

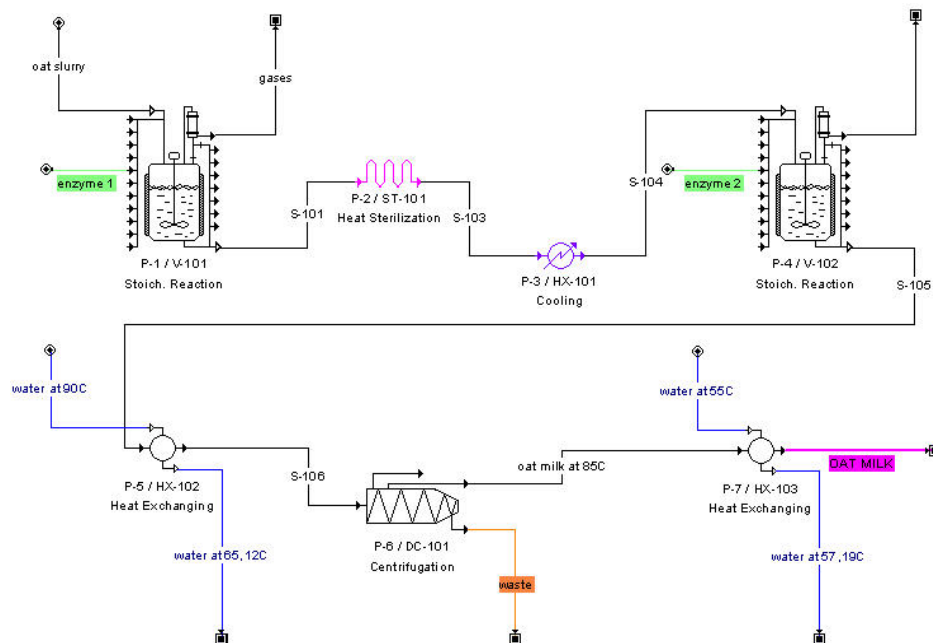


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΑΜΥΛΟΥ



Αναστασία Βαρότση

Εξεταστική Επιτροπή: Βασίλειος Γκέκας (Επιβλέπων)
Νικόλαος Καλογεράκης
Διονύσιος Μαντζαβίνος

Χανιά, Φεβρουάριος 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ευχαριστώ ιδιαίτερα, καθώς πολύτιμη ήταν η συνεισφορά, οι συμβουλές και παραινέσεις, τον κ.κ. Καθηγητή Βασίλειο Γκέκα (επιβλέπων), Χημικό Μηχανικό, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Φαινομένων Μεταφοράς και Περιβαλλοντικής Θερμοδυναμικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και την Καλλιόπη Π. Μπαλτά, όπου πάντα με ιδιαίτερη υπομονή με καθοδηγούσαν βοηθώντας με ταυτόχρονα να υπερβώ τις δυσκολίες που ανέκυπταν.

Για τη συγκέντρωση των απαραίτητων πραγματικών δεδομένων στα οποία στηρίχθηκε η επαλήθευση του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε και τη συνεργασία του για την ολοκλήρωση της εργασίας, ευχαριστώ επίσης, τον κ. Richard Öste, Καθηγητή Πανεπιστημίου της πόλης Lund της Σουηδίας και διευθυντή της βιομηχανίας που εξετάστηκε, CEBA Foods.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη μελέτη αυτή έγινε μια πρώτη προσέγγιση και περιγραφή όλων των διεργασιών και των σταδίων επεξεργασίας, μιας βιομηχανίας παραγωγής φυτικού γάλακτος, από πρώτη ύλη τη βρώμη, που εδρεύει στην πόλη Lund της Σουηδίας.

Σκοπός της συγκεκριμένης βιομηχανίας είναι η εκμετάλλευση των πολύτιμων στοιχείων που εμπεριέχονται στους σπόρους της βρώμης για την παραγωγή γάλακτος ικανού να αντικαταστήσει ισοξία το γάλα ζωικής προέλευσης σε θρεπτικά στοιχεία, για την κατανάλωση του από άτομα που πάσχουν από δυσανεξία στη λακτόζη, ή απλά να συμπληρώσει τις ημερήσιες διατροφικές ανάγκες του ανθρώπινου οργανισμού σε υδατάνθρακες, φυτικές ίνες και βιταμίνες. Η ιδέα της παραγωγής γάλακτος από βρώμη στηρίζεται στην υδρόλυση του αμύλου σε μαλτόζη (starch hydrolysis).

