η αγροτική κοινότητα μέσω δημοσιεύσεων σε περιοδικά, έχει επιδείξει αρκετό ενδιαφέρον στην ανάλυση αυτού του σκέλους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σύμφωνα με τους Gold & Seuring (2011), τα ζητήματα που αφορούν το θέμα της αποθήκευσης συνοψίζονται στα εξής: λόγοι για τους οποίους απαιτείται αποθήκευση της βιομάζας, επιλογές αποθηκευτικού συστήματος, κόστος και ρίσκο της αποθήκευσης. Επίσης, οι Ebadian, Sowlati, & Sokhansanj (2013) τονίζουν τη σημαντικότητα της αποθήκευσης της βιομάζας και αναφέρουν πως περιλαμβάνει αρκετές πολύπλοκες αποφάσεις, καθώς πολλές φορές βρίσκεται αντιμέτωπη με τα αντικρουόμενα συμφέροντα των παραγωγών και της διοίκησης του εργοστασίου.

7.6.1 Μέθοδος αποθήκευσης βιομάζας

Για του αγρότες και του παραγωγούς, ο ιδανικός τόπος αποθήκευσης των υπολειμμάτων θα ήταν στο χώρο παραγωγής τους. Λόγω όμως του γεγονότος πως το χωράφι θα πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμο για τη νέα περίοδο, αυτή η πιθανότητα απορρίπτεται. Παρόλο που, από μερικούς ερευνητές παρουσιάζεται η εναλλακτική της αποθήκευσης των δεμάτων σε σημεία του αγροτεμαχίου που δεν χρησιμοποιούνται γιατί είναι πολύ κοντά στο δρόμο, όπου το έδαφος δεν ενδείκνυται για καλλιέργεια (Cundiff, Dias, & Sherali, 1997), αλλά και επειδή δεν παρουσιάζει την ανάγκη μεταφοράς μακριά από το χώρο παραγωγής και άρα μείωση του συνολικού κόστους (Allen, Browne, & Hunter, 1998), μία τέτοια τακτική δε θα ήταν αποτελεσματική, καθώς θα οδηγούσε σε τεράστια γεωγραφική διασπορά της πρώτης ύλης, και άρα μεγάλα προβλήματα στη συλλογή της. Μία άλλη εναλλακτική που προτείνουν μερικοί ερευνητές, περιλαμβάνει την αποθήκευση της βιομάζας στο χώρο του εργοστασίου παραγωγής βιοαιθανόλης (Allen, Browne, & Hunter, 1998). Η μικρή περίοδος συλλογής των

υπολειμμάτων (60 ημέρες για κάθε είδος), οδηγεί στη συλλογή πολύ μεγάλων αποθεμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα, τα οποία επιπρόσθετα παρουσιάζουν πολύ μικρό ρυθμό ανάλωσης. Αυτό δημιουργεί ανάγκη για πολύ μεγάλο αποθηκευτικό χώρο κοντά στο εργοστάσιο, κάτι που είναι αδύνατο να βρεθεί τόσο γενικά, όσο και στην περίπτωση των συνθηκών του παρόντος έργου.

Μέχρι τώρα, απορρίφθηκαν δύο εναλλακτικές επιλογές για την αποθήκευση της βιομάζας. Η πρώτη περιελάβανε την αποθήκευση στο χωράφι όπου συλλέγονται τα υπολείμματα και η δεύτερη την αποθήκευση της βιομάζας στο χώρο του εργοστασίου. Σύμφωνα με τους Iakovou, Karagiannidis, Vlachos, Toka, & Malamakis (2010), η τρίτη πιθανή επιλογή είναι να αποθηκευτούν τα υπολείμματα σε ενδιάμεσους αποθηκευτικούς χώρους, και να μεταφερθούν στο εργοστάσιο, όταν αυτό απαιτηθεί. Η επιλογή αυτή έχει μελετηθεί αρκετά στη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Οι Eksioglou, Li, Zhang, Sokhansanj, & Petrolia (2010) εξετάζουν την κατασκευή ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου σε σημείο, όπου έχουν πρόσβαση παραπάνω από ένα μέσα μεταφοράς (σταθμός τρένου ή λιμάνι). Αυτό όμως στην περίπτωση του έργου δεν είναι εφικτό, καθώς ένα πολύ μικρό κομμάτι της Θεσσαλίας εξυπηρετείται από σιδηροδρομικό δίκτυο. Ο Ravula (2007) επισημαίνει πως η κατασκευή ενδιάμεσων αποθηκών (Satellite Storage), αποτελεί την ιδανική επιλογή για την αποθήκευση της βιομάζας. Σε αυτή την επιλογή καταλήγει και η μελέτη που έγινε για τις ανάγκες του έργου. Αρχικά, η αποθήκευση σε ενδιάμεσες αποθήκες οδηγεί στον καταμερισμό του συνολικού αποθέματος, το οποίο είναι αδύνατο να αποθηκευτεί σε ένα μόνο σημείο. Πέρα από την αδυναμία εύρεσης αποθηκευτικού χώρου τέτοιων διαστάσεων από το εργοστάσιο παραγωγής, ο μεγάλος κατακερματισμός της αγροτικής γης στη Θεσσαλία, καθιστά αδύνατη την εύρεση ενός ενιαίου χώρου, ικανού να φιλοξενήσει την ποσότητα των υπολειμμάτων. Επίσης, η δορυφορική τοποθέτηση των αποθηκών, είναι απαραίτητη, ώστε να μπορούν οι αγρότες ή οι παραγωγοί που διαχειρίζονται την εκάστοτε βιομάζα, να τη μεταφέρουν στον αποθηκευτικό χώρο. Οι υψηλές απαιτήσεις καθημερινής ασχολίας με την αγροτική γη κατά την περίοδο του θερισμού, καθιστά δύσκολη τη δυνατότητα μεταφοράς της βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω του συνολικού χρόνου που απαιτείται. Επιπλέον εμπόδιο σε αυτό, αποτελεί η χαμηλή πυκνότητα των υπολειμμάτων σίτου και αραβοσίτου, καθώς μειώνει τη συνολική ποσότητα που είναι ικανή να μεταφερθεί σε μία διαδρομή. Ακόμα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο περιορισμός στη μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί, λόγω πρώτον, του μεταφερόμενου βάρους και των χρησιμοποιούμενων μεταφορικών μέσων, αλλά και δεύτερον, του οδικού συστήματος, προσθέτει επιπλέον εμπόδιο στη μακρινή μεταφορά της βιομάζας. Ο περιορισμός της μέγιστης

διανυόμενης απόστασης που τίθεται από τους αγρότες πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν, καθώς αποτελούν τη μόνη πηγή προμήθειας πρώτων υλών. Αντίθετα, η μεταφορά της βιομάζας από τις ενδιάμεσες αποθήκες στο εργοστάσιο, δεν αντιμετωπίζει περιορισμό στη διανυόμενη απόσταση, καθώς θα τη διαχειρίζεται τρίτος πάροχος υπηρεσιών. Τέλος, ένα ακόμα πλεονέκτημα που παρουσιάζει η αποθήκευση σε περιφερειακά σημεία σε σχέση με τη μέθοδο αποθήκευσης στο σημείο συλλογής, είναι το ότι σε κάθε ενδιάμεση αποθήκη, η συνολική ποσότητα θα είναι πολύ μεγαλύτερη και άρα, λόγω εμφάνισης οικονομιών κλίμακας, καθίσταται οικονομικότερη η διαχείριση της.

7.6.2 Τρόπος αποθήκευσης

Οι διαθέσιμες επιλογές για την αποθήκευσης της βιομάζας είναι πολλές. Ανάλογα με την περίπτωση, οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να προσαρμοστούν ή και να συνδυαστούν με στόχο την καλύτερη προστασία των δεμάτων των υπολειμμάτων. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αποθήκευσης είναι οι εξής:

- Στοίβαξη δεμάτων στο έδαφος χωρίς κάλυψη
- Κάλυψη κάθε δέματος με πλαστικό (αναερόβια κάλυψη) και στοίβαξη στο έδαφος
- Στοίβαξη καλυμμένων ή ακάλυπτων δεμάτων σε ξηρό υπόστρωμα
- Στοίβαξη δεμάτων κάτω από στέγαστρο
- Κάλυψη των δεμάτων ανά μπλοκ και στοίβαξη στο έδαφος

Κατά την επιλογή μεθόδου πρέπει να ληφθούν υπόψιν διάφοροι παράγοντες. Σύμφωνα με τη δημοσίευση “Corn Stover Storage Methods”, του Iowa State University, οι παράγοντες που πρέπει να καθορίσουν την επιλογή του τρόπου αποθήκευσης των δεμάτων υπολειμμάτων είναι οι εξής:

- Διατήρηση των δεμάτων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης τους
- Κόστος εφαρμογής αποθηκευτικού τρόπου
- Ευκολία πρόσβασης στον αποθηκευτικό χώρο

Ο πρώτος παράγοντας αφορά τη διατήρηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπολειμμάτων καθ’ όλη τη διάρκεια της διατήρησης τους στον αποθηκευτικό χώρο, μέχρις ότου μεταφερθούν στο εργοστάσιο για να μετατραπούν σε βιοαιθανόλη. Η διατήρηση των ποσοτικών χαρακτηριστικών των δεμάτων συνδέεται με τις απώλειες υλικού που θα σημειωθούν. Οι απώλειες του υλικού οφείλονται κυρίως στην έκθεση του σε καιρικά φαινόμενα. Ο αέρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να αναπτύξει υψηλές ταχύτητες και

να αφαιρέσει κομμάτια από τα δέματα, τα οποία μετά είναι αδύνατο να συλλεχθούν. Επίσης, τα καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν ιδιαίτερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δεμάτων. Μετά τα μέσα Οκτωβρίου, αρχίζει η περίοδος των βροχών και διαρκεί για τουλάχιστον 6 μήνες. Η παρατεταμένη βροχή αυξάνει την υγρασία των δεμάτων και μειώνει έτσι την ποιότητα της βιομάζας. Επίσης, κατά την καλοκαιρινή περίοδο η παρατεταμένη έκθεση των δεμάτων στον ήλιο μειώνει την ενεργειακή τους απόδοση, αλλά εγκυμονεί και κινδύνους αυτανάφλεξης. Επίσης, ένα άλλο ζήτημα που επηρεάζει τη διατήρηση των δεμάτων είναι ο τρόπος στοίβαξης τους. Ακόμα, τα κυλινδρικά δέματα μειονεκτούν σημαντικά σε αυτό το θέμα καθώς λόγω της μορφής τους, απαιτούν κατάλληλες στηρίξεις στα δέματα της πρώτης στρώσης, ώστε να διασφαλιστεί ότι αυτά δε θα υποχωρήσουν και θα καταρρεύσουν υπό το βάρος τους. Επίσης, λόγω της μορφής τους, δεν είναι δυνατό να στοιβαχτούν σε πολλές στρώσεις, καθώς τείνουν να αρχίζουν να χάνουν τη μορφή τους και να υποχωρούν προς τα κενά που σχηματίζονται ανάμεσα τους. Το γενικό όριο στοίβαξης είναι οι 3 στρώσεις ή περίπου 3,5 μέτρα με πυραμοειδή μορφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αποθήκευση των δεμάτων να γίνεται κατά μήκος και όχι καθ' ύψος, οδηγώντας στην ανάγκη εύρεσης αποθηκευτικών χώρων μεγάλης επιφάνειας. Αντίθετα, τα τετράγωνα δέματα παρουσιάζουν πολύ καλύτερη στατική όταν στοιβάζονται, κάτι που επιτρέπει την αποθήκευση τους σε στρώσεις που μπορούν να φτάσουν και τα 6 μέτρα σε ύψος.

Το κόστος της εφαρμογής της μεθόδου αποτελεί έναν ευνόητο παράγοντα. Οι διάφορες μέθοδοι μπορούν να έχουν πολύ μεγάλη διαφορά κόστους, από την εναπόθεση των ακάλυπτων δεμάτων στο έδαφος, που έχει σχεδόν μηδενικό κόστος, μέχρι το δυσανάλογο κόστος της κατασκευής αποθήκης. Επίσης, ανάλογα με το σύστημα αποθήκευσης που επιλέγεται, μεταβάλλεται και το κόστος του αποθηκευτικού χώρου, αλλά και του εργατικού κόστους για την αποθήκευση και διαχείριση.

Η ευκολία πρόσβασης παίζει σημαντικό ρόλο για να διασφαλιστεί η συνεχής και απρόσκοπτη παροχή πρώτης ύλης στο εργοστάσιο. Ο παράγοντας αυτός παίζει πολύ μεγάλο ρόλο ειδικά σε περιοχές, όπου ο χειμώνας είναι μεγάλης διάρκειας και τα καιρικά φαινόμενα πολύ έντονα, με αποτέλεσμα πολλές περιοχές να μην είναι προσβάσιμες από βαρέα μηχανήματα για μεγάλες χρονικές περιόδους, κάτι που συμβαίνει συχνά στο βόρειο τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών και στον Καναδά. Η Ελλάδα δεν αποτελεί μία από αυτές τις περιπτώσεις, καθώς δεν παρουσιάζονται τόσο παρατεταμένα και ακραία φαινόμενα, αλλά παρόλα αυτά, οι έντονες βροχοπτώσεις είναι ικανές να αποκλείσουν αρκετά αγροτεμάχια, λόγω της υπερχείλισης των

χωματόδρομων. Αυτός ο παράγοντας είναι πολύ σημαντικός για την επιλογή της θέσης των αποθηκών, όπου πρέπει να προτιμηθούν τοποθεσίες κοντά σε οδικές αρτηρίες.

7.6.2.1 Στοίβαξη δεμάτων στο έδαφος χωρίς κάλυψη

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο απλή και φθηνή από όλες τις άλλες εναλλακτικές. Περιλαμβάνει τη μεταφορά των δεμάτων στην ενδιάμεση αποθήκη και εναπόθεση τους στο έδαφος, χωρίς κανενός είδους κάλυψη. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως για την αποθήκευση στρογγυλών δεμάτων χορταριού. Μετά τις πρώτες βροχές, το χορτάρι που βρίσκεται στο εξωτερικό σχηματίζει έναν σκληρό φλοιό, αποτρέποντας έτσι το νερό της βροχής να εισέλθει στο εσωτερικό της μπάλας και να φθείρει περαιτέρω το δέμα. Στην περίπτωση όμως των αγροτικών υπολειμμάτων, κάτι τέτοιο δε συμβαίνει και το δέμα εκτίθεται στη βροχή. Στην περίπτωση των στρογγυλών δεμάτων, η πυραμοειδής στοίβαξη προσφέρει κάποια αρχική προστασία, καθώς το νερό ρέει πάνω στην κυλινδρική μορφή των δεμάτων και κατεβαίνει προς το έδαφος. Παρόλα αυτά, αυτό δεν προσφέρει μακροπρόθεσμη ασφάλεια, καθώς μετά από μερικές μέρες βροχής το νερό αρχίζει να λιμνάζει στα σημεία όπου ακουμπούν τα δέματα, υποβάλλοντας τα έτσι σε συνεχή επαφή με το νερό.

Εικόνα 7.6-1: Στοίβαξη ακάλυπτων στρογγυλών δεμάτων στο έδαφος

Στην περίπτωση των τετράγωνων δεμάτων, η επιλογή αυτή δημιουργεί ακόμα μεγαλύτερα προβλήματα. Η βροχή λιμνάζει πολύ γρήγορα στα δέματα στην κορυφή της στοίβας,

καταστρέφοντας τα σε μικρό χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, η υγρασία που αναπτύσσεται αρχίζει να προχωρά προς τα δέματα των κατώτερων στρώσεων. Επίσης, ο αέρας αφαιρεί αρκετό από το υλικό και το καθιστά μη επανασυλλέξιμο. Μετά από την περίοδο των βροχών, τα δέματα στην πάνω στρώση της στοίβας είναι διαμελισμένα και μη διαχειρίσημα, δημιουργώντας έτσι δυσκολίες στο χειρισμό και των υπόλοιπων δεμάτων.

Εικόνα 7.6-2: Στοίβαξη ακάλυπτων τετράγωνων δεμάτων στο έδαφος

Όσον αφορά στο κόστος της εφαρμογής της παραπάνω μεθόδου, υπερτερεί σε σχέση με τις άλλες μεθόδους στο θέμα των εργατικών για την αποθήκευση, καθώς το μόνο κόστος που απαιτείται είναι για το χειρισμό τους. Αντίθετα όμως, δημιουργεί επιπλέον έξοδα, λόγω των υψηλών απωλειών που παρουσιάζει, οι οποίες κυμαίνονται από 5 μέχρι και 61% (Saxe, 2007), ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και το χρόνο αποθήκευσης.

7.6.2.2 Κάλυψη κάθε δέματος με πλαστικό υλικό (αναερόβια κάλυψη) και στοίβαξη στο έδαφος

Μία άλλη επιλογή για την αποθήκευση των δεμάτων είναι η αναερόβια κάλυψη των δεμάτων και η στοίβαξη τους στο έδαφος. Η διαδικασία της αναερόβιας κάλυψης των δεμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί αμέσως μετά την εξαγωγή του δέματος από τη χορτοδετική πρέσα. Το δέμα εισέρχεται σε ένα δεύτερο μηχάνημα το οποίο ρυμουλκείται από αυτή, και εφαρμόζει την επικάλυψη (Εικόνα 7.6-3). Η διαδικασία πραγματοποιείται και αφού ολοκληρωθεί η δεματοποίηση. Τα στρογγυλά δέματα καλύπτονται συνήθως μεμονωμένα ή ανά τρία. Τα τετράγωνα δέματα αποθηκεύονται συνήθως ανά περισσότερα τεμάχια χρησιμοποιώντας

κατάλληλο μηχάνημα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.6-4. Η μέθοδος αυτή παρέχει ασφάλεια από την υγρασία και προστατεύει το δέμα από τα καιρικά φαινόμενα. Στην περίπτωση των γεωργικών υπολειμμάτων, τα οποία αποτελούνται από αιχμηρά κομμάτια, παρατηρείται το φαινόμενο του σκισίματος του πλαστικού καλύμματος. Αυτό αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή επιπλέον στρώσεων.

Εικόνα 7.6-3: Κάλυψη στρογγυλού δέματος με πλαστικό κάλυμμα

Εικόνα 7.6-4: Κάλυψη σειρά τετράγωνων δεμάτων δύο στρώσεων με πλαστικό κάλυμμα

Εικόνα 7.6-5: Κάλυψη σειράς στρογγυλών δεμάτων με πλαστικό κάλυμμα

Το κόστος της δεματοποίησης εξαρτάται από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, αλλά και από την ποιότητα του πλαστικού καλύμματος. Σύμφωνα με το άρθρο, “Corn Stover Storage Methods”, του Iowa State University, το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 7,78 – 11,02$ ανά τόνο.

Σύμφωνα όμως με την ίδια μελέτη, το υψηλό κόστος που παρουσιάζει η συγκεκριμένη επιλογή αποθήκευσης, την κάνει προτιμητέα για την προστασία προϊόντων υψηλής αξίας, όπως υπολειμμάτων που προορίζονται για ζωοτροφή, ή για αγροτικά προϊόντα υψηλής αξίας και αυξημένου κινδύνου από την υγρασία, όπως η μηδική. Επίσης, όσον αφορά την προστασία του προϊόντος, η χρήση της ενδείκνυται για προϊόντα που τόσο από τη συλλογή τους, αλλά και κατά την αποθήκευση τους, φτάνουν σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, όπως η μηδική ή το βαμβάκι. Για την περίπτωση των υπολειμμάτων αραβοσίτου και σίτου, η λύση αυτή χαρακτηρίζεται ως ακριβή.

Οι απώλειες υλικού για τη συγκεκριμένη μέθοδο κυμαίνονται μεταξύ 4 – 7%, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τη διάρκεια της αποθήκευσης των δεμάτων.

7.6.2.3 Στοίβαξη καλυμμένων ή ακάλυπτων δεμάτων σε ξηρό υπόστρωμα

Η στοίβαξη των δεμάτων σε ξηρό υπόστρωμα είναι μία τακτική, που αποτρέπει τα δέματα να έρθουν σε επαφή με το χώμα. Το χώμα τείνει να παραμένει υγρό καθ’ όλη τη διάρκεια των βροχών και έτσι τα δέματα που ακουμπούν σε αυτό αναπτύσσουν υψηλά επίπεδα υγρασίας. Το ξηρό υπόστρωμα εξαλείφει αυτή την επαφή και δεν ευνοεί την ανάπτυξη υγρασίας στα υπολείμματα.

Το ξηρό υπόστρωμα μπορεί να αποτελείται από χαλίκι, από παλέτες, ή λάστιχα. Η χρήση ξηρού υποστρώματος από χαλίκι εγκυμονεί κινδύνους, καθώς τα χαλίκια μπορούν να εισχωρήσουν μέσα στο δέμα και να προκαλέσουν φθορά στα μηχανήματα επεξεργασίας των υπολειμμάτων του εργοστασίου. Επίσης, καθιστά την αγροτική γη ακατάλληλη για καλλιέργεια, καθώς το χαλίκι δεν είναι εύκολο να αφαιρεθεί πλήρως από το έδαφος και μπορεί να δημιουργήσει ζημιά στη θεριστική μηχανή. Τα λάστιχα είναι επικίνδυνα για τη στατική των δεμάτων, όταν αυτά στοιβάζονται σε πολλές σειρές, όπως στην περίπτωση του έργου. Τέλος, οι παλέτες αποτελούν μία καλή επιλογή, καθώς εξασφαλίζουν ευθύ υπόστρωμα για τα λάστιχα, έχουν εύκολη τοποθέτηση και αφαίρεση, και επίσης παρουσιάζουν χρόνο ζωής μέχρι και 4 χρόνια για τέτοιες εφαρμογές.

Παρόλο που οι παραπάνω μέθοδοι έχουν κάποια μειονεκτήματα, πειράματα του University of Minnesota (Saxe, 2007), έδειξαν πως η απουσία επαφής των δεμάτων με το υγρό χώμα μπορεί να μειώσει την υγρασία που αναπτύσσεται στην κατώτερη στρώση δεμάτων μέχρι και 50%.

Το κόστος της παραπάνω μεθόδου εξαρτάται άμεσα από το υλικό που επιλέγεται για να διαμορφωθεί το ξηρό υπόστρωμα. Για την αποθήκευση των δεμάτων στο συγκεκριμένο έργο,

θα χρησιμοποιηθούν μεταχειρισμένες παλέτες, των οποίων το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 3 € ανά παλέτα. Καθώς θα χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός παλετών, θεωρούμε το κόστος ίσο με 2,5 € ανά παλέτα, λόγω οικονομίας κλίμακας κατά την αγορά.

7.6.2.4 Στοίβαξη δεμάτων κάτω από στέγαστρο

Η αποθήκευση των δεμάτων σε αποθήκη, η οποία καλύπτεται από στέγαστρο, αποτελεί προφανώς την πιο ασφαλή επιλογή. Το στέγαστρο προστατεύει πλήρως τα υπολείμματα από τη βροχή και τον αέρα, καθιστώντας το την πιο ασφαλή επιλογή για την αντιμετώπιση της υγρασίας.

Υπάρχουν δύο είδη στεγάστρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το πρώτο αποτελείται από μία τοξωτή κατασκευή, διαστάσεων 25 m πλάτος και 50 m μήκος. Πάνω στα τόξα τοποθετείται κάλυμμα από πολυαιθυλένιο. Η διάρκεια ζωής των εν λόγω κατασκευών υπολογίζεται γύρω στα 15 χρόνια. Η δεύτερη πιθανή επιλογή περιλαμβάνει την αποθήκευση σε κλασικές αποθήκες, που προστατεύονται από στερεό στέγαστρο. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται η μέγιστη προστασία από την υγρασία και τα καιρικά φαινόμενα. Οι απώλειες είναι λιγότερες από 2%, κάτι εντυπωσιακό για τις καιρικές συνθήκες που παρουσιάζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Επίσης, δεν παρατηρείται σχεδόν καμία αυξομείωση της υγρασίας των υπολειμμάτων, κάτι θετικό για την ποιότητα των υπολειμμάτων.

Εικόνα 7.6-6: Κάλυψη τετράγωνων δεμάτων σε στέγαστρο

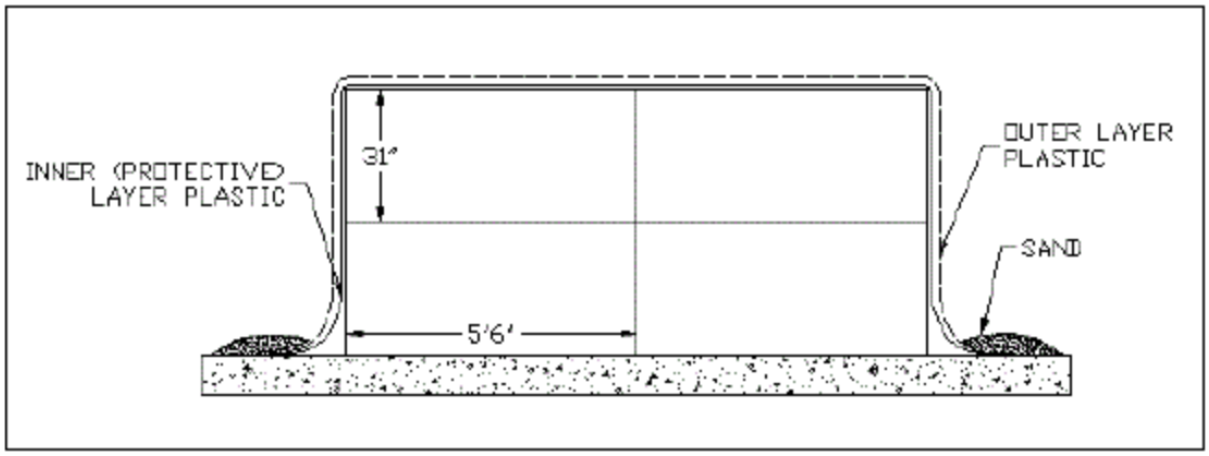
Παρόλα αυτά δύο λόγοι καθιστούν αυτή την επιλογή επισφαλή για τις ανάγκες του έργου. Αρχικά παρουσιάζει πολύ υψηλό κόστος. Μπορεί να προσφέρει μεγάλη προστασία, αλλά για

τις ποσότητες που πρόκειται να αποθηκευτούν για τις ανάγκες του έργου, το κόστος υπολογίζεται δυσανάλογο. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, το κόστος της πρώτης επιλογής υπολογίζεται σε 14,12$ ανά τόνο, ενώ της δεύτερης, λόγω χρόνου ζωής που μπορεί να πλησιάσει τα 30 χρόνια, στα 12,78$ ανά τόνο. Πέρα από το υψηλό κόστος, η παραπάνω επιλογή χαρακτηρίζεται από στατική θέση, καθώς η κατασκευή τους δε μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη τοποθεσία. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποθήκευσης, καθώς η τοποθεσία των ενδιάμεσων αποθηκών εξαρτάται άμεσα από την παραγωγή των δημοτικών ενοτήτων της Θεσσαλίας. Όμως, η επιλογή των καλλιεργούμενων αγροτικών προϊόντων από τους αγρότες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η διεθνής τιμή του προϊόντος, η ζήτηση στην εγχώρια αγορά, αλλά και η τιμή προμήθειας του σπόρου. Οι παραπάνω παράγοντες δεν είναι σταθεροί, ακόμα και μέσα σε μικρές περιόδους και αυτό συνεπάγεται τη συνεχή αλλαγή του ύψους της παραγωγής των υπολειμμάτων κάθε δημοτικής ενότητας. Για αυτό το λόγο, το μοντέλο που προσδιορίζει τις θέσεις των αποθηκών και θα παρουσιαστεί παρακάτω, θα πρέπει να εφαρμόζεται κάθε φορά με βάση τα νέα δεδομένα, και προφανώς, θα προτείνει νέες τοποθεσίες για την τοποθέτηση των αποθηκών. Αυτό απαιτεί από τους αποθηκευτικούς χώρους να είναι ευμετάβλητοι και να μην εξαρτώνται από τη φυσική τοποθεσία της γεωγραφικής θέσης τους. Για τους παραπάνω λόγους, η αποθήκευση των υπολειμμάτων σε σταθερές αποθήκες δεν γίνεται να επιλεγεί για τις ανάγκες του έργου.

7.6.2.5 Κάλυψη των δεμάτων ανά μπλοκ και στοίβαξη στο έδαφος

Η κάλυψη των δεμάτων ανά μπλοκ στο έδαφος αποτελεί ουσιαστικά έναν συνδυασμό της κάλυψης κάθε δέματος ξεχωριστά και της αποθήκευσης των δεμάτων κάτω από μία αποθήκη. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη στοίβαξη των δεμάτων σε ύψος που μπορεί να φτάσει και τα 6 μέτρα για τα τετράγωνα δέματα και σε μήκος όσο είναι ουσιαστικά διαθέσιμο. Κατόπιν, τοποθετείται πάνω από το μπλοκ δεμάτων που σχηματίζεται ένα κάλυμμα από πολυαιθυλένιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προστασία των δεμάτων από τη βροχή, καθώς το κάλυμμα έχει πάχος περίπου 2 εκατοστών, αλλά και την προστασία των δεμάτων από την ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας λόγω υψηλής ηλιοφάνειας. Το δεύτερο επιτυγχάνεται λόγω του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το κάλυμμα, το οποίο προσφέρει προστασία από το υπεριώδες φως. Επίσης, με κατάλληλη στοίβαξη των δεμάτων μπορεί να δοθεί στο μπλοκ μία τοξωτή μορφή, η οποία αποτρέπει το νερό από το να λιμνάζει στην πάνω στρώση των δεμάτων. Το κάλυμμα μπορεί να στερεωθεί στο έδαφος με διάφορους τρόπους, όπως με τσουβάλια από άμμο ή με σιδερένιους σωλήνες. Το αποτέλεσμα της παραπάνω μεθόδου είναι να διατηρεί την υγρασία των υπολειμμάτων στα επίπεδα που ήταν κατά τη διάρκεια της δεματοποίησης τους.

Εικόνα 7.6-7: Κάλυψη δεμάτων ανά μπλοκ και στοίβαξη στο έδαφος



Εικόνα 7.6-8: Σκαρίφημα μεθόδου αποθήκευσης

Ο συνδυασμός της παραπάνω μεθόδου με την τεχνική του ξηρού υποστρώματος, αποτελεί ουσιαστικά τη βέλτιστη μέθοδο για τη διατήρηση των δεμάτων. Σύμφωνα με τον Saxe (2007), η μέθοδος αυτή είχε συνολικές απώλειες 4 – 10 %. Το νούμερο αυτό είναι μικρό για τα δεδομένα του χειμώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σύμφωνα με τη μελέτη "Corn Stover Storage Methods", οι συνολικές απώλειες μπορούν να μειωθούν ακόμα περισσότερα με τη προσθήκη ξηρού υποστρώματος. Για τον υπολογισμό της συνολικής απώλειας ξηρής βιομάζας της παραπάνω μεθόδου με βάση τα ελληνικά δεδομένα, ήρθαμε σε επικοινωνία με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που λάβαμε, η εφαρμογή μίας τέτοιας μεθόδου οδηγεί σε πολύ χαμηλές απώλειες, μικρότερες από 4 %.

Σύμφωνα με την τελευταία μελέτη, το κόστος του καλύμματος υπολογίζεται στα 0,23$/ft^2, περίπου 2,30$/m^2 ή 2,20$ ανά τόνο, καταλήγοντας πως αποτελεί την επιλογή με τη καλύτερη σχέση κόστους – ποιότητας για την αποθήκευση δεμάτων υπολειμμάτων.

Παραπάνω παρουσιάστηκαν οι πιθανοί τρόποι για την αποθήκευση της βιομάζας. Αφού αναλύθηκε ο καθένας ξεχωριστά, αναφέρθηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τρόπου αποθήκευσης. Μελετώντας τα παραπάνω καταλήγουμε στην εφαρμογή ενός συνδυασμού δύο αποθηκευτικών μεθόδων, ο οποίος περιλαμβάνει τη στοίβαξη των δεμάτων σε ξηρό υπόστρωμα από παλέτες, και την κάλυψη τους ανά μπλοκ με κατάλληλο κάλυμμα. Ως χώροι αποθήκευσης θα επιλεγούν αγροτεμάχια, τα οποία θα ενοικιάζονται από τους ιδιοκτήτες τους. Αυτά, θα καλύπτονται με το ξηρό υπόστρωμα στην περιοχή που θα προορίζεται για την εναπόθεση των δεμάτων και κατόπιν θα υποδέχονται τα δέματα. Στη συνέχεια, μόλις σχηματιστεί ένα μπλοκ διαστάσεων που θα προσδιοριστούν στη συνέχεια, αυτό θα σκεπάζεται με το κάλυμμα.

7.6.3 Σχεδιασμός αποθήκης

Αφού επελέγη η αποθηκευτική μέθοδος που θα ακολουθηθεί, θα πρέπει να σχεδιαστεί και η μορφή της κάθε μίας ενδιάμεσης αποθήκης που θα φιλοξενήσει τα δέματα των υπολειμμάτων. Αρχικά, κάθε αποθήκη θα πρέπει να περιλαμβάνει πέρα από το χώρο αποθήκευσης των δεμάτων και χώρο φορτοεκφόρτωσης. Ο χώρος αυτός θα βρίσκεται στην πλευρά της αποθήκης που βρίσκεται στο δρόμο και θα είναι το μέρος, όπου θα ξεφορτώνονται τα φορτηγά που μεταφέρουν την βιομάζα από το χωράφι, καθώς και θα φορτώνονται τα φορτηγά που θα μεταφέρουν την απαιτούμενη από το εργοστάσιο παραγωγής βιοαιθανόλης βιομάζα. Ο χώρος αυτός πρέπει να επαρκεί, ώστε να μπορούν τα μεγαλύτερα διαθέσιμα μεταφορικά μέσα να εισέλθουν, αλλά και να πραγματοποιήσουν μανούβρες για να φύγουν προς την ίδια κατεύθυνση. Επίσης, πρέπει να προβλεφθεί επαρκής χώρος πλαγίως του φορτηγού, ώστε να είναι εφικτό ο εμπρόσθιος φορτωτής να έχει πρόσβαση στο όχημα, αλλά και να μπορεί να κινείται με ακρίβεια για να αφαιρέσει ή να προσθέσει δέματα σε αυτό. Φυσικά, οι παραπάνω δυνατότητες αρκεί να προσφέρονται στην αρχή του αδειάσματος της αποθήκης, καθώς και στο τέλος του γεμίσματος της. Αυτό γιατί, τον υπόλοιπο χρόνο θα προκύπτει επιπλέον χώρος, λόγω της μείωσης του αποθέματος και άρα της ελευθέρωσης αποθηκευτικού χώρου. Ο χώρος φορτοεκφόρτωσης θα σχεδιαστεί για κάθε αποθήκη ξεχωριστά, με βάση την συχνότητα με την οποία έρχονται και φεύγουν φορτηγά από αυτή. Τα στοιχεία αυτά για κάθε αποθήκη θα προκύψουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού μοντέλου. Ο χώρος που προβλεφθεί θα είναι ίσος με 60 m^2 για κάθε φορτηγό όχημα και 20 m^2 για κάθε γεωργικό ελκυστήρα, όταν αυτοί βρίσκονται σε στάση.

