



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ευέλικτη εφοδιαστική αλυσίδα αγροτικών εφοδίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Μαχρέμη Ελένης

ΑΜ: 326/2016115

Επιβλέπων : Κορμέντζας Γεώργιος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Σκουτας Δημήτριος
Μεσαριτακης Χάρης

Σάμος, Οκτώβριος 2022

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με τίτλο “Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα” του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας κύριο Γεώργιο Κορμέντζα και την επιτροπή. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την βιομηχανία παραγωγής ζωοτροφών Σούπος για τις πληροφορίες σχετικά με τον τομέα των ζωοτροφών και την εφοδιαστική αλυσίδα.

© 2022

της

ΜΑΧΡΕΜΗ ΕΛΕΝΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.....	1
1.2	Ευέλικτη εφοδιαστική αλυσίδα ζωοτροφών	1
1.3	Δομή της διπλωματικής	3
2	Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	4
2.1	Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.....	4
2.2	Δραστηριότητες εφοδιαστικής αλυσίδας	5
2.2.1	Μεταφορές και Διανομές.....	5
2.2.2	Χωροθέτηση Εγκαταστάσεων	5
2.2.3	Διαχείριση Υλικού.....	6
2.2.4	Διαχείριση Αποθηκών και Κέντρων Διανομών.....	6
2.2.5	Διαχείριση Αποθεμάτων	6
2.2.6	Πρόβλεψη Ζήτησης.....	6
2.2.7	Third Party Logistics	6
2.2.8	Συσκευασία.....	6
2.3	Ευελιξία στην εφοδιαστική αλυσίδα και αβεβαιότητα πρόβλεψης	7
3	Εφοδιαστική Αλυσίδα Ζωοτροφών	8
3.1	Θέση εγκαταστάσεων	8
3.2	Αποθήκευση.....	8
3.3	Αποθήκευση και έλεγχοι πρώτων υλών.....	9
3.4	Συντήρηση και απολυμάνσεις.....	9
3.5	Παραγωγή	10
3.5.1	Ανάλυση γραμμής παραγωγής.....	10
3.6	Συσκευασία	11
3.7	Προμήθειες.....	11
3.7.1	Προμήθειες εντός θέρου	11
3.7.2	Προμήθειες εκτός θέρου.....	11
3.8	Ζήτηση	12
3.8.1	Παραδείγματα απρόβλεπτης παραγγελίας.....	12
3.9	Πρόβλεψη	13

3.9.1	Παραδείγματα προβλέψιμης παραγγελίας.....	13
3.10	Ιχνηλασιμότητα	13
3.11	Συνταγή	16
3.11.1	Παράδειγμα ζωοτροφής (ετικέτα).....	17
4	Πρόβλημα ελαχιστοποίησης	20
4.1	Συνάρτηση ελαχιστοποίησης	21
4.2	Περιορισμοί.....	21
4.2.1	Περιορισμός 1: Μη αρνητικές ποσότητες	21
4.2.2	Περιορισμός 2: Μέγιστη συνολική ποσότητα.....	22
4.2.3	Περιορισμός 3: Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό	23
4.2.4	Περιορισμός 4: Μέγιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό.....	24
4.2.5	Περιορισμός 5: Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία.....	24
4.2.6	Περιορισμός 6: Μέγιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία	25
4.2.7	Περιορισμός 7: Ελάχιστες απαιτήσεις ανά θρεπτικό συστατικό.....	26
4.2.8	Περιορισμός 8: Μέγιστες απαιτήσεις ανά θρεπτικό συστατικό	27
4.3	Δεδομένα.....	28
4.4	Πρόγραμμα	31
4.4.1	Δομή.....	31
4.4.2	Μοντέλο	32
4.4.3	Dependencies	33
5	Αποτελέσματα.....	34
5.1	Δομή αποτελεσμάτων	34
5.2	Αποτελέσματα βελτιστοποίησης.....	35
5.3	Αποτελέσματα με βάση τις πρόσφατες τιμές πρώτων υλών.....	36
5.4	Αποτελέσματα με αύξηση σε μια πρώτη ύλη	38
6	Συμπεράσματα.....	44
6.1	Επιλογή ζωοτροφής για τροποποίηση.....	44
6.2	Χρόνος απόκρισης	45
6.3	Επιλογή πρώτων υλών	45
6.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων μετά από αύξηση κόστους συστατικών.....	45
6.4.1	Αναλογία συστατικών στην νέα συνταγή.....	47
6.4.2	Κόστος νέας συνταγής	47
6.4.3	Σύγκριση προηγούμενης και νέας συνταγής	48
6.5	Επίδραση σε άλλες αλυσίδες	48
	Βιβλιογραφία.....	49

Παράρτημα Α: Αρχικά αποτελέσματα.....	50
6.6 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης.....	50
6.7 Συνταγή.....	50
6.8 Συστατικά.....	51
6.8.1 Καλαμπόκι.....	51
6.8.2 Κριθάρι.....	51
6.8.3 Βρώμη.....	51
6.8.4 Σόγια.....	52
6.8.5 Σιτάρι.....	52
6.8.6 Πίτουρο σιταριού.....	52
6.8.7 Άλλα.....	52
6.9 Θρεπτικά συστατικά.....	53
6.9.1 Λιπαρά.....	53
6.9.2 Πρωτεΐνες.....	53
6.9.3 Ινώδη.....	53
6.10 Κατηγορίες.....	54
6.10.1 Σιτηρά.....	54
Παράρτημα Β: Αποτελέσματα με μικρή αύξηση κόστους συστατικού.....	56
6.11 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης.....	56
6.12 Συνταγή.....	56
6.13 Συστατικά.....	57
6.13.1 Καλαμπόκι.....	57
6.13.2 Κριθάρι.....	57
6.13.3 Βρώμη.....	57
6.13.4 Σόγια.....	58
6.13.5 Σιτάρι.....	58
6.13.6 Πίτουρο σιταριού.....	58
6.13.7 Άλλα.....	58
6.14 Θρεπτικά συστατικά.....	59
6.14.1 Λιπαρά.....	59
6.14.2 Πρωτεΐνες.....	59
6.14.3 Ινώδη.....	59
6.15 Κατηγορίες.....	60
6.15.1 Σιτηρά.....	60
Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα με μεγάλη αύξηση κόστους συστατικού.....	62
6.16 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης.....	62

6.17	Συνταγή	62
6.18	Συστατικά	63
6.18.1	Καλαμπόκι	63
6.18.2	Κριθάρι	63
6.18.3	Βρώμη	63
6.18.4	Σόγια	63
6.18.5	Σιτάρι	64
6.18.6	Πίτουρο σιταριού	64
6.18.7	Άλλα	64
6.19	Θρεπτικά συστατικά	65
6.19.1	Λιπαρά	65
6.19.2	Πρωτεΐνες	65
6.19.3	Ινώδη	65
6.20	Κατηγορίες	66
6.20.1	Σιτηρά	66

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας καταχώρησης πρώτων υλών για λόγους ιχνηλασιμότητας.....	14
Πίνακας 2: Ποσότητα πρώτων υλών ανά κιλό έτοιμου προϊόντος.....	16
Πίνακας 3: Πίνακας με είδη και ποσότητα συνταγών.....	28
Πίνακας 4: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών.....	28
Πίνακας 5: Πίνακας με τα όρια της περιεκτικότητας ανά συστατικό	29
Πίνακας 6: Πίνακας με τα θρεπτικά συστατικά ανά πρώτη ύλη	29
Πίνακας 7: Πίνακας με τα όρια των ημερησίων ποσοτήτων σε θρεπτικά συστατικά.....	30
Πίνακας 8: Πίνακας με τα όρια της περιεκτικότητας ανά κατηγορία πρώτων υλών	30
Πίνακας 9: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών.....	36
Πίνακας 10: Πίνακας συστατικών σε κιλά με βάση την ημερήσια πρόσληψη	37
Πίνακας 11: Πίνακας συστατικών σε γραμμάρια με βάση την ζωοτροφή ενός κιλού.....	38
Πίνακας 12: Πίνακας κόστους ζωοτροφής ανά ποσότητα τελικού προϊόντος.....	38
Πίνακας 13: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών.....	39
Πίνακας 14: Πίνακας συστατικών σε κιλά με βάση την ημερήσια πρόσληψη	40
Πίνακας 15: Πίνακας συστατικών με βάση την ζωοτροφή ενός κιλού.....	40
Πίνακας 16: Σύγκριση αποτελεσμάτων (ποσότητες)	46
Πίνακας 17: Σύγκριση αποτελεσμάτων (κόστη)	47

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού για την βελτιστοποίηση διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας ζωοτροφών. Η παρούσα εργασία καλείται να περιγράψει τις ιδιαιτερότητες στην εφοδιαστική αλυσίδα ζωοτροφών, μελετώντας μια βιοτεχνία παραγωγής ζωοτροφών. Ο συγκεκριμένος τομέας έχει χαρακτηριστικά που απαιτούν ιδιαίτερη μεταχείριση ως προς την διαχείριση της εφοδιαστικής του αλυσίδας. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά, επιλέχθηκε να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή του τελικού προϊόντος. Σκοπός είναι η δημιουργία τελικού προϊόντος που πληροί τις προϋποθέσεις με βάση τις απαιτήσεις του πελάτη, και παράλληλα επηρεάζεται το κόστος του όσο το δυνατό λιγότερο, από τις αυξήσεις του κόστους των πρώτων υλών.

Λέξεις Κλειδιά: εφοδιαστική αλυσίδα, αγροτικός τομέας, ζωοτροφές, μείωση κόστους

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the study, design and development of a linear programming model for the optimization of a supply chain procedure. This thesis will describe the unique characteristics in the animal feed supply chain, by studying a specific animal feed company. The animal feed industry has many characteristics that demand special management relating to its supply chain. Based on these characteristics the chosen procedure selected for optimization was the production of the final product. The purpose of this optimization is the design of a final product that meets customer's criteria and simultaneously its cost is less affected by the increment in the raw material costs.

Keywords: *supply chain, agricultural sector, animal feed, cost minimization*

1

Εισαγωγή

1.1 Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι εταιρίες δρουν σε ρευστό περιβάλλον και για να επιβιώσουν αναγκάζονται να προσαρμοστούν. Έτσι για να ανταποκριθούν στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον στοχεύουν στο κόστος, στην ποιότητα, στην διαφοροποίηση ή στον χρόνο απόκρισης. (Βιδάλης Μιχάλης, 2017)

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το σύνολο των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την αποδοτική σύνδεση μεταξύ των προμηθευτών, παραγωγών, αποθηκευτών, πωλητών έτσι ώστε τα παραγόμενα αποτελέσματα να διανέμονται στις σωστές ποσότητες, στα κατάλληλα σημεία, στον κατάλληλο χρόνο, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται τα ολικά κόστη εντός του συστήματος, ενώ παράλληλα να επιτυγχάνονται τα επίπεδα εξυπηρέτησης. (Βιδάλης Μιχάλης, 2017)

1.2 Ευέλικτη εφοδιαστική αλυσίδα ζωοτροφών

Κάθε εφοδιαστική αλυσίδα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά που την καθορίζουν. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες όπως ο κλάδος και οι συμβαλλόμενοι. Η εργασία εστιάζει στην εφοδιαστική αλυσίδα ζωοτροφών, μελετώντας μια συγκεκριμένη βιοτεχνία ζωοτροφών. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του κλάδου και της επιχείρησης, τους στόχους της επιχείρησης και το περιβάλλον, επιλέχθηκε συγκεκριμένη δραστηριότητα προς βελτιστοποίηση.

Ένα από τα προβλήματα της εφοδιαστικής ζωοτροφών (εφόσον οι πλειοψηφία των πελατών είναι κτηνοτρόφοι) είναι ότι θεωρείται σημαντική η βελτίωση του χρόνου απόκρισης. Η τοποθεσία των πελατών βρίσκεται σε απομακρυσμένα και πολλές φορές ορεινά σημεία. Μια πιθανή κακοκαιρία μπορεί να αποκλείσει τον κτηνοτρόφο και να μην του επιτρέψει να εφοδιαστεί με ζωοτροφές. Γι' αυτό τον λόγο είναι συχνή η εμφάνιση μαζικών παραγγελιών πριν από κάθε επιδείνωση του καιρού. Η εταιρία θα πρέπει να διαχειριστεί άμεσα όλο των όγκο των παραγγελιών, να διαθέτει κατάλληλο απόθεμα πρώτων υλών και να παράγει και να διανείμει εγκαίρως το τελικό προϊόν. Η ύπαρξη αποθέματος ασφαλείας για τα τελικά προϊόντα θα ήταν χρήσιμη για την μείωση του χρόνου απόκρισης και την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης. Αυτό όμως ίσως να μην είναι πάντα εφικτό.

Ένας από τους περιορισμούς της εφοδιαστικής των ζωοτροφών είναι ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι κωδικοί προϊόντων όπως θα συναντούσαμε σε άλλους κλάδους. Δηλαδή κάθε πελάτης, κάθε περίοδο και για κάθε διαφορετικό κοπάδι θα ζητάει μια πολύ συγκεκριμένη ζωοτροφή που είναι φτιαγμένη αποκλειστικά για χρήση σε ένα πολύ περιορισμένο διάστημα. Το επόμενο χρονικό διάστημα θα χρειαστεί μια τελείως διαφορετική ζωοτροφή, η σύσταση της οποίας θα εξαρτηθεί από πολλούς παράγοντες. Αυτό σημαίνει πως κάθε ζωοτροφή θα διαφέρει με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Το είδος του ζώου.
- Την ηλικία του ζώου καθώς και άλλα χαρακτηριστικά του.
- Τις ελλείψεις του ζώου σε θρεπτικά συστατικά.
- Την χρησιμότητα του ζώου. (γαλακτοπαραγωγή, αναπαραγωγή, συντήρηση κτλ)
- Την εποχή.
- Τις καιρικές συνθήκες.
- Τον πελάτη και τις απαιτήσεις του.