Για τη μονάδα, που λειτουργεί ήδη σε πιλοτική ημιβιομηχανική κλίμακα όλο το εικοσιτετράωρο για 330 μέρες το χρόνο, έγινε η μοντελοποίηση της επέκτασης που μελετά να πραγματοποιήσει μελλοντικά, για αύξηση της παραγωγής από $1\text{m}^3/\text{h}$ σε $10\text{m}^3/\text{h}$ και 'απόβλητα' σε ποσοστό 6,6% περίπου. Επιπλέον, μελετήθηκε η συμπεριφορά της με βάση τις προδιαγραφές του διεθνούς Πρότυπου Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14001 σχετικά με τη διαχείριση του 'αποβλήτου' της. Η λύση που προτείνεται περιλαμβάνει τη διεργασία της υπερδιήθησης σε διπλή επανάληψη και την αφύγρανση με διεργασία ξήρανσης, για τη διάθεση του στον τομέα της κτηνοτροφίας ως ζωοτροφή.

Η προσομοίωση του τμήματος παραγωγής αλλά και της προτεινόμενης λύσης διαχείρισης του 'αποβλήτου' πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος SuperPro Designer. Για την επίτευξη της, ήταν απαραίτητη η χρήση απλουστευμένων παραδοχών, εξαιτίας της πολυπλοκότητας της δράσης του πολυενζυμικού συστήματος της υδρόλυσης του αμύλου που αποτελεί την καρδιά της παραγωγικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προέκυψαν ιδιαίτερα ικανοποιητικά σε ότι αφορά στη σύσταση του προϊόντος που προκύπτει από το μοντέλο και λογικά σε σχέση με τη λύση που προτείνεται για τη διαχείριση του 'αποβλήτου' της βιομηχανίας.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is at designing the scale-up of a unit producing non-dairy milk. Non-dairy milk can answer for some inconveniences which are caused by usual milk such as lactose intolerance.

The idea of developing non-dairy products from cereals such as oat, has been developed in Lund of Sweden. A unit is already functioning for the production of oat milk and other non-dairy products. In order to cover the ever increasing needs of the market the unit plants to increase the capacity from 1 to 10m³/h. In this attempt we have undertaken the design of the new unit. An other significant aim was to study the environmental performance of this unit in the frame of ISO 14001 approach.

In order to achieve those objectives we have simulated the process, including the unit operations both for the main production line and the waste treatment line. Because an enzymatic hydrolysis of starch is in the heart of the process it was necessary to make some simplifying assumptions regarding stoichiometry of the involved reactions. The study of the complex multienzyme system for the hydrolysis of starch to maltoze will be followed in a PhD study undertaken in the laboratory of Transport Phenomena and Environmental Thermodynamics.

In this study, the simulation of the unit operations, unit procedures in general, has been performed using the software called SuperPro Designer and some reasonable assumptions, as far as the enzymatic steps are concerned, were sufficient for a first order of analysis.

SuperPro Designer is software for the purpose of any process design, developed by Intelligen Inc and it has been applied in many fields of chemical, food and environmental engineering. It contains a database of thermodynamic properties, kinetic data for enzyme catalyzed reactions, physical properties, BOD, COD, SS waste properties and also data on toxic and hazardous substances. It performs the mass and energy balances and on receiving input data of the feed it calculates quantities and compositions of the effluent, product and waste streams.

Following the procedure of the software we have introduced known and given data by the cooperating company and we have obtained vessel volume data, flow rates and composition of the intermediate and the final streams. On applying the SuperPro we have obtained a satisfactory composition of the final product.

For the studied capacity of the unit, our proposal for the utilization of the 'waste' effluent which contains valuable components such as fibers, beta-glucans, proteins, is to dehydrate it by means of membrane Ultrafiltration and subsequent drying.

A challenge for a future work would be to try to recover the beta-glucans after a separation of the soluble components from the fiber.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Σχέση Οργανισμού Περιβάλλοντος - Διεθνές Πρότυπο ISO 14001	6
1.2 Ο Αγροβιομηχανικός Τομέας κατά ISO 14001 - Περιβαλλοντικές Εισροές και Εκροές.....	6
1.2.1 Εισροές.....	7
1.2.2 Οργάνωση.....	8
1.2.3 Εκροές.....	8
1.3 Διεργασίες Εκροών	8
1.4 Στρατηγικές	9
 2. ΑΜΥΛΟ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΥΣΗ	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Χημεία Αμύλου	11
2.3 Αμυλόζη	12
2.4 Αμυλοπηκτίνη	14
2.5 Κρυσταλλική Δομή Αμύλου	15
2.6 Ζελατινοποίηση Αμύλου	17
2.7 Αερόβια Αποικοδόμηση Αμύλου	17
2.8 Υδρόλυση Αμύλου	18
2.8.1 Γενικά	18
2.8.2 Ένζυμα.....	18
2.8.3 Αντιδράσεις	19
 3. Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΑΠΟ ΒΡΩΜΗ.....	21
3.1 Γενικά	21
3.2 Πρώτη ύλη - Βρώμη (Avena Sativa).....	21
3.3 Στάδια Επεξεργασίας	22
3.3.1 Γενικά	22
3.3.2 Περιγραφή των Σταδίων Επεξεργασίας.....	22
 4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ.....	27
4.1 Γενικά	27
4.2 Η Μέθοδος της Υπερδιήθησης	27
4.2.1 Φάσεις - Συστατικά	27
4.2.2 Κρίσιμη Ιδιότητα.....	28