Όσον αφορά τη διάταξη των δεμάτων, αυτή θα είναι οριζόντια προς το δρόμο. Μπορούμε να υποθέσουμε, πως η αναλογία των διαστάσεων του αγροτεμαχίου θα είναι, όπως των

περισσότερων στη Θεσσαλία, ίση με 2:1. Άρα, και τα δέματα θα τοποθετούνται με την ίδια αναλογία στον αποθηκευτικό χώρο.

Σύμφωνα με τη Νομοθεσία Πυροπροστασίας, που ακολουθείται από το Ελληνικό Πυροσβεστικό Σώμα, δεν υπάρχει περιορισμός στην ποσότητα και στην εγγύτητα της αποθήκευσης αγροτικών υπολειμμάτων ή παρόμοιων προϊόντων. Σύμφωνα με τον οργανισμό National Resource, Agriculture, and Engineering Service, η επίφοβη περίοδος για την εκδήλωση φωτιάς και φαινομένων αυτανάφλεξης στα δέματα είναι μέχρι και 6 εβδομάδες μετά τη δεματοποίηση υπολειμμάτων με υγρασία που να ξεπερνάει το 20%. Επίσης, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι επικίνδυνες θερμοκρασίες, καθώς και οι προτεινόμενες ενέργειες, σύμφωνα με τον οργανισμό National Resource, Agriculture, and Engineering Service.

Θερμοκρασία στο εσωτερικό του δέματος (°C)	Οδηγία
52	Δεν απαιτείται κάποια ενέργεια
66	Έναρξη επικίνδυνης ζώνης. Έλεγχος θερμοκρασίας δύο φορές την ημέρα
71	Επικίνδυνη ζώνη. Έλεγχος θερμοκρασίας κάθε δύο ώρες. Αποδόμηση των δεμάτων για καλύτερο αερισμό
79	Πιθανές εστίες φωτιάς. Παύση κάθε δραστηριότητας που αυξάνει τον αερισμό
88	Η Πυροσβεστική Υπηρεσία πρέπει να απομακρύνει το επίφοβα δέματα. Πιθανότητα ανάφλεξης
91	Η Πυροσβεστική Υπηρεσία πρέπει να απομακρύνει το επίφοβα δέματα. Μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης φωτιάς

Πίνακας 7.6-1: Προτεινόμενες ενέργειες ανά θερμοκρασία υπολειμμάτων

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η συλλογή των δεμάτων γίνεται με υγρασία αρκετά μικρότερη του 20%. Επίσης, η συλλογή των υπολειμμάτων αραβοσίτου, που έχουν και τη μεγαλύτερη υγρασία μεταξύ των δύο συλλεγόμενων υπολειμμάτων, πραγματοποιείται τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, όπου και η υγρασία είναι μεν αυξημένη, αλλά λόγω των βροχών της περιόδου, και όχι του περιβάλλοντος. Τα βρεγμένα δέματα είναι πρακτικά αδύνατο να παρουσιάσουν φαινόμενα αυτανάφλεξης. Παρακάτω, ακολουθεί ο πίνακας με τα ασφαλή για

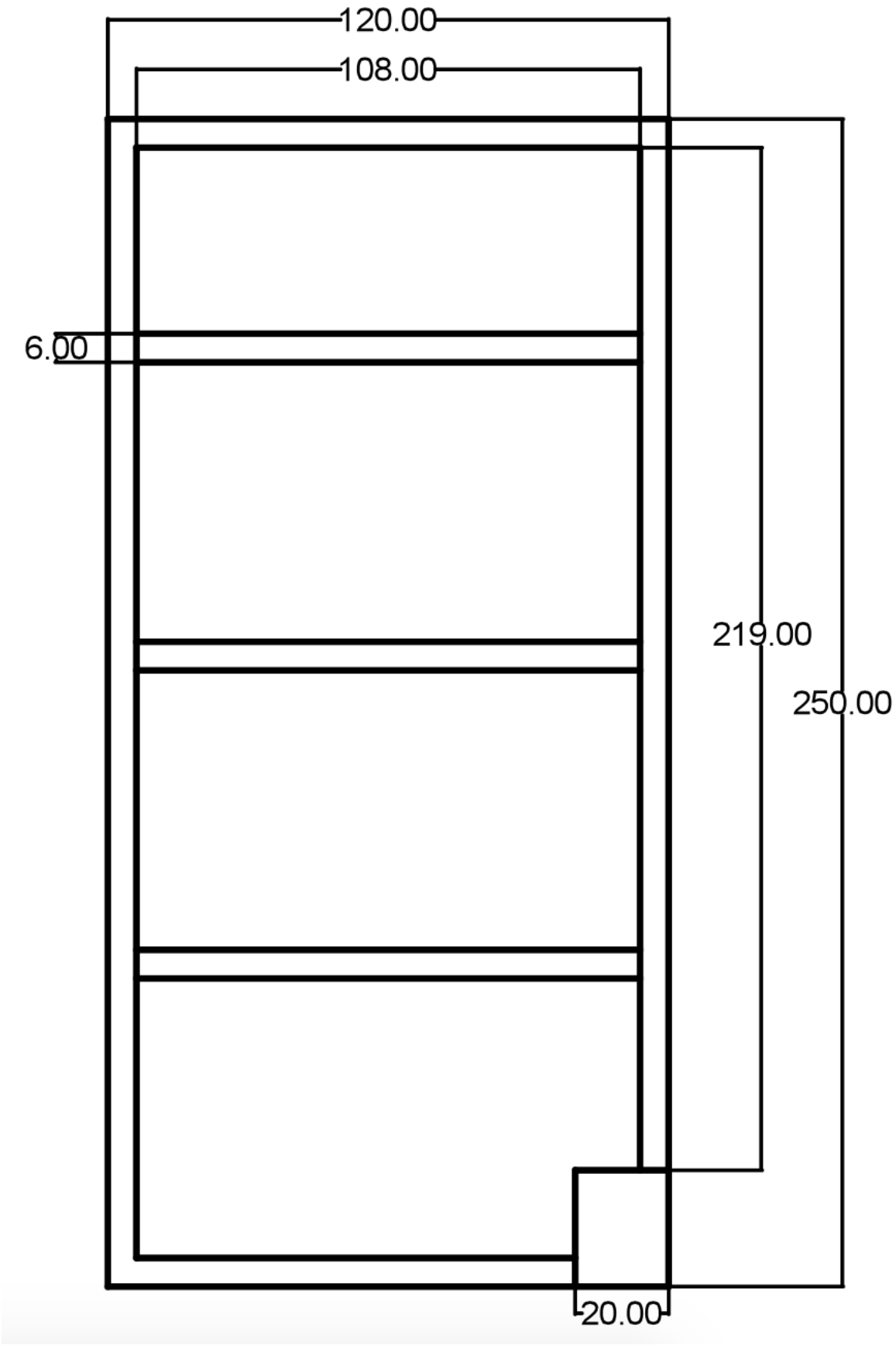
δεματοποίηση επίπεδα υγρασίας, σύμφωνα με τον Τομέα Γεωργίας της Πολιτείας της Βικτώρια της Αυστραλίας:

Τύπος δέματος	Ποσοστό υγρασίας (%)
Μικρά τετράγωνα δέματα	16 – 18
Στρογγυλά δέματα	14 – 16
Μεγάλα τετράγωνα δέματα	12 – 14

Πίνακας 7.6-2: Ασφαλή επίπεδα υγρασίας για δεματοποίηση

Επίσης, σύμφωνα με την ίδια πηγή, σημαντικό ρόλο στην πρόληψη φαινομένων αυτανάφλεξης παίζει η πυκνότητα της στοίβαξης των δεμάτων, με τα χαλαρά στοιβαγμένα δέματα, να παρουσιάζουν μεγαλύτερες πιθανότητες, λόγω αυξημένης κυκλοφορίας του αέρα. Παρόλο που σύμφωνα με τα παραπάνω, ο κίνδυνος εκδήλωσης φωτιάς είναι μικρός, ο σχεδιασμός της αποθήκης θα περιλαμβάνει ζώνες πυρασφάλειας πλάτους 6 m ανά μπλοκ πλάτους 50 δεμάτων, παράλληλες προς τη μικρότερη πλευρά του αγροτεμαχίου, καθώς και όδευση για τα οχήματα της πυροσβεστικής υπηρεσίας περιμετρικά του χώρου αποθήκευσης πλάτους επίσης 6 μέτρων.

Όσον αφορά στην προστασία των δεμάτων από δολιοφθορά και κλοπή, θα τοποθετηθεί περιμετρικά κάθε ενδιάμεσης αποθήκης συρματόπλεγμα. Η τοποθέτηση του θα είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που μετεγκατασταθεί η ενδιάμεση αποθήκη. Το κόστος εγκατάστασης και απεγκατάστασης του συρματοπλέγματος λαμβάνεται ίσο με 20 € το μέτρο.



Σχήμα 7.6-1: Ενδεικτική κάτοψη αποθήκης 30 στρεμμάτων

7.7 Σύσταση κόστους

Αφού έγινε πλήρης ανάλυση και σχολιασμός των διαδικασιών που ακολουθούνται στα διάφορα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, μπορούμε να αποφανθούμε για τις κύριες πηγές κόστους. Το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη, το σταθερό και το μεταβλητό. Το σταθερό κόστος περιλαμβάνει αρχικά τα έξοδα για την αγορά των υπολειμμάτων ή αλλιώς τα κόστος της συλλογής. Επίσης, περιλαμβάνει και το κόστος φόρτωσης των υπολειμμάτων στα μεταφορικά οχήματα, αλλά και αυτό της αποφόρτωσης. Τα δύο αυτά κόστη ανατίθενται σε εξωτερικό συνεργάτη, ο οποίος χρεώνει με δεδομένη τιμή ανά δέμα. Το κόστος αυτό είναι σταθερό, καθώς εξαρτάται από τις τιμές της αγοράς και καμία δική μας παρέμβαση στην εφοδιαστική αλυσίδα δεν το επηρεάζει, καθώς διαμορφώνεται με βάση τα συμβόλαια που συνάπτει ο φορέας που διαχειρίζεται το εργοστάσιο με τους αγρότες - παραγωγούς. Το μεταβλητό κόστος χωρίζεται σε δύο μέρη, το κόστος της αποθήκευσης και το κόστος της μεταφοράς.

Το συστατικά του αποθηκευτικού κόστους είναι τα εξής:

- Ενοίκιο αγροτεμαχίου ενδιάμεσης αποθήκης: Το κόστος αυτό αφορά τα έξοδα που πρέπει να γίνουν, για να ενοικιαστούν οι εκτάσεις γης που απαιτούνται για την αποθήκευση των υπολειμμάτων με την αποθηκευτική μέθοδο που επελέγη.
- Κόστος κάλυψης αποθηκευμένων δεμάτων με ειδικό κάλυμμα: Το κόστος αυτό εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των στρώσεων που θα γίνει η αποθήκευση, καθώς και από τον αριθμό των ενδιάμεσων αποθηκών που θα επιλεγεί.
- Κόστος δημιουργίας ξηρού υποστρώματος: Το κόστος αυτό περιλαμβάνει τα έξοδα για την αγορά των παλετών που θα τοποθετηθούν ανάμεσα στο έδαφος και στα δέματα, για να εμποδίσει την επαφή τους και άρα την μεταφορά της υγρασίας από το ένα στο άλλο.
- Κόστος περίφραξης: Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το πλήρες κόστος (εξοπλισμός, εργατικά κόστη) για την περίφραξη του οικοπέδου με συρματόπλεγμα για λόγους ασφαλείας.

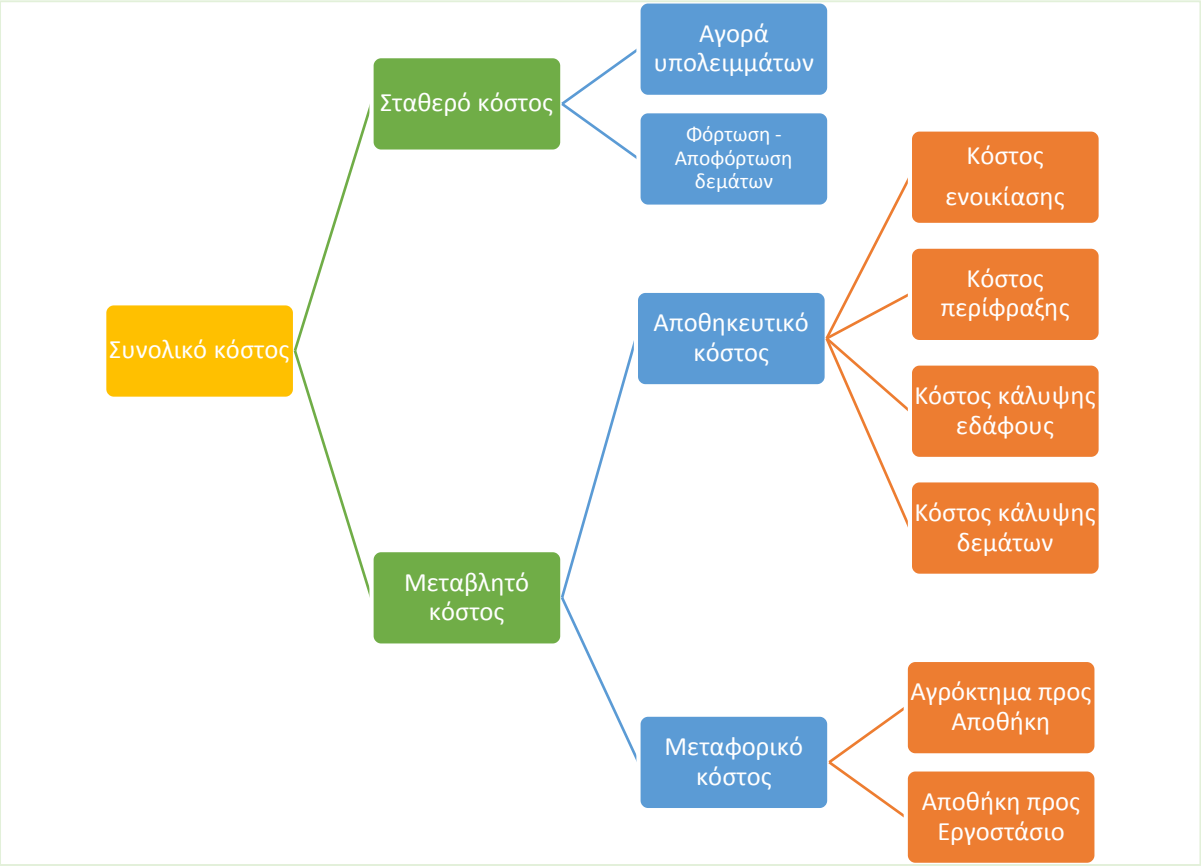
Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε πως στα κόστη κάλυψης και δημιουργίας του ξηρού υποστρώματος δεν συμπεριλαμβάνονται τα εργατικά κόστη. Ο λόγος που γίνεται αυτό έγκειται στη δυσκολία υπολογισμού τους, καθώς δεν υπάρχει ενιαία τιμή και ο καθορισμός τους βασίζεται σε προφορικές συμφωνίες. Πάντως, το κόστος των εργατικών δεν μπορεί να

μεταβάλει το συνολικό, καθώς αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό του, και για αυτό το λόγο δε θα λαμβάνεται υπόψιν στη συνέχεια.

Τα συστατικά του μεταφορικού κόστους είναι τα παρακάτω:

- Μεταφορικό κόστος από το αγροτεμάχιο στην ενδιάμεση αποθήκη: Το κόστος αυτό περιλαμβάνει όλα τα ποσά που θα δοθούν στους αγρότες – παραγωγούς – μεταφορείς, που θα μεταφέρουν τα δέματα υπολειμμάτων από τα αγροτεμάχια μέχρι την ενδιάμεση αποθήκη. Το κόστος εξαρτάται από τη διανυόμενη απόσταση σύμφωνα με τις τιμές που παρατέθηκαν παραπάνω, και άρα υπάρχει άμεση σχέση με την τοποθεσία των ενδιάμεσων αποθηκών.
- Μεταφορικό κόστος από την ενδιάμεση αποθήκη στο εργοστάσιο: Το κόστος αυτό περιλαμβάνει τα μεταφορικά κόστη για την μετακίνηση των υπολειμμάτων από τις αποθήκες στο εργοστάσιο βιομετατροπής. Η μεταφορά αυτή θα γίνεται από εξωτερικούς συνεργάτες και η πληρωμή κάθε μετακινούμενου τόνου θα είναι ίδια με αυτή των αγροτών, σύμφωνα με τη στρατηγική που ακολουθεί η ΕΒΖ.

Η σύσταση του κόστους παρουσιάζεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7.7-1: Σύσταση κόστους

7.8 Μεταφορά βιοαιθανόλης

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου, καθημερινά θα παράγονται περίπου 150 m^3 βιοαιθανόλης. Η ποσότητα αυτή πρέπει να μεταφέρεται καθημερινά στις εγκαταστάσεις της Motor Oil Hellas, για να πραγματοποιηθούν απαραίτητες εργασίες για τη συντήρηση της. Για την πραγματοποίηση της μεταφοράς, έπειτα από έρευνα εντοπίστηκαν 3 διαφορετικοί τρόποι:

1. Μεταφορά της βιοαιθανόλης με βυτιοφόρα από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου μέχρι τις εγκαταστάσεις στους Αγ. Θεοδώρους
2. Μεταφορά της βιοαιθανόλης από το εργοστάσιο μέχρι το λιμάνι του Βόλου με βυτιοφόρα και κατόπιν από το Βόλο με πλοίο μέχρι το λιμάνι της Motor Oil Hellas στους Αγ. Θεοδώρους
3. Μεταφορά της βιοαιθανόλης με βυτιοφόρα μέχρι το σιδηροδρομικό σταθμό της εμπορικής γραμμής της ΤΡΑΙΝΟΣΕ στη Λάρισα, μεταφορά με βυτιοκοντέινερ μέχρι τον Εμπορευματικό Σταθμό της ΤΡΑΙΝΟΣΕ στο Θριάσιο, και από εκεί μεταφορά με βυτιοφόρα στους Αγ. Θεοδώρους.

Κατόπιν επικοινωνίας με την ΜΟΗ, πληροφορηθήκαμε πως μεταφορά βιοκαυσίμων με πλοία δεν πραγματοποιείται και ακόμα και στην περίπτωση που αυτό γίνει εφικτό, το λιμάνι του Βόλου δεν μπορεί να το υποστηρίξει λόγω κορεσμένων διαθέσιμων θέσεων. Η τρίτη πιθανή επιλογή δεν είναι επίσης εφικτή, λόγω προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την μεταφορά βυτιοκοντέινερ με τρένα. Ο τρόπος μεταφοράς που επιλέγει είναι η μεταφορά των βιοκαυσίμων από το εργοστάσιο παραγωγής στις εγκαταστάσεις της ΜΟΗ με βυτιοφόρα. Η μεταφορά θα γίνεται σε καθημερινή βάση και θα μεταφέρεται όλη η ποσότητα των 150 m^3, με 6 βυτιοφόρα χωρητικότητας 25 m^3. Η διαχείριση του στόλου θα πραγματοποιείται από την ΜΟΗ.

Σύμφωνα με στοιχεία που λάβαμε από την ΜΟΗ, το κόστος της μεταφοράς βιοκαυσίμων με βυτιοφόρα για τη συγκεκριμένη διαδρομή ανέρχεται στα 19 €/m^3. Άρα, συνολικά το κόστος μεταφοράς 50.000 m^3 βιοαιθανόλης από το εργοστάσιο παραγωγής της μέχρι τις εγκαταστάσεις της ΜΟΗ ανέρχεται σε 950.000 €.

ΜΕΡΟΣ Γ

8. Μοντέλο προσδιορισμού θέσης ενδιάμεσων αποθηκών

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε παραπάνω, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν ενδιάμεσες αποθήκες για την αποθήκευση των δεμάτων βιομάζας, έως ότου αυτά απαιτηθούν από το εργοστάσιο. Επίσης, όπως δείχθηκε, οι αποθήκες αυτές θα αποτελούν αγροτεμάχια, τα οποία θα ενοικιάζονται από τους ιδιοκτήτες τους για το σκοπό αυτό. Το επόμενο βήμα για το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η εύρεση της τοποθεσίας των αποθηκών.

Η εύρεση της θέσης των ενδιάμεσων αποθηκών θα αντιμετωπισθεί σαν ένα κλασικό πρόβλημα χωροθέτησης. Αυτό, γιατί τα υπόλοιπα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας, όπως η διαδικασία συλλογής ή η φύση του μεταφερόμενου προϊόντος δεν επηρεάζουν την επιλογή του χώρου αποθήκευσης. Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα υπάρχοντα μοντέλα επιχειρησιακής έρευνας για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης. Κατόπιν θα σχολιασθούν μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί και ενσωματώνουν στοιχεία από τα άλλα σκέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας για της εύρεση των θέσεων των ενδιάμεσων αποθηκών. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί το προτεινόμενο υβριδικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Το μοντέλο αναπτύσσεται σε δύο στάδια: το πρώτο περιλαμβάνει την εφαρμογή αλγορίθμου για την εύρεση των θέσεων των αποθηκών και του συνολικού κόστους, ανάλογα με τον αριθμό τους, το δεύτερο επιλέγει τη βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψιν του τους φυσικούς περιορισμούς του συστήματος, αλλά και αυτούς που τίθενται από τα διάφορα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο συνδυασμός των

αποτελεσμάτων των δύο σταδίων εφαρμογής του μοντέλου, καταλήγει στην επιλογή της βέλτιστης λύσης του προβλήματος.

8.1 Επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης

Η εύρεση της βέλτιστης τοποθεσίας για μία εγκατάσταση ήταν πάντα ένα έντονο ακαδημαϊκό και πρακτικό ζήτημα και έχει απασχολήσει πολλούς επιστήμονες και επιχειρηματίες. Στην μελέτη των προβλημάτων χωροθέτησης έχουν επιδοθεί διάφοροι επιστημονικοί κλάδοι, όπως των μαθηματικών, της επιχειρησιακής έρευνα, των οικονομικών και της γεωγραφίας. Κάθε κλάδος καλείται να αντιμετωπίσει και να μοντελοποιήσει διαφορετικές πτυχές του προβλήματος, καθώς και να προσεγγίσει τα διάφορα ζητήματα που ανακύπτουν από διαφορετική σκοπιά. Η πρώτη πρόταση λύσης προβλήματος χωροθέτησης παρουσιάστηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όταν ο Shuffle πρότεινε το εξής μοντέλο για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας εγκατάστασης εργοστασίων:

$$M_{ij} = P_i * P_j - D_{ij}^{-2},$$

όπου οι μεταβλητές P και D συμβολίζουν τον πληθυσμό και την απόσταση αντίστοιχα. Με βάση αυτή τη λογική, τα εργοστάσια και οι εγκαταστάσεις των επιχειρήσεων τοποθετούνται κοντά σε μεγάλες πόλεις, ώστε να ανταποκρίνονται στο μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης.

Ο πιο ισχυρός παράγοντας κατά την αναζήτηση της βέλτιστης τοποθεσίας για μία εγκατάσταση είναι το κόστος. Πρώτη φορά ο Lanhart, το 1882 λαμβάνοντας υπόψιν αυτόν τον παράγοντα, διατύπωσε την άποψη, ότι η τοποθέτηση των εργοστασίων θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το μεταφορικό κόστος.

Τόσο στον ιδιωτικό, όσο και στον δημόσιο τομέα, η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αποτελεί μέρος του στρατηγικού σχεδιασμού του κάθε φορέα, ενώ τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την επιλογή που πραγματοποιείται, καθορίζουν σε μεγάλο μέρος την πορεία του φορέα. Οι χώροι αποθήκευσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του δικτύου δράσης μία επιχείρησης ή ενός οργανισμού. Κάθε αποθήκη μπορεί να παίζει έναν από τους παρακάτω ρόλους (Tompkins, et al., 1997):

- Δημιουργία ισορροπίας μεταξύ της ζήτησης και των παραγωγικών δυνατοτήτων ενός εργοστασίου. Σε αυτή την περίπτωση η αποθήκη τοποθετείται στο χώρο του εργοστασίου για να υποστηρίξει την παραγωγική διαδικασία.

- Συλλογή και αποθήκευση προϊόντων που προέρχονται από πολλές διαφορετικές πηγές. Η τοποθεσία τους σε αυτή την περίπτωση πρέπει να εξυπηρετεί αναλογικά όλους όσους αποστέλλουν εμπορεύματα σε αυτή.
- Ικανότητα άμεσης ανταπόκρισης σε αυξομειώσεις της ζήτησης. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να είναι στρατηγικά τοποθετημένες, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στον ελάχιστο χρόνο.

Ο δεύτερος πιθανός ρόλος που μπορεί να παίζει μία αποθήκη χαρακτηρίζει απόλυτα την περίπτωση του συγκεκριμένου έργου. Οι ενδιάμεσες αποθήκες θα πρέπει να μπορούν να υποδεχτούν τα εισερχόμενα δέματα και να τα αποθηκεύσουν. Ταυτόχρονα όμως, πρέπει να είναι στρατηγικά τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξυπηρετούν κάθε αγρότη και παραγωγό, ανάλογα με την ποσότητα που δέχονται από αυτούς.

Παρακάτω, θα παρουσιαστούν βασικά προβλήματα χωροθέτησης, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Μοντέλο μέγιστης απόστασης (Maximum Distance Model)
2. Το πρόβλημα p-διασποράς (The p-dispersion problem)
3. Μοντέλο συνολικής ή μέσης απόστασης (Total or average distance model)

Τα προβλήματα αυτά αφορούν τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων για την εξυπηρέτηση της ζήτησης κόμβων. Τα προβλήματα παρουσιάζονται με τη μορφή που διατυπώνονται στα πλαίσια της θεωρία της Επιχειρησιακής Έρευνας. Προφανώς, το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιστραφεί και να αφορά την κάλυψη της ζήτησης των εγκαταστάσεων ή αποθηκών από παραγωγικούς κόμβους, όπως στην παρούσα περίπτωση.

8.1.1 Μοντέλα μέγιστης απόστασης (Maximum Distance Models)

Στα συγκεκριμένα μοντέλα χωροθέτησης επιδιώκεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των εγκαταστάσεων που χωροθετούνται να μην ξεπερνά μία δεδομένη απόσταση.

8.1.1.1 Μοντέλο χωροθέτησης καθορισμένης κάλυψης (Set covering location model)

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποσκοπεί στον εντοπισμό της βέλτιστης θέσης του ελάχιστου αριθμό εγκαταστάσεων που ταυτόχρονα μπορούν να καλύψουν τη συνολική ζήτηση.

Η μαθηματική διατύπωση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η εξής:

$$Min \sum_{j \in J} x_j \tag{1}$$

με τους εξής περιορισμούς:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \quad \forall\, i \in I \tag{2}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall\, j \in J \tag{3}$$

Όπου,

J	το σύνολο των δυνατών θέσεων τοποθέτησης μονάδας (με δείκτη j)
I	το σύνολο των κόμβων ζήτησης (με δείκτη i)
$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq D_c\}$	το σύνολο των δυνατών θέσεων τοποθέτησης μονάδων που είναι σε θέση να καλύψουν τη ζήτηση του κόμβου i
d_{ij}	η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης i και την πιθανή θέση μονάδας j
D_c	η προκαθορισμένη σταθερά κάλυψης απόστασης
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$

Η σχέση (1) εξασφαλίζει την τοποθέτηση όσο το δυνατόν λιγότερων μονάδων που ταυτόχρονα μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση που εκδηλώνεται στο δίκτυο, με βάση τη δυναμικότητα τους. Ο περιορισμός (2) εξασφαλίζει την κάλυψη κάθε κόμβου ζήτησης από τουλάχιστον μία μονάδα. Ο περιορισμός (3) μετατρέπει το πρόβλημα σε ακέραιου προγραμματισμού της μορφής 0-1, ή αλλιώς δυαδικού προγραμματισμού. Η τελευταία συνθήκη εξασφαλίζει πως κάθε πηγή ζήτησης θα καλύπτεται από μία μονάδα.

8.1.1.2 Μοντέλο χωροθέτησης καθορισμένης κάλυψης (Maximal covering location model)

Στο προηγούμενο πρόβλημα δεν υπήρχε περιορισμός αναφορικά με το κόστος σύστασης της μονάδας, καθώς ο πρωταρχικός στόχος ήταν η κάλυψη της ζήτησης. Όμως, όπως είναι φυσικό, υπάρχουν περιπτώσεις, όπου τίθεται συγκεκριμένος οικονομικός περιορισμός για τη χωροθέτηση των εγκαταστάσεων, ο οποίος καθορίζει και τον τελικό αριθμό των μονάδων που συστήνονται. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι αποδεκτό αποτέλεσμα να μην καλυφθεί όλη

η ζήτηση από τις μονάδες που μπορούν να κατασκευαστούν με βάση τον υπάρχοντα προϋπολογισμό. Για αυτό το λόγο, γίνεται προσπάθεια, ώστε με την κατασκευή p μονάδων, να ικανοποιείται η μέγιστη δυνατή ζήτηση.

Η μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος είναι η εξής:

$$Max \sum_{i \in I} h_i z_i \tag{4}$$

με τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{j \in Ni} x_j - z_i \geq 0, \qquad \forall i \in I \tag{5}$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{6}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{7}$$

$$z_i \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I \tag{8}$$

Όπου,

h_i	η ζήτηση στον κόμβο i
p	ο αριθμός των μονάδων προς χωροθέτηση
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
z_i	$\begin{cases} 1, \text{εάν η ζήτηση του κόμβου i καλυφθεί} \\ 0, \text{εάν δεν καλυφθεί} \end{cases}$

Η σχέση (4) μεγιστοποιεί τη συνολική ζήτηση, η οποία είναι δυνατό να ικανοποιηθεί από την επιλεγμένη χωροθέτηση, ενώ με τον περιορισμό (5) η ζήτηση του εκάστοτε κόμβου i θα θεωρείται πως καλύπτεται, μόνο εάν τοποθετηθεί κάποια μονάδα σε μία από τις πιθανές τοποθεσίες που καλύπτουν τη ζήτηση του συγκεκριμένου κόμβου. Παράλληλα, ο περιορισμός (6) προσδιορίζει το μέγιστο αριθμό εγκαταστάσεων που είναι δυνατό να χωροθετηθούν. Οι περιορισμοί (7) και (8) μετατρέπουν το πρόβλημα σε ακέραιου προγραμματισμού. Το παραπάνω πρόβλημα επιλύεται με προσεγγιστικές μεθόδους.

8.1.1.3 Πρόβλημα χωροθέτησης p-κέντρου (The p-center problem)

Το πρόβλημα χωροθέτησης p-κέντρου έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης που μεσολαβεί μεταξύ κάθε κόμβου ζήτησης και της πλησιέστερης μονάδας, με βάση έναν δεδομένο αριθμό μονάδων προς χωροθέτηση. Το πρόβλημα αυτό διαφέρει, στο ότι υιοθετεί και τον επιπλέον περιορισμό της μέγιστης απόστασης μεταξύ των εγκαταστάσεων και των περιοχών που εξυπηρετούνται από αυτές, η οποία αν ξεπεραστεί καθιστά την εξυπηρέτηση των περιοχών αδύνατη.

Η μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος είναι η εξής:

$$Max\ L \tag{9}$$

και περιορίζεται από τους εξής περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{10}$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \tag{11}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{12}$$

$$L - \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in I \tag{13}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{14}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{15}$$

L	η μέγιστη απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης και την μονάδα από την οποία εξυπηρετείται
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
p	ο αριθμός των μονάδων προς χωροθέτηση
y_{ij}	$\begin{cases} 1, \text{εάν κόμβος ζήτησης i ανατεθεί στη μονάδα του κόμβου j} \\ 0, \text{εάν δεν ανατεθεί} \end{cases}$

h_i	η ζήτηση στον κόμβο i
d_{ij}	η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης i και την πιθανή θέση της μονάδας εξυπηρέτησης του j

Η σχέση (9) εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης και στις μονάδες που έχουν αναλάβει την εξυπηρέτηση τους. Ο περιορισμός (10) προσδιορίζει τον αριθμό των εγκαταστάσεων προς χωροθέτηση. Ο περιορισμός (11) εξασφαλίζει την ανάθεση κάθε κόμβου ζήτησης σε μία μονάδα εξυπηρέτησης, ενώ ο περιορισμός (12) εκφράζει την απαίτηση, η μονάδα να αντιστοιχεί σε κόμβο, στον οποίο τελικά θα εγκατασταθεί κάποια μονάδα. Η σχέση (13) θέτει το κατώτερο όριο της μέγιστης απόστασης ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης και στις μονάδες εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (14) και (15) μετατρέπουν το πρόβλημα σε πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού και εξασφαλίζουν την εξυπηρέτηση μίας μονάδας από μία μόνο εγκατάσταση αντίστοιχα.