Θα μπορούσε να θεωρηθεί πως η πρόβλεψη ζήτησης και η διατήρηση αποθεμάτων τελικών προϊόντων δεν είναι εφικτή, λόγω του περιορισμού αυτού. Υπάρχουν όμως περίοδοι όπου δεν έχουμε απαιτήσεις από ένα ζώο (γαλακτοπαραγωγή, αναπαραγωγή, κτλ) και το ίδιο το ζώο έχει ανάγκη για χαμηλή πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένα προϊόν που έχει ως στόχο την ελάχιστη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Το προϊόν αυτό ονομάζεται ζωοτροφή συντήρησης και παρουσιάζει κάποιου είδους εποχικότητα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πρόβλεψη ζήτησης και να διατηρηθεί απόθεμα.

Η ζωοτροφή συντήρησης έχει ως στόχο την κάλυψη των ελάχιστων θρεπτικών συστατικών του ζώου. Υπάρχουν δύο είδη θρεπτικών συστατικών. Κάποια εισάγονται απευθείας στην ζωοτροφή (ισορροπιστής) και κάποια άλλα συμπεριλαμβάνονται στις πρώτες ύλες (συστατικά). Για την κάλυψη των θρεπτικών συστατικών που συμπεριλαμβάνονται στις πρώτες ύλες, θα μπορούσε να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα σε θρεπτικά συστατικά, χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετική αναλογία σε συστατικά.

Τα κόστη των συστατικών της ζωοτροφής μεταβάλλονται συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεταβάλλεται και το κόστος της ίδιας της ζωοτροφής. Η συνταγή της ζωοτροφής συντήρησης

μπορεί να προσαρμοστεί διατηρώντας τις ελάχιστες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και να μειώσει το κόστος της, επιλέγοντας κατάλληλες αναλογίες πρώτων υλών.

Η ελαχιστοποίηση του κόστους επιτυγχάνεται με χρήση κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού. Είναι ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους της ζωοτροφής με βάση την ημερήσια ποσότητα για κάλυψη θρεπτικών συστατικών.

Οι περιορισμοί οι οποίοι περιλαμβάνονται στο μαθηματικό μοντέλο αναφέρονται στα εξής:

- Μη αρνητικές ποσότητες
- Μέγιστη ποσότητα ζωοτροφής
- Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία συστατικών
- Μέγιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία συστατικών
- Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό
- Μέγιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό
- Ελάχιστη ποσότητα ανά θρεπτικό συστατικό
- Μέγιστη ποσότητα ανά θρεπτικό συστατικό

1.3 Δομή της διπλωματικής

Η δομή της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από τα ακόλουθα κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή
- Κεφάλαιο 2: Θεωρία εφοδιαστικής αλυσίδας
- Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της εφοδιαστικής αλυσίδας ζωοτροφών
- Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του προβλήματος και μαθηματική μοντελοποίηση
- Κεφάλαιο 5: Περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν
- Κεφάλαιο 6: Περιγραφή της δομής του προγράμματος
- Κεφάλαιο 7: Παράθεση αποτελεσμάτων
- Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα
- Πηγές
- Παράρτημα Α: Ανάρτηση αρχικών αποτελεσμάτων
- Παράρτημα Β: Ανάρτηση αποτελεσμάτων μετά από αύξηση του κόστους της πρώτης ύλης

2

Εφοδιαστική Αλυσίδα

2.1 Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

Εφοδιαστική αλυσίδα (supply chain) ορίζονται οι διαδικασίες που συνδέουν τις επιχειρήσεις με σχέσεις προμηθευτή-χρήστη από τα αρχικά ακατέργαστα υλικά ως τα ολοκληρωμένα προϊόντα για την τελική κατανάλωση. Η εφοδιαστική αλυσίδα ονομάζεται επίσης **δίκτυο εφοδιασμού (logistics network)**, καθώς αναπαριστάται ως δίκτυο με κόμβους τις εγκαταστάσεις και συνδέσμους τις ροές προϊόντων, πληροφοριών ή υπηρεσιών. Τα προϊόντα των ροών αυτών μπορεί να είναι πρώτες ύλες, ημιεπεξεργασμένα προϊόντα, τελικά προϊόντα.

Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από κατασκευαστές και προμηθευτές, χώρους αποθήκευσης, κέντρα διανομών, μεταφορείς, πωλητές, πελάτες, προϊόντα. Είναι δυναμική και εμπλέκει την ροή προϊόντων, υπηρεσιών, πληροφοριών και χρηματικών ροών μεταξύ διαφόρων σταδίων. Κάθε στάδιο εκτελεί διαφορετικές διαδικασίες και αλληλεπιδρά με άλλα στάδια της αλυσίδας. Επίσης δεν είναι απαραίτητο η εφοδιαστική αλυσίδα να συμπεριλαμβάνει όλα τα στάδια. Τα στάδια θεωρούνται σημαντικά με βάση τις απαιτήσεις των πελατών και την συμμετοχή τους στην διαδικασία ικανοποίησης των πελατών. (Μαρινάκης Ιωάννης, 2008)

Κάθε εφοδιαστική αλυσίδα έχει ως πηγή εσόδων των πελάτη και ως δαπάνες τις ροές προϊόντων, κεφαλαίων και πληροφοριών.

Η **διοίκηση εφοδιαστικής αλυσίδας** αναφέρεται στην διαχείριση των ροών των κόμβων της εφοδιαστικής αλυσίδας με σκοπό την μεγιστοποίηση της ολικής κερδοφορίας.

Το σύνολο των στόχων της εφοδιαστικής αλυσίδας θα μπορούσε να περιγραφεί ως «να παραδοθεί η σωστή ποσότητα του σωστού προϊόντος στον σωστό πελάτη στον σωστό τόπο και χρόνο σε σωστή τιμή».

Σημαντικότερος **σκοπός της εφοδιαστικής** αλυσίδας είναι η μεγιστοποίηση της ολικής αξίας. Η **ολική αξία** είναι η διαφορά μεταξύ της αξίας του τελικού προϊόντος για τον πελάτη και της προσπάθειας της εφοδιαστικής αλυσίδας για την ικανοποίηση της απαίτησης του πελάτη. Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να την καταστήσει εφικτή και αποτελεσματική ως προς το κόστος σε όλο το σύστημα.

Σημαντικότερα **κριτήρια απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας** είναι:

- το ολικό κόστος
- το ολικό κέρδος
- ο χρονικός κύκλος

Το **ολικό κέρδος** της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στο ολικό κέρδος που πρέπει να διανεμηθεί κατά μήκος της και όχι στα κέρδη των μεμονωμένων στοιχείων της. Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μεγιστοποίησή του.

Ο **χρονικός κύκλος** είναι ο ολικός χρόνος που χρειάζεται για την ολοκλήρωση της ολικής διαδικασίας από τις πρώτες ύλες στο τελικό προϊόν στον πελάτη. Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η βελτίωση του χρόνου.

Το **ολικό κόστος** είναι το ολικό κόστος που προέρχεται από διαδικασίες όπως οι μεταφορές, η διανομή. Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η ελαχιστοποίηση του. (Μαρινάκης Ιωάννης, 2008)

2.2 Δραστηριότητες εφοδιαστικής αλυσίδας

2.2.1 Μεταφορές και Διανομές

Η δραστηριότητα των μεταφορών και διανομών αναφέρεται στους τρόπους αλλά και στους χρόνους που χρειάζονται για την μεταφορά των υλικών αλλά και των προϊόντων. Τα έξοδα της δραστηριότητας αυτής, ίσως να αποτελούν τα μεγαλύτερα έξοδα μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα.

2.2.2 Χωροθέτηση Εγκαταστάσεων

Η χωροθέτηση των εγκαταστάσεων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ταχύτητα και τα έξοδα που αφορούν τις μεταφορές. Επίσης σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την εξυπηρέτηση των πελατών. Αφορά όλους τους χώρους π.χ. κέντρα διανομής, παραγωγικές μονάδες, αποθήκες αλλά και τις μεταξύ τους μεταφορές.

2.2.3 Διαχείριση Υλικού

Η διαχείριση υλικών εντός των χώρων παραγωγής και αποθήκευσης έχει έξοδα, τα οποία με κατάλληλη διαχείριση, προγραμματισμό εργασιών και διαμόρφωση χώρων μπορούν να μειωθούν.

2.2.4 Διαχείριση Αποθηκών και Κέντρων Διανομών

Διαφορετικά υλικά ή είδη μπορεί να χρειάζονται διαφορετικά είδη αποθήκευσης ή χώρους αποθήκευσης. Πχ. Σιλό, αποθήκες για πρώτες ύλες, αποθήκες για παράδοση προϊόντων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χώροι της επιχείρησης ή να γίνει outsourcing.

2.2.5 Διαχείριση Αποθεμάτων

Τα αποθέματα είναι πολύ σημαντικά στην εφοδιαστική αλυσίδα. Οι αποφάσεις σχετικά με την ποσότητα των αποθεμάτων που θα διατηρηθούν λαμβάνουν υπόψη την εξυπηρέτηση των πελατών, το κόστος δέσμευσης κεφαλαίου, το κόστος αποθήκευσης, το κόστος παλαίωσης καθώς και το κόστος διατήρησης αποθέματος.

2.2.6 Πρόβλεψη Ζήτησης

Χρησιμοποιείται συχνά στην εφοδιαστική η πρόβλεψη ζήτησης κυρίως για τα αποθέματα και την παραγωγή.

2.2.7 Third Party Logistics

Μια εταιρεία μπορεί να αναλαμβάνει ή ίδια όλες τις δραστηριότητες της ή να αναθέτει κάποιες από αυτές σε τρίτους. Δραστηριότητες που συνήθως αναθέτονται σε τρίτους είναι οι μεταφορές και η αποθήκευση.

2.2.8 Συσκευασία

Η διαδικασία της συσκευασίας προσφέρει προστασία και διευκόλυνση κατά την μεταφορά και την αποθήκευση.

2.3 *Ευελιξία στην εφοδιαστική αλυσίδα και αβεβαιότητα πρόβλεψης*

Οι αποφάσεις που αφορούν τον σχεδιασμό δικτύου, όπως επιλογή τοποθεσίας και χωρητικότητα αποθηκών, διαρκούν για χρόνια. Άλλες αποφάσεις που σχετίζονται με την ζήτηση, το κόστος και τις τιμές πρέπει να διαμορφώνονται και να αλλάζουν συνεχώς συμπεριλαμβάνοντας τις διακυμάνσεις αυτών των μεγεθών. Έτσι, αν παραγωγή δεν είναι ευέλικτη, δεν θα μπορέσει να προσαρμοστεί στις νέες μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η δημιουργία αποθέματος ασφαλείας αποδίδει μεγαλύτερο κέρδος και παράλληλα και αντιμετωπίζει το σενάριο της ξαφνικής μεγάλης ζήτησης. (Μαρινάκης Ιωάννης, 2008)

3

Εφοδιαστική Αλυσίδα Ζωοτροφών

Για την ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας ζωοτροφών, χρησιμοποιείται ως παράδειγμα η βιοτεχνία παραγωγής ζωοτροφών «Σούπος Παναγιώτης».

3.1 Θέση εγκαταστάσεων

Η βιοτεχνία έχει έδρα στο Λεβίδι Αρκαδίας. Μια περιοχή αγροκτηνοτροφική και σε μικρή απόσταση από τον κάμπο του Λεβιδίου, όπου οι αγρότες κάθε χρόνο παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό των αναγκών της περιοχής σε πρώτες ύλες κυρίως σιτάρι κριθάρι και βρώμη. Αυτό κάνει την εταιρεία να βρίσκεται σε πολύ πλεονεκτική θέση γιατί τα έξοδα μεταφοράς πρώτων υλών μειώνονται σημαντικά. Στην περιοχή υπάρχει επίσης αυξημένη κτηνοτροφική δραστηριότητα και το μεγαλύτερο μέρος των πελατών προέρχεται από εκεί. Το γεγονός ότι η θέση των εγκαταστάσεων βρίσκεται πολύ κοντά στους πελάτες μειώνει τα έξοδα διανομής και μειώνει τον χρόνο απόκρισης.

3.2 Αποθήκευση

Η εταιρεία έχει δυναμικότητα αποθήκευσης περίπου 2500 τόνους πρώτων υλών σε σιλό. Υπάρχουν διάφοροι αποθηκευτικοί χώροι. Εκτός από τα σιλό διαθέτει και μια μεγάλη αποθήκη η οποία χρειάζεται για έτοιμες ύλες που παραλαμβάνονται και υπάρχει η ικανότητα να μπορεί να δουλεύει το κλαρκ εντός αυτής. Υπάρχουν δύο μικρές αποθήκες για έτοιμα σακιασμένα προϊόντα και εμπορεύματα για την εξυπηρέτηση λιανικής πώλησης. Τέλος εσωτερικά η βιοτεχνία διαθέτει

αμπάρια μικρής χωρητικότητας 15-20 τόνων για την αποθήκευση έτοιμων μιγμάτων από αυτά είναι που θα σακιάζονται και θα φορτώνονται στο φορτηγό άμεσα.

Είναι σημαντικό ότι οι χώροι αποθήκευσης έχουν διανεμηθεί και χωροθετηθεί με κατάλληλο τρόπο για να επιταχύνουν αλλά και διευκολύνουν την διαδικασία φόρτωσης, εκφόρτωσης και κυρίως της διανομής.

3.3 Αποθήκευση και έλεγχοι πρώτων υλών

Πρέπει να γίνουν κάποιοι έλεγχοι ώστε να μπορεί η αποθήκευση των πρώτων υλών να γίνει με ασφάλεια. Η εταιρεία διαθέτει μηχάνημα το οποίο μετρά υγρασία των υλών. Η υγρασία αυτή δεν μπορεί να υπερβαίνει το 9% για το κριθάρι και την βρώμη και το 13 % για το σιτάρι, σόγια και το καλαμπόκι καθώς και μονάδα ελέγχου μυκοτοξινών.

Για κάθε ένα από αυτά, λόγω της μικρής απόστασης από τον κάμπο, η παράδοση στη βιοτεχνία είναι άμεση. Με την παράδοση ελέγχονται και για υγρασία αλλά και φυτοτοξίνες πριν αποθηκευτούν.

Στην περίπτωση που οι μυκοτοξίνες ξεπεράσουν το όριο των 5mg/kg η υλη απλά δεν παραλαμβάνεται. Στην περίπτωση που η υγρασία ξεπεράσει το αντίστοιχο όριο η μόνη επιλογή είναι να περάσει ξηραντήριο για να πέσει η υγρασία στα επιθυμητά όρια αποθήκευσης.