4.2.3 Μηχανισμοί (Φυσική της Διεργασίας).....	28
4.3 Ξήρανση των Στερεών.....	29
4.3.1 Γενικά	29
4.3.2 Ξηραντήρας με Ψεκάσμο (Spray Dryers).....	30
5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SUPERPRO DESIGNER.....	32
5.1 Λογισμικό SuperPro Designer.....	32
5.2 Καθορισμός Συστατικών	33
5.3 Ειδικά Συστατικά.....	34
5.4 Ρεύματα Συστατικών	34
5.4.1 Καθορισμός ενός Ρεύματος Εισόδου Συνεχούς Ροής Συστατικών	34
5.5 Μονάδες Διεργασιών	35
5.5.1 Απεικόνιση στο Διάγραμμα Ροής	35
5.5.2 Είδη Διεργασιών που Μοντελοποιούνται από το SuperPro Designer ..	36
6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ SUPERPRO DESIGNER	40
6.1 Προσομοίωση της Επεξεργασίας των Σπόρων Βρώμης	40
6.2 Προσομοίωση του Βασικού Τμήματος Παραγωγής Γάλακτος Βρώμης (Oat – Milk).....	43
6.3 Προσομοίωση της Διαχείρισης του Αποβλήτου.....	52
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
7.1 Συμπεράσματα της Μοντελοποίησης της Παραγωγικής Διαδικασίας και Διαχείρισης του Αποβλήτου.....	57
7.2 Προτάσεις.....	57
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	61
A. Τυπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης της Επεξεργασίας των Σπόρων Βρώμης.....	61
B. Τυπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης του Βασικού Τμήματος Παραγωγής.....	64
Γ. Τυπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης της Διαχείρισης του Αποβλήτου.....	69

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

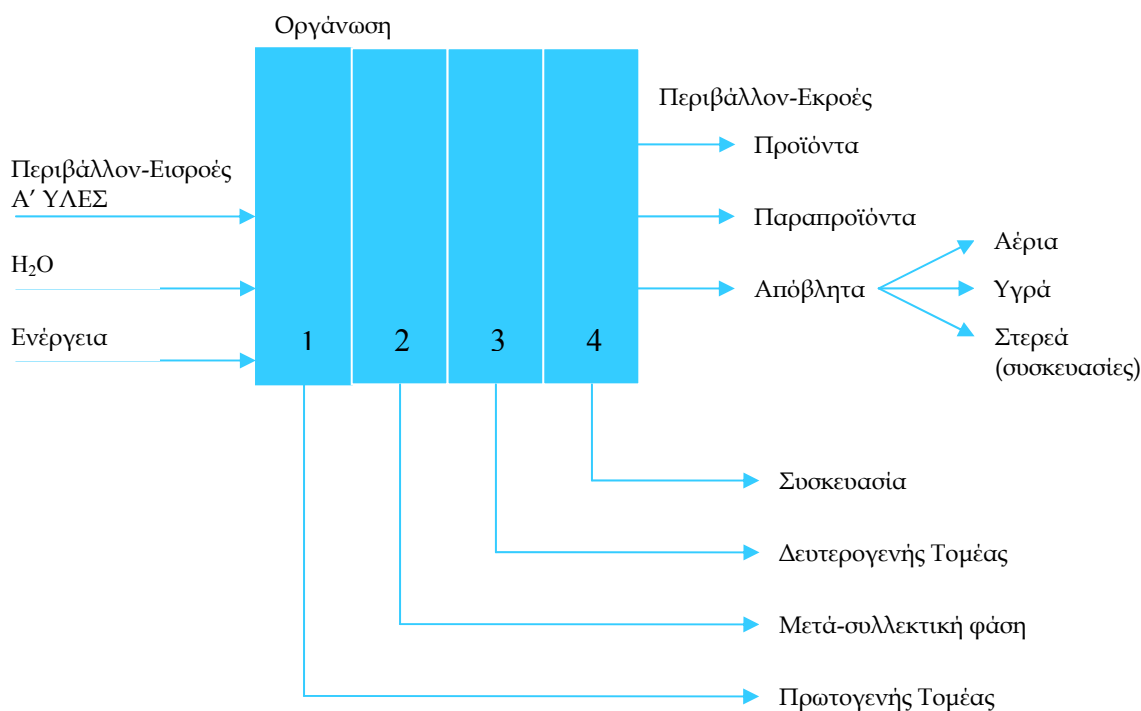
1.1 Σχέση Οργανισμού Περιβάλλοντος - Διεθνές Πρότυπο ISO 14001

Το ISO 14001 είναι ένα από τα πλέον δημοφιλή και ευρέως αναγνωρισμένα πρότυπα για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών ευθυνών των ιδιωτικών και δημόσιων επιχειρήσεων. Δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά ως πλήρες διεθνές πρότυπο το 1996, αντικαθιστώντας το προηγούμενο BS 7750. Το ISO 14001 πρότυπο, περιέχει τις προδιαγραφές, τις απαιτήσεις και την καθοδήγηση για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός περιβαλλοντικού διοικητικού συστήματος [21]. Σύμφωνα με αυτό μια επιτυχημένη βιομηχανία πρέπει να είναι σε θέση:

- Να εξαλείφει ή να ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τις δραστηριότητες της.
- Να επιδεικνύει σε όλους την ικανότητα διαχείρισης τέτοιων θεμάτων και τη δέσμευση της σε μια περιβαλλοντική πολιτική.