8.1.2 Το πρόβλημα p-διασποράς (The p-dispersion problem)

Τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο είχαν άμεση σχέση με την απόσταση μεταξύ των κόμβων ζήτησης και των μονάδων κάλυψης αυτής και επιδίωκαν την ελαχιστοποίηση της. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση ισχύει το αντίθετο. Αντικειμενικός στόχος του μοντέλου της p-διασποράς είναι η μεγιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των δύο εγκαταστάσεων. Παράδειγμα εφαρμογής της παραπάνω περίπτωσης αποτελεί η εγκατάσταση ενός νέου υποκαταστήματος μίας αλυσίδας franchise, όπου και επιδιώκεται αυτό να βρίσκεται, όσο πιο μακριά από τα υπόλοιπα καταστήματα της αλυσίδας, για να μην υπάρχει εσωτερικός ανταγωνισμός.

Το παραπάνω πρόβλημα διατυπώνεται μαθηματικά ως εξής:

$$Max\ L \tag{16}$$

με τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{17}$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \leq 2M - d_{ij}, \quad \forall i, j \in J, i < j \tag{18}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{19}$$

Όπου,

L	η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των δύο μονάδων παροχής εξυπηρέτησης
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
p	ο αριθμός των μονάδων προς χωροθέτηση
M	μία μεγάλη σταθερά
d_{ij}	η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης i και την πιθανή θέση της μονάδας εξυπηρέτησης του j

Στις παραπάνω σχέσεις, η σχέση (16) μεγιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των δύο εγκαταστάσεων, ενώ η σχέση (17) ορίζει τον επιθυμητό αριθμό αποθηκών. Ο περιορισμός (18) προσδιορίζει την απόσταση που θα πρέπει να έχουν οποιεσδήποτε δύο μονάδες, οι οποίες πρόκειται να χωροθετηθούν. Ο τελευταίος περιορισμός μετατρέπει το πρόβλημα σε πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού.

8.1.3 Μοντέλο συνολικής ή μέσης απόστασης (Total or average distance model)

Τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας μελετούν το άθροισμα των αποστάσεων ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης και τις αντίστοιχες μονάδες παροχής εξυπηρέτησης, που θα διανυθούν, ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις των κόμβων. Άρα, η εξεταζόμενη αποτελεσματικότητα ενός συστήματος εξαρτάται από το σύνολο της διανυόμενης απόστασης για την κάλυψη της ζήτησης.

8.1.3.1 Το πρόβλημα p-διαμέσου (The p-median problem)

Στο πρόβλημα αυτό ζητείται η εγκατάσταση p μονάδων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μέση σταθμισμένη διανυόμενη απόσταση μεταξύ των σημείων ζήτησης και των χωροθετημένων μονάδων (Καρλαύτης & Λαγαρός, 2010).

Το πρόβλημα διατυπώνεται μαθηματικά ως εξής:

$$Min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} \tag{20}$$

και υπόκειται στους εξής περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{21}$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \tag{22}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{23}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{24}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{25}$$

Όπου,

h_i	η ζήτηση στον κόμβο i
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
p	ο αριθμός των μονάδων προς χωροθέτηση
y_{ij}	$\begin{cases} 1, \text{εάν κόμβος ζήτησης i ανατεθεί στη μονάδα του κόμβου j} \\ 0, \text{εάν δεν ανατεθεί} \end{cases}$
d_{ij}	η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης i και την πιθανή θέση της μονάδας εξυπηρέτησης του j

Η σχέση (20) ελαχιστοποιεί τη μέση ή συνολική σταθμισμένη διανυόμενη απόσταση ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης και των μονάδων οι οποίες τους εξυπηρετούν. Ο περιορισμός (21) εξασφαλίζει τη χωροθέτηση p εγκαταστάσεων. Μέσω της σχέσης (22) εξασφαλίζεται η ανάθεση κάθε κόμβου ζήτησης σε κάποια μονάδα παροχής εξυπηρέτησης και μέσω του περιορισμού (23) επιδιώκεται η ανάθεση αυτή να αντιστοιχεί σε κόμβους, όπου τελικά θα δημιουργηθεί κάποια μονάδα. Τέλος, ο περιορισμός (24) προσδίδει στο πρόβλημα μορφή ακέραιου προγραμματισμού, ενώ ο περιορισμός (25) εξασφαλίζει ότι η ζήτηση του εκάστοτε κόμβου θα ανατίθεται σε μία μόνο μονάδα εξυπηρέτησης. Ακόμα, πρέπει να σημειωθεί ότι στο παρόν πρόβλημα οι πιθανές θέσεις τοποθέτησης των μονάδων παροχής εξυπηρέτησης θεωρείται πως βρίσκονται επί των κόμβων του υπό εξέταση δικτύου. Παρόλα αυτά, αποδεικνύεται πως το πρόβλημα συγκλίνει σε βέλτιστη λύση, ακόμα και αν επιτρέπεται η τοποθέτηση των εγκαταστάσεων επί των τόξων. Το πρόβλημα p-διαμέσου λύνεται με προσεγγιστικές μεθόδους.

8.1.3.2 Το πρόβλημα χωροθέτησης σταθερού κόστους

Στο προηγούμενο πρόβλημα που αναλύθηκε, το κόστος εγκατάστασης κάθε πιθανής μονάδας θεωρείται σταθερό και ίσο με όλων των υπολοίπων μονάδων, ενώ η κάθε μονάδα που θα χωροθετηθεί δεν έχει περιορισμό στη ζήτηση που μπορεί να καλύψει. Επίσης, είναι προκαθορισμένος και δεδομένος ο αριθμός των μονάδων p που πρόκειται να συσταθούν.

Αντίθετα, στο πρόβλημα χωροθέτησης σταθερού κόστους, ο αντικειμενικός σκοπός είναι να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα κόστη των μονάδων που θα δημιουργηθούν, αλλά και τα μεταφορικά κόστη. Άρα, το συγκεκριμένο μοντέλο έχει στόχο την εύρεση του βέλτιστου αριθμό μονάδων προς εγκατάσταση και την κατάλληλη τοποθεσία όπου θα γίνει αυτό, καθώς και την κατάλληλη αντιστοίχιση των μονάδων με τους κόμβους που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Μία κύρια διαφορά μεταξύ αυτού του μοντέλου και των προαναφερθέντων είναι ότι, εξαιτίας της ύπαρξης μέγιστου ορίου στην χωρητικότητα κάθε μονάδας, και άρα στη ζήτηση που μπορεί να καλύψει, σε αυτό το μοντέλο δεν είναι απαραίτητο να ανατεθεί κάθε μονάδα στην πιο κοντινή εγκατάσταση.

Το πρόβλημα διατυπώνεται μαθηματικά ως εξής:

$$Min \sum_{j \in J} f_i x_j + a \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} \tag{26}$$

και περιορίζεται από τις εξής σχέσεις:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \tag{27}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{28}$$

$$\sum_{j \in J} h_i y_{ij} - C_j x_j \leq 0, \quad \forall i \in I \tag{29}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{30}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{31}$$

Όπου,

h_i η ζήτηση στον κόμβο i

x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
f_j	το σταθερό κόστος εγκατάστασης μίας μονάδας εξυπηρέτησης στη θέση j
y_{ij}	$\begin{cases} 1, \text{εάν κόμβος ζήτησης i ανατεθεί στη μονάδα του κόμβου j} \\ 0, \text{εάν δεν ανατεθεί} \end{cases}$
d_{ij}	η απόσταση ανάμεσα στον κόμβο ζήτησης i και την πιθανή θέση της μονάδας εξυπηρέτησης j
a	το κόστος ανά μονάδα ζήτησης και ανά μονάδα απόστασης
Cj	η ικανότητα της μονάδας παροχής εξυπηρέτησης στη θέση j

Η σχέση (26) ελαχιστοποιεί το σύνολο του σταθερού κόστους χωροθέτησης των μονάδων και το συνολικό κόστος μεταφοράς. Οι περιορισμοί (30) και (31) φροντίζουν, ώστε να ανατεθεί κάθε κόμβος ζήτησης σε μία μονάδα εξυπηρέτησης και στον κόμβο αυτό να χωροθετηθεί μία μονάδα αντίστοιχα. Ο περιορισμός (29) είναι αυτός που περιορίζει τη συνολική ζήτηση που θα ανατεθεί σε μία μονάδα εξυπηρέτησης να υπερβεί τη προκαθορισμένη δυναμικότητα της. Οι υπόλοιποι δύο περιορισμοί λειτουργούν όπως και προηγουμένως.

8.1.3.3 Πρόβλημα χωροθέτησης πλήμνης

Το πρόβλημα αυτό αφορά το σχεδιασμό δικτύων, όπου υπάρχει ένας ενδιάμεσος προορισμός μεταξύ του σημείου εκδήλωσης της ζήτησης και του σημείου εξυπηρέτησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αποστολή εμπορευμάτων, τα οποία πρέπει να παραμείνουν για κάποιο διάστημα σε έναν αποθηκευτικό χώρο ή σε κάποιο κέντρο διακίνησης. Κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων ανακύπτει το πρόβλημα της χωροθέτησης του ενδιάμεσου σημείου, ή αλλιώς της πλήμνης, λαμβάνοντας υπόψιν τη θέση των σημείων όπου εκδηλώνεται η ζήτηση. Η βασική εκδοχή του παραπάνω προβλήματος είναι το μοντέλο p-πλήμνης (p-hub location model) και έχει ως αντικειμενικό σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους.

Η μαθηματική του διατύπωση είναι η εξής:

$$Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} h_{ij} \left(\sum_{k \in N} c_{ik} y_{ik} + \sum_{m \in N} c_{jm} y_{jm} + a \sum_{k \in N} \sum_{k \in N} c_{km} y_{ik} y_{jm} \right) \tag{32}$$

και υπόκειται στους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{33}$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \tag{34}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{35}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{36}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{37}$$

Όπου,

h_{ij}	οι διακινούμενες μονάδες μεταξύ i και j
x_j	$\begin{cases} 1, \text{εάν τοποθετηθεί μονάδα διακίνησης στη θέση j} \\ 0, \text{εάν δεν τοποθετηθεί} \end{cases}$
y_{ij}	$\begin{cases} 1, \text{εάν κόμβος ζήτησης i ανατεθεί στη μονάδα του κόμβου j} \\ 0, \text{εάν δεν ανατεθεί} \end{cases}$
c_{ij}	το κόστος μεταφοράς ανά μονάδα προϊόντος μεταξύ των κόμβων i και j
a	συντελεστής απομείωσης για μεταφορά ανάμεσα σε κέντρα διακίνησης

Η σχέση (32) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος μεταφοράς των προϊόντων εντός δεδομένου δικτύου. Το κόστος αποτελείται από τα εξής μέρη:

- το κόστος μεταφοράς των προϊόντων μεταξύ των κόμβων και του κέντρου διακίνησης από το οποίο εξυπηρετούνται
- το κόστος αποστολής από το τερματικό κέντρο διακίνησης προς τον τελικό προορισμό
- το κόστος μεταφοράς μεταξύ των κέντρων διακίνησης του δικτύου, το οποίο πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή a<1

Η παραπάνω μοντελοποίηση θεωρεί πως για να μεταφερθεί ένα προϊόν από έναν κόμβο σε έναν άλλο περνάει το πολύ από δύο κέντρα διακίνησης. Ο περιορισμός (33) εξασφαλίζει την τοποθέτηση p κέντρων διακίνησης, ενώ ο (34) την ανάθεση ενός κόμβου σε ένα κέντρο διακίνησης. Ο περιορισμός (35) εξασφαλίζει, πως η παραπάνω ανάθεση θα αντιστοιχεί σε σημείο, όπου θα εγκατασταθεί κέντρο διακίνησης. Οι δύο τελευταίοι περιορισμοί έχουν την

ίδια λειτουργία, όπως και στα προηγούμενα μοντέλα. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με προσεγγιστικές μεθόδους.

8.1.3.4 Πρόβλημα χωροθέτησης μέγιστου αθροίσματος (the maximum location problem)

Σε αντίθεση με τα παραπάνω προβλήματα, ο αντικειμενικός σκοπός του παρόντος προβλήματος είναι η τοποθέτηση p εγκαταστάσεων με τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται η μέση σταθμισμένη διανυόμενη απόσταση μεταξύ αυτών και των σημείων ζήτησης.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής:

$$Max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} \tag{38}$$

με τους εξής περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \tag{39}$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \tag{40}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{41}$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_{i[k]i} - x_{[m]i} \geq 0, \quad \forall i \in I, m = 1,2, \dots, N-1 \tag{42}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \qquad \forall j \in J \tag{43}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{44}$$

Οι μεταβλητές στο παραπάνω πρόβλημα είναι σε πλήρη αντιστοιχία με αυτές στο πρόβλημα της p-διαμέσου. Η μόνη διαφορά που παρατηρείται είναι στην προσθήκη ενός επιπλέον περιορισμού, του (42). Ακολουθώντας το στόχο της μεγιστοποίησης, το μοντέλο θα ανέθετε τους κόμβους ζήτησης στην πιο απομακρυσμένη εγκατάσταση. Για να αποφευχθεί αυτό, ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι οι κόμβοι θα αντιστοιχηθούν στην πιο κοντινή εγκατάσταση.

8.2 Μέθοδοι επίλυσης

Όπως φάνηκε παραπάνω, πολλές από τις σχέσεις που περιόριζαν τις αντικειμενικές συναρτήσεις των διαφόρων προβλημάτων μπορούσαν να πάρουν δύο τιμές, 0 ή 1. Αυτός ο τύπος περιορισμών υπάγεται στην κατηγορία του ακέραιου προγραμματισμού και αφορά τη διαδικασία λήψεως αποφάσεων, όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι της μορφής ναι ή όχι. Αυτού του τύπου οι περιορισμοί είναι πολύ συχνοί κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων μίας επιχείρησης ή ενός οργανισμού, που αφορά για παράδειγμα την απόφαση της πραγματοποίησης μίας νέας επένδυσης. Ταυτόχρονα, σε κάποια προβλήματα βελτιστοποίησης μπορεί να συνυπάρχουν μεταβλητές που μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές και μεταβλητές που μπορούν να πάρουν δεκαδικές τιμές. Τα προβλήματα αυτά ονομάζονται μεικτά προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού (MILP). Η πάγια τακτική επίλυσης προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού είναι με τη χρήση τεχνικών γραμμικού προγραμματισμού, με τελικό σκοπό την εύρεση της βέλτιστης ακέραιας λύσης.

8.2.1 Η μέθοδος της απαρίθμησης

Η μέθοδος της απαρίθμησης είναι μία μέθοδος επίλυσης προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού, η οποία χρησιμοποιείται σε προβλήματα μικρού μεγέθους και λίγων μεταβλητών. Ο λόγος που υπάρχει αυτός ο περιορισμός είναι ότι η επίλυση προβλημάτων με αυτή την τεχνική αποτελεί μία ιδιαιτέρως χρονοβόρα διαδικασία. Με την έννοια της λέξης «απαρίθμηση» εννοείται ο εντοπισμός όλων των πιθανών λύσεων, οι οποίες κατόπιν αξιολογούνται ξεχωριστά για τον εντοπισμό της βέλτιστης. Αυτό περιλαμβάνει τον αναλυτικό υπολογισμό των αποτελεσμάτων τους. Για αυτό το λόγο, είναι προφανές, πως σε μεγάλα προβλήματα η εφαρμογή αυτής της τακτικής οδηγεί σε μεγάλο υπολογιστικό χρόνο.

8.2.2 Η μέθοδος κλάδου και φράγματος

Η μέθοδος κλάδου και φράγματος εφαρμόζεται σε προβλήματα, όπου ο γραμμικός προγραμματισμός δεν μπορεί να εντοπίσει τη λύση, και η μέθοδος της απαρίθμησης δε μπορεί να εφαρμοστεί, καθώς το πρόβλημα είναι μεγάλου μεγέθους. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για μεσαίου μεγέθους προβλήματα και αποδεικνύεται επιτυχής στις περισσότερες εφαρμογές προβλημάτων δυαδικού προγραμματισμού. Η διαδικασία της μεθόδου παρουσιάζεται στα παρακάτω βήματα:

1. Επίλυση του προβλήματος με χρήση γραμμικού προγραμματισμού. Αν η επίλυση οδηγήσει σε ακέραια λύση, τότε το πρόβλημα θεωρείται λυμένο.

2. Αν δεν δοθεί ακέραια λύση στο πρώτο βήμα, δημιουργούνται υπο-προβλήματα (κλάδοι) του αρχικού. Η διακλάδωση του αρχικού προβλήματος βασίζεται στις μη-ακέραιες τιμές που προέκυψαν κατά την πρώτη φάση της επίλυσης. Το πρόβλημα επιλύεται ξανά, δίνοντας ακέραιες τιμές στην μη ακέραια μεταβλητή. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται φράγματα της λύσης, καθώς αυτή δεν μπορεί να είναι υψηλότερη του άνω φράγματος και μικρότερη του κάτω φράγματος.
3. Επιλέγεται ένα από τα προβλήματα που δημιουργούνται στα προηγούμενο βήμα και συνεχίζεται η διαδικασία της επίλυσης, η οποία αποκτά τη μορφή δέντρου, μέχρις ότου προκύψει ακέραια λύση.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι μετά το βήμα 1 μπορεί να προκύψει πλειάδα λύσεων χωρίς ακέραια τιμή. Η εφαρμογή του δεύτερου βήματος με όλες τις τιμές θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγάλο αριθμό υπολογισμών και σε μία χρονοβόρα διαδικασία. Για αυτό το λόγο ακολουθείται η τακτική να επιλέγονται είτε λύσεις που δεν έχουν επιλεγεί ξανά, είτε λύσεις που φαίνεται να έχουν παραπάνω πιθανότητες να οδηγήσουν σε ακέραια λύση. Φυσικά, η δεύτερη τακτική εξαρτάται άμεσα από το πρόβλημα και τον επιλυτή.

Η εφαρμογή της μεθόδου κλάδου και φράγματος είναι αρκετά συχνή για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης αποθηκών. Πρώτος, ο Khumawala, ανέπτυξε το 1972 έναν τέτοιο αλγόριθμό για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης άπειρης χωρητικότητας. Το 1977, οι Akinc και Khumawala, ανέπτυξαν αντίστοιχο αλγόριθμο για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης με περιορισμένη δυναμικότητας αποθήκη. Με την πάροδο του χρόνου, άρχισαν να αναπτύσσονται όλο και περισσότεροι αλγόριθμοι για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης αποθηκών. Παρόλα αυτά, οι αλγόριθμοι αυτοί αντιμετωπίζουν μεγάλη δυσκολία κατά την εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας προβλήματα, κάτι που δεν είναι σπάνιο πρακτικά. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι μη ακέραιες λύσεις των προβλημάτων είναι πολλές και δεν υπάρχει τρόπος αποκλεισμού των λύσεων. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία πολλών διακλαδώσεων και τον απειρισμό των πιθανών λύσεων. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές, με πιο χαρακτηριστική αυτή της λαγκρανζιανής χαλάρωσης (Lagrangian relaxation) των περιορισμών. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επιβολή ποινής στις λύσεις που δεν είναι ακέραιες, ώστε να μειώσει των αριθμό τους. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται ο αριθμός των λύσεων προς έλεγχο. Όπως είναι φυσικό, αυτή η τεχνική αποκλείει την εύρεση της ακριβούς λύσης. Παρόλα αυτά αποδεικνύεται πως η λύση που βρίσκεται, προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την τελική. Η μέθοδος αυτή έχει προταθεί από

πολλούς ερευνητές (Geofrion & Graves, Geofrion & Nauss, Christofides & Beasley) ως αξιόπιστη για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης αποθηκών.

8.2.3 Ευρετικές μέθοδοι

Παραπάνω αναφέρθηκαν μέθοδοι για την επίλυση προβλημάτων μικρού και μεσαίου μεγέθους. Οι ευρετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να λυθούν προβλήματα μεγάλου μεγέθους, ή προβλήματα που οι παραπάνω τρόποι αδυνατούν να επιλύσουν, λόγω της δομής που παρουσιάζουν. Οι ευρετικές μέθοδοι επιλύουν τα προβλήματα προσεγγιστικά. Δηλαδή, δεν βρίσκουν τη βέλτιστη λύση, αλλά μία λύση κοντά στη βέλτιστη, η οποία λόγω του μεγέθους του προβλήματος είναι αποδεκτή.

Η εφαρμογή ευρετικών αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων δεν ακολουθεί ένα ενιαίο μοντέλο, ούτε υπάρχει ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος. Για κάθε πρόβλημα αναπτύσσεται ένας ξεχωριστός αλγόριθμος, ο οποίος δομείται πάνω στο πρόβλημα και στις μεταβλητές του.

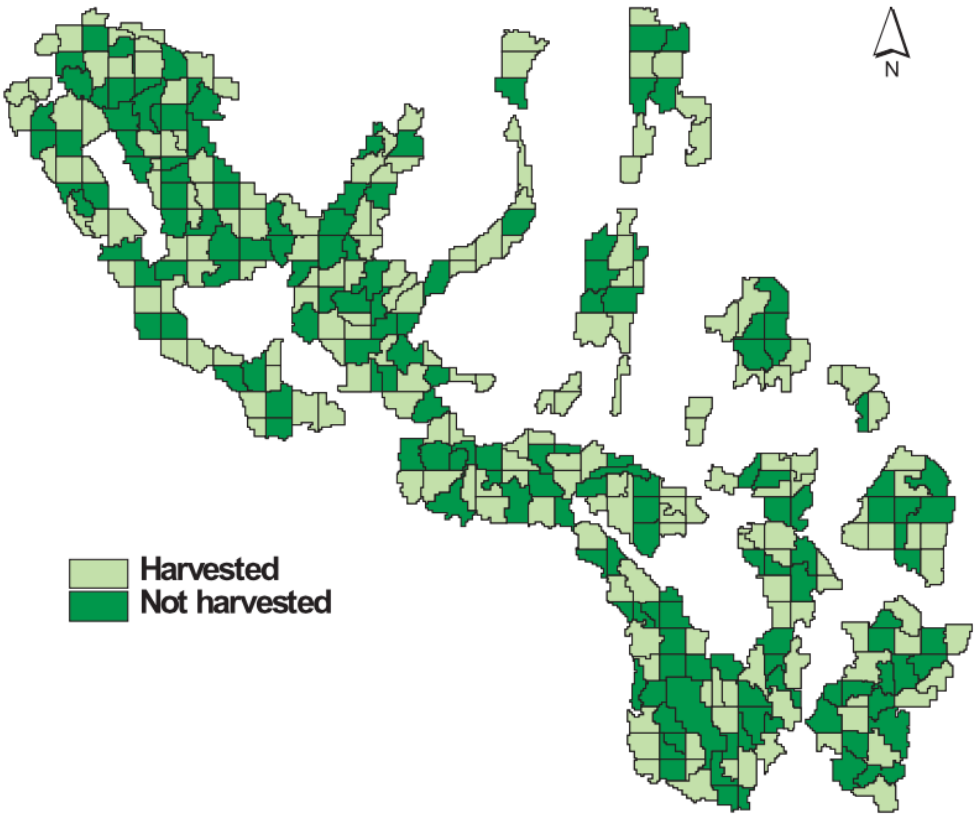
Η εφαρμογή ευρετικών αλγορίθμων σε προβλήματα χωροθέτησης αποθηκών είναι μία πιθανή τακτική και αποδίδουν συχνά λύσεις που προσεγγίζουν τη βέλτιστη.

8.3 Μοντελοποίηση στην εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας

Η εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης κατά την μοντελοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας αποτελεί μία τακτική που χρησιμοποιείται από αρκετούς ερευνητές. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σε θέματα που ανακύπτουν στη φάση της συλλογής, της μεταφοράς και της αποθήκευσης. Όπως είναι λογικό, η βελτιστοποίηση σε κάθε φάση της εφοδιαστικής αλυσίδας πραγματοποιείται πάνω σε διαφορετικές μεταβλητές. Η βελτιστοποίηση στη φάση της συλλογής επικεντρώνεται, στα περισσότερα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί, στην επιλογή των αγροτεμαχίων από τα οποία θα χρησιμοποιηθεί βιομάζα για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Αντίστοιχα, στη φάση της μεταφοράς, η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων γίνεται για τη χάραξη του βέλτιστου πλάνου μεταφοράς, έχοντας ως μεταβλητές τα διαθέσιμα είδη βιομάζας και την ζήτηση. Ακόμα, στη φάση της αποθήκευσης, τα διαθέσιμα μοντέλα αποσκοπούν στην εύρεση της βέλτιστης τοποθεσίας των σημείων αποθήκευσης, κάτι που μελετάται και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί και μοντέλα που μοντελοποιούν ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα και λαμβάνουν αποφάσεις, έχοντας ως βάση δεδομένα από όλα τα στάδια της. Παρακάτω ακολουθεί ενδεικτική ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας πάνω στην μοντελοποίηση των διαφόρων σκελών της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας.

8.3.1 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της συλλογής

Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Murray (1999), δημιουργείται ένα πρόγραμμα συλλογής δασικής βιομάζας, το οποίο λαμβάνει υπόψιν τους χωρικούς περιορισμούς που οφείλονται στη διαθεσιμότητα και στην παραγωγικότητα της καλλιεργούμενης γης. Το μοντέλο που αναπτύσσει έχει δύο πτυχές. Την πρώτη πτυχή αποτελεί το "Unit Restriction Model", στο οποίο δεν γίνεται να χρησιμοποιηθεί βιομάζα από δύο διπλανές δασικές περιοχές. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε με γνώμονα την ύπαρξη κανονισμών και νόμων που περιορίζουν τη άντληση βιομάζας ολόκληρων περιοχών, έχοντας ως βάση την αειφόρο ανάπτυξη. Η δεύτερη πτυχή του μοντέλου είναι το "Area Restriction Model". Σε αυτό ισχύει ο περιορισμός που ίσχυε και στο προηγούμενο μοντέλο, αλλά επιπλέον δε γίνεται να συλλεχθεί βιομάζα από μία περιοχή παραπάνω από μία φορά σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το παραπάνω μοντέλο είναι δυαδικού προγραμματισμού και επιλύεται με γραμμικές μεθόδους. Όπως γίνεται αντιληπτό, το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί για τη συλλογή οποιουδήποτε είδους βιομάζας.



Εικόνα 8.3-1: Παράδειγμα επιλογής περιοχών που ενδείκνυνται συλλογή

Οι Gunnarsson, Ronnqvist, & Lundgren (2004) ανέπτυξαν ένα μοντέλου δυαδικού προγραμματισμού, το οποίο βελτιστοποιεί τον χρονικό προγραμματισμό και επιλέγει τους

κόμβους που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας δασικής βιομάζας για παραγωγή βιοενέργειας. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν τους διάφορους παράγοντες, όπως την αλλαγή των τιμών των προμηθευτών και τη διακύμανση της ζήτησης ανάλογα με τις προβλεπόμενες μεταβολές του καιρού, βασιζόμενο σε μετεωρολογικά μοντέλα. Επίσης, το μοντέλο συνυπολογίζει τους διαθέσιμους κόμβους μεταφοράς (συνδυασμό λιμανιών, σταθμών τρένων και οδικού δικτύου), αλλά και τις μεταβολές στη συνολική μεταφορική τους ικανότητα, βάση του προγραμματισμού τους, και επιλέγει τους κατάλληλους για σημείο συλλογής των προϊόντων πριν τη μεταφορά τους. Τέλος, καθορίζει το ποσοστό της δυναμικότητας κάθε εργοστασίου που θα δεσμευτεί, ανάλογα με τη ζήτηση των σημείων που εξυπηρετούνται από αυτό, βασιζόμενο σε στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης. Το μοντέλο επιλύεται με ευρετική μέθοδο.

Οι Gemtos & Tsiricoglou (1999) εμβαθύνουν σε μία άλλη πτυχή του προβλήματος της συλλογής βιομάζας. Πραγματοποιούν αναλυτικές μετρήσεις αναφορικά με τη φυσική κατάσταση και τα χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων βαμβακιού. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε δύο διαδοχικές περιόδους καλλιέργειας. Επίσης, καταγράφουν τα χαρακτηριστικά της βιομάζας που συλλέγεται από αυτά και τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Οι παραπάνω μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των κατάλληλων αγροτεμαχίων για να πραγματοποιηθεί η συλλογή.

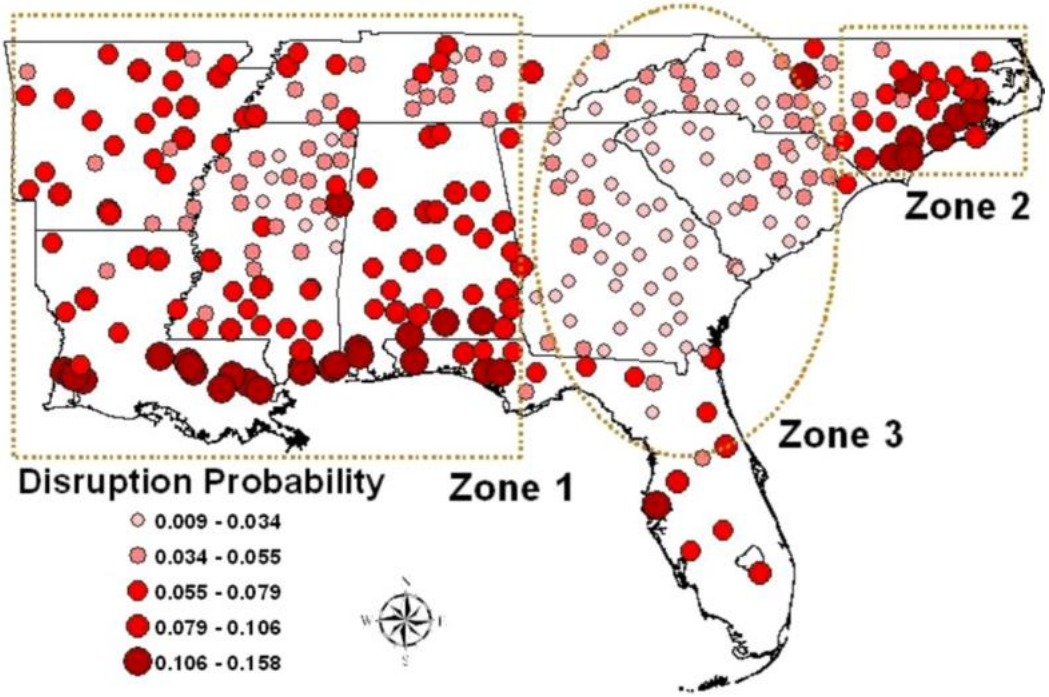
8.3.2 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της μεταφοράς

Ο Nilsson (1999) παρουσιάζει ένα δυναμικό μοντέλο το οποίο εξετάζει τις διάφορες εναλλακτικές επιλογές για τη διανομή της βιομάζας στους σταθμούς επεξεργασίας, διαμέσου ενδιάμεσων τοποθεσιών. Αντικειμενικός σκοπός του προβλήματος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, αλλά και η δαπανώμενη ενέργεια των μηχανημάτων, που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των υπολειμμάτων. Το μοντέλο λαμβάνει ως είσοδο πλειάδα πληροφοριών, όπως τη γεωγραφία της περιοχής και τις δυνατούς τρόπους μεταφοράς που προσφέρονται σε κάθε υπο-περιοχή, τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων και των αγροτικών προϊόντων που παράγουν, καθώς και μετεωρολογικά μοντέλα. Συνδυάζοντας τα δύο τελευταία, επιτυγχάνει την πρόβλεψη, ανά πάσα στιγμή, του ποσοστού υγρασίας των καλλιεργούμενων αγαθών, και έτσι μπορεί να διαχειριστεί ανάλογα το συνολικό δυναμικό των μηχανημάτων, αλλά και τα διαθέσιμα μεταφορικά μέσα.

Ο Forsberg (2000) αναπτύσσει ένα μοντέλο, το οποίο συγκρίνει την παραγωγή βιοενέργειας από βιομάζα που παράγεται σε τοπικό επίπεδο και την εισαγωγή βιομάζας από εξωτερικές

πηγές, αναφορικά με το αντίκτυπο των δύο πιθανών επιλογών στο περιβάλλον μέσω εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πραγματοποιεί ανάλυση κύκλου ζωής για ένα σενάριο που προβλέπει την εισαγωγή βιομάζας από τη Σουηδία στην Ολλανδία και για ένα σενάριο που βασίζεται στη βιομάζα που παράγεται από εγχώριες πηγές. Καταλήγει στο ότι η εισαγωγή της βιομάζας από το εξωτερικό δεν παρουσιάζει περισσότερες εκπομπές από αυτές που παράγονται από την μεταφορά της βιομάζας στο εσωτερικό της χώρας.

Οι Marufuzzaman, Eksioglu, Li, & Wang (2014) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο επιλέγει το βέλτιστο συνδυασμό σταθμών μεταφοράς (λιμάνια, οδικά δίκτυα, σταθμοί τρένων) της βιομάζας, λαμβάνοντας υπόψιν τη στατιστική πιθανότητα να λειτουργούν απρόσκοπτα. Η πιθανότητα να σταματήσει ένας σταθμός υπολογίζεται από μοντέλο που λαμβάνει υπόψιν του δεδομένα ιστορικών στοιχείων. Ως γεγονότα που μπορούν να διακόψουν τη λειτουργία ενός σταθμού, θεωρούνται οι φυσικές καταστροφές και οι καταστροφές που προκαλούνται από τον άνθρωπο. Η πρόβλεψη για τις φυσικές καταστροφές (ανεμοστρόβιλοι, υψηλά επίπεδα βροχής, χιονόπτωση κα) γίνεται με βάση ιστορικά μετεωρολογικά στοιχεία. Η πρόβλεψη για τις καταστροφές που μπορούν να προκληθούν από ανθρώπινο παράγοντα γίνονται με τον ίδιο τρόπο, ενώ λαμβάνονται υπόψιν ιστορικά στατιστικά ατυχημάτων (εκτροχιασμός τρένων), βλαβών (διακοπή ρεύματος σε επίπεδο μέρους πολιτείας), αλλά και εργοστασιακών καταστροφών που εμποδίζουν την εύρυθμη λειτουργία της περιοχής. Η επίλυση του μοντέλου γίνεται με ευρετικούς αλγορίθμους. Η αντικειμενική συνάρτηση, πέρα από τα μέρη του κόστους σύστασης, μεταφορών και μεταφοράς μεταξύ των σταθμών, όπως ακριβώς παρουσιάστηκε στο πρόβλημα χωροθέτησης πλήμνης, περιλαμβάνει και την χρήση εναλλακτικών διαδρομών, οι οποίοι σταθμίζονται με έναν πολλαπλασιαστή, ανάλογα με την πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 8.3-2: Παράδειγμα συνδυασμού στατιστικών και γεωγραφικών στοιχείων

8.3.3 Βελτιστοποίηση στο στάδιο της αποθήκευσης

Οι Cundiff, Dias, & Sherali (1997) ανέπτυξαν ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς από το αγρόκτημα στον ενδιάμεσο αποθηκευτικό χώρο. Κατά την ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους, συμπεριλαμβάνονται στην αντικειμενική συνάρτηση τα κόστη επέκτασης της αποθήκης, καθώς και η χωρητικότητα της κάθε αποθήκης. Η είσοδος των μεταβλητών περιλαμβάνει την αβεβαιότητα των καιρικών συνθηκών, η οποία συνδέεται άμεσα με την παραγωγή της βιομάζας, καθώς από αυτή εξαρτώνται οι χρόνοι θερισμού, ο ρυθμός συλλογής, καθώς και ο μεταφορικός χρόνος. Επίσης, στο συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνεται υπόψιν το γεγονός πως οι καιρικές συνθήκες έχουν αντίκτυπο και στην αποθήκευση της βιομάζας, καθώς επηρεάζουν διάφορα στοιχεία του τρόπου αποθήκευσης που έχει επιλεγεί. Ακόμα, το μοντέλο δεν απαγορεύει την υπέρβαση της χωρητικότητας των αποθηκών (στο πρότυπο επιλέγεται η μέθοδος της υπαίθριας αποθήκευσης σε ξηρό υπόστρωμα), αλλά την ποινικοποιεί, μέσω της εφαρμογής ενός υποπολλαπλασιαστικού συντελεστή στην ποσότητα της βιομάζας, ο οποίος αποτυπώνει τις απώλειες που θα παρουσιάσουν τα υπολείμματα, λόγω της αποθήκευσης τους σε μη ιδανικές συνθήκες.