Μετά από αυτές τις διαδικασίες όλα είναι έτοιμα για παραλαβή και ξεκινά η διαδικασία εκφόρτωσης του φορτηγού, εκεί λαμβάνεται δείγμα από το εμπόρευμα και καταγράφεται για ιχνηλασιμότητα σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του υπουργείου γεωργίας και του μηχανικού τροφίμων που σχεδίασε το HACCP.

3.4 Συντήρηση και απολυμάνσεις

Για την διασφάλιση της ακεραιότητας και των υλών και των προϊόντων ακολουθούνται κάποιες διαδικασίες ελέγχου για την βελτιστοποίηση της αποθήκευσης και της παραγωγής.

Κάθε φορά που αδειάζει ένα σιλό γίνεται καθαρισμός ξηράς μορφής καθώς και απολύμανση από ειδικά εξειδικευμένη εταιρεία. Ομοίως κάθε μέρα γίνεται καθαρισμός στις καρότσες των φορτηγών στην γραμμή παραγωγής.

Επίσης βάση προγράμματος γίνονται έλεγχοι και συντηρήσεις στα μηχανήματα για την ορθή λειτουργία τους. Μηνιαίως γίνονται επισκέψεις από εξειδικευμένη εταιρεία για την επίβλεψη των στοιχείων μυοκτονίας.

Καθαρισμός γραμμής μπορεί να γίνει κατά την διάρκεια της παραγωγής, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρώτες ύλες. Ο λόγος είναι ότι κάθε ζώο μπορεί να έχει πρόβλημα αν φάει τροφή που προορίζεται για άλλο ζώο.

Ένα παράδειγμα είναι τα αρνιά και τα κατσίκια (μικρά σε ηλικία ως πέντε μηνών) απαγορεύεται να φάνε τριφύλλι που είναι η βασική τροφή για κουνέλια. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που αλλάζει η συνταγή παραγωγής υποχρεωτικά πρέπει να καθαρίζεται η γραμμή από υπολείμματα της προηγούμενης

3.5 Παραγωγή

Η βιοτεχνία έχει την δυνατότητα παραγωγής συμπληρωματικών ζωοτροφών με μηχανήματα αλευροποίησης και πελετοποίησης με 100 τόνους και 30 τόνους αντίστοιχα.

3.5.1 Ανάλυση γραμμής παραγωγής

Η γραμμή παραγωγής είναι απλή. Ξεκινάει από την εισαγωγή στα σιλό όπου και αδειάζει ένα φορτηγό και αποθηκεύετε το κάθε είδος στο δικό του σιλό. Από εκεί με ταινιόδρομους έρχονται ύλες σε αμπάρια μικρά για την προσωρινή αποθήκευση και ανάλογα την παραγγελία έχουμε τις εξής κατευθύνσεις.

3.5.1.1 1^η περίπτωση

Από τα αμπάρια πηγαίνουν σε σακιάστηκα μηχανήματα για άμεση πώληση.

3.5.1.2 2^η περίπτωση

Από εκεί τροφοδοτείται ο μύλος και το μίξερ που αλέθονται και αναμειγνύονται για την παράγωγή αλευροποιημένων μειγμάτων όπου μπορούν να εξαχθούν άμεσα για ενσакίαση. Στην παρούσα φάση δεν αποθηκεύεται τίποτα γιατί η διαδικασία είναι αρκετά γρήγορη τόσο ώστε μέσα σε λίγα λεπτά από την παραγγελία να υπάρχει έτοιμο προϊόν.

3.5.1.3 3^η περίπτωση

Από το μίξερ να προωθηθούν στην πρέσα πελλετοποίησης εκεί υπάρχουν αποθηκευτικοί χώροι γιατί η διαδικασία είναι σχετικά αργή και έτσι αποθηκεύεται κάθε διαφορετικό μείγμα ώστε να είναι έτοιμο προς πώληση.

Η χρήση ταινιοφόρου και η κατάλληλη χωροθέτηση των χώρων εντός της παραγωγικής μονάδας και των αποθηκών-σιλό επιτρέπει την γρήγορη και αυτόματη μετακίνηση υλών, μειώνοντας τα έξοδα εσωτερικών μεταφορών.

3.6 Συσκευασία

Η εταιρεία διαθέτει την δυνατότητα για ενσασκίαση των προϊόντων και εμπορευμάτων της.

3.7 Προμήθειες

3.7.1 Προμήθειες εντός θέρου

Η σπορά γίνεται περίπου στον Οκτώβριο ίσως και λίγο αργότερα ανάλογα τις καιρικές συνθήκες, οι οποίες παίζουν και βασικό ρόλο στον κύκλο παραγωγής.

Τον Ιούνιο ξεκινά ο θέρους για το σιτάρι κριθάρι και βρώμη και τον Οκτώβρη για το καλαμπόκι, ίσως και λίγο πιο αργά για το καλαμπόκι από τις περισσότερες περιοχές που συνήθως ξεκάνει τον Σεπτέμβριο. Μετά από μερικές ζεστές μέρες οι ύλες έχουν φτάσει στην κατάλληλη υδραία για θερισμό.

Σε αυτό το διάστημα και κατόπιν συζητήσεως με τους παραγωγούς έχουμε μια αρκετά καλή εικόνα ως προς τη ποσότητα που θα παραχθεί από τον κάμπο της περιοχής. Έτσι σε περίπτωση έλλειψης μπορούμε να ξεκινήσουμε νωρίς συμφωνίες με άλλους παραγωγούς, και το αντίθετο σε περίπτωση πλεονάσματος να μπορούμε να διαθέσουμε εύκολα στην αγορά ποσότητες σε τρίτους.

Η αρχή γίνεται με το κριθάρι και μετά σειρά έχει η βρώμη με τελευταίο το σιτάρι μιας και χρειάζεται μερικές μέρες παραπάνω από τα υπόλοιπα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των πρώτων υλών διατίθεται για πώληση και ένα μικρό μέρος της παραγωγής αποθηκεύεται από τους ίδιους τους παραγωγούς. Όσους έχουν τουλάχιστον και κτηνοτροφικές μονάδες για κατανάλωση.

Κυρίως οι παράγωγες αφορούν κριθάρι, βρώμη και σιτάρι, με το καλαμπόκι να μην είναι μέσα στην πρώτες επιλογές. Λόγω τοποθεσίας αν και υπάρχουν λίγοι που σπέρνουν καλαμπόκι το κάνουν περισσότερο για αυτοκατανάλωση παρά για πώληση, αυτό είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα της περιοχής γιατί αυξάνονται τα έξοδα λόγω μεταφορών για τη συγκεκριμένη πρώτη ύλη.

3.7.2 Προμήθειες εκτός θέρου

Εκτός του θέρους κάθε συμπληρωματική ζωοτροφή έχει ανάγκη και από άλλες πρώτες ύλες. Το σογιάλευρο είναι ένα από αυτά λόγω πνευματικών δικαιωμάτων καταχωρημένα στις ΗΠΑ απαγορεύει η σπορά της σόγιας και συνεπώς δεν υπάρχουν σπόροι σόγιας διαθέσιμοι για αγορά. Προμήθεια της μπορεί να γίνει μόνο στην μορφή του αλεύρου. Το σογιάλευρο είναι υψηλών πρωτεϊνών, και είναι ιδανικό για κατανάλωση ειδικά κατά την διάρκεια της γαλακτοπαραγωγής. Όπως και στον θέρους έτσι και εδώ η παραλαβή της γίνεται χύδην και αποθηκεύεται σε σιλό.

Άλλες πρώτες ύλες είναι ισορροπιστές, σόδα, μάγια, αλάτι και πολλά άλλα ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εποχής και κάθε κοπαδιού. Παραλαμβάνονται από συγκεκριμένους προμηθευτές που έχουν την τεχνογνωσία για την κατασκευή τους και διατίθενται συνήθως σε σακιά λίγων κιλών.

Το μέγεθος κάθε παραγγελίας εξαρτάται κάθε φορά από τις ανάγκες κάθε εποχής τα όποια θα εξαρτηθούν από τις ανάγκες μιας συνταγής.

3.8 Ζήτηση

Η ζήτηση των προϊόντων αφορά σχεδόν αποκλειστικά ζωοτροφές αιγοπροβάτων. Παρόλα αυτά, οι ανάγκες ποικίλουν και αλλάζουν εποχή με εποχή, χρόνο με τον χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρχει σταθερό χρονοδιάγραμμα στις παραγγελίες είτε αγοράς υλών από τους προμηθευτές της είτε στις πώλησης των προϊόντων και των εμπορευμάτων της. Αυτό έχει σαν συνέπεια της διαρκή παρακολούθηση των αποθηκών της ώστε να έχει πάντα διαθέσιμες ύλες για την λειτουργία της.

Οι παραγγελίες αγοράς γίνονται με συνεννόηση με τον προμηθευτή για ραντεβού φόρτωσης και με τον οδηγό του φορτηγού είτε κάποιου της εταιρείας είτε με κάποιων τρίτων με φορτηγό δημοσίας ανάλογα τις ανάγκες της εποχής.

Στις παραγγελίες πώλησης όπως και της αγοράς δεν μπορεί να υπάρξει χρονοδιάγραμμα. Κάθε πελάτης μπορεί με ένα απλό τηλεφώνημα να δώσει την παραγγελία του αλλά πρέπει να καταλάβουμε ότι ένα κοπάδι σαν ζωντανός οργανισμός οι ανάγκες του μπορούν και ποικίλουν ακόμα και μέρα με την μέρα. Έτσι, θα πρέπει να υπάρχει αμεσότητα ως προς την παράδοση της εκάστοτε παραγγελίας. Η ζήτηση δεν μπορεί να παραμείνει σταθερή για διαφόρους λόγους. Κύριος λόγος είναι οι καιρικές συνθήκες. Επειδή θα αναγκαστεί ο κάθε κτηνοτρόφος να κρατήσει εντός της εγκατάστασης τα ζώα του άρα δεν υπάρχει επιλογή για βοσκή και με το κρύο να είναι εχθρός ενός παραγωγικού ζώου. Επίσης κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής κάποιο ποσοστό των κοπαδιών θα είναι πρώιμο και κάποιο όψιμο. Οπότε θα υπάρχουν αλλαγές στις οδηγίες του εκάστοτε ζωοτέχνη που παρακολουθεί το κάθε κοπάδι.

3.8.1 Παραδείγματα απρόβλεπτης παραγγελίας

Κάθε χρόνο 2 με 3 φορές μετά από έκτακτα δελτίου καιρού για απότομη πτώση της θερμοκρασίας οι παραγγελίες εκτινάσσονται στα ύψη. Ένας λόγος είναι γιατί τα ζώα δεν έχουν την επαρκή ποσότητα τροφής. Ένας άλλος λόγος όταν υπάρχουν επικίνδυνες καιρικές συνθήκες, μπορεί να καταστεί αδύνατη η παράδοση λόγω αδυναμίας προσέγγισης στην εγκατάσταση. Μια ορεινή περιοχή μπορεί να αποκλειστεί όχι μόνο από το χιόνι, αλλά και από βροχοπτώσεις. Λόγω της φύσης της δουλειάς, επί το πλείστον οι εγκαταστάσεις των κτηνοτρόφων να βρίσκονται στα βουνά μακριά από το οδικό δίκτυο, καθιστώντας το εύκολο να αποκλειστούν.

Τα κοπάδια όπως και οι άνθρωποι αρρωσταίνουν, άρα και η αλλαγή στην διατροφή τους αλλά και η άμεση παράδοση είναι μονόδρομος. Αν ένα μέρος ενός κοπαδιού αρρωστήσει αλλάζει η τροφή του σύμφωνα πάντα με τον ζωοτέχνη και τον κτηνίατρο. Όμως θα πρέπει να θυμόμαστε ότι ένα ζώο που είναι παραγωγικό (σε περίοδο γαλακτοπαραγωγής δηλαδή) θα πρέπει όχι μόνο να γίνει καλά αλλά να προετοιμαστεί και για να μπει στην παραγωγή πάλι. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί σε μικρό χρονικό διάστημα να αλλάξει διατροφή 2 ή και 3 φορές.

Με βάση αυτά τα παραδείγματα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η παραγγελία των ζωοτροφών είναι απρόβλεπτη είτε μιλάμε για αγορά είτε για πώληση. Ενώ η εταιρεία διαθέτει φορτηγά πρέπει να έχει άμεση συνεργασία και με τρίτους για την μεταφορά τους, μεταφορικές εταιρείες, δημόσιας χρήσης φορτηγά και φορτηγά του ίδιου του πελάτη ή του προμηθευτή. Έτσι κάθε διανομή μπορεί να είναι διαφορετική και ως εξυπηρετούνται τα ίδια άτομα. Παρόλο που στόχος είναι ένα φορτηγό να γεμίζει πλήρως ακόμα και αυτό μπορεί να μην είναι εφικτό πάντα.

3.9 Πρόβλεψη

Στοιχεία πρόβλεψης υπάρχουν ως ένα βαθμό, παρακολουθώντας την κίνηση των προηγούμενων ετών υπολογίζονται προσεγγιστικά οι πρώτες ύλες που θα χρειαστούν. Μέσω του ERP εύκολα μπορούν να βγουν στοιχεία για την άνοδο ή πτώση στις πωλήσεις και εξάγονται συμπεράσματα για το αν αυτό οφείλεται σε αλλαγές τιμών ή αυξομειώσεις κοπαδιών.

Βέβαια δεν υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης αρκετού όγκου πρώτων υλών έτσι ώστε να μην χρειαστούν πολλές παραγγελίες στο μέσο της σεζόν. Υπάρχουν πολλές πρώτες ύλες (κυρίως οι ισορροπιστές) που έρχονται με ημερομηνία λήξης, άρα προτιμάτε να υπάρχει διαθεσιμότητα για το επόμενο μικρό διάστημα και ελέγχονται τακτά οι αποθήκες για την προετοιμασία της επόμενης παραγγελίας. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στις περισσότερες περιπτώσεις μιας και η προμήθεια πρώτων υλών συνήθως δεν υπερβαίνει τις 3 ημέρες.