1.2 Ο Αγροβιομηχανικός Τομέας κατά ISO 14001 - Περιβαλλοντικές Εισροές και Εκροές

Σύμφωνα με την Εικόνα 1.2 θεωρώντας πιο ειδικά στη θέση της οργάνωσης τον αγροβιομηχανικό τομέα προκύπτουν ποικίλα συμπεράσματα:



Εικόνα 1.2: Δομή της οργάνωσης (Πηγή: [1])

1.2.1 Εισροές

Στις εισροές περιλαμβάνονται:

- Πρώτες Ύλες
- H_2O
- Ενέργεια

Αναλυτικότερα:

1. Οι κυριότερες πρώτες ύλες είναι ο αέρας, οι φυτικές και ζωικές ύλες. Στις παραπάνω, είναι πιθανή η παρουσία ρυπαντικών ουσιών που έχουν τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας:

Ρύπος → Φυτά → Ζώα → Άνθρωπος

Πρόκειται για ρύπους που υπάρχουν στη βιομηχανία τροφίμων και γενικά στην αγροβιομηχανική δραστηριότητα.

2. Το νερό (H_2O) αποτελεί βασική ύλη σχεδόν κάθε παραγωγικής διαδικασίας και χρησιμοποιείται με διάφορους τρόπους:

- Ως βασικό αντιδραστήριο σε βιολογικές και χημικές αντιδράσεις όπως αντιδράσεις υδρόλυσης, στην παραγωγή υδρογόνου οξέων κ.α.
- Ως διαλυτικό μέσο στερεών, υγρών και αερίων σωμάτων
- Ως ψυκτικό μέσο, ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και γενικότερα ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας

Το χρησιμοποιούμενο νερό (H_2O) περιέχει διάφορες προσμίξεις και μπορεί να προέρχεται από άντληση ή ανακύκλωση. Παρόλα αυτά με την κατάλληλη επεξεργασία και καθαρισμό μπορεί να επιτευχθεί καταλληλότητα για αρδευτικούς σκοπούς.

Το φυσικό νερό δεν είναι κατάλληλο για τροφοδοσία συστημάτων ατμών και κυκλωμάτων ψύξης, γιατί τα άλατα που περιέχει αποτίθενται στα τοιχώματα των σωληνώσεων και προκαλούν διάβρωση και αποφράξεις των αγωγών [4].

3. Η ενέργεια αποτελεί μια από τις σημαντικές παραμέτρους που διαμορφώνουν το κόστος της παραγωγής των προϊόντων. Τα ισοζύγια ενέργειας όπως και τα ισοζύγια μάζας αποτελούν ένα σπουδαίο εργαλείο τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού μιας διεργασίας όσο και στο επίπεδο ελέγχου της σωστής λειτουργίας μιας εγκατεστημένης διεργασίας. Γενικά, είναι απαραίτητη η διερεύνηση των δυνατοτήτων ανακύκλωσης της ενέργειας που αναμένεται να διαφεύγει στο περιβάλλον μέσω των αποβλήτων και των προϊόντων, ιδιαίτερα σε μια εποχή όπου οι συμβατικές πηγές ενέργειας έχουν ημερομηνία λήξης και αρχίζουν σιγά να παραχωρούν τη θέση τους σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.).

1.2.2 Οργάνωση

Οι εισροές και οι εκροές μπορούν να γίνουν συγκεκριμένες αν στη θέση της οργάνωσης τοποθετηθεί κάποιο ελαιουργείο, πυρηνοελαιουργίο ή μια μονάδα παραγωγής γάλακτος όπως στη συγκεκριμένη εργασία. Στη συνέχεια προσδιορίζονται όχι μόνο ποσοτικά αλλά και ποιοτικά. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των εισροών και εκροών πραγματοποιείται με τη χρήση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας με απώτερο πάντα στόχο να γίνονται κατά το δυνατόν φιλικές προς το περιβάλλον οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

1.2.3 Εκροές

Από τις εκροές εξάγονται:

- Προϊόντα: Τα προϊόντα είναι τα επεξεργασμένα υλικά, η ποιότητα των οποίων καθορίζεται από το βαθμό που ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί για αυτά (σύνσταση, φυσικοχημικές ιδιότητες).
- Παραπροϊόντα: Τα παραπροϊόντα είναι τα υλικά που είναι δευτερεύοντα προϊόντα της ίδιας ή άλλης βιομηχανίας.
- Απόβλητα: Τα απόβλητα είναι στερεές, υγρές και αέριες ουσίες που αποβάλλονται στο περιβάλλον. Με τη χρησιμοποίηση νέων τεχνολογιών είναι δυνατή σε πολλές περιπτώσεις η ανακύκλωση (recycling) και επαναχρησιμοποίηση τους στη παραγωγική διαδικασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, εκτός από το οικονομικό όφελος και την προστασία του περιβάλλοντος.