Οι Nilsson and Hansson (2001) αναπτύσσουν ένα μοντέλο, το οποίο εξετάζει το κατά πόσο η χρήση ενός δεύτερου είδους βιομάζας μειώνει το συνολικό κόστος της παραγωγής

βιοενέργειας. Προτείνουν τη χρήση του ενεργειακού φυτού Phalaris arundinacea L. και την ταυτόχρονη χρήση του με υπολείμματα σίτου, βασιζόμενοι στο ότι τα δύο είδη βιομάζας έχουν παρόμοια ενεργειακά χαρακτηριστικά και μεθόδους συλλογής και αποθήκευσης. Η επιχειρηματολογία τους αποσκοπεί στο να μειωθεί η αυξημένη ζήτηση σε κάποιες περιοχές για τη συλλογή βιομάζας σίτου και να αναδιαταχθούν οι αποθηκευτικοί χώροι με σκοπό τη μείωση του συνολικού κόστους. Στη διαμόρφωση του μοντέλου λαμβάνονται υπόψιν τα ποσοστά υγρασίας της προς συλλογή βιομάζας και η κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά της. Το μοντέλο επιλύεται μέσω δυναμικού προγραμματισμού και επιτυγχάνει μείωση του συνολικού κόστους.

8.4 Μοντέλο

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω, έγινε σαφές ότι οι ερευνητές είχαν στη διάθεση τους ακριβή στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά αφορούσαν τόσο τις παραγωγικές δυνατότητες σε επίπεδο αγροτεμαχίου, αλλά και ακριβή γεωγραφικά δεδομένα. Αυτό οφείλεται κυρίως, στο ότι οι μελέτες αυτές αφορούσαν εφοδιαστικές αλυσίδες βιομάζας των ΗΠΑ ή άλλων μεγάλων παραγωγών, όπου η παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοενέργειας πραγματοποιείται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Αυτό έχει οδηγήσει στην πλήρη καταγραφή και παρακολούθηση των όποιων δεδομένων σχετίζονται και μπορούν να συντελέσουν στη διαμόρφωση και στο σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας. Όπως γίνεται αντιληπτό η ύπαρξη στοιχείων καθιστά αποδοτικότερη και πολύ πιο αντιπροσωπευτική την εφαρμογή των παραπάνω μοντέλων.

Η έλλειψη στοιχείων είναι επίσης ο κύριος λόγος για τη δυσκολία της μοντελοποίησης της φάσης της συλλογής και της μεταφοράς στην Ελλάδα. Η έλλειψη στοιχείων για την αλληλεπίδραση του κλίματος και των μικρο-κλιματικών φαινομένων με τα αγροτικά προϊόντα και τα υπολείμματα αυτών δεν επιτρέπει τη σε βάθος και αναλυτική μοντελοποίηση της φάσης της συλλογής. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί (Gemtos και Tsiricoglou, 1999 και Papadopoulos and Katsigiannis, 2002), αλλά σε περιορισμένο επίπεδο και όχι σε βάθος χρόνου. Στην περίπτωση που υπήρχαν τέτοια ακριβή στοιχεία θα μπορούσε να γίνει ακριβής επιλογή των περιοχών και αγροτεμαχίων από τις οποίες θα πραγματοποιείται η συλλογή, βελτιστοποιώντας έτσι την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ακόμα, λόγω του ότι η διατήρηση ενός αγροτικού ελκυστήρα στην Ελλάδα δεν απαιτεί τη δήλωση και καταγραφή του, υπάρχει ένα μεγάλο στατιστικό κενό, μεταξύ των στοιχείων εισαχθέντων αγροτικών μηχανημάτων και εν ενεργεία αγροτικών μηχανημάτων. Αυτό

αποτελεί εμπόδιο για τον πλήρη θεωρητικό και ημερολογιακό σχεδιασμό των απαιτούμενων μεταφορών της βιομάζας και απαιτεί την πραγματοποίηση υποθέσεων.

Για αυτούς τους λόγους, η μοντελοποίηση που έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δεν αφορά το στάδιο της συλλογής και της μεταφοράς, αλλά μόνο αυτό της αποθήκευσης. Οι υπολογισμοί για αυτά τα δύο στάδια πραγματοποιήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα για την επιλογή αποθηκευτικών χώρων.

Ο λόγος που δε χρησιμοποιήθηκε κάποιο από το παραπάνω μοντέλα χωροθέτησης είναι ότι στα μοντέλα αυτά ο χώρος που επιλέγεται τελικά ως αποθηκευτικός πρέπει να ταυτίζεται με έναν πιθανό προεπιλεγμένο κόμβο, ή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να βρίσκεται πάνω στα τόξα που συνδέουν δύο πιθανούς κόμβους. Η εφαρμογή αυτής της συνθήκης στην προσπάθεια εύρεσης αποθηκευτικών χώρων σε μία τόσο μεγάλη έκταση περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη του μοντέλου και το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αρχικά, δεν γίνεται να οριστούν εξ' αρχής πιθανοί κόμβοι. Ο λόγος που δεν γίνεται αυτό, είναι το ότι δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που να καθιστά κάποιο σημείο της Περιφέρειας Θεσσαλίας ποιο κατάλληλο για αποθήκευση από κάποιο άλλο, και αυτό αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση έλλειψης στοιχείων. Μία από τις εναλλακτικές επιλογές που παρουσιάζουν οι Tatsiopoulos & Tolis (2003) περιλαμβάνει τη εγκατάσταση των χώρων αποθήκευσης σε ήδη υπάρχουσες ιδιωτικές εγκαταστάσεις, κάτι που όμως στην περίπτωση μας δεν είναι δυνατό, καθώς η διακινούμενη ποσότητα είναι μεγάλη.

Για αυτό το λόγο, υπάρχει η ανάγκη της ανάπτυξης ενός μοντέλου το οποίο επιλέγει τις θέσεις των ενδιάμεσων αποθηκευτικών χώρων λαμβάνοντας υπόψιν το σύνολο της επιφάνειας της Περιφέρειας Θεσσαλίας και όχι πιθανές προκαθορισμένες επιλογές.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για τον προσδιορισμό της θέσης των ενδιάμεσων αποθηκών, βασίστηκε στη μέθοδο της ομαδοποίησης k-διαμέσου. Η ομαδοποίηση k-διαμέσου αποσκοπεί στο διαχωρισμό n στοιχείων σε k ομάδες ή κυψέλες, όπου κάθε στοιχείο αντιστοιχείται σε μία ομάδα, της οποίας το κέντρο βάρους είναι το πιο κοντινό στο στοιχείο n από κάθε άλλη. Για να γίνει αντιληπτή η έννοια της ομαδοποίησης k-διαμέσου, παρακάτω θα γίνει μία σύντομη αναφορά στα διαγράμματα Voronoi, τα οποία αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρό της μεθόδου.

8.4.1 Διαγράμματα Voronoi

Σύμφωνα με τη μαθηματική τους διατύπωση, το διάγραμμα Voronoi είναι η τμηματοποίηση ενός επιπέδου σε τμήματα ή κυψέλες, με βάση τις αποστάσεις όλων των σημείων του επιπέδου

από ένα συγκεκριμένο υποσύνολο αυτών, τα οποία ονομάζονται γεννήτριες των τμημάτων. Το υποσύνολο των σημείων-γεννητριών είναι προκαθορισμένο, και για κάθε γεννήτρια υπάρχει ένα σύνολο σημείων, που απέχει από αυτό λιγότερο από κάθε άλλο σημείο του επιπέδου. Μεταξύ των κυψελών δημιουργούνται ευθείες, των οποίων τα σημεία ισαπέχουν από τις δύο πιο κοντινές τους γεννήτριες.

Η μαθηματική διατύπωση ενός διαγράμματος Voronoi είναι η εξής: Έστω χωρίο X και d μία συνάρτηση υπολογισμού της απόστασης στο χωρίο. Επίσης, έστω ότι K ένα σύνολο δεικτών και P_k ($k \in K$) μία πλειάδα μη κενών υποσυνόλων στο χώρο X. Η περιοχή Voronoi R_k είναι το σύνολο των σημείων του χωρίου X, των οποίων η απόσταση από το P_k είναι μικρότερη ή ίση από την απόσταση τους από κάθε P_j, όπου ο συντελεστής j είναι διάφορος του k. Δηλαδή, αν $d(x,A) = \inf\{d(x,A) \mid a \in A\}$ είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου x και του υποσυνόλου A, τότε η περιοχή Voronoi ορίζεται ως εξής:

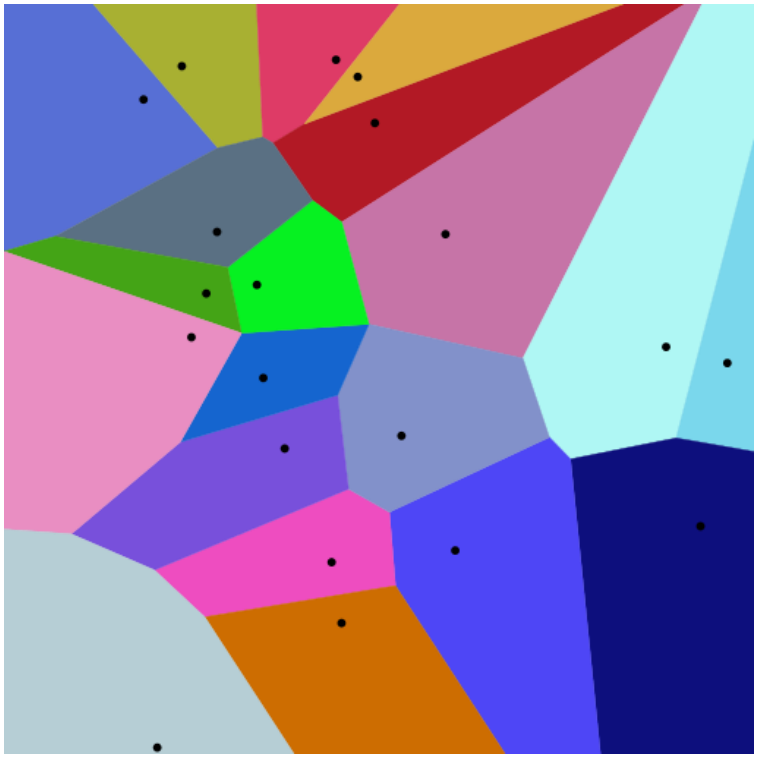
$$R_k = \{x \in X | d(x, P_k) \leq d(x, P_j), \gamma\iota\alpha\ \kappa\acute{\alpha}\theta\varepsilon\ j \neq k\}$$

Το διάγραμμα Voronoi του χωρίου είναι το σύνολο των περιοχών R_k ($k \in K$).

Σημαντικό ρόλο στην τελική μορφή του διαγράμματος Voronoi ενός χωρίου X παίζει ο τρόπος υπολογισμού των αποστάσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από αυτούς:

- Ευκλείδεια απόσταση: Η απόσταση μεταξύ των σημείων και του κέντρου της κυψέλης υπολογίζεται από την εξίσωση: $d(x,c) = \sqrt{\sum_{i=1}^{p}(x_i - c_i)^2}$.
- City block (Manhattan distance): Η απόσταση αυτή είναι ίση με το άθροισμα των απόλυτων διαφορών μεταξύ των συντεταγμένων των σημείων και του κέντρου στο Ευκλείδειο επίπεδο. $d(x,c) = \sum_{i=1}^{p}|x_i - c_i|$.
- Cosine: Κάθε απόσταση εκφράζεται ως υποπολλαπλάσιο του ελάχιστου μήκους στο Ευκλείδειο επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε σημείο εκφράζεται ως διάνυσμα: $d(x,c) = 1 - \frac{xc'}{\sqrt{(xx')(cc')}}$
- Correlation: Το κέντρο κάθε περιοχής Voronoi, είναι το στατιστικό μέσο όρο, αν τα σημείο κανονικοποιηθούν με μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με ένα. $d(x,c) = 1 - \frac{(x-\bar{\bar{x}})*(c-\bar{\bar{c}})'}{\sqrt{(x-\bar{\bar{x}})*(x-\bar{\bar{x}})'}*\sqrt{(c-\bar{\bar{c}})*(c-\bar{\bar{c}})'}}$, όπου, $\bar{\bar{x}} = \frac{1}{p}\left(\sum_{j=1}^{p} x_j\right)\underset{1_p}{\rightarrow}$, $\bar{\bar{c}} = \frac{1}{p}\left(\sum_{j=1}^{p} c_j\right)\underset{1_p}{\rightarrow}$, και $\underset{1_p}{\rightarrow}$ διάνυσμα με p μονάδες.

Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά, δύο διαγράμματα Voronoi με τυχαία σημεία-γεννήτριες. Στο πρώτο, οι αποστάσεις είναι οι ευκλείδειες, ενώ στο δεύτερο ο υπολογισμός τους είναι με τη μέθοδο city block.



Εικόνα 8.4-1: Διάγραμμα Voronoi 20 σημείων με ευκλείδειες αποστάσεις

Εικόνα 8.4-2: Διάγραμμα Voronoi 20 σημείων με αποστάσεις city block

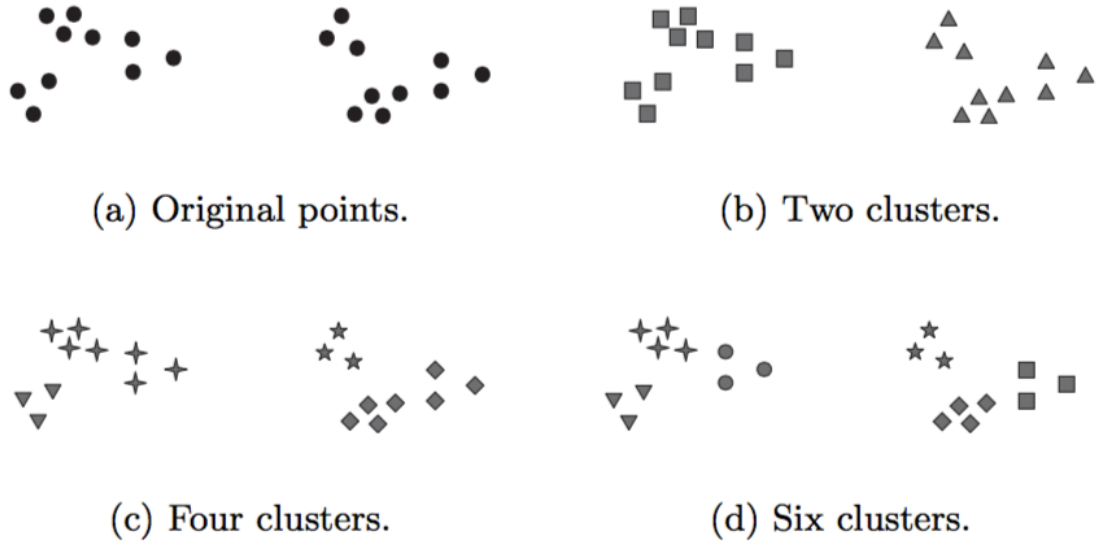
Η πρώτη χρήση διαγραμμάτων παρόμοιων με των Voronoi παρατηρείται ήδη από το 1600 και τον Descartes. Δημιουργός τους είναι ο ουκρανός μαθηματικός Georgy Voronoi, ο οποίος διατύπωσε τη θεωρία το 1908. Έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς, και ειδικά στην επεξεργασία δεδομένων.

8.4.2 Ομαδοποίηση k-διαμέσου

Σύμφωνα και με τον ορισμό της ομαδοποίησης k-διαμέσου που δόθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, γίνεται σαφές, πως το αποτέλεσμα της εφαρμογής της ομαδοποίησης k-διαμέσου ομοιάζει με διάγραμμα Voronoi.

Η μαθηματική διατύπωση του αλγορίθμου είναι η παρακάτω: με δεδομένο ένα σύνολο σημείων (x_1, x_2, …, x_n), η ομαδοποίηση k-διαμέσου στοχεύει στη διαίρεση των σημείων σε k σύνολα, με k<=n, S = {S_1, S_2, …, S_k}, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των σημείων κάθε συνόλου.

$$argmin \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2$$



Εικόνα 8.4-3 Εφαρμογή ομαδοποίησης k-διαμέσου[21]

Στην περίπτωση που ο αριθμός των επιθυμητών υποσυνόλων είναι μικρότερος του συνόλου των σημείων, κάποια υποσύνολα ή κυψέλες σύμφωνα με τη θεωρία του Voronoi, θα

[21] Πηγή: (Tan, Steinbach, & Kumar, 2006)

περιλαμβάνουν περισσότερα από ένα σημεία. Σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν χρήσιμο να μπορούσαμε να γνωρίζουμε τη θέση του κέντρου βάρους της κυψέλης, που περιλαμβάνει τα σημεία. Εκφράζοντας το πρόβλημα με όρους εφοδιαστικής αλυσίδας, στην περίπτωση που γνωρίζουμε πως x παραγωγικοί κόμβοι θα αποθηκεύουν την παραγωγή τους στην ίδια αποθήκη, θα πρέπει να μάθουμε τη θέση του κέντρου βάρους που ορίζεται από τους κόμβους, καθώς εκεί θα είναι το σημείο που θα πρέπει να τοποθετηθεί η αποθήκη, ώστε να ισαπέχει από τα σημεία παραγωγής.

Η αλγοριθμική διατύπωση της παραπάνω μαθηματικής διατύπωσης οφείλεται στον Stuart Lloyd, ο οποίος την ανέπτυξε το 1957, στα εργαστήρια Bell. Για αυτό πολλές φορές πέρα από k-means clustering algorithm, ο αλγόριθμος ονομάζεται και Lloyd's algorithm. Η αλγοριθμική έκφραση της ομαδοποίησης k-διαμέσου είναι η εξής:

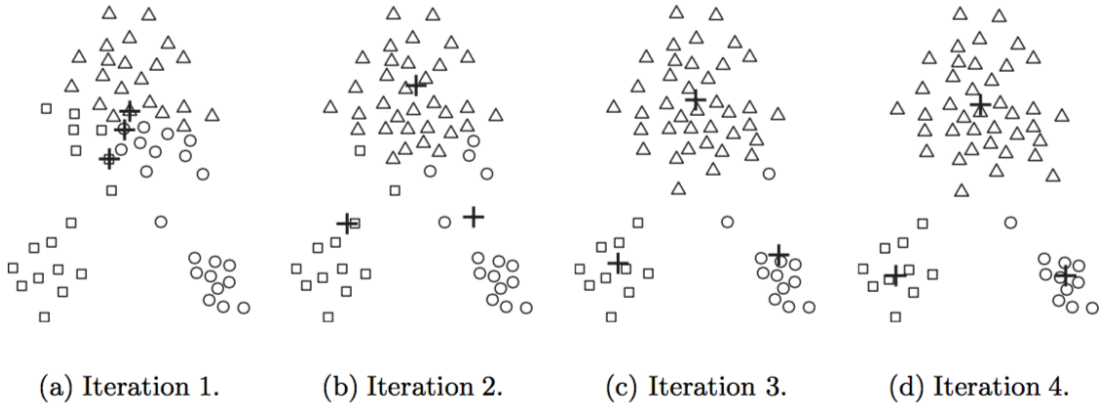
1. Επιλογή k αρχικών κέντρων βάρους. Ο τρόπος που πραγματοποιείται η επιλογή αναλύεται παρακάτω.
2. Υπολογίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των επιλεγμένων στο πρώτο βήμα κέντρων βάρους και των σημείων του χώρου.
3. Κάθε σημείο ανατίθεται σε αυτή την κυψέλη, ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των σημείων και των κέντρων βαρύτητας της κυψέλης που ανατίθεται. Στην περίπτωση που οι αποστάσεις είναι ευκλείδειες, η παραπάνω ανάθεση ταυτίζεται με την ανάθεση κάθε σημείου στην κυψέλη του πιο κοντινού κέντρου βαρύτητας.
4. Υπολογίζεται το νέο κέντρο βαρύτητας της κυψέλης, λαμβάνοντας υπόψιν τα σημεία που προστέθηκαν στην κυψέλη.
5. Επανάληψη των βημάτων 2 μέχρι 4, έως ότου επιτευχθεί ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή σταματήσουν να ανατίθενται σημεία σε άλλες κυψέλες.

8.4.2.1 Αρχικοποίηση κέντρων βαρύτητας

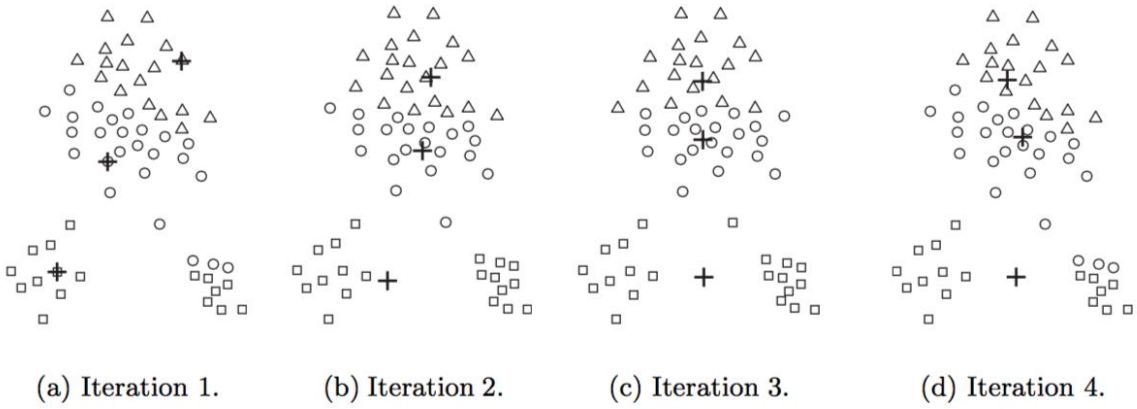
Η αρχικοποίηση των κέντρων βαρύτητας είναι ένα ενδιαφέρον ζήτημα και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα και τεχνικές για την αρχικοποίηση των κέντρων βαρύτητας. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από αυτές.

Μία πιθανή τεχνική για την αρχικοποίηση των κέντρων βαρύτητας είναι η τυχαία επιλογή k σημείων από τα δείγμα και θεώρηση τους ως κέντρων βαρύτητας, μέθοδος γνωστή και ως Forgy method. Η μέθοδος όμως αυτή παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στα αποτελέσματα της.

Παρακάτω παρατίθενται δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου με τυχαία αρχικοποίηση των κέντρων βαρύτητας (Tan, Steinbach, & Kumar, 2006):



Εικόνα 8.4-4: Τυχαία αρχικοποίηση – Παράδειγμα 1[21]

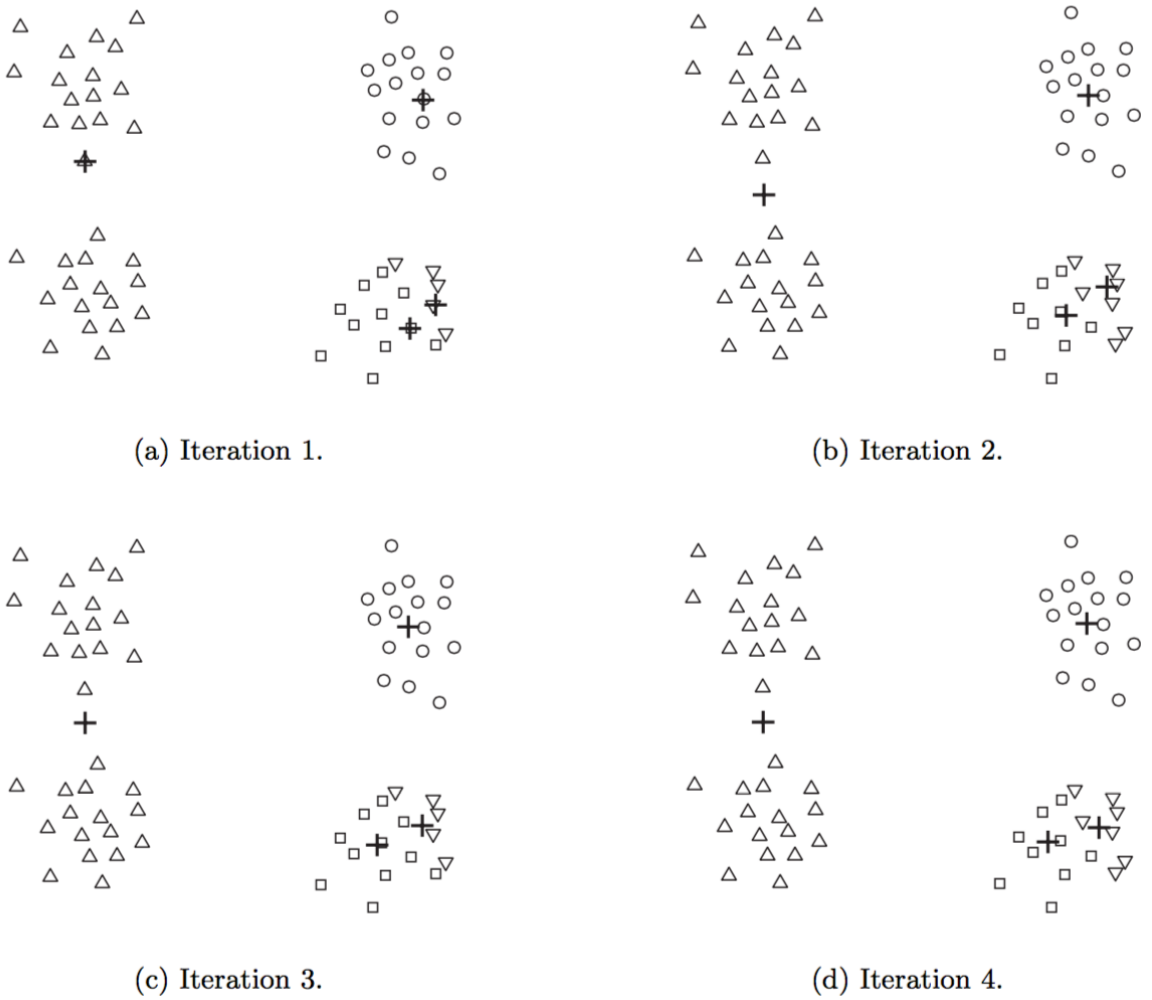


Εικόνα 8.4-5: Τυχαία αρχικοποίηση – Παράδειγμα 2[21]

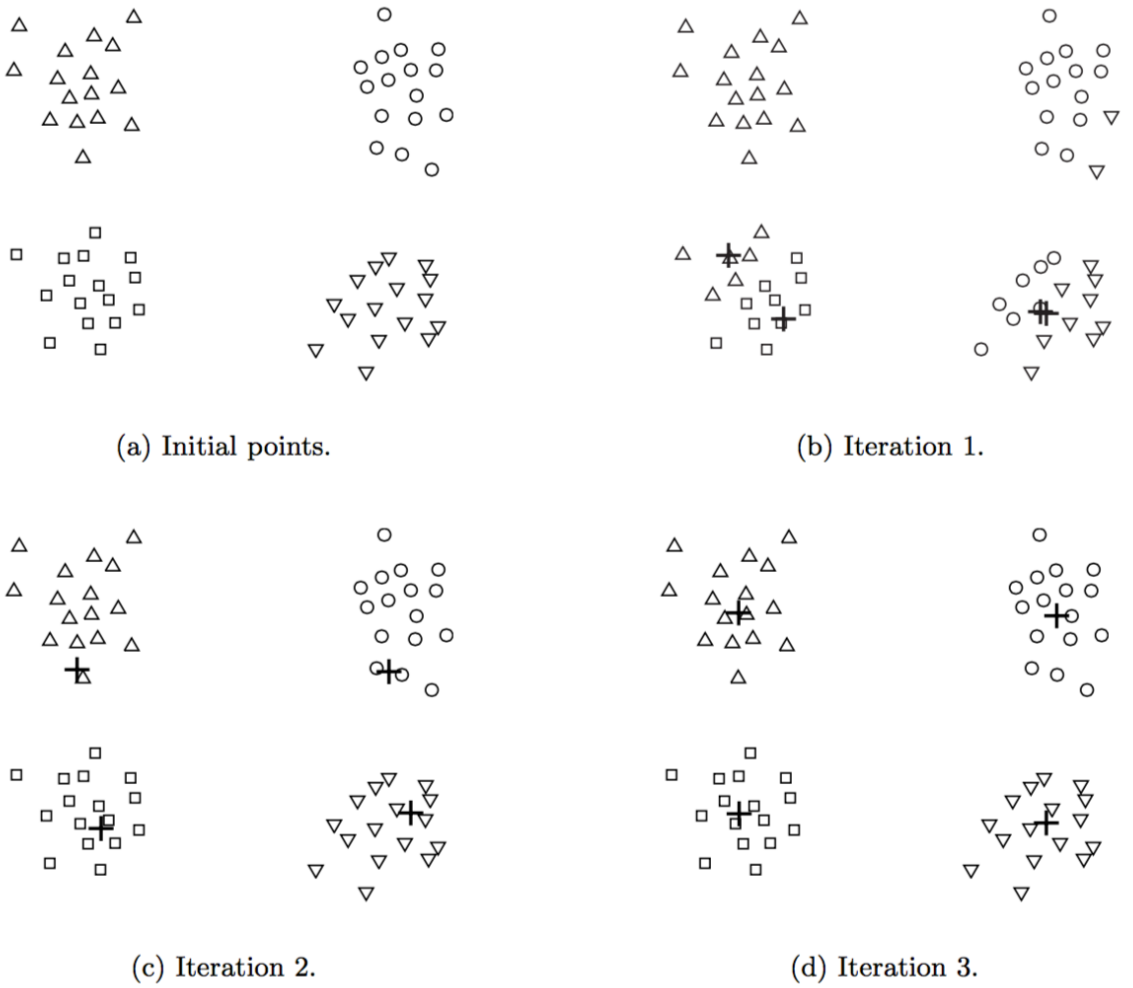
Στην πρώτη περίπτωση, παρόλο που η τυχαία αρχικοποίηση γίνεται επιλέγοντας σημεία που τελικά υπάγονται στην ίδια κυψέλη, ο αλγόριθμος καταλήγει στη βέλτιστη λύση. Στη δεύτερη περίπτωση, ακολουθώντας την ίδια τακτική η τμηματοποίηση που παράγει ο αλγόριθμος δεν είναι η βέλτιστη.

Μία άλλη τεχνική για την επιλογή αρχικών κέντρων βάρους είναι η επιλογή ενός μέρος του δείγματος, συνήθως 10% των σημείων και η επιλογή k σημείων από το δείγμα και ο ορισμός τους ως κέντρα βάρους. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται πεπερασμένο αριθμό φορών, και στο τέλος επιλέγεται η αρχικοποίηση που δίνει το ελάχιστο άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων. Η μέθοδος αυτή εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του δείγματος, καθώς και τον αριθμό των k σημείων σε σχέση με τον αριθμό του συνόλου. Επίσης, στην περίπτωση που τα σημεία είναι εξ' αρχής χωρισμένα σε ομάδες απομακρυσμένες μεταξύ τους, ο αλγόριθμος τις

περισσότερες φορές αδυνατεί να προσαρμοσθεί. Στις επόμενες δύο εικόνες παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα.



Εικόνα 8.4-6: Αρχικοποίηση μέσω δείγματος – Παράδειγμα 1[21]



Εικόνα 8.4-7: Αρχικοποίηση μέσω δείγματος – Παράδειγμα 2[21]

Οι David & Vassilvitskii (2007) παρουσιάζουν τον αλγόριθμο kmeans++, ο οποίος βελτιώνει τα αποτελέσματα του αλγορίθμου του Lloyd, και επίσης παράγει αποτελέσματα σε λιγότερο χρόνο. Τα βήματα του ευρετικού αλγορίθμου είναι τα εξής:

1. Επιλέγεται με τυχαία κατανομή ένα σημείο από το σύνολο X. Το σημείο αυτό θεωρείται κέντρο βαρύτητας και συμβολίζεται με c_1.
2. Υπολογίζονται οι αποστάσεις κάθε σημείου από το c_1. Η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους c_j και της παρατήρησης $m \in X$ συμβολίζεται ως $d(x_m, c_j)$.
3. Υπολογίζεται το επόμενο κέντρο βάρος c_2 τυχαία από το σύνολο X με πιθανότητα: $\frac{d^2(x_m,c_1)}{\sum_{j=1}^{n} d^2(x_j,c_1)}$.