3.9.1 Παραδείγματα προβλέψιμης παραγγελίας

Το καλοκαίρι όπου είναι ξηρά περίοδος και έτσι μειώνονται αρκετά οι ανάγκες του κοπαδιού επομένως και η αλλαγή στην τροφή του σε μια ποιο οικονομική και χαμηλών πρωτεϊνών είναι δεδομένη (τροφή συντήρησης). Το Πάσχα όπου από την μια μέρα στην άλλη λόγω της μαζικής σφαγής οι παραγγελίες τροφής για αρνιά να εκμηδενίζονται. Μετά την γέννα των αρνιών αυξάνονται οι πωλήσεις σε τροφή αμνών και παράλληλα αλλάζει η τροφή των μητέρων από εγκυμοσύνης σε γαλακτοπαραγωγής.

3.10 Ιχνηλασιμότητα

Η ιχνηλασιμότητα είναι και αυτή μέρος του HACCP. Πρέπει ανά πάσα στιγμή να μπορούμε να δούμε κάθε ζωοτροφή είτε σαν εμπόρευμα είτε σαν προϊόν, όλο το ιστορικό της από που προήλθε

και πότε, που και πόσες ποσότητες καταναλώθηκαν και σε ποιον πελάτη στάλθηκαν. Αντίθετα ένας πελάτης πρέπει να γνωρίζει από πιο μείγμα μπορεί να πήρε και από που προήλθαν και πότε οι ύλες οι όποιες μπήκαν στο εκάστοτε μίγμα.

Άρα πρέπει να γνωρίζουμε όλα τα υλικά από που ήρθαν και που πήγαν και σε τι μορφή και πότε. Ακολουθεί ένα παράδειγμα.

Έστω η προηγούμενη συνταγή και έστω ότι αγοράστηκαν τα παρακάτω με αυτή τη σειρά το κάθε ένα παίρνει έναν αύξοντα κωδικό παρτίδας.

Πίνακας 1: Πίνακας καταχώρησης πρώτων υλών για λόγους ιχνηλασιμότητας

Συστατικά	Ημερομηνία	Προμηθευτής	Ποσότητα (kg)	Παρτίδα
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	5/8/2022	A	10000	1
ΚΡΙΘΑΡΙ	6/8/2022	A	5000	2
ΒΡΩΜΗ	7/8/2022	B	10000	3
ΠΙΤΥΡΑ	8/8/2022	Γ	10000	4
ΣΟΓΙΑ	9/8/2022	Δ	10000	5
ΙΣΟΡΟΠΙΣΤΗΣ ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΩΝ	10/8/2022	Δ	1000	6
ΑΛΑΤΙ	11/8/2022	Δ	1000	7
ΜΑΡΜΑΡΙΣΚΟΝΗ	12/8/2022	Δ	1000	8
ΣΙΤΑΡΙ	13/8/2022	A	5000	9
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	14/8/2022	B	10000	10
ΚΡΙΘΑΡΙ	15/8/2020	B	10000	11
ΚΡΙΘΑΡΙ	16/8/2022	A	10000	12
ΠΙΤΥΡΑ	17/8/2022	A	10000	13
ΒΡΩΜΗ	18/8/2022	Δ	10000	14
ΒΡΩΜΗ	19/8/2022	Δ	10000	15
ΑΛΑΤΙ	20/8/2022	Δ	1000	16

ΣΙΤΑΡΙ	21/8/2022	Δ	5000	17
ΣΙΤΑΡΙ	21/8/2022	Β	5000	18

Και με αυτές τις ύλες παράγονται 40 τόνοι της παραπάνω συνταγής. Αυτό σημαίνει ότι:

- Παράγονται 40 τόνοι από μια παρτίδα που ονομάζεται 19.
- Θα χρειαστεί καλαμπόκι $40 \text{ τόνοι} \times 0,36 = 14,4 \text{ τόνοι}$ άρα θα χρησιμοποιηθούν 10 τόνοι από την παρτίδα νούμερο 1 και 4,4 τόνοι από την παρτίδα 10.
- Θα χρειαστεί κριθάρι $40 \text{ τόνοι} \times 0,40 = 5,6 \text{ τόνοι}$ άρα θα χρησιμοποιηθούν 5 τόνοι από την παρτίδα νούμερο 2 και 0,6 τόνοι από την παρτίδα 11.
- Σε αυτό το σημείο δεν υπάρχει καλαμπόκι από την παρτίδα 1 αλλά ούτε και κριθάρι από την παρτίδα 2. Υπάρχουν 5,6 τόνοι από το καλαμπόκι με παρτίδα 10 και 9,4 τόνοι από το κριθάρι με παρτίδα 11.
- Με την ίδια λογική συνεχίζεται και με τις υπόλοιπες ύλες και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται καθημερινά .

Έστω σε αυτό το στάδιο αρχίζουν οι πωλήσεις και μια παραγγελία είναι 10 τόνοι μείγμα και μία άλλη παραγγελία είναι 10 τόνοι κριθάρι.

- Ο πελάτης Α παραλαμβάνει 10 τόνους ζωοτροφή από την παρτίδα 19.
- Ο πελάτης Β παραλαμβάνει 9,4 τόνους κριθάρι από την παρτίδα 11 και 0,6 τόνους από την παρτίδα 12.

Η διαδικασία ελέγχετε με οποίο τρόπο χρειαστεί:

- Ανά ημερομηνία: τι πώληση έγινε και από που προήλθαν. πχ στις 12/08/2022.
- Ανά παρτίδα: που χρησιμοποιήθηκε η παρτίδα 12.
- Ανά πελάτη: τι πήρε ο πελάτης Α και από που προήλθαν αυτά που πήρε.
- Ανά υλη: πως διανεμήθηκε το κριθάρι.

Παράδειγμα : Που πήγε το κριθάρι νο.11;

Οι 0,6 τόνοι έγιναν μείγμα 40 τόνοι στην παρτίδα 19, όπου οι 10 τόνοι πουλήθηκαν σε πελάτη Α και οι υπόλοιποι 30 τόνοι είναι διαθέσιμοι για πώληση. Οι 9,4 τόνοι πουλήθηκαν ως έχει σε πελάτη Β . Τέλος, και ο πελάτης ξέρει με την αγορά των ζωοτροφών τους αριθμούς παρτίδας καθώς και την ανάλυση των στοιχείων της συνταγής γιατί του παραδίδονται με την αγορά τους.

3.11 Συνταγή

Ακολουθεί ένα παράδειγμα για μια συμπληρωματική ζωοτροφή. Αυτή είναι μια τυπική απλή συνταγή γενικής χρήσης του ενός τόνου για αιγοπρόβατα είναι η παρακάτω και το κάθε ζώο πρέπει να τρώει από 1000gr-1200gr ημερησίως.

Πίνακας 2: Ποσότητα πρώτων υλών ανά κιλό έτοιμου προϊόντος

Υλεις	Ποσότητα σε Kg
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	320
ΚΡΙΘΑΡΙ	125
ΒΡΩΜΗ	125
ΠΙΤΥΡΑ	150
ΣΟΓΙΑ	185
ΙΣΟΡΟΠΙΣΤΗΣ ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΩΝ	30
ΑΛΑΤΙ	5
ΜΑΡΜΑΡΙΣΚΟΝΗ	10
ΣΙΤΑΡΙ	50

Με παρόμοιο τρόπο στήνονται όλες οι συμπληρωματικές ζωοτροφές αλλάζουν βέβαια και ανά περίπτωση οι αναλογίες και οι ύλες.

Για την παρούσα συνταγή όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια τα καλαμπόκι σιτάρι κριθάρι και εμμέσως τα πίτυρα(μετά από την επεξεργασία του σιταριού) ένα μεγάλο μέρος προμηθεύεται από τον κάμπο του Λεβιδίου, δηλαδή τα 485 Kg από τα 1000 του τόνου για τα υπόλοιπα 515 Kg πρέπει να γίνουν παραγγελίες και να μεταφερθούν με κάποιο τρόπο στην εταιρεία

Αν υπολογίσουμε ότι από αυτή τη συνταγή παράγονται κάπου στους 1000 τόνους το χρόνο υπολογίζουμε εύκολα ότι 515 τόνοι πρέπει να μεταφερθούν στην εταιρεία και σχεδόν όλη η παράγωγή να μεταφερθεί στους κτηνοτρόφους. Οπότε μόνο για την διάθεση της ζωτροφής κατά μέσο όρο χρειάζονται 100-120 φορτηγά.

3.11.1 Παράδειγμα ζωτροφής (ετικέτα)

ΣΟΥΠΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΒΙΟΤΕΧΝΙΑ ΖΩΟΤΡΟΦΩΝ

ΛΕΒΙΔΙ ΑΡΚΑΔΙΑΣ

ΤΗΛ:2796029007,FAX:2796029007

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΤΗ ΖΩΟΤΡΟΦΗ

ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΩΝ ΚΟΚΚΩΔΕΣ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	
ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΠΡΩΤΕΪΝΗ	15,9%
ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΕΣ ΛΙΠΑΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	3,1 %
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	1,2 %
ΦΩΣΦΟΡΟ	0,51 %
ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΕΣ ΙΝΩΔΕΙΣ ΟΥΣΙΕΣ	6,4 %
ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΤΕΦΡΑ	8,3 %
ΝΑΤΡΙΟ	0,49 %
ΜΑΓΝΗΣΙΟ	0,1 %

ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΥΛΕΣ (ανά kgr Ζωοτροφής)		
ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ		
ΒΙΤΑΜΙΝΗ Α (3a672a)	18000,00	UI
ΒΙΤΑΜΙΝΗ D3 (3a671)	3600,00	UI
ΒΙΤΑΜΙΝΗ Ε (3a700)	18,00	UI
ΒΙΤΑΜΙΝΗ C (3a300)	0,03	Mg
ΒΙΤΑΜΙΝΗ K3 (3a710)	0,010	Mg
ΒΙΤΑΜΙΝΗ B1 (3a821)	0,010	Mg
ΒΙΤΑΜΙΝΗ B2	0,015	Mg
ΒΙΤΑΜΙΝΗ B6 (3a831)	0,010	Mg
ΒΙΤΑΜΙΝΗ B12	0,001	Mg
ΝΙΑΣΙΝΗ (3a314)	18,00	Mg
ΠΑΝΤΟΘΕΝΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ (3a841)	0,010	Mg
ΒΙΟΤΙΝΗ (3a880)	0,001	Mg
ΦΟΛΙΚΟ ΟΞΥ (3a316)	0,001	Mg
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΣ ΧΟΛΙΝΗ (3a890)	0,010	Mg
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ		
ΣΙΔΗΡΟΣ (ΜΟΝΟΕΝΥΔΡΟΣ ΘΕΪΚΟΣ) 3b103	25,00	Mg
ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (ΟΞΕΙΔΙΟ) 3b603	25,00	Mg
ΜΑΓΓΑΝΙΟ (ΟΞΕΙΔΙΟ) 3b502	6,50	Mg
ΙΩΔΙΟ (ΙΩΔΙΔΙΟ ΤΟΥ ΚΑΛΙΟΥ) 3b201	1,00	Mg
ΣΕΛΗΝΙΟ (ΣΕΛΗΝΙΩΔΕΣ ΝΑΤΡΙΟ) 3b801	0,35	Mg
ΒΗΑ (E320)	10,00	Mg
ΣΕΠΙΟΛΙΘΟΣ (E562)	25,00	Mg
ΜΥΚΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΟ	1,5	G

ΣΥΝΘΕΣΗ

ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ, ΠΙΤΥΡΑ ΣΙΤΟΥ, ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ , ΚΡΙΘΑΡΙ ,ΒΡΩΜΗ, ΣΙΤΑΡΙ,
ΜΑΡΜΑΡΟΣΚΟΝΗ , ΑΛΑΤΙ, ΙΣΟΡΟΠΙΣΤΗΣ ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΩΝ

περιέχει σογιάλευρο που προέρχεται από γενετικά τροποποιημένη σόγια.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ

Η ΤΡΟΦΗ ΑΥΤΗ ΔΙΝΕΤΑΙ ΣΤΑ ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΙΤΗΡΕΣΙΟΥ ΤΟΥΣ, ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΕΙΣ ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ, ΟΠΩΣ ΧΛΩΡΟ Η ΞΗΡΟ ΧΟΡΤΟ ΑΓΡΟΣΤΩΔΩΝ ΣΑΝΟΣ ΜΗΔΙΚΗΣ, Κ.Λ.Π.. Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΔΙΝΕΤΑΙ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ ΕΙΝΑΙ 1000-1200 ΓΡ. ΤΡΟΦΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ. ΚΑΘΕ ΑΛΛΑΓΗ ΤΡΟΦΗΣ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ ΝΑ ΓΙΝΕΤΑΙ ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 3-4 ΗΜΕΡΩΝ. ΦΥΛΑΞΕΤΕ ΣΕ ΞΗΡΟ ΜΕΡΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΤΩΝ 25⁰C

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ: 2022-08-12

ΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΤΑ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ ΠΡΙΝ ΑΠΟ: 4 μήνες μετά την ημερομηνία παρασκευής
ΒΑΡΟΣ ΚΑΘΑΡΟ : 40 κιλά/σακί

Αριθμός Παρτίδος : 19

Αριθμός Εγγραφής: 00320120000001

4

Πρόβλημα ελαχιστοποίησης

Οι τιμές για την αγορά των πρώτων υλών αυξομειώνονται συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών των τελικών προϊόντων. Η αυξομείωση αυτή δεν είναι απαραίτητα αναλογική για όλες τις πρώτες ύλες. Για παράδειγμα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια μεγάλη αύξηση στην τιμή του σιταριού χωρίς να υπάρχει τόσο μεγάλη αύξηση στην τιμή του καλαμποκιού ή της βρώμης. Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη ότι το τελικό προϊόν πρέπει να περιέχει συγκεκριμένα ποσοστά θρεπτικών συστατικών, μπορούμε να μεταβάλλουμε την σύσταση του ως προς τις πρώτες ύλες με σκοπό να διατηρήσουμε σταθερή την τιμή του και παράλληλα να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις του σε θρεπτικά συστατικά.

Αυτό ίσως θα μπορούσε να εφαρμοστεί κυρίως σε συνταγές συντήρησης. Σκοπός του παρακάτω προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού είναι η δημιουργία μιας συνταγής συντήρησης που να ελαχιστοποιεί το κόστος, ικανοποιώντας το ελάχιστο όριο θρεπτικών συστατικών.