Υπολογίζεται ότι το 1/3 των στερεών αποβλήτων προέρχεται από τις συσκευασίες των τροφίμων, οι οποίες μετά την κατανάλωση των υλικών που περιέχουν, παραμένουν και ρυπαίνουν το περιβάλλον [4].

1.3 Διεργασίες Εκροών

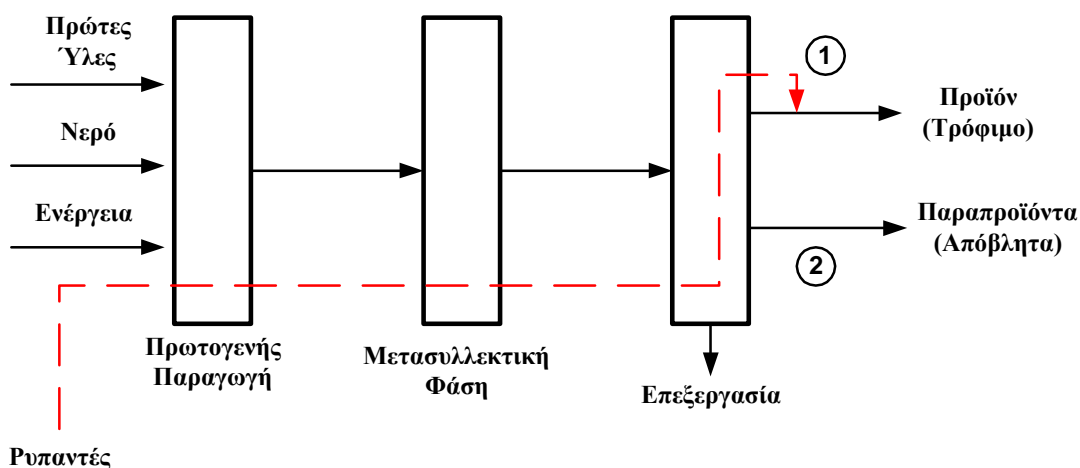
Μια σημαντική συνιστώσα του οργανισμού (με βάση τις προδιαγραφές ISO 14000) που είναι η δραστηριότητα της γεωργίας και των τροφίμων, είναι η κατά την επεξεργασία τους, σε βιοτεχνική είτε σε ημιβιομηχανική ή σε βιομηχανική κλίμακα, συμπαραγωγή παραπροϊόντων ή αποβλήτων, τα οποία εμπεριέχουν ουσίες που μπορούν να αποβούν πολύτιμες.

Μέθοδοι που εφαρμόζονται γενικώς στην επεξεργασία αποβλήτων δύνανται να εφαρμόζονται και στην περίπτωση των αποβλήτων τροφίμων. Μια διαφορά είναι ότι πρέπει η επιλογή των συνθηκών στις μεθόδους να πληρεί ορισμένες απαιτήσεις στις περιπτώσεις που αποβλέπουμε στην καταπολέμηση των αποβλήτων ή στην ανάκτηση χρήσιμων συστατικών, τα οποία μετά από παραπέρα επεξεργασία μπορούν να δώσουν επίσης προϊόν, τρόφιμο,

φαρμακευτικό ή καλλυντικό σκεύασμα. Συγκεκριμένα τέτοιες διεργασίες μπορεί να είναι:

- Φυσικές - Φυτικοχημικές Διεργασίες (Διαχωρισμοί)
- Βιολογική Επεξεργασία (Βιολογικός καθαρισμός)
 1. Αερόβια (Καθαρισμός ύδατος)
 2. Αναερόβια (Αγροβιομηχανικά απόβλητα + Ενέργεια)
- Τριτογενής Καθαρισμός (Κροκίδωση, Ενεργός άνθρακας)
- Χημικές αντιδράσεις (κυρίως Ενζυματικές)

Στις διεργασίες εκροών αναφέρεται επίσης η περιβαλλοντική συνιστώσα (1) της Εικόνας 1.3, που είναι η πιθανή είσοδος ρυπαντών στον οργανισμό, οι οποίοι από το συγκεκριμένο κομμάτι της τροφικής αλυσίδας επηρεάζουν την ποιότητα του προϊόντος και ως εκ τούτου και την ανθρώπινη υγεία.