   Η επιλογή του κέντρου βάρους j γίνεται ως εξής:

a. Υπολογίζεται η απόσταση κάθε σημείου από κάθε κέντρο βάρους, και ανατίθεται κάθε ένα στο πιο κοντινό.
b. Για κάθε $m = 1,2,\dots,n$ και $p = 1,2,\dots,j$, επιλέγεται με τυχαία επιλογή το κέντρο βάρους και πιθανότητα ίση με: $\frac{d^2(x_m,c_p)}{\sum_{\{h;x_c\in c_p\}} d^2(x_h,c_p)}$, όπου c_p είναι το σύνολο των σημείων που είναι πιο κοντά στο κέντρο βάρους c_p και το x_m ανήκει στο c_p. Δηλαδή, κάθε νέο κέντρο επιλέγεται με πιθανότητα ανάλογη με την απόσταση του από το κέντρο που έχει ήδη επιλεγεί.

4. Τα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι τον εντοπισμό k κέντρων βάρους.

8.4.2.2 Διαχείριση κενών κυψελών

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου, είναι δυνατό μετά από μία ανακατάταξη να προκύψει μία κυψέλη χωρίς καθόλου σημεία αντιστοιχισμένα με αυτή. Η κυψέλη αυτή πρέπει να διαχειριστεί αναλόγως, ώστε να μην αυξήσει το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων χωρίς να υπάρχει σημείο σε αυτή.

Η πρώτη τεχνική αντιμετώπισης είναι η μεταφορά του κέντρου βάρους χωρίς σημεία και η ταύτιση του με το σημείο του συνόλου, το οποίο έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρου βάρους της κυψέλης στην οποία ανήκει. Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τη μεταφορά του κέντρου βάρους στο σημείο, το οποίο αν μετατραπεί σε κέντρο βάρους θα μειώσει το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων.

8.4.3 Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που παρουσιάστηκε παραπάνω θα εφαρμοσθεί με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης των ενδιάμεσων αποθηκών, που θα φιλοξενήσουν τα υπολείμματα, μέχρις ότου αυτά μεταφερθούν στην ενεργειακή εγκατάσταση για την βιομετατροπή τους σε βιοαιθανόλη.

Μία ομοιότητα του αλγορίθμου k-διαμέσου με τους αλγορίθμους που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι ότι πρέπει να είναι γνωστός ο αριθμός k (ή p ανάλογα με το μοντέλο). Στην περίπτωση μας ο αριθμός δεν είναι γνωστός, και επίσης δεν μπορούμε να τον υπολογίσουμε βάση κάποιου προϋπολογισμού, καθώς το κόστος σύστασης των αποθηκών, με βάση τις επιλογές που έγιναν παραπάνω, είναι τάξεις μικρότερο σε σχέση με το συνολικό κόστος μεταφοράς των υπολειμμάτων. Για αυτό το λόγο, θα υπολογιστεί το συνολικό κόστος διαφόρων σεναρίων, και θα επιλεγεί ο αριθμός των αποθηκών, των οποίων η διάταξη δίνει το φθηνότερο κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης. Το παραπάνω κομμάτι θα πραγματοποιηθεί

στο δεύτερο μέρος του κώδικα, αφού έχουν παραχθεί τα αποτελέσματα του πρώτου μέρους, όπου υπολογίζονται οι θέσεις των αποθηκών.

Για την μοντελοποίηση του συστήματος, θα γίνει μία αναγκαία παραδοχή. Καθώς, δεν είναι γνωστή, λόγω της απουσίας των αντίστοιχων στοιχείων, η ποσότητα που παράγεται από κάθε αγροτεμάχιο ή από οποιαδήποτε μικρότερη επιφάνεια από αυτή της δημοτικής ενότητας, δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί με ακρίβεια η παραγωγή κάθε τοποθεσίας στη Θεσσαλία. Επίσης, δεν είναι γνωστό αν υπάρχει κάποια σχέση της παραγωγικότητας ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών. Για αυτό το λόγο, θα θεωρηθεί, πως η συνολική ποσότητα κάθε δημοτικής ενότητας παράγεται στο γεωγραφικό της κέντρο. Με αυτό τον τρόπο, θα γίνει εφικτό να μοντελοποιηθούν στον αλγόριθμο οι διάφορες πηγές παραγωγής βιομάζας, ώστε με βάση αυτές να υπολογισθούν οι θέσεις των αποθηκών.

8.4.3.1 Δεδομένα εισόδου

Όπως φάνηκε και από την ανάλυση που έγινε παραπάνω, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, όπως και οι υπόλοιποι που παρουσιάστηκαν, βασίζεται στις θέσεις των σημείων ζήτησης, ή στην περίπτωση μας «προσφοράς». Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να εκφρασθεί η θέση των κέντρων των δημοτικών ενοτήτων, καθώς εκεί υποθέσαμε πως γίνεται η συγκέντρωση των υπολειμμάτων. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν την κατανομή της παραγωγής με βάση τη διοικητική διαίρεση της Περιφέρειας Θεσσαλίας, και για αυτό το λόγο απαιτείται να βρεθεί το γεωγραφικό κέντρο κάθε δημοτικής ενότητας. Εξαιτίας όμως, της αλλαγής στον τρόπο της διοικητικής διαίρεσης της Θεσσαλίας που πραγματοποιήθηκε πρόσφατα, δεν είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός των θέσεων, καθώς οι νέοι ηλεκτρονικοί χάρτες που προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα έχουν αναπροσαρμοσθεί. Παρόλα, αυτά μέσω της συλλογής πληροφοριών από διάφορες πηγές ηλεκτρονικών χαρτών, κατέστη δυνατό να προσδιοριστούν οι ζητούμενες πληροφορίες. Η αναπαράσταση των θέσεων των δημοτικών ενοτήτων έγινε χρησιμοποιώντας τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες εκφρασμένες σε δεκαδικές μοίρες. Οι μοίρες ως δεκαδικοί αριθμοί εκφράζουν το γεωγραφικό πλάτος (latitude) και το γεωγραφικό μήκος (longitude) συντεταγμένων. Αυτό τον τρόπο αναπαράστασης χρησιμοποιείται και από τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).

Η επόμενη μεταβλητή εισόδου στον αλγόριθμο είναι η ποσότητα της παραγωγής υπολειμμάτων κάθε δημοτικής ενότητας. Θυμίζουμε εδώ, πως θα συλλεχθεί όλη η διαθέσιμη ποσότητα υπολειμμάτων αραβοσίτου, μετά την εφαρμογή του συντελεστή ασφαλείας, και η υπόλοιπη απαιτούμενη πρώτη ύλη θα αποτελείται από υπολείμματα σίτου. Όπως φαίνεται και

από τους πίνακες με τη δυναμικότητα των δημοτικών ενοτήτων που επισυνάπτονται στο Παράρτημα, η παραγωγή υπολειμμάτων σίτου στην Περιφέρεια Θεσσαλίας επικεντρώνεται στο νομό Λάρισας. Επίσης, η παραγωγή του νομού επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών του εργοστασίου βιομετατροπής. Για αυτό το λόγο, η συλλογή υπολειμμάτων σίτου θα επικεντρωθεί στο νομό Λάρισας, καθώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα υπολείμματα σίτου χρησιμοποιούνται και ως ζωοτροφή, οπότε η αγορά των υπολειμμάτων σε νομούς με περιορισμένη παραγωγή θα οδηγούσε σε έντονο ανταγωνισμό με τους κτηνοτρόφους.

Όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων της ποσότητας παραγωγής από τον αλγόριθμο, αυτή δε μπορεί να γίνει απευθείας. Ο λόγος έγκειται στο ότι ο αλγόριθμος θεωρεί κάθε σημείο που εισάγεται σε αυτό, ως ισοδύναμο με όλα τα άλλα, και άρα δεν γίνεται να εισαχθεί απευθείας η έννοια της δυναμικότητας ενός σημείου. Για αυτό το λόγο, πρέπει να βρεθεί μία μέθοδος, η οποία θα παρακάμψει το πρόβλημα αυτό, και με έμμεσο τρόπο θα εκφράσει τη δυναμικότητα κάθε σημείου.

Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με τον πολλαπλασιασμό κάθε σημείου αναλογικά με τη δυναμικότητα του. Για να γίνει η τακτική πιο κατανοητή, θα παρουσιάσουμε το κέντρο κάθε δημοτικής ενότητας με έναν μαγνήτη, ο οποίος έλκει τη θέση της αποθήκης στην οποία τελικά θα αντιστοιχηθεί προς το μέρος του. Η δημοτική ενότητα που παράγει ποσότητα ίση με την ελάχιστη δυνατή – στην περίπτωση μας 488 τόνους υπολειμμάτων – αντιστοιχεί σε έναν μαγνήτη. Ανάλογα, μία δημοτική ενότητα που υπάγεται σε ανώτερη κατηγορία δυναμικότητας, για παράδειγμα την κατηγορία D, η οποία ισοδυναμεί με περίπου 4800 τόνους υπολειμμάτων, θα έχει πολύ μεγαλύτερη ελκτική ικανότητα. Για την ακρίβεια θα έλκει την αποθήκη 4800/488≈10 φορές περισσότερο προς το μέρος της, πράγμα που είναι λογικό, καθώς μία δημοτική ενότητα που παράγει μεγάλες ποσότητες, θα πραγματοποιεί περισσότερες διαδρομές για τη μεταφορά των υπολειμμάτων προς την αποθήκη, οπότε και η αποθήκη πρέπει να βρίσκεται πιο κοντά στη δημοτική ενότητα, σε σχέση με μία άλλη, η οποία παράγει μικρότερες ποσότητες. Έτσι, υπολογίστηκαν οι πολλαπλασιαστές για κάθε κατηγορία και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Αραβόσιτος		
Κατηγορία	Βιομάζα (tn)	Πολλαπλασιαστής
A	488.43	1
B	1685.85	3
C	3115.63	6

D	4798.68	10
E	7960.05	16

Πίνακας 8.4-1: Πολλαπλασιαστές δημοτικών ενοτήτων – Αραβόσιτος

Σιτάρι		
Κατηγορία	Βιομάζα (tn)	Πολλαπλασιαστής
A	291.7	1
B	1246.7	4
C	3091.6	11
D	5924.5	20
E	12104.8	41

Πίνακας 8.4-2: Πολλαπλασιαστές δημοτικών ενοτήτων – Σιτάρι

Άρα, αφού το πρόγραμμα μπορεί να δεχθεί μόνο ισότιμους κόμβους, σε κάθε κόμβο θα τοποθετηθούν τόσοι ακόμα ίδιοι, στην ίδια γεωγραφική θέση, όσο και ο πολλαπλασιαστής της κατηγορίας στην οποία ανήκει η δημοτική ενότητα. Οι υπόλοιποι κόμβοι πέρα από τον αρχικό θα έχουν μηδενική δυναμικότητα, καθώς χρησιμοποιούνται μόνο για λόγους μοντελοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο ξεπερνάται το εμπόδιο της ίσης αναπαράστασης των κόμβων και διακριτοποιείται πλήρως η διαφορά της παραγωγικής τους δυνατότητας.

Το επόμενο στοιχείο που αποτελεί μεταβλητή εισόδου στον αλγόριθμο είναι το κόστος μεταφοράς ενός τόνου υπολειμμάτων ανάλογα με τη διανυόμενη απόσταση. Το κόστος αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του κόστους μεταφοράς των υπολειμμάτων από το κέντρο της δημοτικής ενότητας, μέχρι την αποθήκη που θα αποθηκευτούν τα υπολείμματα των αγροτικών προϊόντων, σύμφωνα με τον ορισμό της ανά κάθε σενάριο αριθμού αποθηκών. Επίσης, οι ίδιες τιμές θα χρησιμοποιηθούν για να υπολογισθεί το κόστος μεταφοράς των υπολειμμάτων από τις αποθήκες στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου ενεργειακής μετατροπής, το οποίο όπως αναφέρθηκε παραπάνω θεωρείται πως είναι η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης. Οι τιμές παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες, για τον αραβόσιτο και το σιτάρι αντίστοιχα.

Αραβόσιτος							
	Χρέωση	Από	Μέχρι		Χρέωση	Από	Μέχρι
1	7.62	0	15	8	12.15	50	60

2	8.59	15	20	9	13.12	60	70
3	9.07	20	25	10	14.08	70	80
4	9.53	25	30	11	15.05	80	90
5	10.01	30	35	12	16.01	90	100
6	10.50	35	40	13	17.36	100	120
7	11.19	40	50	14	19.33	120	140

Πίνακας 8.4-3: Χρέωση για μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων αραβοσίτου

Σιτάρι							
	Χρέωση	Από	Μέχρι		Χρέωση	Από	Μέχρι
1	10.16	0	15	8	16.21	50	60
2	11.45	15	20	9	17.50	60	70
3	12.09	20	25	10	18.78	70	80
4	12.71	25	30	11	20.07	80	90
5	13.35	30	35	12	21.36	90	100
6	14.00	35	40	13	23.16	100	120
7	14.92	40	50	14	25.78	120	140

Πίνακας 8.4-4: Χρέωση για μεταφορά ενός τόνου υπολειμμάτων σίτου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές που χρησιμοποιεί η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης για την αμοιβή των εμπορευμάτων ζαχαρότευτλων που προμηθεύεται. Η μετατροπή των τιμών έγινε λαμβάνοντας υπόψιν τη διαφορετική πυκνότητα των τριών προϊόντων (υπολείμματα αραβοσίτου, υπολείμματα σίτου, ζαχαρότευτλα).

8.4.3.2 Υπολογισμός αποστάσεων

Από την ανάγκη υπολογισμού του μεταφορικού κόστους προκύπτει ένα ενδιαφέρον θεωρητικό και πρακτικό ζήτημα, αυτό του υπολογισμού των αποστάσεων. Κατά των υπολογισμό μικρών αποστάσεων, για παράδειγμα μεταξύ δύο σημείων σε κατοικημένη περιοχή, όπως μία πόλη, ο τρόπος υπολογισμού των αποστάσεων γίνεται με τη μέθοδο Manhattan. Για τον υπολογισμό μεγαλύτερων αποστάσεων χρησιμοποιείται με καλή προσέγγιση η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του τελικού και αρχικού προορισμού, θεωρώντας πως η συνολική απόσταση στο οδικό δίκτυο δεν διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό από τη θεώρηση της διαδρομής ως ευθείας. Όταν όμως οι αποστάσεις που διανύονται ξεπερνούν τα 50 km, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί

η Ευκλείδεια απόσταση, καθώς σε τέτοιες αποστάσεις, το οδικό δίκτυο μπορεί να παρουσιάσει μεγάλη διαφοροποίηση, εξαιτίας της παρουσίας φυσικών περιορισμών, όπως βουνά, όπου ο δρόμος βρίσκεται περιμετρικά, κατασκευαστικών περιορισμών ή αναγκών του δικτύου για την κάλυψη περισσότερων περιοχών, όπως διακλαδώσεις, Για αυτό το λόγο, αποτελεί συνήθης πρακτική η χρησιμοποίηση ενός συντελεστή, ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την απόσταση της ευθείας μεταξύ των σημείων του αρχικού και τελικού προορισμού (circuity factor). Η συνήθης τιμή αυτού του συντελεστή είναι η τετραγωνική ρίζα του 2 (Rentizelas, Tolis, & Tatsiopoulos, 2009). Παρόλα αυτά, οι Ballou, Rahardja, & Sakai (2002) προτείνουν τον ακριβέστερο υπολογισμό του συντελεστή αυτού μέσω της συλλογής και επεξεργασίας στατιστικών στοιχείων. Η μέθοδος που ακολουθούν περιλαμβάνει αρχικά τη χρήση γεωγραφικών χαρτών για τον υπολογισμό τον ακριβών οδικών αποστάσεων μεταξύ επιλεγμένων σημείων. Κατόπιν, υπολογίζεται η απόσταση των δύο σημείων μέσω των γεωγραφικών συντεταγμένων τους, όπως θα παρουσιασθεί παρακάτω. Θεωρείται, πως 30 διαδρομές αποτελούν επαρκές δείγμα για την εξαγωγή ασφαλούς αποτελέσματος. Κατόπιν υπολογίζοντας τη μέση τιμή των λόγων των δύο αποστάσεων για κάθε δείγμα, εξάγεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του πολλαπλασιαστή. Χρησιμοποιώντας τον πολλαπλασιαστή είναι εφικτό να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική τάξη μεγέθους για την απόσταση μεταξύ δύο σημείων.

Ένα επιπλέον στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τον υπολογισμό της απόστασης είναι ότι κατά τη διάνυση μεγάλων αποστάσεων, παίζει σημαντικό ρόλο η καμπυλότητα της Γης. Ουσιαστικά, για αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 km οι διαδρομές δεν είναι πια ευθείες, αλλά αποτελούν τόξα που ενώνουν δύο σημεία πάνω στη Γη. Για τον υπολογισμό των αποστάσεων αυτών, γίνεται χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων των τοποθεσιών έναρξης και λήξης της διαδρομής. Για τον υπολογισμό των αποστάσεων με χρήση δεκαδικών μοιρών, χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$L = RadiusEarth * 2 * asin\sqrt{\sin\left[\frac{RADIANS(Lat1) - RADIANS(Lat2)}{2}\right]^2 + cos[RADIANS(Lat1)] * cos[RADIANS(Lat2)] * sin\left[\frac{RADIANS(Long1) - RADIANS(Long2)}{2}\right]^2}$$

όπου, Lat1 και Lat2, τα γεωγραφικά πλάτη, Long1 και Long2, τα γεωγραφικά μήκη των δύο σημείων και Radius Earth, η ακτίνα της γης εκφρασμένη σε μίλια.

Η παραπάνω μέθοδος ακολουθήθηκε και για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Έγινε συνολικά επεξεργασία 95 πιθανών διαδρομών, οι οποίες ήταν κατανεμημένες στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Το μέγεθος του δείγματος το καθιστά αρκετά αξιόπιστο. Η μέση τιμή των μετρήσεων προέκυψε ίση με 1,31 και η τυπική απόκλιση 0,15. Άρα ο συντελεστής που λήφθηκε υπόψιν για τον υπολογισμό των αποστάσεων είναι ίσος με 1,31. Να σημειώσουμε εδώ, πως όπως και σε κάθε μέτρηση πρέπει να ληφθεί υπόψιν το πιθανό σφάλμα, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά την επιλογή των πιθανών σημείων που χρησιμοποιήθηκαν.

8.4.3.3 Δεδομένα εξόδου

Πέραν από τα γενικά στοιχεία κόστους που θα ευρεθούν κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου, θα υπολογιστούν και άλλα δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, αλλά και για τον προγραμματισμό των μεταφορών των υπολειμμάτων στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Τα υπόλοιπα δεδομένα εξόδου που θα υπολογισθούν είναι τα εξής:

- Ημερήσια ποσότητα εισόδου: Είναι η ποσότητα που δέχεται καθημερινά η αποθήκη στο διάστημα των 60 ημερών της συλλογής. Θεωρήθηκε ομοιόμορφος ρυθμός εισόδου των υπολειμμάτων στην αποθήκη.
- Φορτηγά ανά ημέρα και ώρα: Είναι ο αριθμός των φορτηγών που καταφθάνουν ημερησίως στην αποθήκη. Ο υπολογισμός τους έγινε θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ των πιθανών διαστάσεων του ρυμουλκούμενου πατώματος. Η διάρκεια της ημέρα θεωρήθηκε ίση με δύο βάρδιες (16 ώρες).
- Επιφάνεια χώρου φορτοεκφόρτωσης: Με βάση τον αριθμό των φορτηγών που προέκυψε παραπάνω υπολογίζεται η επιφάνεια του απαιτούμενου χώρου φορτοεκφόρτωσης. Λήφθηκε υπόψιν επιφάνεια ίση με 45 τετραγωνικά μέτρα πέρα από αυτή που καταλαμβάνει το ίδιο για κάθε φορτηγό και 100 τετραγωνικά μέτρα για κάθε εμπρόσθιο φορτωτή. Ο χώρος αυτός είναι αναγκαίος για την πραγματοποίηση των απαραίτητων ελιγμών, τόσο για την είσοδο και έξοδο των οχημάτων από το αγροτεμάχιο της αποθήκης, όσο και των αρκετά πιο δυσκίνητων ελιγμών του φορτοεκφορτωτή.
- Επιφάνεια αποθήκης: Για κάθε αποθήκη κάθε σεναρίου, υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό της. Αυτό περιλαμβάνει την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα δέματα στοιβαγμένα σε 6 στρώσεις, τις οδεύσεις ασφαλείας ανάμεσα στα μπλοκ των δεμάτων,

τις οδεύσεις περιμετρικά του αγροτεμαχίου, καθώς και την επιφάνεια του χώρου φορτοεκφόρτωσης, όπως αυτή υπολογίστηκε παραπάνω.

- Κόστος προστασίας: Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το συνολικό κόστος για την προστασία των δεμάτων. Τα μέσα που θα παρθούν περιλαμβάνουν τα ειδικό κάλυμμα που θα σκεπάσει την πάνω επιφάνεια καθώς και την περίμετρο των μπλοκ των δεμάτων. Επίσης, περιλαμβάνει και το κόστος προμήθειας των παλετών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ξηρού υποστρώματος στην επιφάνεια όπου τα δέματα έρχονται σε επαφή με το έδαφος.
- Κόστος περίφραξης: Το κόστος αυτό αφορά το κόστος περίφραξης του αποθηκευτικού χώρου. Περιλαμβάνει την τοποθέτηση όλων των αναγκαίων υποστηριγμάτων και του συρματοπλέγματος. Το ύψος της περίφραξης θα είναι ίσο με 2 μέτρα.

ΜΕΡΟΣ Δ

9. Αποτελέσματα

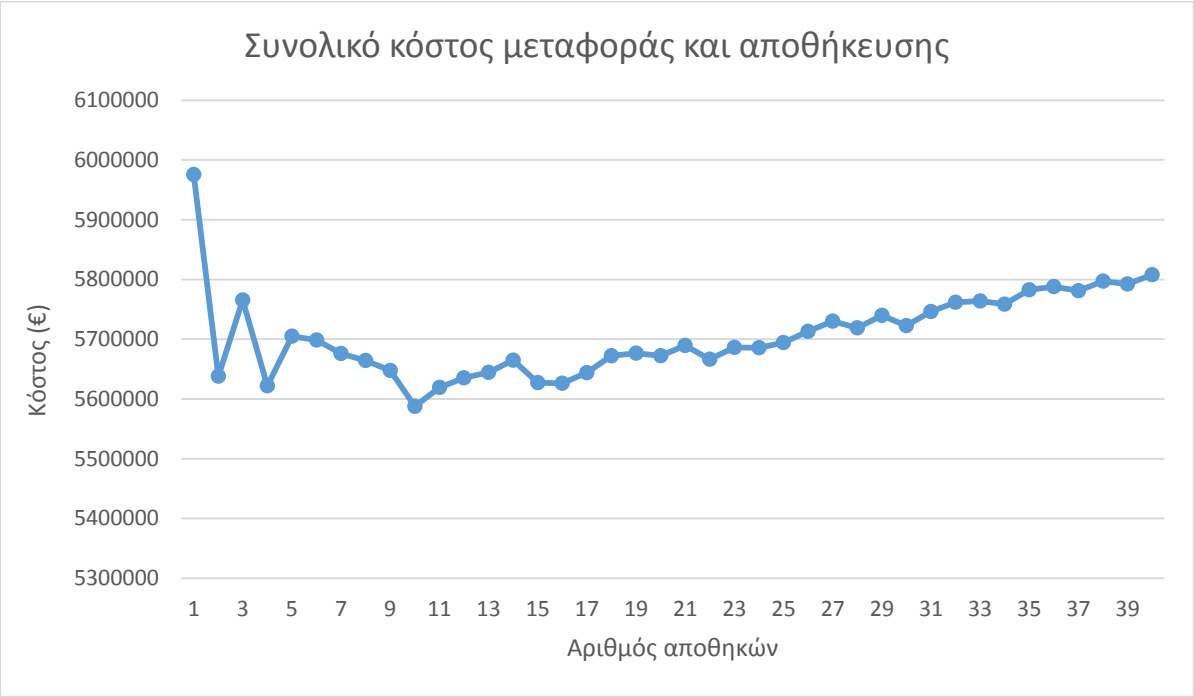
Η εκτέλεση του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε σε δύο μέρη, ένα για την εύρεση της τοποθεσίας των αποθηκών με βάση την παραγωγή των δημοτικών ενοτήτων σε υπολείμματα αραβοσίτου και ένα με βάση την παραγωγή σε υπολείμματα σίτου. Όπως είναι προφανές, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ξεχωριστή αποθήκευση και διαχείριση των δύο ειδών υπολειμμάτων. Ο λόγος που επιλέγει αυτή η στρατηγική οφείλεται στα διαφορετικά επίπεδα υγρασίας των δεμάτων των υπολειμμάτων κατά τη συλλογή τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα υπολείμματα αραβοσίτου έχουν κατά τη συλλογή τους 14,70% υγρασία, ενώ τα υπολείμματα σίτου έχουν υγρασία που κυμαίνεται στο 5,00%. Η διαφορά μεταξύ των δύο ποσοστών είναι αρκετά μεγάλη. Για αυτό το λόγο επιλέγει να χρησιμοποιηθεί ο αραβόσιτος τους μήνες στους οποίες τα έντονα καιρικά φαινόμενα που μπορεί να αυξήσουν την υγρασία των υπολειμμάτων δεν είναι συχνά, όπως το Νοέμβριο και από το Μάρτιο και έπειτα. Αντίστοιχα, τους υγρούς μήνες του χειμώνα θα χρησιμοποιηθούν τα υπολείμματα σίτου, τα οποία έχουν μεγάλα περιθώρια αύξησης της υγρασίας τους, μέχρις ότου παρουσιάσουν πρόβλημα κατά την βιομετατροπή τους.

Το αναλυτικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, υλοποιήθηκε σε μορφή υπολογιστικού κώδικα και εκτελέστηκε στο πακέτο λογισμικού Matlab©.

9.1 Υπολείμματα αραβοσίτου

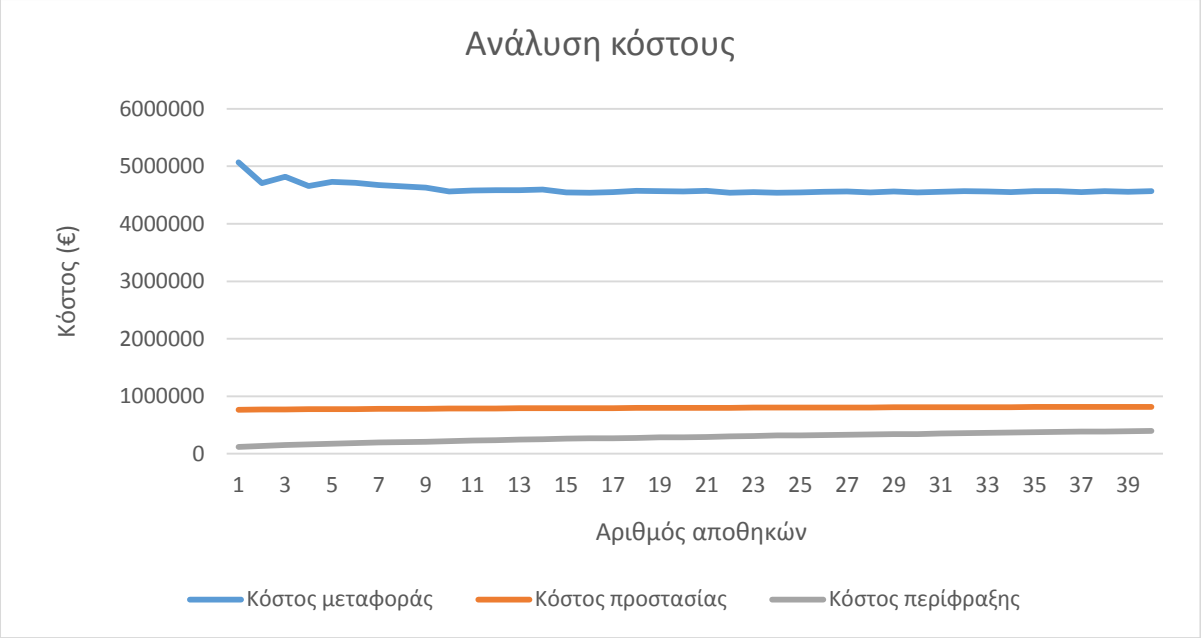
Ο αλγόριθμος υπολόγισε τα παραπάνω στοιχεία βασιζόμενος στις μεταβλητές εισόδου που είχαν δοθεί. Στο Διάγραμμα 9.1-1, παρουσιάζεται το συνολικό κόστος μεταφοράς και

αποθήκευσης των υπολειμμάτων αραβοσίτου. Υπενθυμίζεται εδώ, πως αυτό δεν είναι το γενικό συνολικό κόστος, αλλά μόνο το μεταβλητό κόστος της προμήθειας υπολειμμάτων αραβοσίτου. Το κόστος αγοράς και συλλογής των υπολειμμάτων είναι σταθερό και δεν επιδέχεται παρέμβασης. Ο υπολογισμός του θα παρουσιαστεί αναλυτικά παρακάτω.



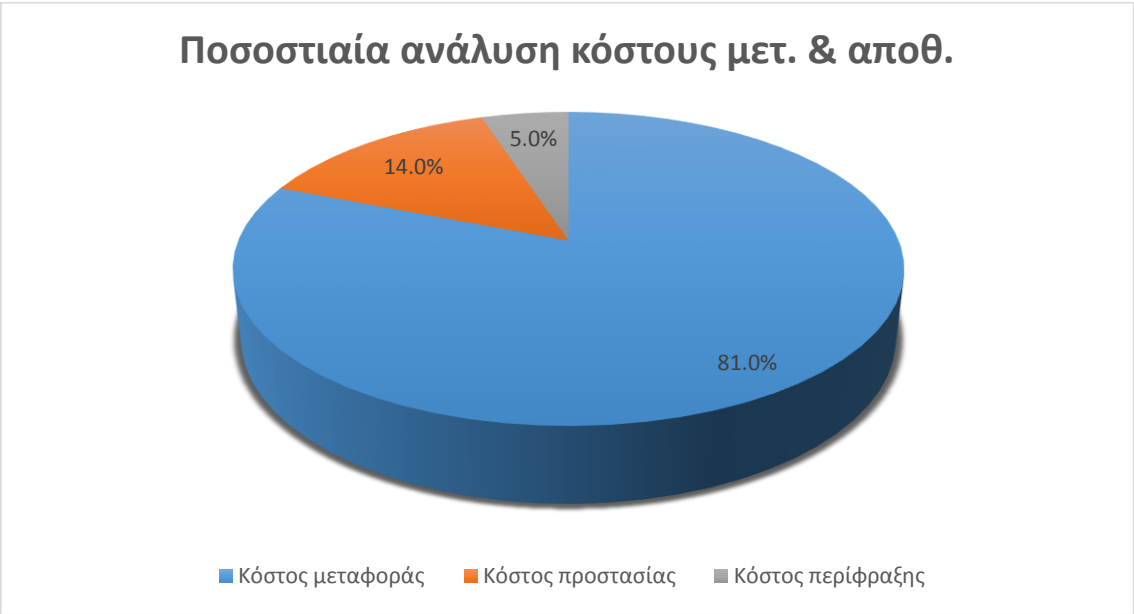
Διάγραμμα 9.1-1: Συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης

Από το παραπάνω γράφημα μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα. Αρχικά, παρατηρούμε πως το συνολικό κόστος έχει αυξητική τάση από το σενάριο των 10 αποθηκών και μετά, όσο αυξάνεται ο αριθμός των αποθηκών προς εγκατάσταση. Στο επόμενο διάγραμμα, όπου παρουσιάζεται η ανάλυση του επιμέρους κόστους για κάθε πιθανό σενάριο, φαίνεται πως αυτό οφείλεται κυρίως στο κόστος περίφραξης, καθώς, όσο αυξάνονται οι αποθήκες αυξάνεται και η συνολική έκταση του χώρου φορτοεκφόρτωσης, καθώς η έκταση του είναι ανεξάρτητη της χωρητικότητας της αποθήκης. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη περίμετρο για την αποθήκη, και άρα μεγαλύτερο κόστος περίφραξης. Αυξητική τάση έχει επίσης και το κόστος ενοικίασης, αλλά η διαφορά μέγιστης με ελάχιστη τιμή είναι αρκετά μικρή (σχεδόν 6.000 €), οπότε και δεν μπορεί να επηρεάσει την τάση του συνολικού κόστους. Για αυτόν το λόγο και δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση του συνολικού μεταβλητού κόστους,

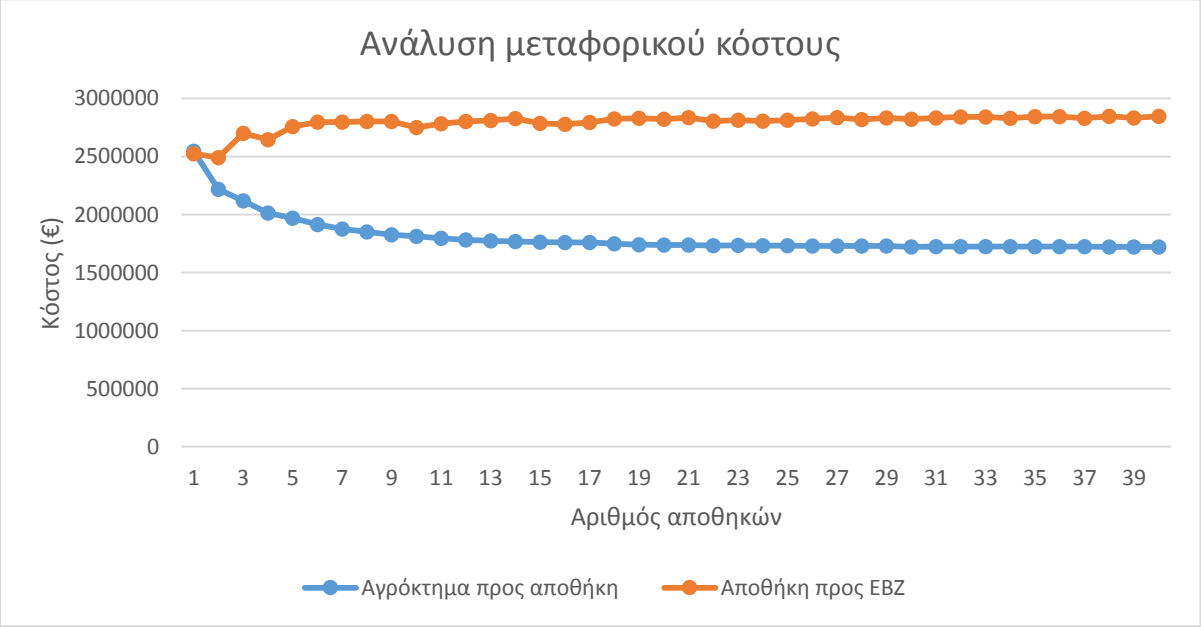


Διάγραμμα 9.1-2: Ανάλυση κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης

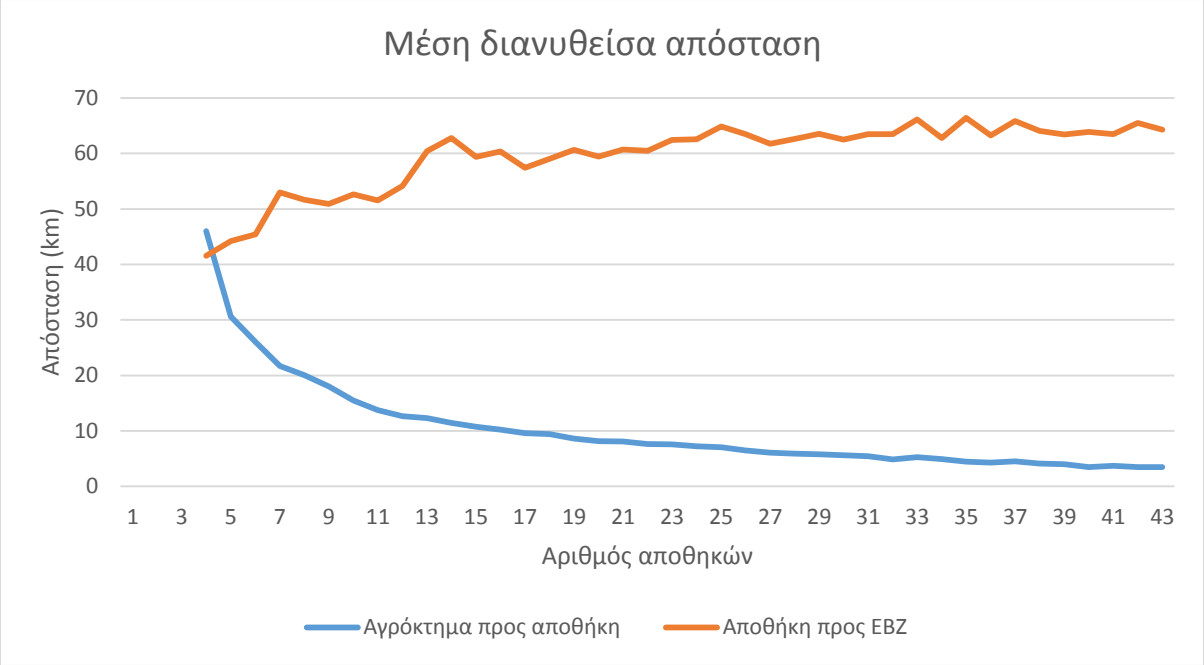
Ακόμα, στο Διάγραμμα 9.1-1 μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το μέγιστο και το ελάχιστο κόστος των σεναρίων δεν έχουν μεγάλη διαφορά, μόλις 7%. Αυτό οφείλεται, στο ότι το μεταφορικό κόστος ευθύνεται για το 81% του συνολικού κόστους (Διάγραμμα 9.1-3) και άρα αυτό καθορίζει ουσιαστικά το τελικό ύψος του κόστους κάθε σεναρίου. Το μεταφορικό κόστος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελείται από δύο μέρη, το κόστος μεταφοράς από το αγρόκτημα στην αποθήκη, και το κόστος μεταφοράς από τις ενδιάμεσες αποθήκες στην ΕΒΖ. Στο Διάγραμμα 9.1-4 παρουσιάζεται η ανάλυση του κόστους ανά πιθανό σενάριο. Μπορούμε να παρατηρήσουμε, πως και τα δύο παρουσιάζουν ικανοποιητικό ποσοστό διαφοράς, καθώς η μέγιστη τιμή του πρώτου κόστους είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από την ελάχιστη, ενώ του δεύτερου κόστους 1,13. Ταυτόχρονα όμως, είναι εμφανές, πως περίπου το 80% των σεναρίων κείται σε ένα πολύ μικρό εύρος τιμών. Άρα, και για το άθροισμα τους θα συμβαίνει το ίδιο. Ο λόγος που η διαφορά της ανώτατης και κατώτατης τιμής είναι μικρή έγκειται εντέλει στη μέση διανυθείσα απόσταση, η οποία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9.1-5.