Κάποιοι από τους περιορισμούς που συμπεριλαμβάνονται στο πρόβλημα αφορούν την μέγιστη και ελάχιστη περιεκτικότητα συγκεκριμένων συστατικών πχ καλαμπόκι, κάποιων θρεπτικών συστατικών πχ. Πρωτεΐνη και κάποιων κατηγοριών συστατικών πχ. Σιτηρά.

Διευκρινίσεις

- Στην κατηγορία των σιτηρών συμπεριλαμβάνονται: Σιτάρι, Κριθάρι, Καλαμπόκι, Βρώμη.
- Το πίτουρο είναι ένα υποπροϊόν που προκύπτει από την επεξεργασία του σιταριού.

- Στον πίνακα με τα συστατικά ως «άλλα» περιγράφεται το σύνολο των συστατικών τα οποία δεν συνεισφέρουν ως προς τα θρεπτικά συστατικά τα οποία αξιολογούνται στους περιορισμούς και η περιεκτικότητα τους στην συνταγή είναι σταθερή. Σε αυτά τα συστατικά περιλαμβάνεται ο ισορροπιστής, η μαρμαρόσκονη, φωσφορικό οξύ κτλ.
- Ο ισορροπιστής είναι ένα μείγμα από βιταμίνες και άλλα θρεπτικά συστατικά.

4.1 Συνάρτηση ελαχιστοποίησης

Η συνάρτηση ελαχιστοποίησης υπολογίζει το ελάχιστο κόστος που απαιτείται για την παραγωγή ζωοτροφής για την κάλυψη της ημερήσιας πρόσληψης θρεπτικών συστατικών για ένα ζώο. Λαμβάνει υπόψη την ποσότητα του κάθε υλικού που θα χρησιμοποιηθεί και το αντίστοιχο κόστος του ανά κιλό.

Έχει την μορφή:

$$\text{Min}Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

c_i = Κόστος συστατικού i ανά κιλό

ή

$$\text{Min}Z = \sum c_i x_i, i = 1, \dots, n$$

x_i = Ποσότητα συστατικού i

4.2 Περιορισμοί

4.2.1 Περιορισμός 1: Μη αρνητικές ποσότητες

Όλες οι μεταβλητές $x_1, x_2, \dots, x_n$ αντιπροσωπεύουν ποσότητες οπότε πρέπει να είναι μη αρνητικοί αριθμοί.

Έχει την μορφή:

$$x_1 \geq 0,$$

$$x_2 \geq 0,$$

...

$$x_n \geq 0.$$

n = το πλήθος των συστατικών

x_i = η ποσότητα συστατικού i

ή

$$x_i \geq 0, \text{ για κάθε } i = 1, \dots, n$$

4.2.2 Περιορισμός 2: Μέγιστη συνολική ποσότητα

Η συνολική παραγόμενη ποσότητα ζωοτροφής μεταβάλλεται ανάλογα με τα δεδομένα.

Ανεξάρτητα με την διατροφική αξία της ζωοτροφής, κάθε ζώο μπορεί να καταναλώσει μέχρι μια ορισμένη ποσότητα τροφής ημερησίως. Για παράδειγμα ένα μοσχάρι μπορεί να καταναλώσει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ημερήσιας τροφής από ότι ένα κουνέλι. Οπότε η παραγόμενη ποσότητα ζωοτροφής που καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες πρέπει να μην υπερβαίνει το μέγιστο ημερήσιο όριο τροφής του συγκεκριμένου ζώου.

Αυτό όμως δεν είναι αρκετό, γιατί ανάλογα με το είδος της ζωοτροφής υπάρχει και εκεί ένα ανώτατο όριο τροφής που πρέπει να λαμβάνει το ζώο. Σε μια τροφή συντήρησης το ζώο τρέφεται παράλληλα και με άλλες τροφές (χόρτα), οπότε το η ποσότητα της ζωοτροφής που καλύπτει τις ελάχιστες διατροφικές του ανάγκες μειώνεται αλλά η διατροφική αξία διατηρείται. Έτσι το άθροισμα των ποσοτήτων ανά συστατικό πρέπει να μην υπερβαίνει το όριο αυτό.

Έχει την μορφή:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq \text{MaxQuantityPerDay}$$

n = το πλήθος των συστατικών,

MaxQuantityPerDay = Η μέγιστη ποσότητα του συγκεκριμένου είδους ζωοτροφής που μπορεί να καταναλώσει ένα συγκεκριμένο είδος ζώου σε μία μέρα.

x_i = Ποσότητα συστατικού i

ή

$$\sum x_i \leq \text{MaxQuantityPerDay}, i = 1, \dots, n$$

4.2.3 Περιορισμός 3: Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό

Θεωρούμε ότι είναι καλό η ζωοτροφή να περιέχει έστω και μικρές ποσότητες από όλα τα διαθέσιμα συστατικά. Σε περίπτωση μεγάλης αύξησης του κόστους συγκεκριμένου συστατικού, θα μπορούσε να τροποποιηθεί ο περιορισμός ή να χρησιμοποιηθεί κάποιο υποκατάστατο.

Ο συγκεκριμένος περιορισμός αναφέρεται στο ποσοστό του κάθε συστατικού σε σχέση με την τελική παραγόμενη ποσότητα, ή οποία δεν είναι σταθερή.

Έχει την μορφή:

$$\text{MinConsistency1} \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \leq x_1,$$

$$\text{MinConsistency2} \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \leq x_2,$$

...

$$\text{MinConsistency}_n \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \leq x_n.$$

MinConsistency_I = Η ελάχιστη αποδεκτή περιεκτικότητα του συστατικού I

Ισχύει ότι $0 \leq \text{MinConsistency}_I \leq 1$, δηλαδή το ποσοστό γράφεται με την μορφή δεκαδικού αριθμού.

x_i = η ποσότητα συστατικού i

n = το πλήθος των συστατικών

ή

$$\text{MinConsistency}_I \times \sum x_i \leq x_I, \text{ για κάθε } I = 1, \dots, n$$

4.2.4 Περιορισμός 4: Μέγιστη περιεκτικότητα ανά συστατικό

Για τον αντίστοιχο λόγο, ορίζονται και ανώτατα όρια για κάθε συστατικό. Είναι πολύ πιθανό να κυριαρχήσει στην συνταγή ένα συστατικό που έχει καλές αναλογίες θρεπτικών συστατικών συγκριτικά με το κόστος του. Θεωρούμε ότι αυτό δεν είναι ιδανικό και γι αυτό τον λόγο προστίθεται ο ακόλουθος περιορισμός.

Έχει την μορφή:

$$x_1 \leq \text{MaxConsistency1} \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n),$$

$$x_2 \leq \text{MaxConsistency2} \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n),$$

...

$$x_n \leq \text{MaxConsistency2} \times (x_1 + x_2 + \dots + x_n).$$

MaxConsistency_i = Η μέγιστη αποδεκτή περιεκτικότητα του συστατικού i

Ισχύει ότι $0 \leq \text{MinConsistency}_i \leq 1$, δηλαδή το ποσοστό γράφεται με την μορφή δεκαδικού αριθμού.

n = το πλήθος των συστατικών

x_i = ποσότητα συστατικού i

ή

$$x_I \leq \text{MaxConsistency}_I \times \sum x_i, \text{ για κάθε } I=1, \dots, n$$

4.2.5 Περιορισμός 5: Ελάχιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία

Πολλά από τα συστατικά ανήκουν στην ίδια κατηγορία, και αυτό σημαίνει πως έχουν παρόμοιες ιδιότητες και θρεπτικά συστατικά. Οπότε την ποικιλομορφία που θέλαμε να διατηρήσουμε σε επίπεδο συστατικών, θέλουμε τώρα να την διατηρήσουμε και στο επίπεδο της κατηγορίας των συστατικών. Για παράδειγμα, πολλά από τα διαθέσιμα συστατικά ανήκουν στην κατηγορία των σιτηρών. Παρόλο που περιορίζονται ανά συστατικό, αυτός ο περιορισμός δεν συνεπάγεται και τον περιορισμό τους ανά κατηγορία οπότε προκύπτει ο ακόλουθος περιορισμός.

Για τα κάτω όρια, ο περιορισμός έχει την μορφή:

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \text{minConsistencyLimit}_{\text{catj}} \leq x_{1_{\text{catj}}} + x_{2_{\text{catj}}} + \dots + x_{m_{\text{catj}}},$$

για κάθε $j = 1, 2, \dots, k$

k = το πλήθος των κατηγοριών

catj = κατηγορία συστατικών j

i_{catj} = Συστατικό που ανήκει στην κατηγορία catj ,

m = το πλήθος των συστατικών i_{catj} για συγκεκριμένη κατηγορία catj ,

$x_i, x_{i_{\text{catj}}}$ = ποσότητα των συστατικών i και i_{catj} αντίστοιχα,

$\text{minConsistencyLimit}_{\text{catj}}$ = Μέγιστο όριο περιεκτικότητας της κατηγορίας catj .

δηλαδή

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \text{minConsistencyLimit}_{\text{cat1}} \leq x_{1_{\text{cat1}}} + x_{2_{\text{cat1}}} + \dots + x_{m_{\text{cat1}}},$$

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \text{minConsistencyLimit}_{\text{cat2}} \leq x_{1_{\text{cat2}}} + x_{2_{\text{cat2}}} + \dots + x_{m_{\text{cat2}}},$$

...

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \text{minConsistencyLimit}_{\text{catk}} \leq x_{1_{\text{catk}}} + x_{2_{\text{catk}}} + \dots + x_{m_{\text{catk}}}$$

ή

$$\sum x_i \times \text{minConsistencyLimit}_{\text{catj}} \leq \sum x_{i_{\text{catj}}}, \text{ για κάθε } i_{\text{catj}}, \text{ για κάθε } j$$

4.2.6 Περιορισμός 6: Μέγιστη περιεκτικότητα ανά κατηγορία

Με βάση τον προηγούμενο περιορισμό, χρειάζεται να περιοριστεί και η μέγιστη ποσότητα ανά κατηγορία.

Για τα πάνω όρια, ο περιορισμός έχει την μορφή:

$$x_{1catj} + x_{2catj} + \dots + x_{mcatj} \leq (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \maxConsistencyLimit_{catj},$$

για κάθε $j = 1, 2, \dots, k$

k = το πλήθος των κατηγοριών

$catj$ = κατηγορία συστατικών j

i_{catj} = Συστατικό που ανήκει στην κατηγορία $catj$,

m = το πλήθος των συστατικών i_{catj} για συγκεκριμένη κατηγορία $catj$,

$x_i, x_{i_{catj}}$ = ποσότητα των συστατικών i και i_{catj} αντίστοιχα,

$\maxConsistencyLimit_{catj}$ = Μέγιστο όριο περιεκτικότητας της κατηγορίας $catj$.

δηλαδή

$$x_{1cat1} + x_{2cat1} + \dots + x_{mcat1} \leq (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \maxConsistencyLimit_{cat1},$$

$$x_{1cat2} + x_{2cat2} + \dots + x_{mcat2} \leq (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \maxConsistencyLimit_{cat2},$$

...

$$x_{1catk} + x_{2catk} + \dots + x_{mcatk} \leq (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \times \maxConsistencyLimit_{catk}$$

ή

$$\sum x_{i_{catj}} \leq \sum x_i \times \maxConsistencyLimit_{catj}, \text{ για κάθε } i_{catj}, \text{ για κάθε } j$$

4.2.7 Περιορισμός 7: Ελάχιστες απαιτήσεις ανά θρεπτικό συστατικό

Σκοπός της τροφής είναι να καλύπτει τις ημερήσιες διατροφικές ανάγκες ενός ζώου. Αυτό σημαίνει πώς το σύνολο των ποσοτήτων όλων των συστατικών, θα πρέπει να αποδίδει κατ' ελάχιστον τις ελάχιστες απαιτήσεις ανά θρεπτικό συστατικό.

Έχει την μορφή:

$$N_{1min} \leq x_1 \times n_{11} + x_2 \times n_{21} + \dots + x_n \times n_{n1},$$

$$N_{2\min} \leq x_1 \times n_{12} + x_2 \times n_{22} + \dots + x_n \times n_{n2},$$

...

$$N_{m\min} \leq x_1 \times n_{1m} + x_2 \times n_{2m} + \dots + x_n \times n_{nm}.$$

$N_{j\min}$ = ελάχιστη επιτρεπτή ημερήσια ποσότητα ανά κατηγορία θρεπτικών συστατικών j

n_{ij} = ποσότητα θρεπτικών συστατικών j που περιέχεται στο συστατικό i

x_i = ποσότητα συστατικού i

n = το πλήθος των συστατικών

m = το πλήθος των θρεπτικών συστατικών

ή

$$N_{j\min} \leq \sum_i x_i n_{ij}, \text{ για κάθε } j = 1, \dots, m$$

4.2.8 Περιορισμός 8: Μέγιστες απαιτήσεις ανά θρεπτικό συστατικό

Αντίστοιχα με τις ελάχιστες ποσότητες ανά θρεπτικό συστατικό, θα πρέπει να εξεταστούν και οι μέγιστες ποσότητες ανά θρεπτικό συστατικό. Είναι σημαντικό τα θρεπτικά συστατικά να μην υπερβούν κάποια ανώτατα όρια γιατί σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα ζώα. (Τα όρια που αναφέρονται στον πίνακα των δεδομένων είναι προσεγγιστικά)

Έχει την μορφή:

$$x_1 n_{11} + x_2 n_{21} + \dots + x_n n_{n1} \leq N_{1\max},$$

$$x_1 n_{12} + x_2 n_{22} + \dots + x_n n_{n2} \leq N_{2\max},$$

...

$$x_1 n_{1m} + x_2 n_{2m} + \dots + x_n n_{nm} \leq N_{m\max}.$$

N_{jmax} = μέγιστη επιτρεπτή ημερήσια ποσότητα ανά κατηγορία θρεπτικών συστατικών j

n_{ij} = ποσότητα θρεπτικών συστατικών j που περιέχεται στο συστατικό i

x_i = ποσότητα συστατικού i

n = το πλήθος των συστατικών

m = το πλήθος των θρεπτικών συστατικών

ή

$$\sum_i x_i n_{ij} \leq N_{jmax}, j = 1, \dots, m$$

4.3 Δεδομένα

Πίνακας 3: Πίνακας με είδη και ποσότητα συνταγών

Είδος συνταγής	Μέγιστη ποσότητα τροφής ανά ζώο (kg)
	MaxQuantityPerDay
ΣΗΝΤΗΡΗΣΗΣ	2