Εικόνα 1.3: Τρόφιμα και περιβάλλον κατά ISO 14000 (Πηγή: [1])

Ακόμα, σύγχρονη τάση αποτελεί το γεγονός της ελάττωσης όσο το δυνατόν των υλικών συσκευασίας, με απώτερο στόχο τόσο την ελάττωση του κόστους συσκευασίας στη βιομηχανία αλλά και της μείωσης του περιβαλλοντικού κόστους συλλογής, μεταφοράς και επεξεργασίας των υλικών αυτών, όταν αυτά λαμβάνονται ως στερεά απόβλητα. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η χρήση, όχι μόνο ανακυκλώσιμων συσκευασιών, αλλά και βιο-διασπάσιμων ή βιο-διαλυτών συσκευασιών [1].

Τέλος, στα προβλήματα των συσκευασιών περιλαμβάνεται ακόμα μία περιβαλλοντική πτυχή που αναφέρεται στη διεπιφάνεια συσκευασίας/τροφίμου και αφορά τη μετανάστευση τυχόν επικίνδυνων συστατικών που εμπεριέχονται στα υλικά της συσκευασίας από τη συσκευασία στο τρόφιμο.

1.4 Στρατηγικές

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέρχονται από τις εκροές των δραστηριοτήτων της γεωργίας και των τροφίμων σε ότι αφορά στο θέμα της

ρύπανσης, η Ευρωπαϊκή ένωση, έχει προβεί στην εφαρμογή των παρακάτω στρατηγικών*:

- Μείωση στην πηγή (Reduction at source)
- Αντιμετώπιση των αποβλήτων στην έξοδο της κάθε δραστηριότητας (Abatement or end of pipe)
- Μηδενική ρύπανση (Zero discharge)

* [11]

2. ΑΜΥΛΟ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΥΣΗ

2.1 Γενικά

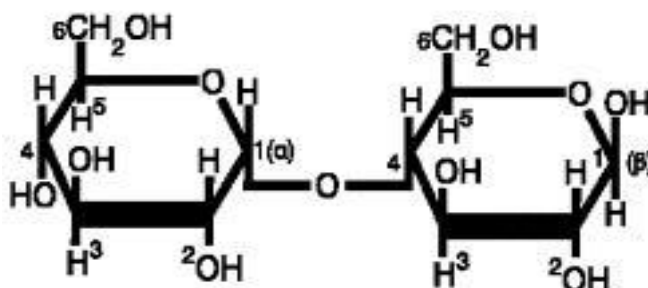
Το άμυλο βρίσκεται στους δημητριακούς καρπούς, στις ρίζες των φυτών και στα όσπρια. Ποιο συγκεκριμένα, αμυλούχες τροφές είναι το ψωμί, οι πατάτες, τα ζυμαρικά, το κουάκερ, το ρύζι, το καλαμπόκι, τα κάστανα, ο τραχανάς και οι χυλοπίτες. Ακόμα, μερικά λαχανικά όπως τα παντζάρια (οι βολβοί), τα καρότα, το γουλι, είναι ελαφρώς αμυλούχες τροφές. Σήμερα ένα ευρύ πεδίο της βιοτεχνολογίας ασχολείται με την αύξηση του αμύλου στις πατάτες ή στα δημητριακά. Είναι επίσης βιομηχανικό προϊόν και πρώτη ύλη παρασκευής γλυκόζης και αιθανόλης [19].

Το άμυλο πρέπει να καλύπτει το 40% των θερμίδων της ημερήσιας διαίτας μας, αν και είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι δεν μπορεί να απορροφηθεί αυτούσιο από το έντερο. Για να επιτευχθεί η χρησιμοποίησή του από τον οργανισμό ως πηγή ενέργειας, πρέπει να διασπαστεί προηγουμένως σε σάκχαρα τα οποία είναι ευκόλως απορροφήσιμα.

Τέλος, το άμυλο χρησιμοποιείται ως η κύρια ενεργειακή αποθηκευτική πηγή των περισσότερων φυτικών οργανισμών [12]. Για το σχηματισμό του αμύλου ακολουθείται ένα σύνθετο βιολογικό μονοπάτι που περιλαμβάνει αντιδράσεις φωτοσύνθεσης, μεγάλο μέρος του οποίου παραμένει μέχρι και σήμερα άγνωστο.

2.2 Χημεία Αμύλου

Το άμυλο είναι ένα βιοπολυμερές, ανήκει στην κατηγορία των υδατανθράκων και είναι ένας πολυσακχαρίτης. Η δομική του μονάδα είναι η μαλτόζη ή αλλιώς η α-D-γλυκοπυρανόζυλο-1-4, D-γλυκοπυρανόζη. Η μαλτόζη αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με α-(1→4) γλυκοζιτικό δεσμό (Εικόνα 2.2). Το άμυλο είναι μίγμα δύο πολυσακχαριτών: της αμυλόζης 20±5% και της αμυλοπηκτίνης 80±5% [17].