Διάγραμμα 9.1-3: Ποσοστιαία ανάλυση κόστους μεταφοράς & αποθήκευσης



Διάγραμμα 9.1-4: Ανάλυση μεταφορικού κόστους



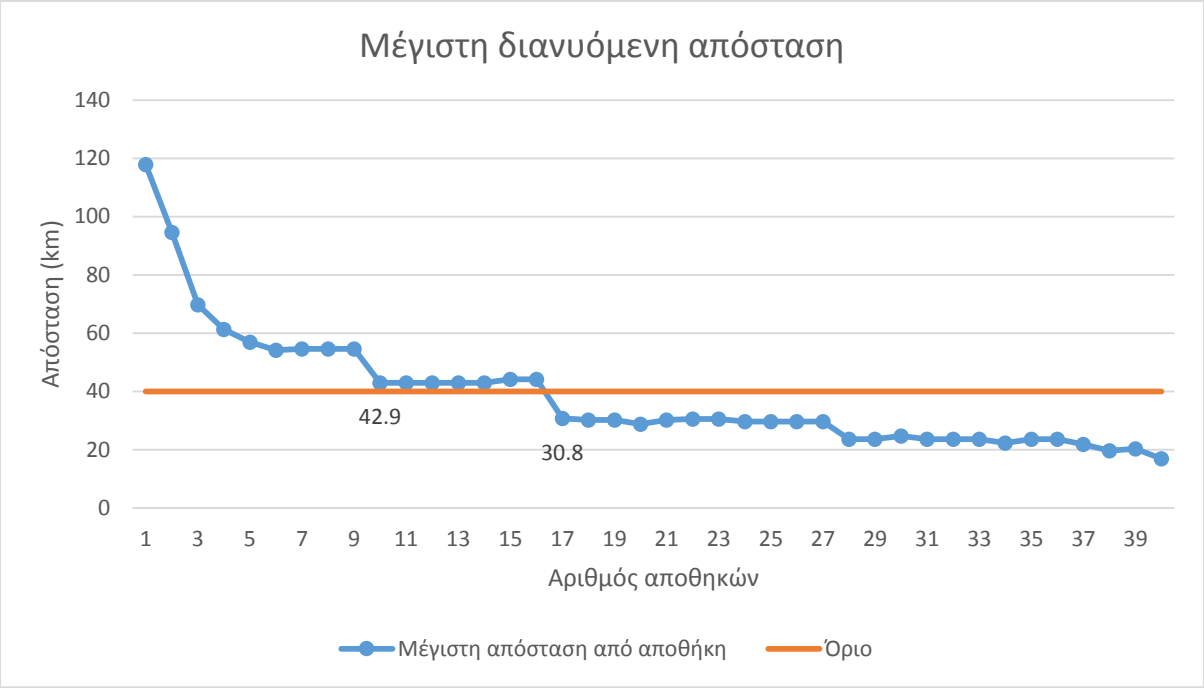
Διάγραμμα 9.1-5: Μέση διανυθείσα απόσταση

Στο διάγραμμα παρατηρούμε πως στα περισσότερα σενάρια, η μέση διανυθείσα απόσταση από την ενδιάμεση αποθήκη στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου κυμαίνεται μεταξύ 50 και 67 χιλιομέτρων. Παρατηρώντας τις τιμές χρέωσης για μεταφορά ενός τόνου, βλέπουμε πως η διαφορά των δύο κατηγοριών είναι πολύ μικρή, καθώς για διαδρομές από 50 έως 60 χιλιόμετρα η χρέωση είναι 12,15 € ανά τόνο, ενώ για διαδρομές από 60 έως 70 χιλιόμετρα το κόστος είναι ίσο με 13,12 € ανά τόνο, δηλαδή διαφορά μικρότερη από 1 € ανά τόνο. Ταυτόχρονα, το ίδιο συμβαίνει και στη χρέωση για διαδρομές μεταξύ 0 και 40 χιλιομέτρων, όπου παρατηρείται διαφορά της τάξης των 3 €.

Η τελευταία παρατήρηση που μπορεί να γίνει στο παραπάνω διάγραμμα αφορά το σενάριο που επιβαρύνεται με το χαμηλότερο κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης υπολειμμάτων αραβοσίτου. Από το μοντέλο προκύπτει πως το χαμηλότερο κόστος επιτυγχάνεται με τη δημιουργία 10 ενδιάμεσων αποθηκών και το συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης για αυτό το σενάριο είναι 5.587.665 €. Παρόλα αυτά, το ότι το σενάριο αυτό αποτελεί τη φθηνότερη λύση δεν συνεπάγεται αυτομάτως ότι είναι το βέλτιστο. Πρέπει να εξεταστεί αν το σενάριο καλύπτει τους δύο περιορισμούς που λαμβάνονται υπόψιν κατά το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας και έχουν το ίδιο βάρος με το κόστος της λύσης.

Ο πρώτος περιορισμός αφορά την απόσταση των ενδιάμεσων αποθηκών από το χωράφι. Προφανώς ως χωράφι εννοείται το κέντρο της δημοτικής ενότητας στην οποία ανήκει το χωράφι, για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω. Η εξέταση κάθε σεναρίου υπό τον

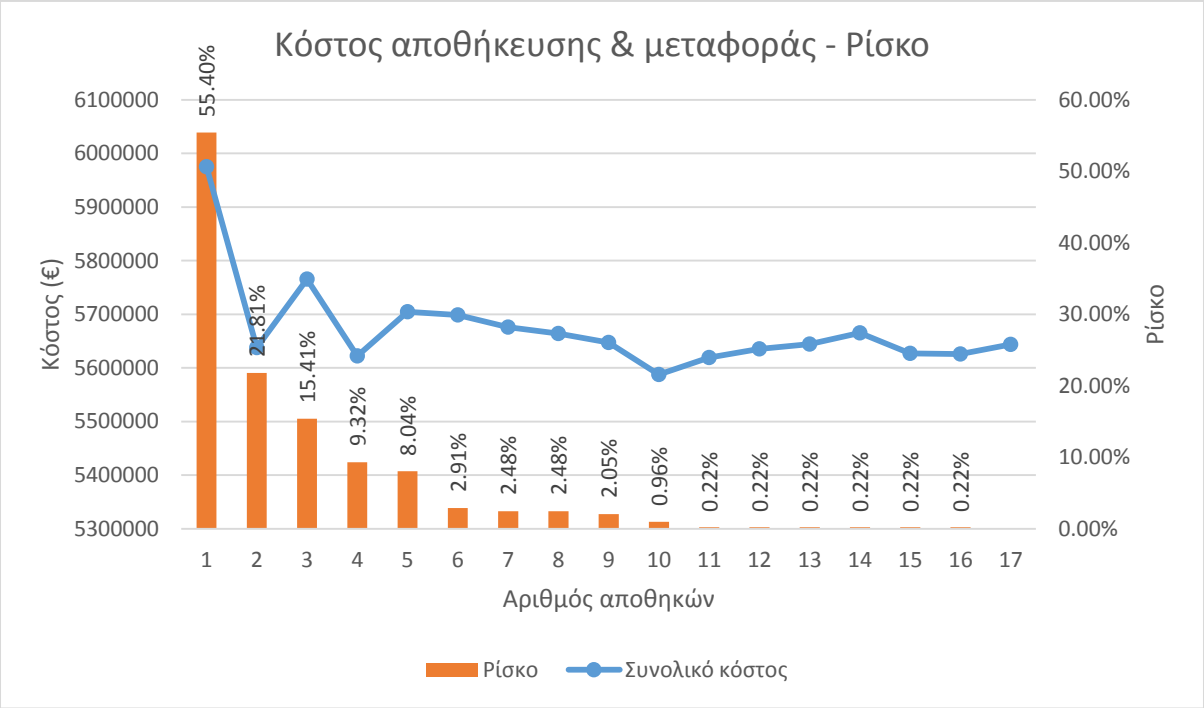
παραπάνω περιορισμό θα γίνει με τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου της δημοτικής ενότητας και της ενδιάμεσης αποθήκης στην οποία έχει αντιστοιχηθεί και επιλογή της μέγιστης παρατηρούμενης απόστασης μεταξύ όλων, για κάθε σενάριο. Μετά από επικοινωνία με παραγωγούς καταλήξαμε στο ότι η μέγιστη απόσταση που είναι διατεθειμένος ένας αγρότης να διανύσει κατά την περίοδο του θερισμού για μεταφορά αγροτικών υπολειμμάτων είναι περίπου ίση με 40 km, για λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω. Στο Διάγραμμα 9.1-6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 9.1-6: Μέγιστη διανυόμενη απόσταση

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέγιστη απόσταση που παρατηρείται κατά τη μεταφορά των υπολειμμάτων από το κέντρο της δημοτικής ενότητας μέχρι την ενδιάμεση αποθήκη για το σενάριο των 10 αποθηκών είναι ίση με 42,9 χιλιόμετρα. Επίσης, παρατηρούμε πως το σενάριο στο οποίο η μέγιστη απόσταση βρίσκεται για πρώτη φορά κάτω του ορίου είναι αυτό των 17 ενδιάμεσων αποθηκών. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή δεν είναι πλήρως αντιπροσωπευτική. Αυτό γιατί, το ότι ένα σενάριο βρίσκεται πάνω από το όριο δεν μας δίνει κάποια πληροφορία για την ποσότητα υπολειμμάτων αραβοσίτου, που υπάρχει πιθανότητα να μη παραλάβει η αποθήκη. Για αυτό το λόγο, μέσω του αλγορίθμου υπολογίζουμε το σύνολο της ποσότητας που αντιστοιχεί στην δημοτική ενότητα που βρίσκεται εκτός του ορίου και το συγκρίνουμε με τη συνολική ποσότητα των υπολειμμάτων. Το ποσοστό αυτό εκφράζει ουσιαστικά το «ρίσκο» που αντιμετωπίζει η αποθήκη να μην παραλάβει την απαιτούμενη ποσότητα. Στο Διάγραμμα 9.1-7 παρουσιάζεται το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς συναρτήσει του ρίσκου. Η

παρουσίαση των σεναρίων σταματά στο σενάριο των 17 αποθηκών, καθώς για όλα τα επόμενα σενάρια το κόστος είναι μηδενικό.



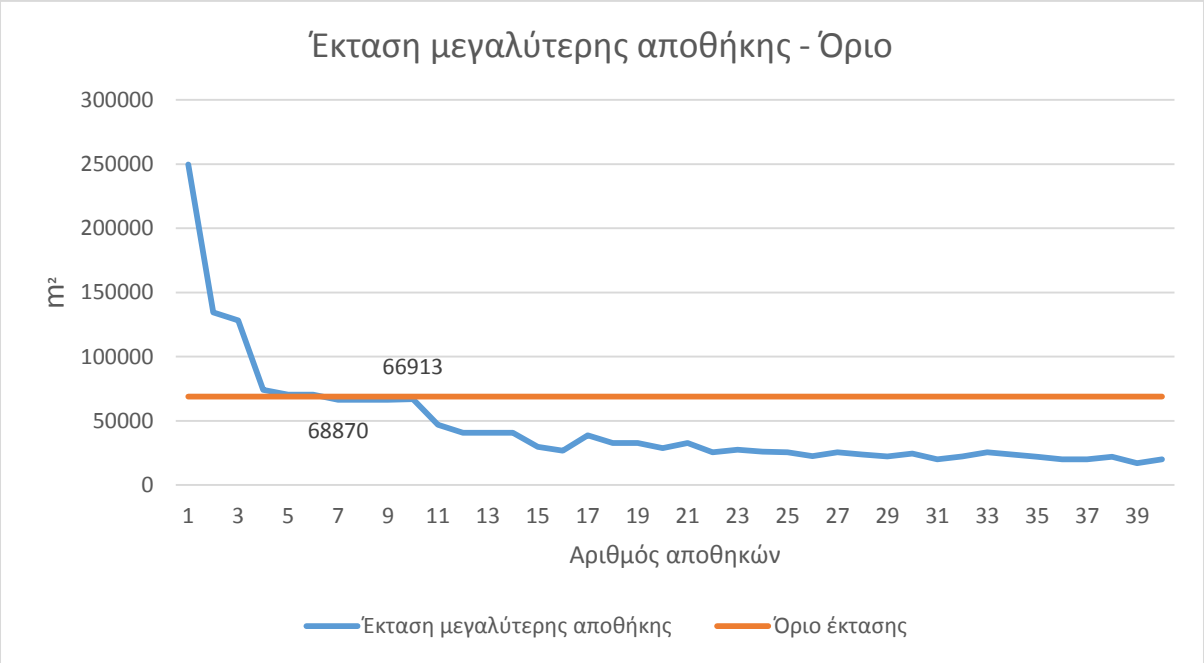
Διάγραμμα 9.1-7: Κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς - Ρίσκο

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει, πως η έννοια του ρίσκου είναι η πιο κατάλληλη για τον έλεγχο των σεναρίων αναφορικά με τον πρώτο περιορισμό. Για παράδειγμα, το σενάριο κατασκευής μίας αποθήκης παρουσιάζει μέγιστη διανυόμενη απόσταση ίση με 117,82 km, ενώ το σενάριο κατασκευής δύο αποθηκών παρουσιάζει μέγιστη απόσταση μεταξύ δημοτικής ενότητας και αγροτεμαχίου ίση με 94,53 km. Παρόλα αυτά, η πρώτη περίπτωση αναλογεί σε πιθανή απώλεια του 55,40% της επιθυμητής ποσότητας, ενώ η δεύτερη 21,81%. Επίσης φαίνεται, πως η επιλογή του σεναρίου των 10 αποθηκών ισοδυναμεί με ρίσκο 0,96%, δηλαδή υπάρχει κίνδυνος το ποσοστό αυτό της συνολικής ποσότητας να μη φτάσει στην αποθήκη.

Ο δεύτερος περιορισμός που πρέπει να ληφθεί υπόψιν για την επιλογή του σεναρίου αφορά το μέγεθος των αγροτεμαχίων στο οποίο τοποθετούνται οι ενδιάμεσες αποθήκες. Όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο, η αγροτική γη στην Περιφέρεια Θεσσαλίας είναι κατακερματισμένη, με αποτέλεσμα τα αγροτεμάχια να είναι μικρού μεγέθους, με το μέσο όρο της Περιφέρειας Θεσσαλίας να είναι ίσο με 68,87 στρέμματα[22]. Αυτό σημαίνει, πως στην περίπτωση που μία αποθήκη ενός σεναρίου ξεπερνάει αυτό το μέγεθος πρέπει να βρεθεί άλλο

[22] Έρευνα Διάρθρωσης Γεωργικών και Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων, 2013

ένα αγροτεμάχιο σε απόσταση που να μην ξεπερνά το 5% του ορίου των 40 km, το οποίο θα στεγάσει την ποσότητα που δε μπορεί να αποθηκευτεί στην αρχική αποθήκη. Το γεγονός της πιθανής αναζήτησης παραπάνω του ενός αγροτεμαχίων σε συνδυασμό με την επιθυμία, οι αποθήκες αυτές να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κύριο οδικό δίκτυο, μειώνει τις πιθανότητες να βρεθούν οι ζητούμενες εκτάσεις στις αναγκαίες τοποθεσίες. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να ελεγχθεί το μέγεθος της μεγαλύτερης αποθήκης για τα πιθανά σενάρια. Στο Διάγραμμα 9.1-8 παρουσιάζονται τα εν λόγω στοιχεία.



Διάγραμμα 9.1-8: Έκταση μεγαλύτερης αποθήκης - Όριο

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, από το σενάριο των 7 αποθηκών και μετά, δεν παρατηρείται ενδιάμεση αποθήκη που να ξεπερνά το όριο του μέσου αγροτεμαχίου της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Το σενάριο των 10 αποθηκών καλύπτει τον περιορισμό αυτόν. Επίσης, λογικό είναι το ότι όσο αυξάνει ο αριθμός των αποθηκών, τόσο μικραίνει η έκταση της μεγαλύτερης αποθήκης.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, καταλήγουμε στο ότι το σενάριο των 10 αποθηκών είναι το επικρατέστερο. Μπορεί να μην καλύπτει πλήρως τον περιορισμό της μέγιστης απόστασης, αν και έχει απόκλιση λιγότερη από 8%. Παρόλα αυτά το μειωμένο κόστος του σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια, το καθιστά τη βέλτιστη επιλογή. Επίσης, η διαφορά του κόστους του σεναρίου των 10 αποθηκών σε σχέση με την επόμενη επιλογή, δίνει περιθώριο να πληρωθούν ακριβότερα τα υπολείμματα των δημοτικών ενοτήτων που βρίσκονται εκτός των ορίων, ώστε να δοθεί ένα επιπλέον κίνητρο στους παραγωγούς να τα μεταφέρουν στην

αποθήκη παρόλο που βρίσκεται πιο μακριά, ή να μισθωθεί μεταφορική εταιρία για την παραλαβή και μεταφορά των υπολειμμάτων. Εδώ επίσης να σημειώσουμε, όσον αφορά στο μοντέλο, πως ο αριθμός 10 αποτελεί τον τελικό αριθμό k του μοντέλου.

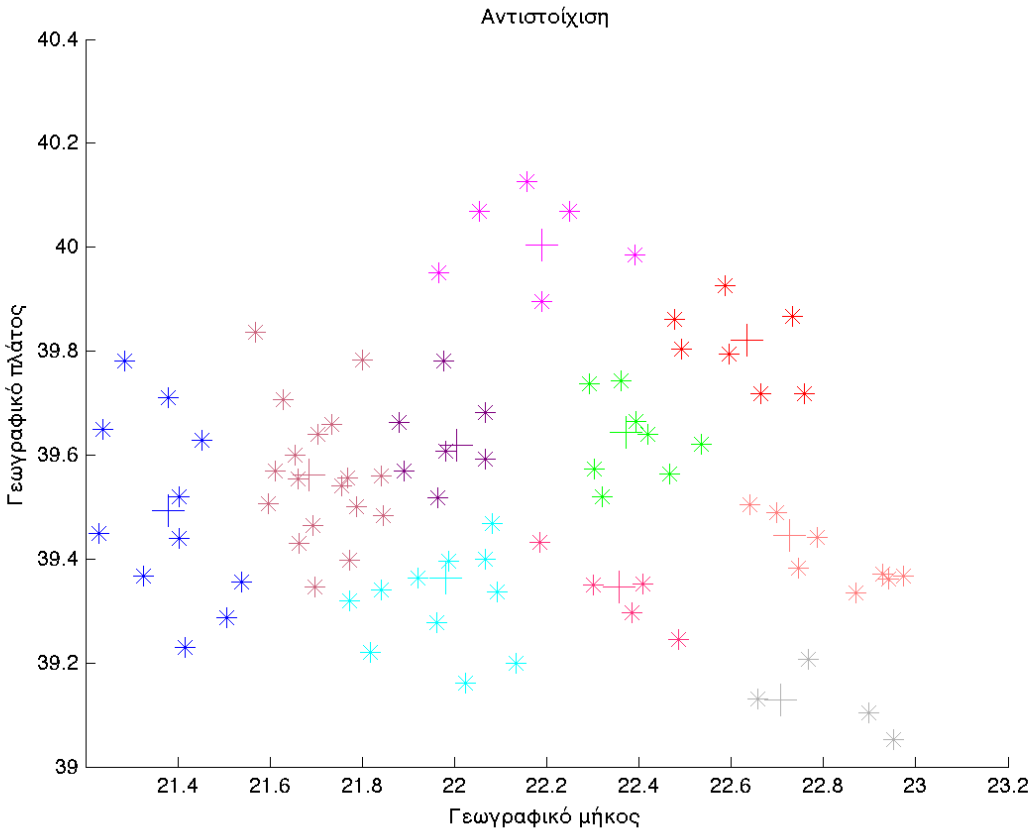
Αφού αποφασίστηκε η δημιουργία 10 ενδιάμεσων αποθηκών, λαμβάνεται από τις μεταβλητές εξόδου του αλγορίθμου, οι θέσεις των αποθηκών αυτών (Πίνακας 9.1-1). Η εφαρμογή του μοντέλου ομαδοποίησης k-διαμέσου κατέληξε στα παρακάτω αποτελέσματα, για τις βέλτιστες θέσεις των ενδιάμεσων αποθηκών, λαμβάνοντας υπόψιν, τις γεωγραφικές συντεταγμένες των κέντρων των δημοτικών ενοτήτων, καθώς και την ποσότητα παραγωγής υπολειμμάτων αραβοσίτου της κάθε μίας.

Α/Α	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Περιοχή
1	39.562	21.685	Φωτάδα, Τρίκαλα
2	40.005	22.190	Λόφος, Λάρισα
3	39.364	21.982	Σταυρός, Καρδίτσα
4	39.773	22.578	Πουρνάρι, Λάρισα
5	39.644	22.372	Άργισσα, Λάρισα
6	39.461	21.621	Πύλη, Τρίκαλα
7	39.620	22.005	Κρήνη, Τρίκαλα
8	39.446	22.727	Ριζόμυλος, Μαγνησία
9	39.203	22.764	Κρόκιο, Μαγνησία
10	39.346	22.356	Μικρό Ευύδριο, Λάρισα

Πίνακας 9.1-1: Γεωγραφικές συντεταγμένες ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη χωροθέτηση των ενδιάμεσων αποθηκών λαμβάνει υπόψιν, αντίθετα με άλλα μοντέλα χωροθέτησης, κάθε πιθανό σημείο της περιοχής. Για αυτόν το λόγο, είναι λογικό κάποια από τα αποτελέσματα του αλγορίθμου να ταυτίζονται με τοποθεσίες, όπου η εγκατάσταση αποθήκης είναι ανέφικτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρήθηκε, ότι 2 αποθήκες βρίσκονταν σε σημείο όπου λόγω γεωλογικών συνθηκών είναι αδύνατο να εγκατασταθεί αποθήκη σε αυτό το σημείο. Να τονίσουμε, ότι αυτό οφείλεται εν μέρει και στην παραδοχή που έχει γίνει, ότι η συγκέντρωση της παραγωγής μίας δημοτικής ενότητας γίνεται στο γεωγραφικό της κέντρο. Παρόλα αυτά, και οι δύο γεωγραφικές συντεταγμένες βρίσκονται πολύ κοντά σε περιοχή όπου είναι δυνατή η εγκατάσταση τους, χωρίς να επηρεάζονται τα τελικά αποτελέσματα σε σημείο που να απαιτείται η επανάληψη των υπολογισμών του μοντέλου.

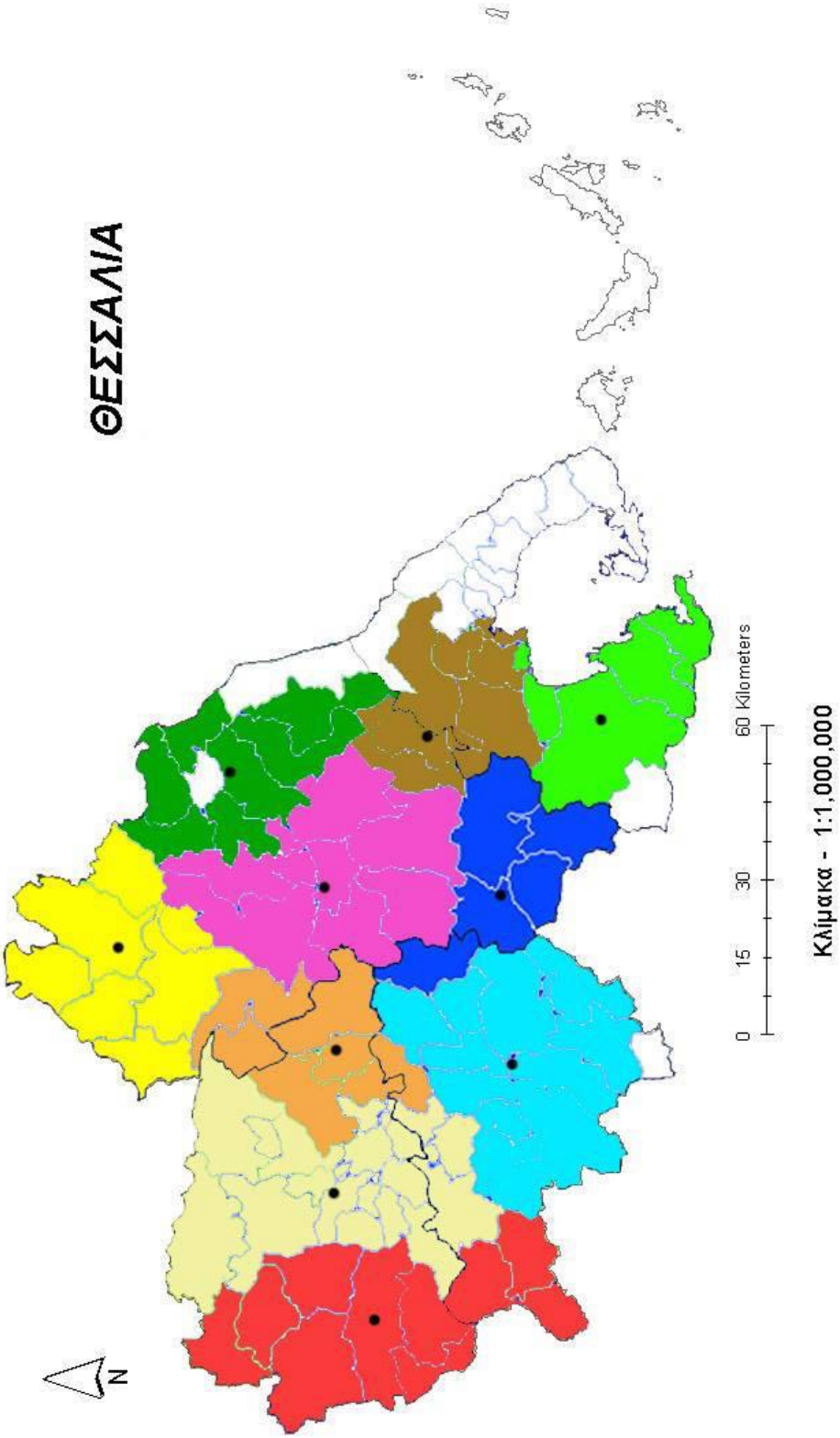
Γνωρίζοντας τη γεωγραφική θέση των ενδιάμεσων αποθηκών, μπορούμε να τις αναπαραστήσουμε γραφικά. Επίσης, από την εκτέλεση του αλγορίθμου, προκύπτει και η αντιστοίχιση κάθε κέντρου δημοτικής ενότητας με την ενδιάμεση αποθήκη από την οποία θα εξυπηρετηθεί. Θυμίζουμε πως η αντιστοίχιση αυτή γίνεται με τέτοιον τρόπο, ώστε το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ κέντρων δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών να ελαχιστοποιείται. Στην Εικόνα 9.1-1 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση της αντιστοίχισης, όπου με (*) συμβολίζονται τα κέντρα των δημοτικών ενοτήτων, ενώ με (+) οι ενδιάμεσες αποθήκες. Κάθε ομάδα δημοτικών ενοτήτων ίδιου χρώματος εξυπηρετείται από την ενδιάμεση αποθήκη με το ίδιο χρώμα. Στην Εικόνα 9.1-2 φαίνεται η αντιστοίχιση στο χάρτη της Περιφέρειας Θεσσαλίας, όπου οι μαύρες βούλες συμβολίζουν τη θέση των ενδιάμεσων αποθηκών.



Εικόνα 9.1-1: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου

Οι δύο αυτές εικόνες κάνουν κατανοητή τη λειτουργία του μοντέλου. Γίνεται σαφές, πως οι ενδιάμεσες αποθήκες δεν επηρεάζονται από το μέγεθος της δημοτικής ενότητας, αλλά από την παραγωγικότητα του. Για αυτό το λόγο παρατηρείται δημοτικές ενότητες μεγάλης έκτασης να απέχουν αρκετά από την ενδιάμεση αποθήκη στην οποία έχουν αντιστοιχηθεί. Επίσης,

φαίνεται καθαρά η λειτουργία κάθε δημοτικής ενότητας σαν μαγνήτη, καθώς παρατηρούμε, πως οι ενδιάμεσες αποθήκες δεν βρίσκονται στο γεωγραφικό κέντρο της έκτασης από την οποία συλλέγουν υπολείμματα, αλλά σε θέσεις που καθορίζονται από τις διάφορες δυναμικότητες των δημοτικών ενοτήτων που της αντιστοιχούν.



Εικόνα 9.1-2: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου

Αφού εντοπίστηκαν οι θέσεις των ενδιάμεσων αποθηκών, καθώς και η αντιστοιχία τους με τις δημοτικές ενότητες, είναι δυνατό να υπολογισθούν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία για τις ενδιάμεσες αποθήκες.