Πίνακας 4: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών

Ύλεις i	Κόστος (ευρώ/kg) c_i
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.40
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.32
ΒΡΩΜΗ	0.38
ΣΟΓΙΑ	0.65
ΣΙΤΑΡΙ	0.42

ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.46
ΑΛΛΑ	1.00

Πίνακας 5: Πίνακας με τα όρια της περιεκτικότητας ανά συστατικό

Συστατικά i	Ελάχιστη περιεκτικότητα MinConsistencyi	Μέγιστη περιεκτικότητα MaxConsistencyi
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.15	0.9
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.1	0.9
ΒΡΩΜΗ	0.1	0.9
ΣΟΓΙΑ	0.1	0.9
ΣΙΤΑΡΙ	0.1	0.9
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.1	0.9
ΑΛΛΑ	0.05	0.05

Πίνακας 6: Πίνακας με τα θρεπτικά συστατικά ανά πρώτη ύλη

Θρεπτικά συστατικά ανά kg n_{ij}	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΚΡΙΘΑΡΙ	ΒΡΩΜΗ	ΣΟΓΙΑ	ΣΙΤΑΡΙ	ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	ΑΛΛΑ
ΛΙΠΑΡΑ	0.0135	0.023	0.070	0.034	0.010	0.043	0
ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ	0.0327	0.120	0.120	0.820	0.100	0.160	0
ΙΝΩΔΗ	0.0270	0.170	0.060	0.060	0.027	0.430	0

Πίνακας 7: Πίνακας με τα όρια των ημερησίων ποσοτήτων σε θρεπτικά συστατικά

Θρεπτικά συστατικά	Ελάχιστη ημερήσια ποσότητα (kg) N_{jmin}	Μέγιστη ημερήσια ποσότητα (kg) N_{jmax}	Ημερήσια ποσότητα υπάρχουσας συνταγής (kg) $N_{jcommon}$
ΛΙΠΑΡΑ	0.025	0.2	0.031
ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ	0.102	0.250	0.159
ΙΝΩΔΗ	0.051	0.089	0.064

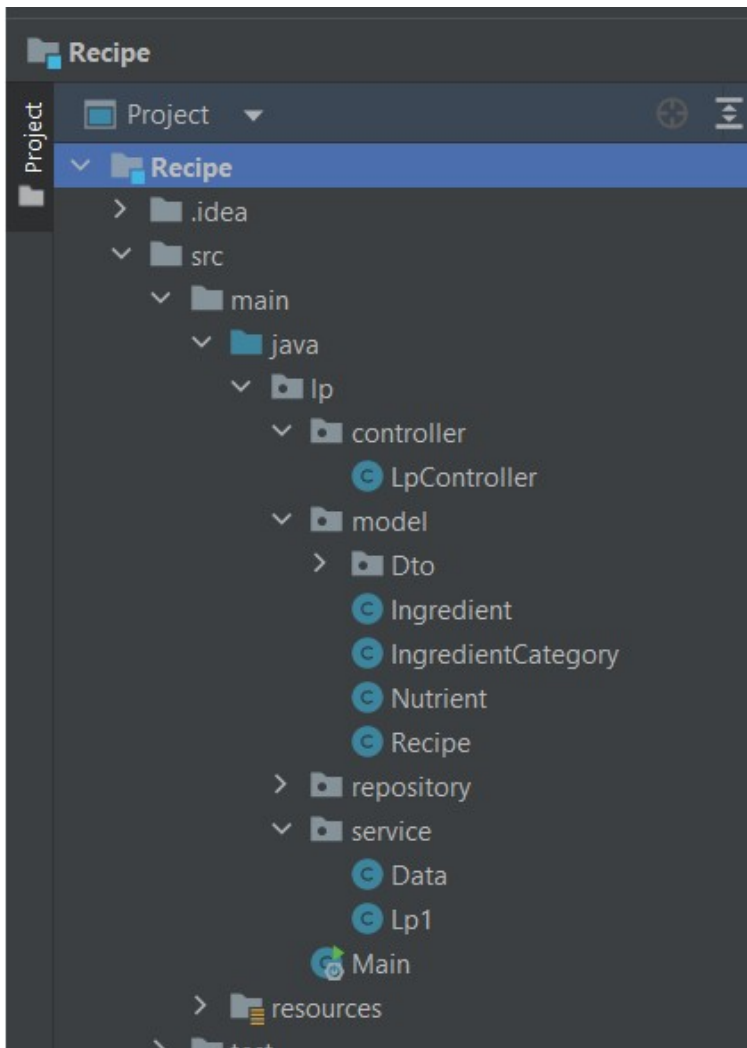
Πίνακας 8: Πίνακας με τα όρια της περιεκτικότητας ανά κατηγορία πρώτων υλών

Κατηγορία cat_j	Ελάχιστο όριο περιεκτικότητας της κατηγορίας $minConsistencyLimit_{cat_j}$	Μέγιστο όριο περιεκτικότητας της κατηγορίας $maxConsistencyLimit_{cat_j}$
ΣΙΤΗΡΑ	0.4	0.7

4.4 Πρόγραμμα

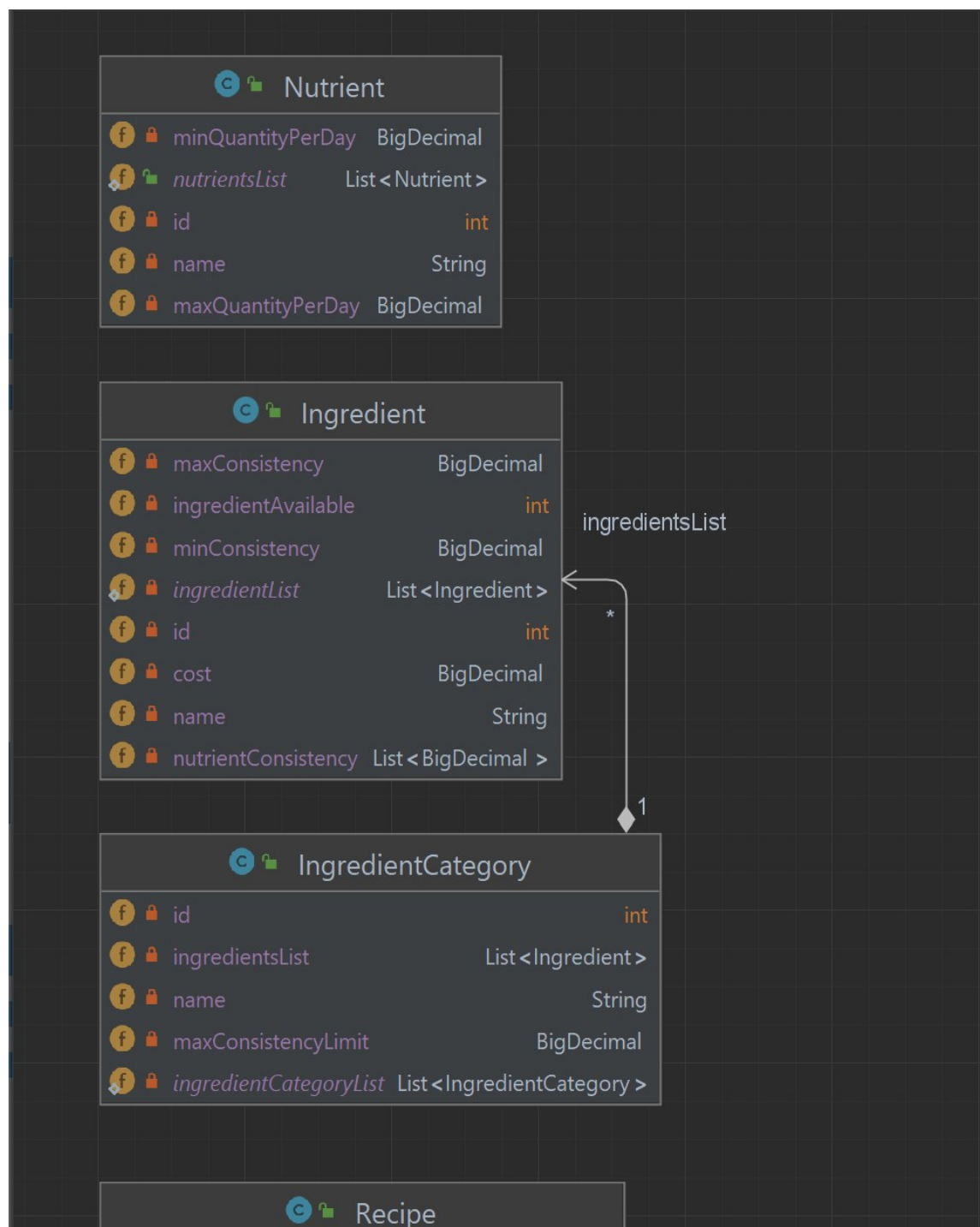
4.4.1 Δομή

Η δομή του προγράμματος είναι η ακόλουθη.



4.4.2 Μοντέλο

Το μοντέλο αποτελείται από τις κλάσεις που φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα κλάσεων.



Το πρόγραμμα γράφτηκε σε java spring boot με χρήση βιβλιοθήκης για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Το μοντέλο του προγράμματος αποτελείται από 4 κλάσεις:

Ingredient : Το συστατικό συνταγής/ πρώτη ύλη

IngredientCategory : Η κατηγορία ενός συστατικού πχ. σιτηρά

Nutrient : Το θρεπτικό συστατικό

Recipe : Η ζωοτροφή

4.4.3 Dependencies

Για την δημιουργία του προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα Maven dependencies:

- org.springframework.boot, spring-boot-autoconfigure, 2.7.0
- org.springframework.boot, spring-boot-starter-web, 2.7.2
- org.springframework.data, spring-data-jpa, 2.5.6
- org.ojalgo, ojalgo, 51.4.0
- org.projectlombok, lombok, 1.18.22

5

Αποτελέσματα

5.1 Δομή αποτελεσμάτων

Η δομή των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων αποτελείται από:

```

1  {
2    "state": "OPTIMAL",
3  >  "variables": [ ...
11   ],
12 >  "recipe": { ...
17   },
18 >  "nutrients": [ ...
46   ],
47 >  "ingredients": [ ...
111  ],
112 > "categories": [ ...
156  ]
157 }
```

Το **state** το οποίο είναι η κατάσταση της λύσης του προγράμματος. Μπορεί να πάρει τιμές όπως OPTIMAL (το πρόβλημα έχει λύση και είναι η βέλτιστη), INFEASIBLE (το πρόβλημα δεν έχει λύση), κτλ.

Το **variables** το οποίο περιέχει τις τιμές των μεταβλητών x_i .

Το **nutrients** το οποίο περιέχει την λίστα με τα θρεπτικά συστατικά και πληροφορίες για κάθε ένα από αυτά, για την ποσότητα και το ποσοστό περιεκτικότητας που καταλαμβάνει στην τελική συνταγή.

Το **ingredients** το οποίο περιέχει την λίστα με συστατικά και πληροφορίες για κάθε ένα από αυτά, για την ποσότητα και το ποσοστό περιεκτικότητας που καταλαμβάνει στην τελική συνταγή.

Το **categories** το οποίο περιέχει την λίστα με τις κατηγορίες των συστατικών και πληροφορίες για κάθε ένα από αυτά, για την ποσότητα και το ποσοστό περιεκτικότητας που καταλαμβάνουν στην τελική συνταγή. Ακόμη κάθε κατηγορία περιέχει μια λίστα, με τα συστατικά που περιλαμβάνονται σε κάθε κατηγορία.

5.2 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

Το αποτέλεσμα περιλαμβάνει την ποσότητα σε κιλά που πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανά συστατικό (variableList) για την παραγωγή ποσότητας ζωοτροφής που καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες για θρεπτικά συστατικά ενός ζώου, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την ζωοτροφή (recipe) όπως συνολικό ημερήσιο κόστος, κόστος ανά κιλό, ημερήσια ποσότητα (σε κιλά) αλλά και το είδος της ζωοτροφής που περιγράφεται.

```
"variables": [
  0.11109103605209,
  0.0740606907014,
  0.14670391946537,
  0.2235995340416,
  0.0740606907014,
  0.0740606907014,
  0.0370303453507
],
"recipe": {
  "name": "suntirisis aigoprovaton",
  "quantityPerDay": 0.741,
  "costPerDay": 0.35,
  "costPerKilo": 0.47
},
```

Υπάρχουν και άλλα αποτελέσματα τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο παράρτημα και κάποια από αυτά περιγράφονται στους πίνακες των αποτελεσμάτων.