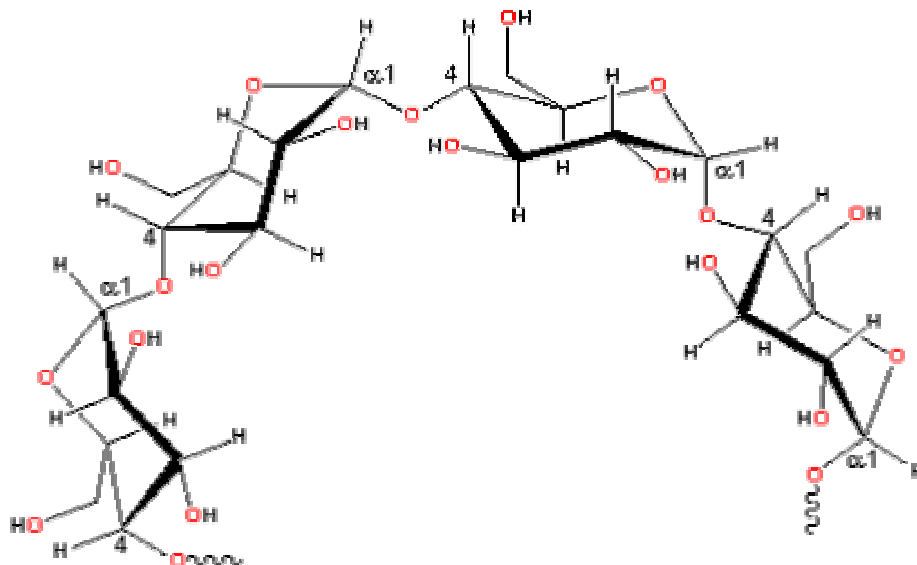
Εικόνα 2.2: Μόριο μαλτόζης (Πηγή: [20])

Το μοριακό βάρος του αμύλου είναι της τάξεως των δεκάδων χιλιάδων και ποικίλει στα διάφορα παρασκευάσματα. Στη φυσική του κατάσταση το άμυλο απαντάται με μορφή χαρακτηριστικών κοκκιδίων (*granule storage bodies*) μεγέθους 2-100μm, τα οποία συνήθως, εναποθέτονται στα κυτταροπλασματικά οργανίδια, τα πλαστίδια. Τα μόρια κοκκιδίων (ή *granule*) -σε αντίθεση με τη γλυκόζη- όντας αδιάλυτα δεν αυξάνουν την οσμωτική πίεση στο εσωτερικό του κυττάρου [1]. Η αποσύνθεση/υδρόλυση του αμύλου λαμβάνει χώρα μέσα από μια σύνθετη διαδικασία ενζυμικής επίθεσης, από την οποία απελευθερώνεται ενέργεια.

Το άμυλο με τη μορφή κοκκιδίων είναι αδιάλυτο σε κρύο νερό, ενώ όταν με τη θέρμανση παρέχεται ενέργεια για τη διάσπαση των δεσμών μεταξύ των κρυσταλλικών μικκυλίων, οι κόκκοι αμύλου αρχίζουν να ενυδατώνονται και να εξογκώνονται. Κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης, η αμυλόζη παρουσιάζεται να διαλυτοποιείται με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους του διαλύματος και την απώλεια της διπλοθλαστικότητας των κόκκων [15]. Ο βαθμός της ενυδάτωσης του αμύλου εξαρτάται από την ενεργό οξύτητα (pH), τη θερμοκρασία, τη διάτμηση και τη συγκέντρωση του διαλύματος.