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Δέματα	Έκταση (m^2)	Απόθεμα (ημέρες)	Απόσταση από εργοστάσιο (km)
1	57725	111438	66913	57.7	87.3
2	12495	24122	16072	12.5	55.6
3	32275	62307	38591	32.3	69.5
4	12033	23230	15525	12.0	28.8
5	39663	76569	46861	39.7	10.4
6	5372.7	10372	7611.1	5.4	122.8
7	23103	44600	28238	23.1	50.8
8	18036	34819	22466	18.0	45.3
9	6264	12093	8695.9	6.3	84.5
10	18583	35875	23086	18.6	49.2

Πίνακας 9.1-2: Στοιχεία αποθηκών αραβοσίτου Α

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η ποσότητα που θα αποθηκευτεί σε κάθε αποθήκη, καθώς και η αντιστοιχία της ποσότητας σε δέματα. Στη συνέχεια φαίνεται η συνολική επιφάνεια που θα καλύπτει κάθε αποθήκη και η απόσταση της από το εργοστάσιο βιομετατροπής, το οποίο θυμίζουμε πως θεωρήσαμε πως είναι η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αγροτεμάχια που θα φιλοξενούν τις αποθήκες θα ενοικιάζονται, γιατί η παραγωγικότητα των δημοτικών ενοτήτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και δεν είναι σταθερή. Για αυτό το λόγο το μοντέλο πρέπει να είναι ευμετάβλητο, κάτι που συνεπάγεται την ικανότητα εναλλαγής χώρων αποθήκευσης, το οποίο αποτελεί και έναν από τους λόγους που δεν επελέγει η δημιουργία στεγασμένων αποθηκών. Ταυτόχρονα, το ιδανικό σενάριο θα ήταν το αγροτεμάχιο να ενοικιάζεται για τόσο χρονικό διάστημα, όσο χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά, το σενάριο αυτό δε θεωρείται πιθανό. Αρχικά, οι παραγωγοί στη Θεσσαλία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιούν την αγροτική γη κυρίως για ετήσιες καλλιέργειες, ή για καλλιέργειες που απαιτούν αναμονή τουλάχιστον 6 μηνών. Για αυτό το λόγο, η γη δε γίνεται να ενοικιαστεί μόνο για μερικούς μήνες. Άρα, από αυτό

συνεπάγεται πως τα αγροτεμάχια θα ενοικιαστούν για ολόκληρο το χρόνο, παρόλο που δε θα χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια ενοικίασης τους. Όσον αφορά στο κόστος ενοικίασης της αγροτικής γης, αυτό κυμαίνεται στα 20 – 60 € ανά χρόνο και στρέμμα. Η τιμή αυτή όμως αφορά την καλλιέργεια της ενοικιαζόμενης γης. Στην περίπτωση της εκμετάλλευσης για αποθήκευση δεμάτων, η τιμή αυτή αυξάνεται σημαντικά για δύο λόγους. Αρχικά, η έκταση μένει ακαλλιέργητη για έναν ολόκληρο χρόνο, κάτι που έχει συνέπειες στο έδαφος, το οποίο μένει αδρανές και δε λαμβάνει λίπασμα. Ταυτόχρονα, εξαιτίας των μεγάλων φορτίων που του ασκούνται από τα δέματα, το έδαφος δεν έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα και δε λαμβάνει οξυγόνο, με αποτέλεσμα η υγρασία που υπάρχει στο έδαφος πριν τη στοίβαξη να εγκλωβίζεται και να επηρεάζει την ποιότητα του εδάφους. Μετά από επικοινωνία με παραγωγούς της περιφέρειας Θεσσαλίας, οι τιμές που λάβαμε για αυτού του είδους τη δραστηριότητα κυμαίνονται μεταξύ 80 και 100 € ανά στρέμμα το χρόνο. Για τον υπολογισμού του κόστους θεωρήσαμε την τιμή ίση με 90 € ανά στρέμμα το χρόνο.

Ανάλογα με το σε ποιο διάστημα ανήκει ο συνολικός χρόνος ενοικίασης του αγροτεμαχίου, θα συνάπτεται το αντίστοιχο συμβόλαιο με τον ιδιοκτήτη. Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζεται το τελικό κόστος ενοικίασης των αγροτεμαχίων, με βάση τις παραπάνω τιμές.

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Έκταση (στρέμματα)	Ημέρες	Αθροιστικές ημέρες	Συνολικό κόστος (€)
6	5372.7	7.6	5.4	5.4	685.0
9	6264	8.7	6.3	11.6	782.6
4	12033	15.5	12.0	23.7	1397.3
2	12495	16.1	12.5	36.2	1446.5
8	18036	22.5	18.0	54.2	2021.9
10	18583	23.1	18.6	72.8	2077.7
7	23103	28.2	23.1	95.9	2541.4
3	32275	38.6	32.3	128.2	3473.2
5	39663	46.9	39.7	167.8	4217.5
1	57725	66.9	57.7	225.5	6022.2

Πίνακας 9.1-3: Κόστος ενοικίασης ενδιάμεσων αποθηκών αραβοσίτου

Το συνολικό κόστος ενοικίασης προκύπτει ίσο με 24665.3 €. Οι αθροιστικές ημέρες είναι ενδεικτικές, καθώς δεν είναι απαραίτητο να γίνεται ανάλωση του ίδιου είδους υπολείμματος για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται για να αναλωθεί πλήρως. Η ημερολογιακή ανάλωση εξαρτάται άμεσα από τον προγραμματισμό που θα καταστρωθεί από τους μηχανικούς παραγωγής του εργοστασίου.

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται ο απαραίτητος αριθμός εμπρόσθιων φορτωτών για κάθε αποθήκη.

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Δέματα	Έκταση (m^2)	Φορτηγά/ ώρα	Διάρκεια αποφόρτωσης (λεπτά)/ώρα	Εμπρόσθιοι φορτωτές
1	57725	111438	66913	3.875	135.625	3
2	12495	24122	16072	0.875	30.625	1
3	32275	62307	38591	2.1875	76.5625	2
4	12033	23230	15525	0.8125	28.4375	1
5	39663	76569	46861	2.6875	94.0625	2
6	5372.7	10372	7611.1	0.375	13.125	1
7	23103	44600	28238	1.5625	54.6875	1
8	18036	34819	22466	1.25	43.75	1
9	6264	12093	8695.9	0.4375	15.3125	1
10	18583	35875	23086	1.25	43.75	1

Πίνακας 9.1-4: Στοιχεία αποθηκών αραβοσίτου Β

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε την ποσότητα που θα αποθηκευτεί σε κάθε αποθήκη σε τόνους και τον ισοδύναμο αριθμό δεμάτων, καθώς και την συνολική έκταση που θα πρέπει να έχει η αποθήκη για να μπορεί να υποστηρίξει την αποθήκευση τους. Επίσης, στον πίνακα φαίνεται και ο ρυθμός εισόδου των φορτηγών ανά ώρα στην αποθήκη, από τον οποίο προκύπτει ο απαιτούμενος συνολικός χρόνος αποφόρτωσης που χρειάζεται για να αποφορτωθούν και να στοιβαχθούν τα δέματα στην αποθήκη. Όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο χρόνος αυτός είναι ίσος με 35 λεπτά ανά φορτηγό. Από την απαιτούμενη διάρκεια αποφόρτωσης, καταλήγουμε στον αριθμό των εμπρόσθιων φορτωτών που χρειάζονται ανά αποθήκη. Συνολικά, θα χρειαστούν 14 εμπρόσθιοι φορτωτές κατά την περίοδο της συλλογής υπολειμμάτων αραβοσίτου.

Τέλος, κατά την υπόλοιπη περίοδο, κάθε μέρα κατά την οποία το εργοστάσιο αναλώνει υπολείμματα αραβοσίτου, απαιτούνται 1002 tn ημερησίως. Θεωρούμε πως σε αυτό το σκέλος θα χρησιμοποιηθούν οχήματα της μέγιστης δυνατής χωρητικότητας (18,66 tn), καθώς η μεταφορά θα γίνεται από παρόχους μεταφορικών υπηρεσιών, οι οποίοι έχουν και τον ανάλογο εξοπλισμό. Άρα, η μεταφορά της ποσότητας αυτής απαιτεί συνολικά την πραγματοποίηση 1002/18,66=54 διαδρομών ανά ημέρα και ισοδυναμεί αντίστοιχα με 54 τρέιλερ. Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζονται οι απαιτούμενοι χρόνοι για την πραγματοποίηση των μεταφορών. Θυμίζουμε πως η ταχύτητα των οχημάτων λαμβάνεται ίση με 40 km/h στην περίπτωση που είναι φορτωμένα και 50 km/h στην περίπτωση που είναι άδεια. Επίσης, όλες οι μεταφορές θα πραγματοποιούνται μέσα σε 2 βάρδιες και με γενικό σκοπό την ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων μηχανών. Δηλαδή, κάθε φορά που απαιτείται επιπλέον δυναμικό για την ολοκλήρωση μίας εργασίας δε θα προστίθεται μηχανή, αλλά θα πραγματοποιούνται υπερωρίες.

Α/Α	Απόσταση ΕΒΖ (km)	Χρόνος ΕΑ προς ΕΒΖ (h)	Χρόνος ΕΒΖ προς ΕΑ (h)	Συνολικός χρόνος για 1 πλήρη μεταφορά (h)	Πλήρεις μεταφορές στη 1 βάρδια	Πλήρεις μεταφορές στις 2 βάρδιες
1	87.3	2.2	1.7	3.9	2.0	4.1
2	55.6	1.4	1.1	2.5	3.2	6.4
3	69.5	1.7	1.4	3.1	2.6	5.1
4	28.8	0.7	0.6	1.3	6.2	12.3
5	10.4	0.3	0.2	0.5	17.1	34.2
6	122.8	3.1	2.5	5.5	1.4	2.9
7	50.8	1.3	1.0	2.3	3.5	7.0
8	45.3	1.1	0.9	2.0	3.9	7.8
9	84.5	2.1	1.7	3.8	2.1	4.2
10	49.2	1.2	1.0	2.2	3.6	7.2

Πίνακας 9.1-5: Χρόνοι μεταφοράς για τροφοδότηση εργοστασίου με υπολείμματα αραβοσίτου

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αφού γνωρίζουμε πως ένας εμπρόσθιος φορτωτής χρειάζεται 35 λεπτά για τη φόρτωση ενός τρέιλερ, μπορούμε να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο αριθμό φορτωτών για το χειρισμό των ζητούμενων δεμάτων.

Α/Α	Πατώματα ανά χρόνο μεταφοράς	Χρόνος φόρτωσης (min)	Φορτωτές
1	13.2	461.4	2
2	8.4	294.0	2
3	10.5	367.5	2
4	4.4	152.3	2
5	1.6	55.0	2
6	18.5	649.0	2
7	7.7	268.3	2
8	6.8	239.6	2
9	12.8	446.5	2
10	7.4	260.3	2

Πίνακας 9.1-6: Αριθμός φορτωτών για την τροφοδότηση του εργοστασίου με υπολείμματα αραβοσίτου

Παρατηρούμε, πως ο αριθμός των εμπρόσθιων φορτωτών που απαιτούνται για να ετοιμαστούν τα απαιτούμενα τρέιλερ (πατώματα) καθημερινά είναι σταθερός και ίσος με 2. Αυτό, είναι λογικό, καθώς ο ρυθμός διέλευσης μπορεί να είναι διαφορετικός για κάθε αποθήκη, ανάλογα με την απόσταση της από το εργοστάσιο, αλλά η συνολικά διακινούμενη ποσότητα παραμένει ίδια, οπότε και ο αριθμός των φορτωτών.

9.2 Υπολείμματα σίτου

Παρακάτω παρουσιάζεται το συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης για κάθε πιθανό σενάριο.

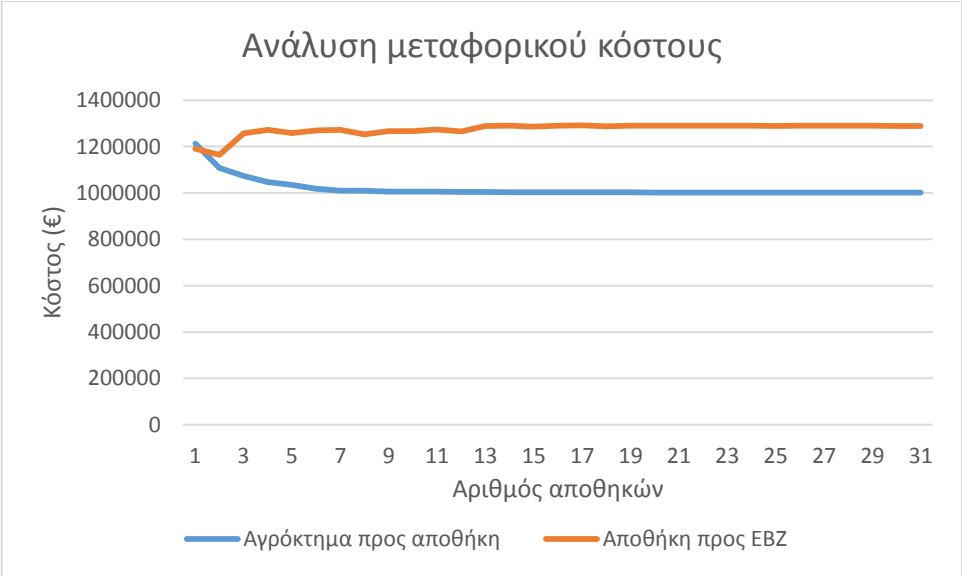
Διάγραμμα 9.2-1: Συνολικός κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης

Από το Διάγραμμα 9.2-1 συμπεραίνουμε, πως το αθροιστικό κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς παρουσιάζει μία ιδιόμορφη συμπεριφορά μέχρι το σενάριο των 12 ενδιάμεσων αποθηκών, και στη συνέχεια αυξάνεται. Η ιδιόμορφη τάση στα πρώτα σενάρια οφείλεται στη θέση του εργοστασίου, καθώς δεν λαμβάνεται υπόψιν στην επιλογή των τοποθεσιών. Άρα, ουσιαστικά βλέπουμε το αποτέλεσμα της επίδρασης του βαρυτικού κέντρου των αποθηκών κάθε σεναρίου στην τελική λύση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η διαφορά μεταξύ του μέγιστου και του ελαχίστου κόστους είναι αρκετά μικρότερη και ίση με 3,9%. Αυτό οφείλεται στο ότι τα κόστη που σχετίζονται με την αποθήκευση, τα οποία συμμετέχουν σε μικρό ποσοστό στη διαμόρφωση του κόστους, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9.2-2 , είναι πολύ μικρά, λόγω των μικρών ποσοτήτων σίτου που συλλέγονται. Άρα, το άθροισμα των δύο κοστών καθορίζεται από το μεταφορικό, το οποίο λόγω του περιορισμένου γεωγραφικού εύρους δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα.

Διάγραμμα 9.2-2: Ποσοστιαία ανάλυση κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης

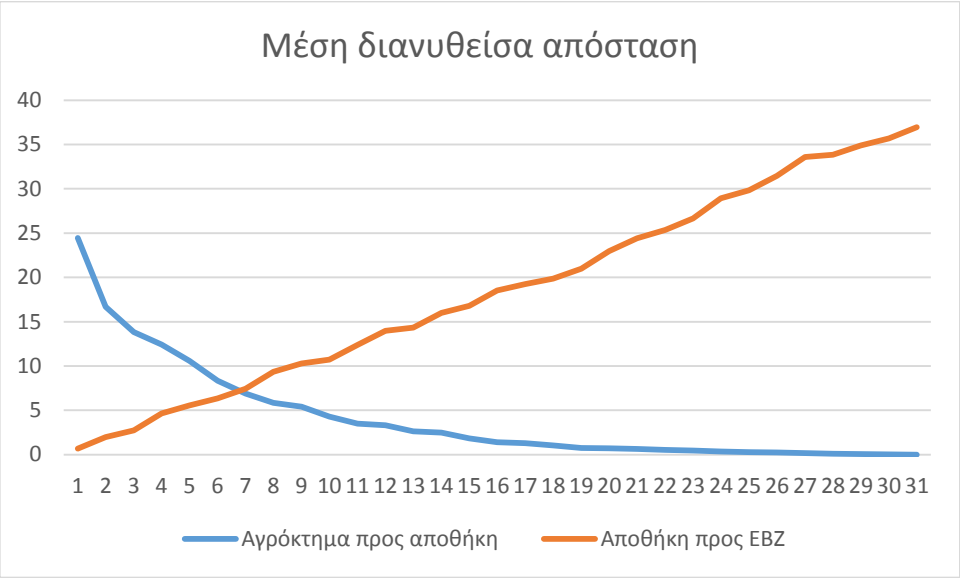
Επίσης, στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε πως το κόστος περίφραξης είναι τόσο χαμηλό που σχεδόν ταυτίζεται με το κόστος ενοικίου.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση του μεταφορικού κόστους για κάθε πιθανό σενάριο. Όπως βλέπουμε, παρουσιάζει ίδια συμπεριφορά με αυτό της μεταφοράς των υπολειμμάτων αραβοσίτου. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση, το σχεδόν σταθερό κόστος οφείλεται στο μικρό εύρος των τιμών.



Διάγραμμα 9.2-3: Ανάλυση μεταφορικού κόστους

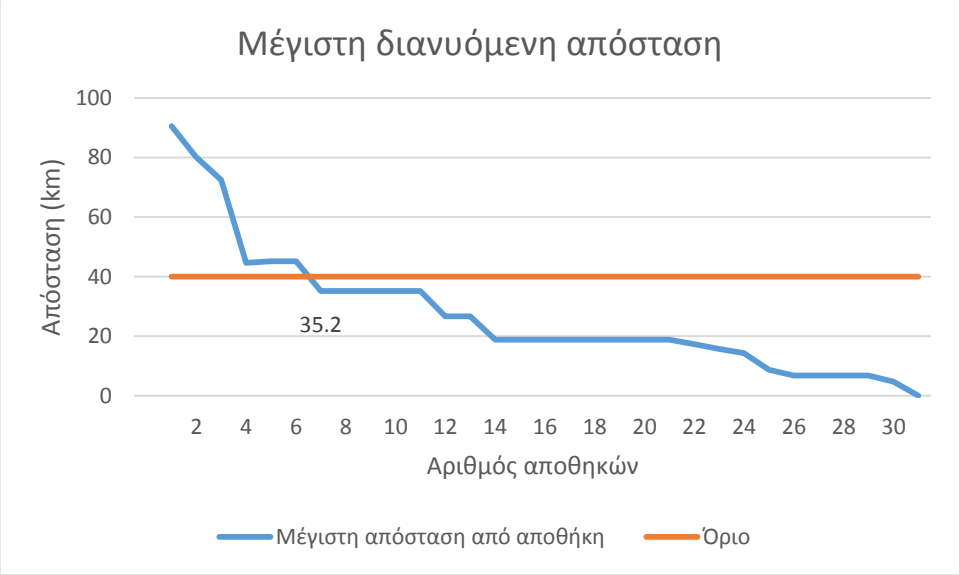
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Διάγραμμα 9.2-4. Εδώ φαίνεται πως η βέλτιστη επιλογή για την περίπτωση της μίας αποθήκης ταυτίζεται σχεδόν με τη θέση του εργοστασίου, κάτι που σημαίνει πως η θέση της ΕΒΖ ταυτίζεται με το παραγωγικό βαρύκεντρο των δημοτικών ενοτήτων.



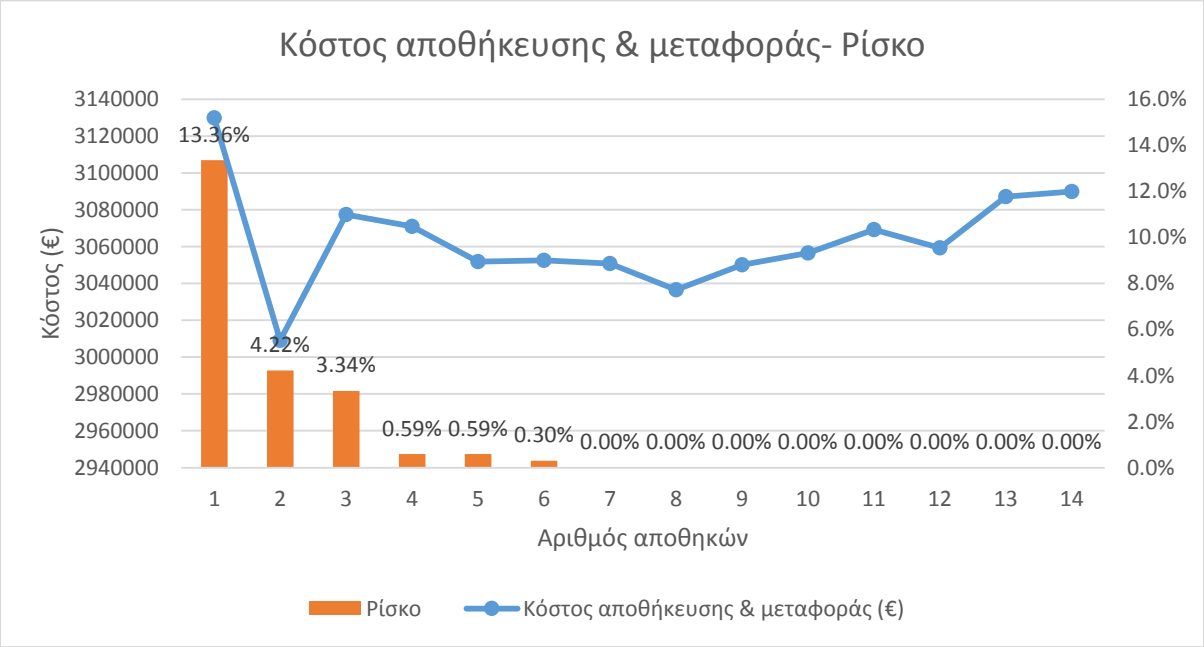
Διάγραμμα 9.2-4: Μέση διανυθείσα απόσταση

Αντίστοιχα με την περίπτωση των υπολειμμάτων αραβοσίτου, και στη συγκεκριμένη περίπτωση η επιλογή σεναρίου αριθμού αποθηκών θα γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν δύο περιορισμούς, της μέγιστης απόστασης από κέντρο δημοτικής ενότητας, και του μεγέθους της μεγαλύτερης αποθήκης.

Αναφορικά με τον πρώτο περιορισμό, βλέπουμε στο Διάγραμμα 9.2-5, πως το πρώτο σενάριο που καλύπτει το όριο, είναι αυτό των 7 αποθηκών, όπου η μέγιστη απόσταση μεταξύ ενδιάμεσης κέντρου δημοτικής ενότητας και ενδιάμεσης αποθήκης είναι ίσο με 35,2 km. Αυτό ισοδυναμεί επομένως με μηδενικό ρίσκο απώλειας πρώτης ύλης, κάτι που φαίνεται στο Διάγραμμα 9.2-6

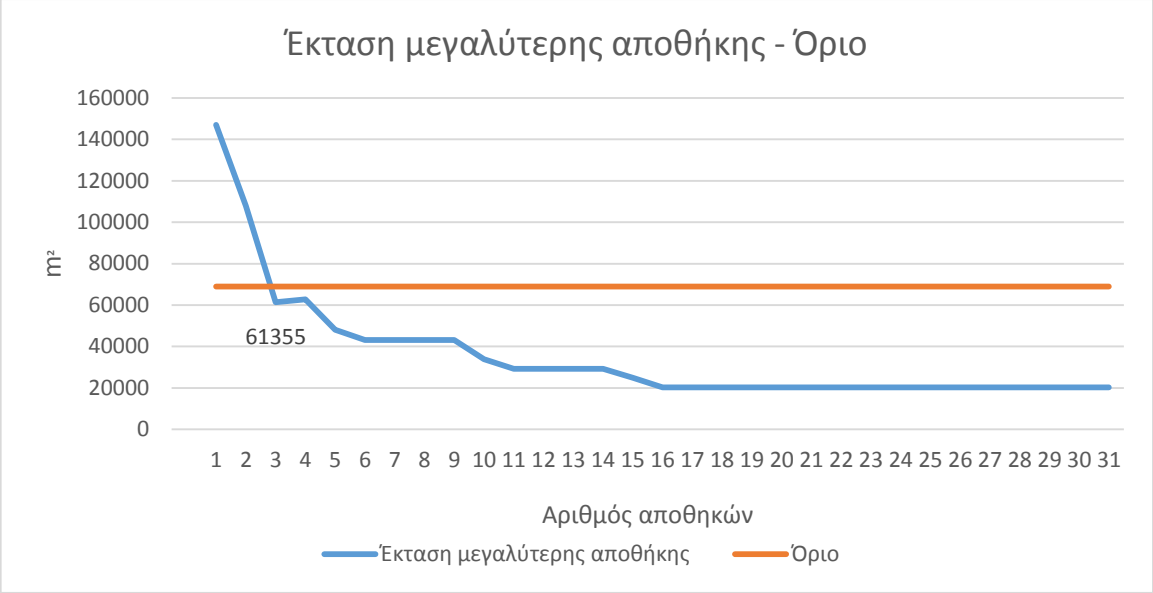


Διάγραμμα 9.2-5: Μέγιστη διανυόμενη απόσταση



Διάγραμμα 9.2-6: Κόστος αποθήκευσης & μεταφοράς- Ρίσκο

Αναφορικά με το δεύτερο περιορισμό, θυμίζουμε πως το όριο βρίσκεται στα 68,87 στρέμματα. Στο Διάγραμμα 9.2-7 παρατηρούμε πως το όριο το καλύπτουν τα περισσότερα σενάρια, αφού ήδη από τις 3 αποθήκες, η μέγιστη έκταση που απαιτείται είναι 61,35 στρέμματα.



Διάγραμμα 9.2-7: Έκταση μεγαλύτερης αποθήκης - Όριο

Σύμφωνα με την ανάλυση των σεναρίων, καταλήγουμε στο ότι η ιδανική λύση είναι η δημιουργία 8 ενδιάμεσων αποθηκών, καθώς αποτελεί τη φθηνότερη επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών που πληρούν τα κριτήρια που τέθηκαν. Το σύνολο του μεταφορικού και αποθηκευτικού κόστους του σεναρίου είναι ίσο με 3.036.562 €. Όσον αφορά στο μοντέλο, το k της συγκεκριμένης περίπτωσης είναι ίσο με 8.

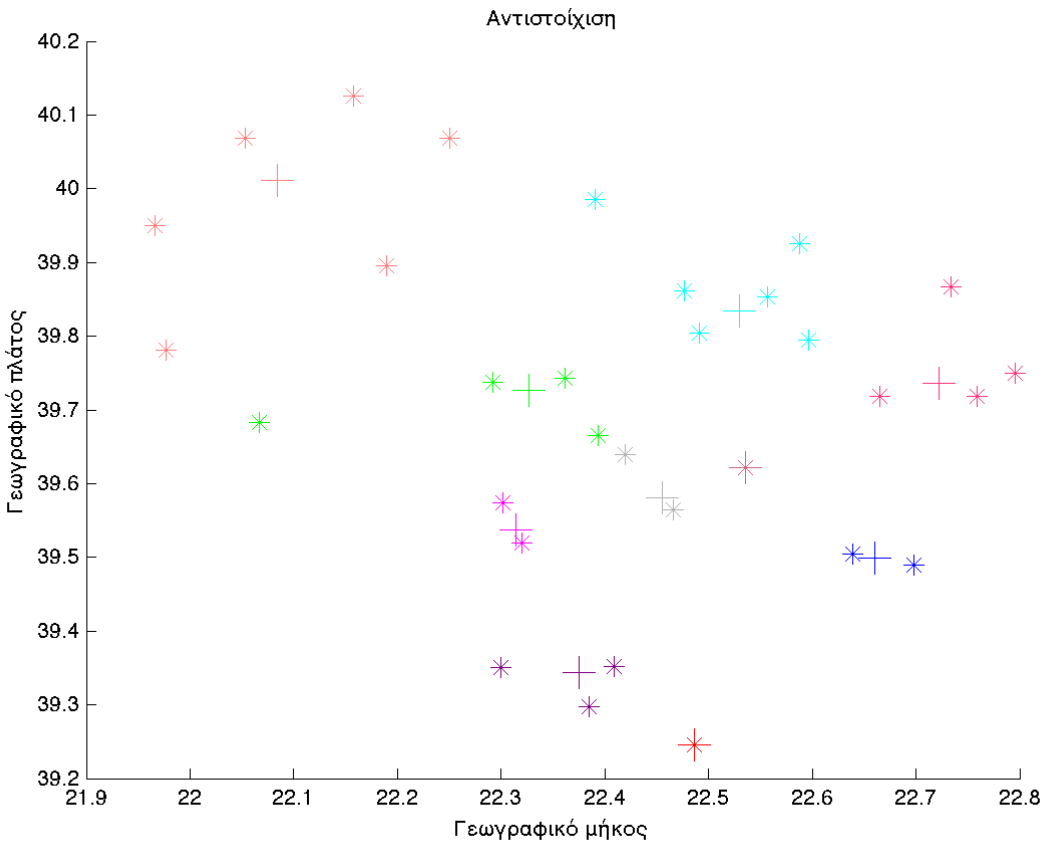
Από τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του αλγορίθμου λαμβάνουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες των ενδιάμεσων αποθηκών, οι οποίες παρατίθενται στον επόμενο πίνακα.

Α/Α	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Περιοχή
1	22.375	39.343	Βασίλη, Λάρισα
2	22.491	39.598	Μελισσοχωρι, Λάρισα
3	22.362	39.75	Αμπελώνας, Λάρισα
4	22.66	39.499	Κόκκινες, Λάρισα
5	22.084	40.011	Αζώρος, Λάρισα
6	22.612	39.673	Ελευθέριο, Λάρισα
7	22.31	39.54	Κραννώνας, Λάρισα
8	22.486	39.245	Ναρθάκι, Λάρισα

Πίνακας 9.2-1: Γεωγραφικές συντεταγμένες ενδιάμεσων αποθηκών σίτου

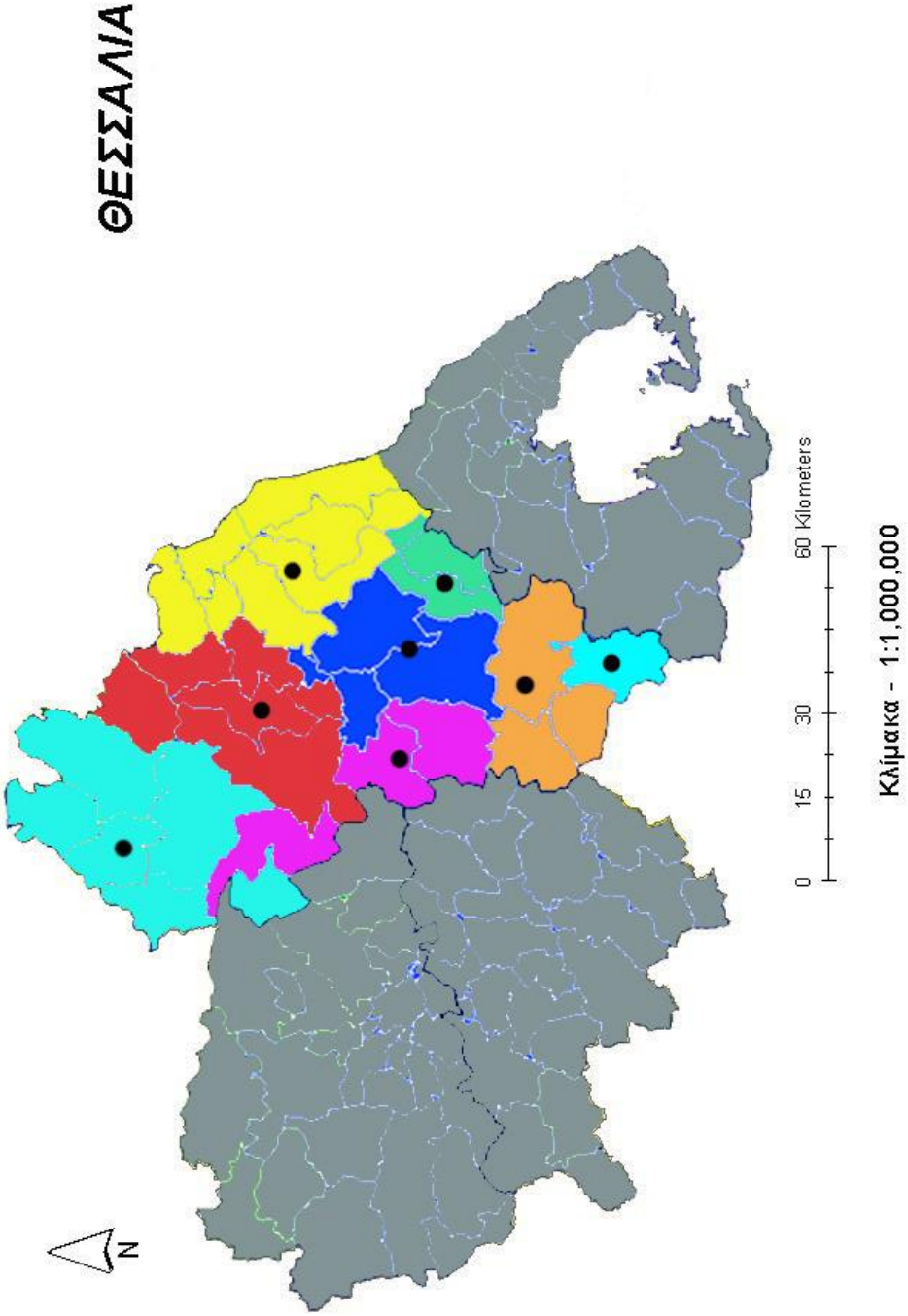
Στην επόμενη εικόνα παριστάνονται γραφικά οι θέσεις των δημοτικών ενοτήτων (*) και οι θέσεις των ενδιάμεσων αποθηκών (+). Κάθε ομάδα δημοτικών ενοτήτων ίδιου χρώματος εξυπηρετείται από την ενδιάμεση αποθήκη με το ίδιο χρώμα. Στην Εικόνα 9.2-2 φαίνεται η

αντιστοίχιση στο χάρτη της Περιφέρειας Θεσσαλίας, όπου οι μαύρες βούλες συμβολίζουν τη θέση των ενδιάμεσων αποθηκών.



Εικόνα 9.2-1: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών σίτου

Στην Εικόνα 9.2-1 παρατηρούμε ξανά το πόσο σημαντική είναι η προσθήκη βαρύτητας σε κάθε δημοτική ενότητα, ώστε να λαμβάνεται υπόψιν στο μοντέλο η παραγωγική δυνατότητα κάθε μίας. Βλέπουμε, πως στην ενδιάμεση αποθήκη με το πορτοκαλί χρώμα στο πάνω μέρος της εικόνας έχουν αντιστοιχηθεί 6 δημοτικές ενότητες, ενώ στην ενδιάμεση αποθήκη με το μωβ χρώμα, μόλις δύο.



Εικόνα 9.2-2: Αντιστοίχιση δημοτικών ενοτήτων και ενδιάμεσων αποθηκών σίτου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία που προκύπτουν για τις ενδιάμεσες αποθήκες σίτου.