5.3 Αποτελέσματα με βάση τις πρόσφατες τιμές πρώτων υλών

Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν με βάση τις πρόσφατες τιμές στην αγορά, όπως αυτές ορίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών

Συστατικά i	Κόστος (ευρώ/kg) ci
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.40
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.32
ΒΡΩΜΗ	0.38
ΣΟΓΙΑ	0.65
ΣΙΤΑΡΙ	0.42
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.26
ΑΛΛΑ	1.00

Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```
{
  "state": "OPTIMAL",
  "variables": [
    0.1136680944862,
    0.07577872965747,
    0.12340023897229,
    0.21310400645993,
    0.07577872965747,
    0.1181681325126,
    0.03788936482874
  ],
  "recipe": {
    "name": "suntirisis aigoprovaton",
    "quantityPerDay": 0.758,
    "costPerDay": 0.36,
    "costPerKilo": 0.47
  },
}
```

Πίνακας 10: Πίνακας συστατικών σε κιλά με βάση την ημερήσια πρόσληψη

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (kg) x_i
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.114
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.076
ΒΡΩΜΗ	0.123
ΣΟΓΙΑ	0.213
ΣΙΤΑΡΙ	0.076
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.118
ΑΛΛΑ	0.038
Συνολική ποσότητα	0.758

Πίνακας 11: Πίνακας συστατικών σε γραμμάρια με βάση την ζωοτροφή ενός κιλού

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (gram)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	150
ΚΡΙΘΑΡΙ	100
ΒΡΩΜΗ	163
ΣΟΓΙΑ	281
ΣΙΤΑΡΙ	100
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	156
ΑΛΛΑ	50
Συνολική ποσότητα	1000
Συνολικό κόστος	0.47

Πίνακας 12: Πίνακας κόστους ζωοτροφής ανά ποσότητα τελικού προϊόντος

Συνολική ημερήσια ποσότητα	758 gram.
Κόστος ημερήσιας ποσότητας	0.36 euro
Κόστος ανά κιλό	0.47 euro

5.4 Αποτελέσματα με μικρή αύξηση σε μια πρώτη ύλη

Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν με βάση τις προηγούμενες τιμές αλλά με αύξηση στην τιμή του πίτουρου από 0,26 ευρώ σε 0,29 ευρώ, όπως αυτές ορίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 13: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών

Συστατικά i	Κόστος (ευρώ/kg) c_i
ΚΑΛΑΜΠΟ ΚΙ	0.40
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.32
ΒΡΩΜΗ	0.38
ΣΟΓΙΑ	0.65
ΣΙΤΑΡΙ	0.42
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.29
ΑΛΛΑ	1.00

Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```

ξ
{
  "state": "OPTIMAL",
  "variables": [
    0.11109103605209,
    0.0740606907014,
    0.14670391946537,
    0.2235995340416,
    0.0740606907014,
    0.0740606907014,
    0.0370303453507
  ],
  "recipe": {
    "name": "suntirisis aigoprovaton",
    "quantityPerDay": 0.741,
    "costPerDay": 0.36,
    "costPerKilo": 0.48
  },
}

```

Πίνακας 14: Πίνακας συστατικών σε κιλά με βάση την ημερήσια πρόσληψη

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (kg) xi
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.111
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.074
ΒΡΩΜΗ	0.147
ΣΟΓΙΑ	0.224
ΣΙΤΑΡΙ	0.074
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.074
ΑΛΛΑ	0.037
Συνολική ποσότητα	0.741

Πίνακας 15: Πίνακας συστατικών με βάση την ζωοτροφή ενός κιλού

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (gram)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	150
ΚΡΙΘΑΡΙ	100
ΒΡΩΜΗ	198
ΣΟΓΙΑ	302
ΣΙΤΑΡΙ	100
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	100
ΑΛΛΑ	50
Συνολική ποσότητα	1000

Συνολικό κόστος	0.48
------------------------	------

Πίνακας 17: Πίνακας κόστους ζωοτροφής ανά ποσότητα τελικού προϊόντος

Συνολική ημερήσια ποσότητα	741 gram.
Κόστος ημερήσιας ποσότητας	0.36 euro
Κόστος ανά κιλό	0.48 euro

5.5 Αποτελέσματα με μεγάλη αύξηση σε μια πρώτη ύλη

Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν με βάση τις προηγούμενες τιμές αλλά με αύξηση στην τιμή του πίτουρου από 0,26 ευρώ σε 0,40 ευρώ, όπως αυτές ορίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 16: Πίνακας με τα κόστη των πρώτων υλών

Συστατικά	Κόστος (ευρώ/kg)
i	c_i
ΚΑΛΑΜΠΟ ΚΙ	0.40
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.32
ΒΡΩΜΗ	0.38
ΣΟΓΙΑ	0.65
ΣΙΤΑΡΙ	0.42
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.40
ΑΛΛΑ	1.00

Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```
{
  "state": "OPTIMAL",
  "variables": [
    0.11109103605209,
    0.0740606907014,
    0.14670391946537,
    0.2235995340416,
    0.0740606907014,
    0.0740606907014,
    0.0370303453507
  ],
  "recipe": {
    "name": "suntagi suntirisis aigoprovaton",
    "quantityPerDay": 0.741,
    "costPerDay": 0.37,
    "costPerKilo": 0.50
  }
},
```

Πίνακας 17: Πίνακας συστατικών σε κιλά με βάση την ημερήσια πρόσληψη

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (kg) xi
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0.111
ΚΡΙΘΑΡΙ	0.074
ΒΡΩΜΗ	0.147
ΣΟΓΙΑ	0.224
ΣΙΤΑΡΙ	0.074
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	0.074
ΑΛΛΑ	0.037
Συνολική ποσότητα	0.741

Πίνακας 18: Πίνακας συστατικών με βάση την ζωοτροφή ενός κιλού

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i (gram)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	150
ΚΡΙΘΑΡΙ	100
ΒΡΩΜΗ	198
ΣΟΓΙΑ	302
ΣΙΤΑΡΙ	100
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	100
ΑΛΛΑ	50
Συνολική ποσότητα	1000
Συνολικό κόστος	0.50

Πίνακας 17: Πίνακας κόστους ζωοτροφής ανά ποσότητα τελικού προϊόντος

Συνολική ημερήσια ποσότητα	741 gram.
Κόστος ημερήσιας ποσότητας	0.37 euro
Κόστος ανά κιλό	0.50 euro

6

Συμπεράσματα

6.1 Επιλογή ζωοτροφής για τροποποίηση

Η ζωοτροφή που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμα, αναφέρεται σε μια ζωοτροφή συντήρησης για αιγοπρόβατα. Η ζωοτροφή συντήρησης είναι η ζωοτροφή που δίνεται στα ζώα όταν αυτά βρίσκονται σε περίοδο που δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, ένα κοπάδι με αιγοπρόβατα το καλοκαίρι που δεν βρίσκεται σε περίοδο αναπαραγωγής, ούτε γαλακτοπαραγωγής και παράλληλα λόγω του καλού καιρού τρέφεται με χορτάρι. Σε αυτή την περίπτωση, τα ζώα θα τρεφόταν παράλληλα με ζωοτροφή συντήρησης.

Υπό άλλες συνθήκες θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι η μείωση της διατροφικής αξίας μιας ζωοτροφής, ίσως επιδρούσε με αντίστοιχο τρόπο στο τελικό «προϊόν» ενός κτηνοτρόφου πχ μικρότερη παραγωγή γάλακτος ή αδυναμία αναπαραγωγής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν ισχύει όμως γιατί πρόκειται για μία ζωοτροφή συντήρησης που καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες.

Ένας ακόμα λόγος που επιλέχθηκε η ζωοτροφή αυτή, είναι ότι οι άλλες ζωοτροφές που καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες του ζώου (γαλακτοπαραγωγή, αναπαραγωγή ή κάλυψη θρεπτικών στοιχείων σε έλλειψη) είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες του κάθε κοπαδιού. Οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις η εταιρεία είναι αδύνατο να κάνει πρόβλεψη ζήτησης ή να κρατήσει απόθεμα έτοιμου προϊόντος.

6.2 Χρόνος απόκρισης

Θεωρείται σημαντική η μείωση του χρόνου απόκρισης, καθώς οι παραγγελίες πρέπει να παραδίδονται άμεσα. Το να διατηρείται απόθεμα από ζωοτροφές συντήρησης είναι σημαντικό, καθώς παραδίδονται άμεσα και δεν απαιτείται η παραγωγή τους. Αυτό επιτρέπει σε άλλες προσαρμοσμένες παραγγελίες να εκτελεστούν παράλληλα καθώς τα μηχανήματα παραγωγής είναι διαθέσιμα και έτσι μειώνεται ο χρόνος και των προσαρμοσμένων παραγγελιών.

6.3 Επιλογή πρώτων υλών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η ελάχιστη ποσότητα για την κάλυψη των ημερήσιων θρεπτικών συστατικών είναι 758 γραμμάρια και το κόστος της ανέρχεται στα 0.36 ευρώ. Το κόστος υπολογίζεται στα 0.47 ευρώ το κιλό, το οποίο θεωρείται καλό για μια ζωοτροφή συντήρησης.

Ως προς την αναλογία των συστατικών της ζωοτροφής παρατηρούμε ότι το συστατικό που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερη ποσότητα είναι η βρώμη, η σόγια και το πίτουρο, καθώς διαθέτουν την μεγαλύτερη αναλογία θρεπτικών συστατικών συγκριτικά με το κόστος, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστατικά. Τα υπόλοιπα συστατικά έχουν επιλεγεί με βάση τον περιορισμό για το κατώτατο όριο, επειδή επιλέξαμε να υπάρχει ποικιλία συστατικών στην ζωοτροφή. Η αναλογία του ισορροπιστή και των υπόλοιπων συστατικών που περιέχονται στο «άλλα», παραμένουν σταθερά οπότε δεν επηρεάζονται.

Τα αποτελέσματα αυτά όμως προκύπτουν με βάση τις πρόσφατες τιμές στην αγορά. Αυτό σημαίνει ότι μεταβάλλονται κάθε φορά που μεταβάλλονται και οι τιμές αγοράς. Μια ξαφνική αύξηση στην τιμή της σόγιας ή της βρώμης που αυτή την στιγμή είναι τα επικρατέστερα συστατικά, θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα να επιλεγεί κάποιο άλλο συστατικό ως επικρατέστερο και η αναλογία αυτών να καθορίζεται με βάση το ελάχιστο όριο που έχουμε θέσει.

6.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων μετά από αύξηση κόστους συστατικών

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων μετά από την αύξηση του κόστους συστατικών. Συγκεκριμένα μετά από την αύξηση του κόστους του πίτουρου από 0,26 ευρώ σε 0,40 ευρώ.

Πίνακας 19: Σύγκριση αποτελεσμάτων (ποσότητες)

Συστατικό i	Ποσότητα συστατικού i ανά κιλό (gram) [αρχική συνταγή]	Νέα ποσότητα συστατικού i ανά κιλό (gram) [νέα συνταγή]
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	150 (ελάχιστη ποσότητα)	150 (ελάχιστη ποσότητα)
ΚΡΙΘΑΡΙ	100 (ελάχιστη ποσότητα)	100 (ελάχιστη ποσότητα)
ΒΡΩΜΗ	163	198
ΣΟΓΙΑ	281	302
ΣΙΤΑΡΙ	100 (ελάχιστη ποσότητα)	100 (ελάχιστη ποσότητα)
ΠΙΤΟΥΡΟ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	156	100 (ελάχιστη ποσότητα)
ΑΛΛΑ	50 (σταθερή ποσότητα)	50 (σταθερή ποσότητα)

Θεωρούμε την ακόλουθη παραγγελία ενός κτηνοτρόφου, για να είναι πιο εμφανής η μείωση του κόστους με την νέα συνταγή.

Πίνακας 20: Κόστη με βάση παραγγελία

Ζώο	Πλήθος ζώων	Διάρκεια σε μέρες	Κόστος προηγούμενης συνταγής μετά από αύξηση	Κόστος νέας συνταγής μετά από αύξηση
Νεογνό πρόβατο	150	9 x 30 = 270	40.500 x 0,3721098105832125 = 15.070,45	40.500 x 0,3669831336950126 = 14.862,82
Ενήλικο πρόβατο	1000	5 x 30 = 150	150.000 x 0,3721098105832125 = 55.816,47	150.000 x 0,3669831336950126 = 55.047,47
Σύνολο	1150	420	70.886,92	69.910,29

Πίνακας 21: Σύγκριση αποτελεσμάτων (κόστη)

	Αρχικό κόστος	Αυξημένο κόστος	
	Αρχική συνταγή	Αρχική συνταγή	Νέα συνταγή
Ημερήσια ποσότητα	0,758 kg	0,758 kg	0,741 kg
Κόστος ανά κιλό	0,47 ευρώ	0,49 ευρώ	0,50 ευρώ
Κόστος ανά ημερήσια ποσότητα	(0,3555662720314485)	(0,3721098105832125)	(0,3669831336950126)
Κόστος ανά παραγγελία		70.886,92	69.910,29

6.4.1 Αναλογία συστατικών στην νέα συνταγή

Με το αρχικό κόστος, τα συστατικά με την μεγαλύτερη θρεπτική αξία ανά κόστος (επικρατέστερα συστατικά) είναι η βρώμη, η σόγια και το πίτουρο, ενώ τα υπόλοιπα έχουν τις ελάχιστες δυνατές ποσότητες βάσει περιορισμών. Μετά την αύξηση στο κόστος του πίτουρου, αυτό ανήκει πλέον στα συστατικά που παίρνουν την ελάχιστη ποσότητα και αυξάνονται οι τιμές των άλλων δύο επικρατέστερων συστατικών.

6.4.2 Κόστος νέας συνταγής

Λαμβάνοντας υπόψη μια παραγγελία, όπως φαίνεται σε προηγούμενο πίνακα, παρατηρείται μείωση κατά 976.63 ευρώ. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί περίπου σε μείωση της τάξης του 1,4%.

Η μείωση θα ήταν μεγαλύτερη αν ίσχυαν οι παρακάτω συνθήκες:

- **Λιγότερα συστατικά και χαμηλότερη ελάχιστη ποσότητα.**

Αυτή την στιγμή έχει θεωρηθεί ως ελάχιστη περιεκτικότητα στους περιορισμούς περίπου το 10-15%. Αυτό δεν επιτρέπει τα συστατικά τα οποία δεν έχουν υψηλή αναλογία θρεπτικών συστατικών ως προς το κόστος τους να πέσουν σε χαμηλότερο ποσοστό, και αντίστοιχα δεν μπορούν να έχουν υψηλότερο ποσοστό όσα έχουν καλή αναλογία. Έτσι, έχουμε 7 συστατικά τα οποία συμμετέχουν συνολικά κατ'ελάχιστον με 70%. Αυτό σημαίνει πως το ποσοστό που μένει για να μεταβληθεί από τον αλγόριθμο, είναι 30%. Το οποίο δεν επιτρέπει να φανεί η διαφορά, ποσό μάλλον στην περίπτωση που το συστατικό το οποίο αυξάνεται σε κόστος συμμετέχει ήδη με χαμηλό ποσοστό. Τα ελάχιστα ποσοστά συστατικών στους περιορισμούς έχουν δοθεί με σκοπό την συμμετοχή όλων των υλικών στην συνταγή. Οπότε μειώνοντας αυτά τα ποσοστά θα μπορούσαμε να επιτύχουμε μεγαλύτερη μείωση κόστους.

- **Τυχαία συνταγή.**

Επίσης και οι δυο συνταγές έχουν προκύψει από τον ίδιο αλγόριθμο, όποτε είναι βέλτιστες με βάση τις τρέχουσες τιμές. Οπότε αν είχαμε σύγκριση με μια τυχαία συνταγή, η διαφορά στην μείωση του κόστους θα ήταν μεγαλύτερη.

- **Αλλαγές σε περισσότερα από ένα υλικά.**

Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουμε αλλαγή σε πολλά συστατικά αλλά σε ένα. Οπότε η αρχική συνταγή είναι ήδη προσαρμοσμένη με βάση τα υπόλοιπα συστατικά.

6.4.3 Σύγκριση προηγούμενης και νέας συνταγής

Κρατώντας ως δεδομένη την αύξηση των τιμών και συγκρίνοντας τις δύο συνταγές, η νέα συνταγή έχει μεγαλύτερο κόστος ανά κιλό. Αλλά το ημερήσιο κόστος της νέας συνταγής είναι μικρότερο. Ένας από τους λόγους είναι ότι πλέον με την νέα συνταγή χρειαζόμαστε μικρότερη ποσότητα ζωοτροφής για να καλύψουμε τις ημερήσιες ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά. Η νέα συνταγή εξασφαλίζει την μείωση του κόστους ανά ημερήσια ποσότητα, το οποίο είναι το ζητούμενο.

6.5 Επίδραση σε άλλες αλυσίδες

Η αύξηση του κόστους του τελικού προϊόντος στην εφοδιαστική αλυσίδα ζωοτροφών συνεπάγεται την αύξηση του κόστους σε εφοδιαστικές αλυσίδες που εξαρτώνται από αυτή. Σε μία ξαφνική άνοδο του κόστους συγκεκριμένων πρώτων υλών των ζωοτροφών, είναι σημαντικό η εφοδιαστική να είναι ευέλικτη, έτσι ώστε να μπορέσει να το διαχειριστεί κατάλληλα, με σκοπό την διατήρηση του κόστους ή έστω τον περιορισμό της αύξησης του, στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό.

Βιβλιογραφία

Βασίλης Κώστογλου, Επιχειρησιακή έρευνα, Τζίοια, 2019

Μιχάλης Βιδάλης, Εφοδιαστική Logistics, Κλειδάριθμος, 2017

Δημήτρης Δεσπότης, Γραμμικός Προγραμματισμός: Μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων, 2011

David A. Taylor, Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, Κλειδάριθμος, 2006

Ιωάννης Μαρινάκης, Αθανάσιος Μυγδαλάς, Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, Σοφία, 2008

Christopher Martin, Logistics και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, Κριτική, 2004

Michael H. Hugos, Essentials of Supply Chain Management, John Wiley & Sons, 2011

Blanchard David, Supply chain management: Best practices, John Wiley & Sons, 2007

Ayers B. James, Handbook of supply chain management, St. Lucy Press, 2001

Chopra S., Meindle P., Supply chain management: Strategy, Planning and operation, Prentice Hall, 2007

<https://www.ascm.org/ascm-insights/>

<https://fdc.nal.usda.gov/>

Παράρτημα Α: Αρχικά αποτελέσματα

6.6 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```
"state": "OPTIMAL",  
"variables": [  
    0.1136680944862,  
    0.07577872965747,  
    0.12340023897229,  
    0.21310400645993,  
    0.07577872965747,  
    0.1181681325126,  
    0.03788936482874  
],
```

6.7 Συνταγή

```
"recipe": {  
    "name": "suntirisis aigoprovaton",  
    "quantityPerDay": 0.758,  
    "costPerDay": 0.36,  
    "costPerKilo": 0.47  
},
```

6.8 Συστατικά

6.8.1 Καλαμπόκι

```
"ingredients": [  
  {  
    "name": "kalampoki",  
    "currentQuantity": 0.114,  
    "minQuantity": 0.114,  
    "maxQuantity": 0.682,  
    "currentPercentage": 15,  
    "minPercentage": 15,  
    "maxPercentage": 90  
  },
```

6.8.2 Κριθάρι

```
{  
  "name": "krithari",  
  "currentQuantity": 0.076,  
  "minQuantity": 0.076,  
  "maxQuantity": 0.682,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.8.3 Βρώμη

```
{  
  "name": "vromi",  
  "currentQuantity": 0.123,  
  "minQuantity": 0.076,  
  "maxQuantity": 0.682,  
  "currentPercentage": 16,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.8.4 Σόγια

```
{  
  "name": "sogia",  
  "currentQuantity": 0.213,  
  "minQuantity": 0.076,  
  "maxQuantity": 0.682,  
  "currentPercentage": 28,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.8.5 Σιτάρι

```
{  
  "name": "sitari",  
  "currentQuantity": 0.076,  
  "minQuantity": 0.076,  
  "maxQuantity": 0.682,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.8.6 Πίτουρο σιταριού

```
{  
  "name": "pitouro",  
  "currentQuantity": 0.118,  
  "minQuantity": 0.076,  
  "maxQuantity": 0.682,  
  "currentPercentage": 16,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.8.7 Άλλα

```
{  
  "name": "other",  
  "currentQuantity": 0.038,  
  "minQuantity": 0.038,  
  "maxQuantity": 0.038,  
  "currentPercentage": 5,
```

```
        "minPercentage": 5,  
        "maxPercentage": 5  
    },  
],
```

6.9 Θρεπτικά συστατικά

6.9.1 Λιπαρά

```
"nutrients": [  
  {  
    "name": "lipara",  
    "currentQuantity": 0.025,  
    "minQuantity": 0.025,  
    "maxQuantity": 0.200,  
    "currentPercentage": 3,  
    "minPercentage": 3,  
    "maxPercentage": 26  
  },  
]
```

6.9.2 Πρωτεΐνες

```
{  
  "name": "proteines",  
  "currentQuantity": 0.150,  
  "minQuantity": 0.150,  
  "maxQuantity": 0.155,  
  "currentPercentage": 20,  
  "minPercentage": 20,  
  "maxPercentage": 20  
},
```

6.9.3 Ινώδη

```
{  
  "name": "inodi",  
  "currentQuantity": 0.089,  
  "minQuantity": 0.051,  
  "maxQuantity": 0.089,  
  "currentPercentage": 12,  
  "minPercentage": 7,  
  "maxPercentage": 12  
}
```

```
    },
  ],
}
```

6.10 Κατηγορίες

6.10.1 Σιτηρά

```
"categories": [
  {
    "name": "sitira",
    "ingredientsOfCategory": [
      "kalampoki",
      "krithari",
      "vromi",
      "sitari"
    ],
    "quantity": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.389,
        "minLimit": 0.227,
        "maxLimit": 0.530
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 512.843,
        "minLimit": 300.000,
        "maxLimit": 700.000
      },
      "percent": {
        "currentSelection": 51,
        "minLimit": 30,
        "maxLimit": 70
      }
    },
    "cost": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.15,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 0.42,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "percent": {
        "currentSelection": 42,
```

```
        "minLimit": null,  
        "maxLimit": null  
    }  
}  
]  
}
```

Παράρτημα Β: Αποτελέσματα με μικρή αύξηση κόστους συστατικού

6.11 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```
"state": "OPTIMAL",  
  "variables": [  
    0.11109103605209,  
    0.0740606907014,  
    0.14670391946537,  
    0.2235995340416,  
    0.0740606907014,  
    0.0740606907014,  
    0.0370303453507  
  ],
```

6.12 Συνταγή

```
"recipe": {  
  "name": "suntirisis aigoprovaton",  
  "quantityPerDay": 0.741,  
  "costPerDay": 0.36,  
  "costPerKilo": 0.48  
},
```

6.13 Συστατικά

6.13.1 Καλαμπόκι

```
"ingredients": [  
  {  
    "name": "kalampoki",  
    "currentQuantity": 0.111,  
    "minQuantity": 0.111,  
    "maxQuantity": 0.667,  
    "currentPercentage": 15,  
    "minPercentage": 15,  
    "maxPercentage": 90  
  },
```

6.13.2 Κριθάρι

```
{  
  "name": "krithari",  
  "currentQuantity": 0.074,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.13.3 Βρώμη

```
{  
  "name": "vromi",  
  "currentQuantity": 0.147,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 20,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.13.4 Σόγια

```
{  
  "name": "sogia",  
  "currentQuantity": 0.224,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 30,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.13.5 Σιτάρι

```
{  
  "name": "sitari",  
  "currentQuantity": 0.074,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.13.6 Πίτουρο σιταριού

```
{  
  "name": "pitouro",  
  "currentQuantity": 0.074,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.13.7 Άλλα

```
{  
  "name": "other",  
  "currentQuantity": 0.037,  
  "minQuantity": 0.037,  
  "maxQuantity": 0.037,  
  "currentPercentage": 5,
```

```
        "minPercentage": 5,  
        "maxPercentage": 5  
    },  
],
```

6.14 Θρεπτικά συστατικά

6.14.1 Λιπαρά

```
"nutrients": [  
  {  
    "name": "lipara",  
    "currentQuantity": 0.025,  
    "minQuantity": 0.025,  
    "maxQuantity": 0.200,  
    "currentPercentage": 3,  
    "minPercentage": 3,  
    "maxPercentage": 27  
  },  
]
```

6.14.2 Πρωτεΐνες

```
{  
  "name": "proteines",  
  "currentQuantity": 0.150,  
  "minQuantity": 0.150,  
  "maxQuantity": 0.155,  
  "currentPercentage": 20,  
  "minPercentage": 20,  
  "maxPercentage": 21  
},
```

6.14.3 Ινώδη

```
{  
  "name": "inodi",  
  "currentQuantity": 0.072,  
  "minQuantity": 0.051,  
  "maxQuantity": 0.089,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 7,
```

```

    "maxPercentage": 12
  },
],

```

6.15 Κατηγορίες

6.15.1 Σιτηρά

```

"categories": [
  {
    "name": "sitira",
    "ingredientsOfCategory": [
      "kalampoki",
      "krithari",
      "vromi",
      "sitari"
    ],
    "quantity": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.406,
        "minLimit": 0.222,
        "maxLimit": 0.518
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 548.086,
        "minLimit": 300.000,
        "maxLimit": 700.000
      },
      "percent": {
        "currentSelection": 55,
        "minLimit": 30,
        "maxLimit": 70
      }
    },
    "cost": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.15,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 0.43,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "percent": {

```

```
        "currentSelection": 43,  
        "minLimit": null,  
        "maxLimit": null  
    }  
}  
]  
}
```

Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα με μεγάλη αύξηση κόστους συστατικού

6.16 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

```
"state": "OPTIMAL",  
"variables": [  
    0.11109103605209,  
    0.0740606907014,  
    0.14670391946537,  
    0.2235995340416,  
    0.0740606907014,  
    0.0740606907014,  
    0.0370303453507  
],
```

6.17 Συνταγή

```
"recipe": {  
    "name": "suntagi suntirisis aigoprovaton",  
    "quantityPerDay": 0.741,  
    "costPerDay": 0.37,  
    "costPerKilo": 0.50  
},
```

6.18 Συστατικά

6.18.1 Καλαμπόκι

```
"ingredients": [  
  {  
    "name": "kalampoki",  
    "currentQuantity": 0.111,  
    "minQuantity": 0.111,  
    "maxQuantity": 0.667,  
    "currentPercentage": 15,  
    "minPercentage": 15,  
    "maxPercentage": 90  
  },  
]
```

6.18.2 Κριθάρι

```
{  
  "name": "krithari",  
  "currentQuantity": 0.074,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 10,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.18.3 Βρώμη

```
{  
  "name": "vromi",  
  "currentQuantity": 0.147,  
  "minQuantity": 0.074,  
  "maxQuantity": 0.667,  
  "currentPercentage": 20,  
  "minPercentage": 10,  
  "maxPercentage": 90  
},
```

6.18.4 Σόγια

```
{
  "name": "sogia",
  "currentQuantity": 0.224,
  "minQuantity": 0.074,
  "maxQuantity": 0.667,
  "currentPercentage": 30,
  "minPercentage": 10,
  "maxPercentage": 90
},
```

6.18.5 Σιτάρι

```
{
  "name": "sitari",
  "currentQuantity": 0.074,
  "minQuantity": 0.074,
  "maxQuantity": 0.667,
  "currentPercentage": 10,
  "minPercentage": 10,
  "maxPercentage": 90
},
```

6.18.6 Πίτουρο σιταριού

```
{
  "name": "pitouro",
  "currentQuantity": 0.074,
  "minQuantity": 0.074,
  "maxQuantity": 0.667,
  "currentPercentage": 10,
  "minPercentage": 10,
  "maxPercentage": 90
},
```

6.18.7 Άλλα

```
{
  "name": "other",
  "currentQuantity": 0.037,
  "minQuantity": 0.037,
  "maxQuantity": 0.037,
  "currentPercentage": 5,
  "minPercentage": 5,
  "maxPercentage": 5
}
```

],

6.19 Θρεπτικά συστατικά

6.19.1 Λιπαρά

```
"nutrients": [
  {
    "name": "lipara",
    "currentQuantity": 0.025,
    "minQuantity": 0.025,
    "maxQuantity": 0.200,
    "currentPercentage": 3,
    "minPercentage": 3,
    "maxPercentage": 27
  },
```

6.19.2 Πρωτεΐνες

```
{
  "name": "proteines",
  "currentQuantity": 0.150,
  "minQuantity": 0.150,
  "maxQuantity": 0.155,
  "currentPercentage": 20,
  "minPercentage": 20,
  "maxPercentage": 21
},
```

6.19.3 Ινώδη

```
{
  "name": "inodi",
  "currentQuantity": 0.072,
  "minQuantity": 0.051,
  "maxQuantity": 0.089,
  "currentPercentage": 10,
  "minPercentage": 7,
  "maxPercentage": 12
}
],
```

6.20 Κατηγορίες

6.20.1 Σιτηρά

```
"categories": [
  {
    "name": "sitira",
    "ingredientsOfCategory": [
      "kalampoki",
      "krithari",
      "vromi",
      "sitari"
    ],
    "quantity": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.406,
        "minLimit": 0.222,
        "maxLimit": 0.518
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 548.086,
        "minLimit": 300.000,
        "maxLimit": 700.000
      },
      "percent": {
        "currentSelection": 55,
        "minLimit": 30,
        "maxLimit": 70
      }
    },
    "cost": {
      "perDay": {
        "currentSelection": 0.15,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "perKilo": {
        "currentSelection": 0.43,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      },
      "percent": {
        "currentSelection": 43,
        "minLimit": null,
        "maxLimit": null
      }
    }
  }
]
```

}
}
}
]
}