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Δέματα	Έκταση (m^2)	Απόθεμα (ημέρες)	Απόσταση από εργοστάσιο (km)
1	21121	54296	33852	26.4	49.2
2	27301	70183	43065	34.1	12.3
3	9260	23805	15836	11.6	14.5
4	9016.1	23178	15461	11.3	34.7
5	2705.2	6955	5419.5	3.4	63.3
6	4906.9	12615	9002.3	6.1	27.7
7	18321	47098	29636	22.9	25.7
8	5924.5	15231	10636	7.4	62.7

Πίνακας 9.2-2: Στοιχεία αποθηκών σίτου Α

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η ποσότητα που θα αποθηκευτεί σε κάθε ενδιάμεση αποθήκη σίτου, καθώς και η αντίστοιχη ποσότητα σε δέματα. Στη συνέχεια φαίνεται η συνολική επιφάνεια που θα καλύπτει κάθε αποθήκη και η απόσταση της από το εργοστάσιο βιομετατροπής.

Οι τιμές ενοικίασης παραμένουν προφανώς ίδιες και στην περίπτωση των ενδιάμεσων αποθηκών σίτου. Το κόστος ενοικίασης υπολογίζεται ως εξής:

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Έκταση (στρέμματα)	Ημέρες	Αθροιστικές ημέρες	Συνολικό κόστος (€)
5	2705.2	5.4195	3.4	3.4	487.8
6	4906.9	9.0023	6.1	9.5	810.2
8	5924.5	10.636	7.4	16.9	957.2
4	9016.1	15.461	11.3	28.2	1391.5
3	9260	15.836	11.6	39.7	1425.2
7	18321	29.636	22.9	62.6	2667.2
1	21121	33.852	26.4	89.0	3046.7

2	27301	43.065	34.1	123.1	3875.9

Πίνακας 9.2-3: Κόστος ενοικίασης αποθηκών σίτου

Το συνολικό κόστος ενοικίασης υπολογίζεται στα 14661.7 €.

Ο αριθμός των εμπρόσθιων φορτωτών που απαιτούνται ανά αποθήκη φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Α/Α	Ποσότητα (tn)	Δέματα	Έκταση (m^2)	Φορτηγά/ ώρα	Διάρκεια αποφόρτωσης (λεπτά)/ώρα	Εμπρόσθιοι φορτωτές
1	21121	54296	33852	1.625	56.9	1
2	27301	70183	43065	2.0625	72.2	2
3	9260	23805	15836	0.6875	24.1	1
4	9016.1	23178	15461	0.6875	24.1	1
5	2705.2	6955	5419.5	0.25	8.8	1
6	4906.9	12615	9002.3	0.375	13.1	1
7	18321	47098	29636	1.375	48.1	1
8	5924.5	15231	10636	0.5	17.5	1

Πίνακας 9.2-4: Στοιχεία αποθηκών σίτου Β

Συνολικά, κατά την περίοδο της συλλογής των υπολειμμάτων θα απαιτηθούν 9 εμπρόσθιοι φορτωτές για τη διαχείριση της εισερχόμενης ποσότητας.

Κατά την περίοδο ανάλωσης του αποθέματος απαιτούνται συνολικά 800 tn υπολειμμάτων σίτου ημερησίως. Αυτοί θα μεταφέρονται με τα τρέιλερ μέγιστης χωρητικότητας (14 tn). Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι απαιτούμενοι χρόνοι για την τροφοδοσία.

Α/Α	Απόσταση ΕΒΖ (km)	Χρόνος ΕΑ προς ΕΒΖ (h)	Χρόνος ΕΒΖ προς ΕΑ (h)	Συνολικός χρόνος για 1 πλήρη μεταφορά (h)	Πλήρεις μεταφορές στη 1 βάρδια	Πλήρεις μεταφορές στις 2 βάρδιες
1	49.229	1.23	0.98	2.22	3.61	7.22
2	12.299	0.31	0.25	0.55	14.45	28.91
3	14.541	0.36	0.29	0.65	12.23	24.45
4	34.677	0.87	0.69	1.56	5.13	10.25

5	63.34	1.58	1.27	2.85	2.81	5.61
6	27.735	0.69	0.55	1.25	6.41	12.82
7	25.661	0.64	0.51	1.15	6.93	13.86
8	62.732	1.57	1.25	2.82	2.83	5.67

Πίνακας 9.2-5: Χρόνοι μεταφοράς για τροφοδότηση εργοστασίου με υπολείμματα σίτου

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, υπολογίζουμε τον αριθμό των απαραίτητων φορτωτών.

Α/Α	Πατώματα ανά χρόνο μεταφοράς	Χρόνος φόρτωσης (min)	Φορτωτές
1	7.9	276.9	2
2	2.0	69.2	2
3	2.3	81.8	2
4	5.6	195.1	2
5	10.2	356.3	2
6	4.5	156.0	2
7	4.1	144.3	2
8	10.1	352.9	2

Πίνακας 9.2-6: Αριθμός φορτωτών για την τροφοδότηση του εργοστασίου με υπολείμματα σίτου

9.3 Χρονικός προγραμματισμός

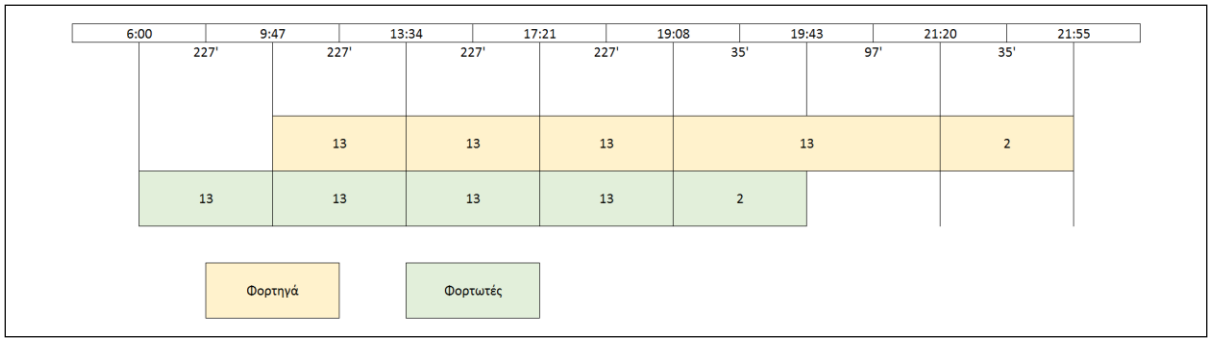
Ο προγραμματισμός της παραγωγής του εργοστασίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αρχικά, απαιτούνται διαφορετικές ενέργειες ανάλογα με το είδος του υπολείμματος που αναλώνεται και κατάλληλη προετοιμασία των μηχανών. Επίσης, η επιλογή του υπολείμματος που θα αναλωθεί εξαρτάται και από το βαθμό παραγωγικότητας που επιδιώκει το εργοστάσιο και το κατά πόσο επιθυμεί να λειτουργεί στη μέγιστη απόδοση. Για αυτό το λόγο δε γίνεται να γίνει προγραμματισμός της ανάλωσης των αποθεμάτων σε αυτή τη φάση. Ενδεικτικά πάντως, θα προταθεί μία στρατηγική ανάλωσης, η οποία βασίζεται στη διατήρηση των επιπέδων υγρασίας των υπολειμμάτων σε ασφαλή επίπεδα για ανάλωση, δηλαδή κάτω από 20%.

Αυτό που προτείνεται είναι να χρησιμοποιούνται υπολείμματα αραβοσίτου από το Νοέμβριο μέχρι και τα μέσα του Ιανουαρίου, οπότε η όποια αύξηση της υγρασίας δε θα έχει ξεπεράσει τα επίπεδα του 20%. Στη συνέχεια, κατά τους χειμερινούς μήνες με τα πιο έντονα καιρικά φαινόμενα, δηλαδή από τα μέσα Ιανουαρίου μέχρι και τον Απρίλιο, θα χρησιμοποιηθούν τα

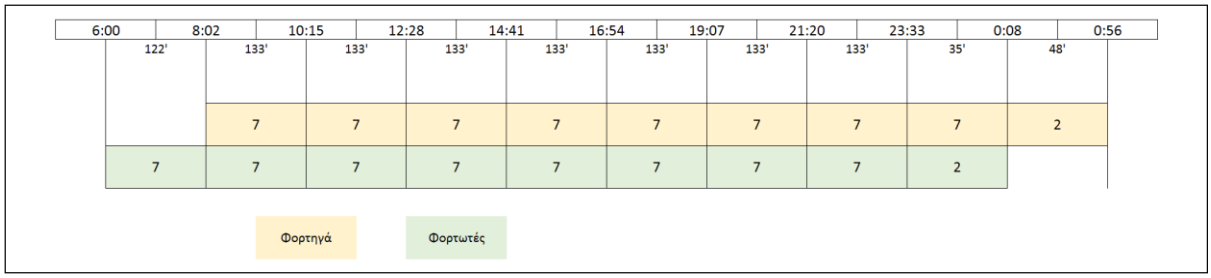
υπολείμματα σίτου, τα οποία θα έχουν υγρασία μέσα στα επιθυμητά όρια, καθώς αφενός συλλέγονται με χαμηλή υγρασία, και αφετέρου έχουν εφαρμοσθεί τα μέτρα προστασίας τους πολύ πριν την έναρξη της βροχερής περιόδου, και άρα εκτίθενται σε πολύ μικρό βαθμό. Μέχρι και τον Ιούλιο, θα χρησιμοποιηθούν τα υπόλοιπα υπολείμματα αραβοσίτου, των οποίων η υγρασία θα πέφτει συνεχώς λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Θεωρούμε πως τον Αύγουστο το εργοστάσιο δε λειτουργεί για λόγους συντήρησης.

Παράλληλα, κάτι που θα εξασφαλίσει ακόμα μικρότερα επίπεδα υγρασίας και προτείνεται από τους Rentizelas, Tolis, & Tatsiopoulos (2009) είναι η μεταφορά της ποσότητας που αναλογεί στις ανάγκες της εγκατάστασης για δύο εβδομάδες νωρίτερα στο εργοστάσιο. Εκεί, μέσω κατάλληλων διαμορφώσεων σε συγκεκριμένο χώρο του εργοστασίου, θα εκτίθενται στα θερμά καυσαέρια των εγκαταστάσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση της υγρασίας τους. Παράλληλα, με αυτόν τον τρόπο, θα διατηρείται απόθεμα ασφαλείας δύο εβδομάδων στο εργοστάσιο, το οποίο μπορεί να αναλωθεί σε περίπτωση που για διάφορους λόγους, κυρίως καιρικούς (έντονη χιονόπτωση, βροχή κλπ.), δεν είναι δυνατή η πρόσβαση στις ενδιάμεσες αποθήκες. Εδώ πάντως να σημειωθεί, ότι το προτεινόμενο μοντέλο εξαλείφει κάθε τέτοια περίπτωση, καθώς αρχικά, ο μεγάλος αριθμός αποθηκών, αλλά και η διασπορά τους καθιστά αδύνατο τον ταυτόχρονο αποκλεισμό τους. Παράλληλα, δημιουργείται μία ενδιάμεση αποθήκη υπολειμμάτων αραβοσίτου μεγάλου μεγέθους, σε απόσταση περίπου 10 χιλιομέτρων από το εργοστάσιο, η οποία είναι ικανή να καλύψει ανά πάσα στιγμή τις έκτακτες απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Όσον αφορά τον προγραμματισμό στο επίπεδο της διαχείρισης των ενδιάμεσων αποθηκών κατά τη διάρκεια της τροφοδότησης του εργοστασίου, παρακάτω ακολουθούν δύο διαγράμματα Gantt, τα οποία παρουσιάζουν ενδεικτικά έναν πιθανό τρόπο συντονισμού των εμπρόσθιων φορτωτών και των μεταφορικών μέσων στην αποθήκη. Αυτό που επιδιώχθηκε είναι η ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων μέσων και η μέγιστη χρήση του διαθέσιμου χρόνου. Όταν οι απαραίτητες εργασίες ξεπερνούν τις δύο βάρδιες, θα πραγματοποιούνται υπερωρίες. Και οι δύο περιπτώσεις αφορούν την πρώτη αποθήκη κάθε είδους.



Εικόνα 9.3-1: Χρονικός προγραμματισμός 1ης αποθήκης αραβοσίτου



Εικόνα 9.3-2: Χρονικός προγραμματισμός 1ης αποθήκης σίτου

Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε το σημαντικό ρόλο που παίζει η εγγύτητα της αποθήκης στο εργοστάσιο, καθώς καθιστά τα δρομολόγια πιο συχνά. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και το ότι τα υπολείμματα σίτου έχουν μικρότερη πυκνότητα και άρα απαιτούν περισσότερα φορτία για τη μεταφορά τους. Η παραπάνω διαδικασία συνεχούς ροής βασίζεται σε δύο προϋποθέσεις. Αρχικά, λαμβάνεται υπόψιν πως νομικά, ένας τράκτορας μπορεί να αντιστοιχεί σε δύο τρέιλερ. Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει, ότι ένα από τα δύο τρέιλερ παραμένει στην αποθήκη πριν την τελευταία αναχώρηση, και ότι δεν πραγματοποιούνται διαδοχικές μεταφορές από τα ίδια οχήματα.

9.4 Υπολογισμός συνολικού κόστους

Παραπάνω έγινε αναλυτικός υπολογισμός του μεταβλητού κόστους, δηλαδή του κόστους, το οποίο εξαρτάται από τα αποτελέσματα του μοντέλου αναφορικά με τον αριθμό των ενδιάμεσων αποθηκών. Το σταθερό κόστος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω συντελείται από το κόστος αγοράς και συλλογής των υπολειμμάτων και το κόστος φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 7, για τον αραβόσιτο έχουμε:

- το κόστος αγοράς των υπολειμμάτων αραβοσίτου είναι μηδενικό, καθώς δεν παρουσιάζουν κάποια αξία για τον αγρότη

- το κόστος συλλογής και δεματοποίησης των υπολειμμάτων σε μεγάλα τετράγωνα δέματα είναι ίσο με 7 € ανά δέμα
- τα κόστη φόρτωσης και εκφόρτωσης είναι ίδια και ίσα με 1,4 € ανά δέμα.

Με βάση αυτά τα στοιχεία, για την κάλυψη των συνολικών αναγκών της εγκατάστασης σε υπολείμματα αραβοσίτου, οι οποίες ανέρχονται σε 435.443 δέματα, προκύπτουν τα εξής κόστη:

Αραβόσιτος	
Α. Κόστος αγοράς και συλλογής	
Α1. Κόστος αγοράς	0,00 €
Α2. Κόστος συλλογής	7,00 € ανά δέμα
ΣΑ. Σύνολο	3,048,101.00 €
Β. Κόστος φόρτωσης και εκφόρτωσης	
Β1. Κόστος φόρτωσης	1,40 € ανά δέμα
Β2. Κόστος εκφόρτωσης	1,40 € ανά δέμα
ΣΒ. Σύνολο	2.438.480,80 €
Γ. Κόστος μεταφοράς	
Γ1. Αγρόκτημα προς ΕΑ	1.811.600,00 €
Γ2. ΕΑ προς Εργοστάσιο	2.749.500,00 €
ΣΓ. Σύνολο	4.561.100,00 €
Δ. Κόστος αποθήκευσης	
Δ1. Κόστος ενοικίου	24.665,31 €
Δ2. Κόστος περίφραξης	217.260,00 €
Δ3. Κόστος ξηρού υποστρώματος	544.325,00 €
Δ4. Κόστος κάλυψης δεμάτων	240.235,00 €
ΣΔ. Σύνολο	1.026.485,31 €
Σ. Σύνολο	11.074.167,11 €

Πίνακας 9.4-1: Υπολογισμός συνολικού κόστους αραβοσίτου

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, καταλήγουμε στο ότι το συνολικό κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας του αραβοσίτου είναι ίσο με 11.074.167,11 €.

Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας του σίτου, βασιστήκαμε στα εξής στοιχεία:

- το κόστος αγοράς του αχύρου υπολειμμάτων είναι ίσο με 6 ευρώ ανά μεγάλο τετράγωνο δέμα ή 14 € ανά τόνο
- το κόστος συλλογής των υπολειμμάτων και η δεματοποίηση τους σε μεγάλα τετράγωνα δέματα είναι ίση με 7 € ανά δέμα
- το κόστος φόρτωσης και εκφόρτωσης παραμένει το ίδιο και ίσο με 1,4 € ανά δέμα

Με βάση τα παραπάνω, για τη συλλογή 253.362 δεμάτων σίτου, το κόστος είναι το εξής:

Σίτος	
Α. Κόστος αγοράς και συλλογής	
Α1. Κόστος αγοράς	5,43 € ανά δέμα
Α2. Κόστος συλλογής	7,00 € ανά δέμα
ΣΑ. Σύνολο	3,149,289.66 €
Β. Κόστος φόρτωσης και εκφόρτωσης	
Β1. Κόστος φόρτωσης	1,40 € ανά δέμα
Β2. Κόστος εκφόρτωσης	1,40 € ανά δέμα
ΣΒ. Σύνολο	1.418.827,20 €
Γ. Κόστος μεταφοράς	
Γ1. Αγρόκτημα προς ΕΑ	1.009.700,00 €
Γ2. ΕΑ προς Εργοστάσιο	1.253.200,00 €
ΣΓ. Σύνολο	2.262.900,00 €
Δ. Κόστος αποθήκευσης	
Δ1. Κόστος ενοικίου	14.661,70 €
Δ2. Κόστος περίφραξης	13.568,00 €
Δ3. Κόστος ξηρού υποστρώματος	316.725,00 €
Δ4. Κόστος κάλυψης δεμάτων	428.725,00 €
ΣΔ. Σύνολο	773,679.70 €
Σ. Σύνολο	7.604.696,56 €

Πίνακας 9.4-2: Υπολογισμός συνολικού κόστους σίτου

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας του σίτου ανέρχεται στα 7.604.696,56 €.

Λαμβάνοντας υπόψιν, το κόστος μεταφοράς της βιοαιθανόλης από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου στις εγκαταστάσεις της ΜΟΗ, το οποίο είχε υπολογιστεί ίσο με 950.000,00 €,

υπολογίζουμε το συνολικό κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας που σχεδιάστηκε, ίσο με 19.628.863,67 €.

10. Μελλοντικά βήματα

Παραπάνω αναλύθηκε κάθε πτυχή της εφοδιαστικής αλυσίδας που αναπτύχθηκε για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνινοκυτταρινούχα βιομάζα. Όπως έγινε φανερό από την ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων, υπάρχει η απαραίτητη ποσότητα υπολειμμάτων για να επιτευχθούν οι παραγωγικοί στόχοι του έργου. Παρόλα αυτά, η επάρκεια της πρώτης ύλης αποτελεί μία από τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ενός βιώσιμου συστήματος για την παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να αναπτυχθεί περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψιν τους τρεις άξονες της βιωσιμότητας.

Αρχικά πρέπει να δοθεί βαρύτητα στην περιβαλλοντική διάσταση της παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων. Η ενσωμάτωση των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα γίνεται με σκοπό την μείωση των εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών. Άρα, προϋποθέτει πρωτίστως ότι οι εκπομπές της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι λιγότερες από αυτές που εξοικονομούνται. Όπως φαίνεται και από το μοντέλο που αναπτύχθηκε, για να καταστεί δυνατή η απρόσκοπτη και συνεχής παροχή βιομάζας στην εργοστασιακή εγκατάσταση, απαιτείται να διανυθεί μία μεγάλη συνολικά απόστασης, η οποία έχει και το ανάλογο ενεργειακό αποτύπωμα. Ακόμα, εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου προκαλεί και η παραγωγή της βιομάζας, η οποία αποτελείται από όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για την καλλιέργεια και τη συλλογή της. Φυσικά, στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου ο υπολογισμός των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί μία πρόκληση, καθώς πραγματοποιείται συλλογή και μεταφορά των υπολειμμάτων από όλη την Περιφέρεια Θεσσαλίας, κάτι το οποίο έχει και τις ανάλογες συνέπειες για την ικανότητα διατύπωσης ασφαλών προβλέψεων για το μέγεθος τους. Άρα, μελλοντικά θα πρέπει να συλλεγούν στοιχεία μεγαλύτερης ακρίβειας για κάθε μέρος της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα οποία θα επιτρέψουν την διαμόρφωση συνολικής εικόνας για το ενεργειακό αποτύπωμα της διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατό να αξιολογηθεί η περιβαλλοντική βιωσιμότητα της επένδυσης παραγωγής βιοκαυσίμων.

Στη συνέχεια, όπως και σε κάθε επένδυση, απαιτείται αυτή να είναι οικονομικά βιώσιμη. Αυτός ο παράγοντας επηρεάζει καθοριστικά αρχικά το κατά πόσο θα μπορέσει μελλοντικά να σημειωθεί μεγαλύτερη παραγωγή και ενσωμάτωση των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας. Σε αυτό το σημείο καθοριστικό ρόλο παίζει η νομοθεσία που διέπει την παραγωγή τους. Καθώς, τα βιοκαύσιμα αποτελούν μία αναγνωρισμένη μέθοδο για τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, το κράτος θα πρέπει μέσω κατάλληλων

ρυθμίσεων να καταστήσει τις επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα ελκυστικές. Επίσης, μέσω ανάλογων ρυθμίσεων μπορεί να ωθήσει την παραγωγή βιομάζας πρώτης και δεύτερης γενιάς.

Ακόμα, όσον αφορά στην κοινωνική διάσταση της παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων, πέρα από τα οφέλη τα οποία απολαμβάνει το κοινωνικό σύνολο λόγω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η παραγωγή βιοκαυσίμων αποτελεί επίσης μία πηγή απασχόλησης. Η μία πτυχή της περιλαμβάνει την ενασχόληση με την παραγωγή των βιοκαυσίμων, ενώ η δεύτερη αφορά την παραγωγή της γεωργικής βιομάζας που αποτελεί την απαραίτητη πρώτη ύλη.

Αναφορικά με την επιστημονική μελέτη της εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων, στην Διπλωματική Εργασία αναδείχθηκαν τα σημεία στα οποία μελλοντικά θα πρέπει να παρουσιαστεί βελτίωση. Αρχικά, η ύπαρξη ακριβών στατιστικών στοιχείων είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την παραγωγή αποτελεσμάτων. Η καταγραφή της παραγωγής γεωργικών προϊόντων στο επίπεδο της ιδιοκτησίας θα δώσει τη δυνατότητα της βέλτιστης χρήσης των υπαρχόντων πόρων αλλά και της εύστοχης πρόβλεψης των σχετικών μεγεθών. Ακόμα, η υλοποίηση καλύτερων υποδομών στον τομέα των μεταφορών θα δημιουργήσει το κατάλληλο υπόβαθρο για την αποδοτικότερη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων. Τέλος, η μοντελοποίηση της εξάρτησης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών από τα καιρικά φαινόμενα θα δώσει τη δυνατότητα της πιο ακριβούς και εύστοχης μοντελοποίησης της όλης διαδικασίας.

ΜΕΡΟΣ Ε

11. Παράρτημα

11.1 Παραγωγή δημοτικών κοινοτήτων

Α/Α	Δημοτική ενότητα	Αραβόσιτος		Απ/κη	Σίτος		Απ/κη
		Κατ/ρία	Παρ/γή		Κατ/ρία	Παρ/γή	
			(tn)			(tn)	
1	Λάρισας	D	4798.5	5	C	3091.6	2
2	Αγιάς	B	1686.0	4	B	1246.7	6
3	Αμπελώνος	D	4798.5	5	C	3091.6	3
4	Αντιχασίων	A	488.4	2	A	291.7	5
5	Αρμενίου	D	4798.5	8	C	3091.6	4
6	Γιάννουλης	C	3115.7	5	B	1246.7	3
7	Γόννων	B	1686.0	4	A	291.7	3
8	Ελασσόνας	D	4798.5	2	A	291.7	5
9	Ενιππέα	E	7960.1	10	D	5924.5	1
10	Ευρυμενών	C	3115.7	4	A	291.7	6
11	Κάτω Ολύμπου	B	1686.0	4	A	291.7	6
12	Κιλελέρ	D	4798.5	8	D	5924.5	4
13	Κοιλάδας	E	7960.1	5	D	5924.5	7
14	Κραννώνος	C	3115.7	5	E	12104.8	7
15	Λακέρειας	B	1686.0	4	B	1246.7	6
16	Λιβαδίου	C	3115.7	2	A	291.7	5
17	Μακρυχωρίου	B	1686.0	4	B	1246.7	3

18	Μελίβοιας	0	0.0		A	291.7	6
19	Ναρθακίου	A	488.4	10	D	5924.5	8
20	Νέσσωνος	A	488.4	4	B	1246.7	6
21	Νίκαιας	C	3115.7	5	E	12104.8	2
22	Ολύμπου	C	3115.7	2	A	291.7	5
23	Πλατυκάμπου	D	4798.5	5	E	12104.8	2
24	Πολυδάμαντα	E	7960.1	10	E	12104.8	1
25	Ποταμιάς	D	4798.5	7	A	291.7	7
26	Σαρανταπόρου	A	488.4	2	B	1246.7	5
27	Τυρνάβου	E	7960.1	5	C	3091.6	3
28	Φαρσάλων	B	1686.0	10	C	3091.6	1
29	Αμπελακίων	0	0.0		A	291.7	6
30	Βερδικούσσας	A	488.4	7	A	291.7	5
31	Καρύας	A	488.4	2	A	291.7	3
32	Τρικκαίων	D	4798.5	1	A	291.7	
33	Αιθηκών	A	488.4	6	0	0.0	
34	Βασιλικής	D	4798.5	1	A	291.7	
35	Γόμφων	E	7960.1	1	A	291.7	
36	Εστιαιώτιδας	B	1686.0	1	A	291.7	
37	Καλαμπάκας	D	4798.5	1	A	291.7	
38	Καλλιδένδρου	D	4798.5	1	A	291.7	
39	Καστανιάς	A	488.4	6	0	0.0	
40	Κλεινόβου	A	488.4	6	A	291.7	
41	Κόζιακα	C	3115.7	1	A	291.7	
42	Μαλακασίου	A	488.4	6	0	0.0	
43	Μεγάλων Καλυβιών	B	1686.0	1	A	291.7	
44	Οιχαλίας	E	7960.1	7	A	291.7	
45	Παληοκάστρου	B	1686.0	7	A	291.7	
46	Παραληθαίων	B	1686.0	1	A	291.7	
47	Πελλιναίων	B	1686.0	7	0	0.0	
48	Πιαλείων	D	4798.5	1	A	291.7	
49	Πύλης	B	1686.0	1	A	291.7	
50	Πινδέων	A	488.4	6	A	291.7	
51	Τυμφαίων	A	488.4	1	A	291.7	
52	Φαλωρείας	E	7960.1	1	A	291.7	
53	Φαρκαδόνας	D	4798.5	7	B	1246.7	
54	Χασίων	B	1686.0	1	A	291.7	
55	Ασπροποτάμου	A	488.4	6	A	291.7	
56	Μυροφύλλου	A	488.4	6	A	291.7	
57	Νεράιδας	A	488.4	6	A	291.7	
58	Καρδίτσας	E	7960.1	3	B	1246.7	
59	Αργιθέας	A	488.4	6	A	291.7	
60	Άρνης	B	1686.0	3	C	3091.6	
61	Αχελώου	A	488.4	6	A	291.7	

62	Ιθώμης	C	3115.7	1	A	291.7	
63	Ιτάμου	A	488.4	1	A	291.7	
64	Καλλιφώνου	B	1686.0	3	A	291.7	
65	Κάμπου	E	7960.1	3	A	291.7	
66	Μενελαΐδας	A	488.4	3	B	1246.7	
67	Μητρόπολης	C	3115.7	3	A	291.7	
68	Μουζακίου	B	1686.0	1	A	291.7	
69	Νεβρόπολης Αγράφων	A	488.4	1	A	291.7	
70	Παλαμά	C	3115.7	3	B	1246.7	
71	Παμίσου	A	488.4	1	A	291.7	
72	Πλαστήρα	A	488.4	3	A	291.7	
73	Ρεντίνας	0	0.0		A	291.7	
74	Σελλάνων	B	1686.0	7	B	1246.7	
75	Σοφάδων	D	4798.5	3	D	5924.5	
76	Ταμασίου	A	488.4	3	B	1246.7	
77	Φύλλου	A	488.4	10	C	3091.6	
78	Αθαμάνων	A	488.4	6	A	291.7	
79	Βόλου	A	488.4	8	B	1246.7	
80	Αισωνίας	A	488.4	8	A	291.7	
81	Αλμυρού	D	4798.5	9	D	5924.5	
82	Αργαλάστης	0	0.0		A	291.7	
83	Αφετών	0	0.0		A	291.7	
84	Ιωλκού	A	488.4	8	A	291.7	
85	Κάρλας	B	1686.0	8	C	3091.6	
86	Μηλέων	0	0.0		A	291.7	
87	Νέας Αγχιάλου	A	488.4	9	B	1246.7	
88	Νέας Ιωνίας	A	488.4	8	A	291.7	
89	Πτελεού	A	488.4	9	A	291.7	
90	Σηπιάδου	0	0.0		A	291.7	
91	Σούρπης	A	488.4	9	B	1246.7	
92	Φερών	D	4798.5	8	D	5924.5	
93	Ανάβρας	0	0.0		A	291.7	
94	Κεραμιδίου	0	0.0		A	291.7	
95	Μακρινίτσας	0	0.0		A	291.7	

Πίνακας 11.1-1: Παραγωγή δημοτικών ενοτήτων

Βιβλιογραφία

Allen, J., Browne, M., & Hunter, A. (1998). Logistics management and costs of biomass fuel supply. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 463-477.

Ballou, R., Rahardja, H., & Sakai, N. (2002). Selected country circuity factors for road travel distance stimation. *Transportation Research*, 843-848.

Collins, M., Ditsch, D., Henning, J., Turner, L., Isaacs, S., & Lacefield, G. (1997). Round Bale Hay Storage in Kentucky. *Agriculture Home Economics*.

Cundiff, J., Dias, N., & Sherali, H. (1997). A linear programming approach for designing a herbaceous biomass delivery system. *Bioresource Technology*, 47-55.

David, A., & Vassilvitskii, S. (2007). k-means++: The Advantages of Careful Seeding. *SODA '07 Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms* (σσ. 1027–1035). New Orleans, Louisiana: Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, PA, USA.

Ebadian, M., Sowlati, T., & Sokhansanj, S. (2013). Modeling and analysing storage systems in agricultural biomass supply chain for cellulosic ethanol production. *Applied energy*, 840-849.

Eksioglou, S., Li, S., Zhang, S., Sokhansanj, S., & Petrolia, D. (2010). Analyzing impact of inter-modal facilities on design and management of biofuel supply chain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 144-151.

Forsberg, G. (2000). Biomass energy transport Analysis of bioenergy transport chains using life cycle inventory method. *Biomass Bioenergy*, 17-30.

Gemtos, T., & Tsiricoglou, T. (1999). Harvesting of cotton residue for energy production. *Biomass and bioenergy*, 51-59.

Gold, & Seuring. (2011). Supply Chain and logistics issues of bio-energy production. *Journal of Cleaner Production* , 32-42.

Goycoolea, M., Murray, A., Barahona, F., Epstein, R., & Weintraub, A. (2005). Harvest scheduling subject to maximum area restrictions exploring exact approaches. *Operational Research*, 490-500.

Gunnarsson, H., Ronnqvist, M., & Lundgren, J. (2004). Supply chain modelling of forest fuel. *European Journal of Operation Research*, 103-123.

Hess, J., Wright, C., & Kenney, K. (2007). Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 181-190.

Iakovou, E., Karagiannidis, A., Vlachos, D., Toka, A., & Malamakis, A. (2010). Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis. *Waste Management*, 1860-1870.

Marufuzzaman, M., Eksioglu, S., Li, X., & Wang, J. (2014). Analyzing the impact of intermodal-related risk to the design and management of biofuel supply chain. *Transportation Research Part E journal*, 122-145.

Murray, A. (1999). Spatial restrictions in harvest scheduling. *Forest science*, 45-52.

Nilsson, D. (1999). SHAM-a simulation model for designing straw fuel delivery systems. *Biomass Bioenergy*, 25-38.

Nilsson, D., & Hansson, P. (2001). Influence of various machinery combinations, fuel proportions and storage capacities on costs for co-handling of straw and reed canary grass to district heating plants. *Biomass and Bioenergy*, 247-260.

Ntogkoulis, P. (2014). Performance of cotton residue collection machinery. *Biosystems Engineering*, 25-34.

Papadopoulos, D., & Katsigiannis, P. (2002). Biomasss energy surveying an techno-economic assessment of suitable CHP system installations. *Biomass Bioenergy*, 105-124.

Ravula, P. (2007). Design, simulation analysis and optimization of transportation system for a biomass to ethanol conversion plant. *Doctoral Thesis*.

Rentizelas, A., Tolis, A., & Tatsiopoulos, I. (2009). Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 887-897.

Saxe, C. (2007). Big bale storage losses; how different options stack up. *Focus on Forage, 9*(1), σσ. 1-3.

Sokhansanj, S., & Turnhollow, A. (2002). Baseline cost for corn stover collection. *Applied Engineering in Agriculture*, 525-530.

Sokhansanj, S., Turholow, A., Stephen, J., Stumborg, M., Fenton, J., & Mani, S. (2008). Analysis of five simulated straw harvest scenarios. *CanadianBiosystemsEngineering*, 27-35.

Tan, P., Steinbach, M., & Kumar, V. (2006). *Introduction to Data Mining.* Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Tatsiopoulos, I., & Tolis, A. (2003). Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods. *Biomass Bioenergy*, 199-214.

Thompson, J., & Tyner, W. (2014). Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response. *Biomass and Bioenergy*, 166-173.

Thornley, P. (2008). Airborne emissions from biomass based power generation systems. *Environmental Research Letters*, 1-6.

Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., Frazelle, E., Tanchoco, J., & Trevino, J. (1997). *Facility Planning.* New York: Wiley.

Βεντούρης, Ν., & Τσακανίκας, Ά. (2011). *Αγροτικά Μηχανήματα & Ανταγωνιστικότητα του Πρωτογενούς Τομέα.* ΙΔΡΥΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ FOUNDATION FOR ECONOMIC & INDUSTRIAL RESEARCH.

Καρλαύτης, Μ., & Λαγαρός, Ν. (2010). *Επιχειρησιακή έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς.* ΑΘΗΝΑ: Εκδόσεις Συμμετρία.