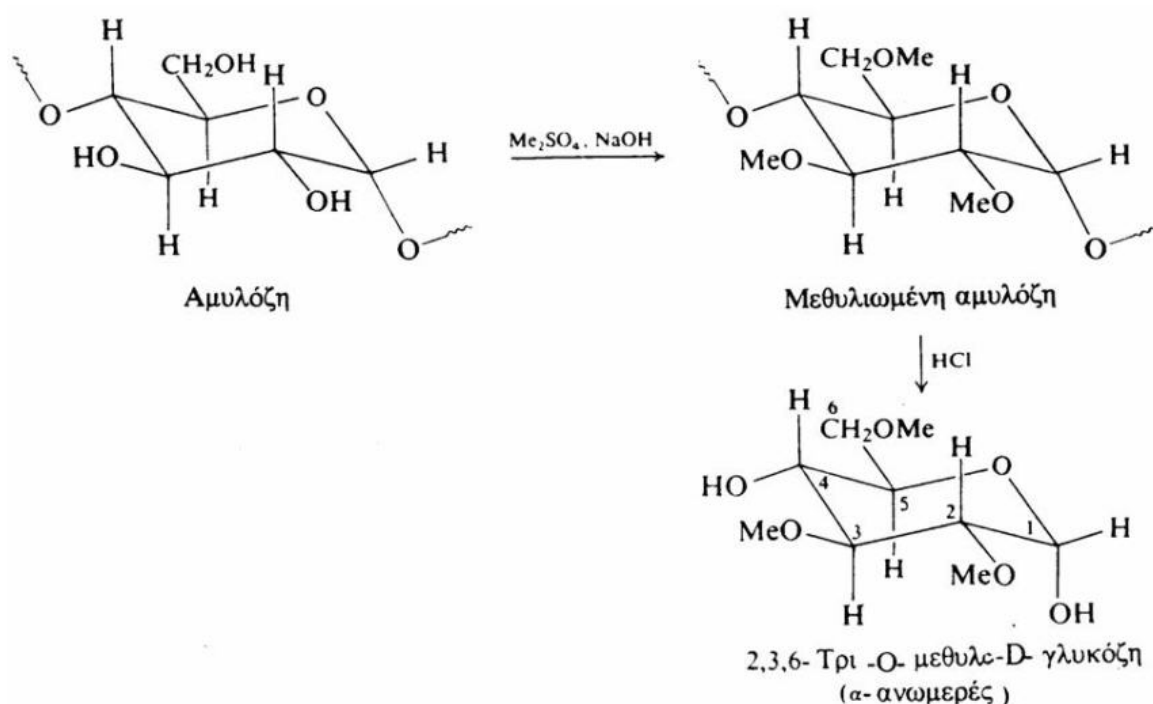
2.3 Αμυλόζη

Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές που απαντά σε αναλογία $20 \pm 5\%$ στο εσωτερικό των αμυλοκόκκων (Εικόνα 2.3). Έχει γραμμική ελικοειδή δομή με α -(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Σε μικρό βαθμό υπάρχουν διακλαδώσεις που σχηματίζονται με α -(1→6) γλυκοζιτικούς δεσμούς [17]. Η πολυμερική αλυσίδα της αμυλόζης εκτιμάται σύμφωνα με τη χημική μέθοδο, μέχρι και τα 300 μόρια γλυκόζης (αντίθετα με εφαρμογή φυσικών μεθόδων όπως οσμωμετρία, ιξωδομετρία, βρίσκονται τιμές κατά δύο ως τρεις τάξεις μεγαλύτερες) [1].



Εικόνα 2.3: Αντιπροσωπευτικό τμήμα της δομής της αμυλόζης (Πηγή: [21])

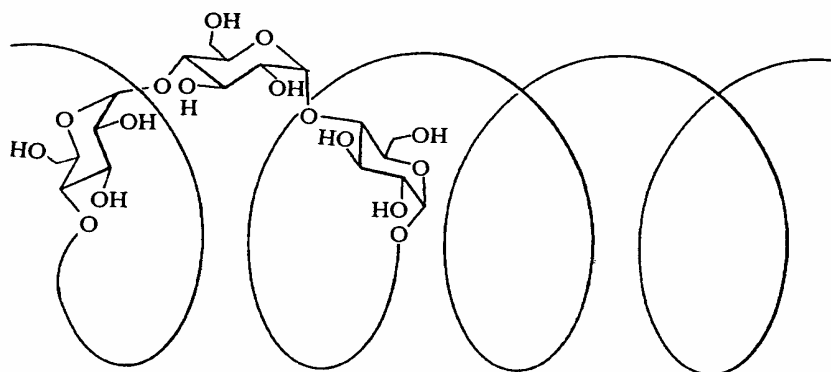
Κατά την υδρόλυση της αμυλόζης ο μοναδικός δισακχαρίτης που παράγεται είναι η (+)-μαλτόζη, ενώ ο μοναδικός μονοσακχαρίτης είναι η D-(+)-γλυκόζη. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται από το ότι απαρτίζεται από πολλά μόρια D-(+)-γλυκόζης που ενώνονται με α-(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Για την εύρεση του αριθμού των α-D-(+)-γλυκοζιτικών ομάδων στο μόριο της αμυλόζης καθώς και για τον προσδιορισμό των δομών αυτών των μεγαλομορίων, έχει γίνει χρήση διαφόρων μεθόδων: χημικές και ενζυμικές μέθοδοι, αναλύσεις ακτινών Χ, ηλεκτρονική μικροσκοπία, μετρήσεις οσμωτικής πίεσης και ιξώδους, συμπεριφορά κάτω από την επίδραση μίας υπερφυγοκέντρου. Με συνδυασμό μεθυλίωσης και υδρόλυσης στο μόριο της αμυλόζης λαμβάνουμε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το μοριακό μέγεθος και το σχήμα. Συγκεκριμένα στην αμυλόζη κάθε μονάδα γλυκόζης, συνδέεται με δύο ομάδες άρα έχουμε μεθυλίωση σε 3 θέσεις (Εικόνα 2.3.1).



Εικόνα 2.3.1: Μεθυλίωση και υδρόλυση της αμυλόζης (Πηγή: [12])

Παράλληλα όμως σε μικρό ποσοστό προκύπτει και το τετραμεθυλιωμένο προϊόν που είναι το 2,3,5,6-τετρα-Ο-μέθυλο-D-γλυκόζη σε ποσοστό 0,2-0,45% του ολικού προϊόντος. Από το ποσοστό αυτού του παραπροϊόντος μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των υπομονάδων του μήκους της αλυσίδας.

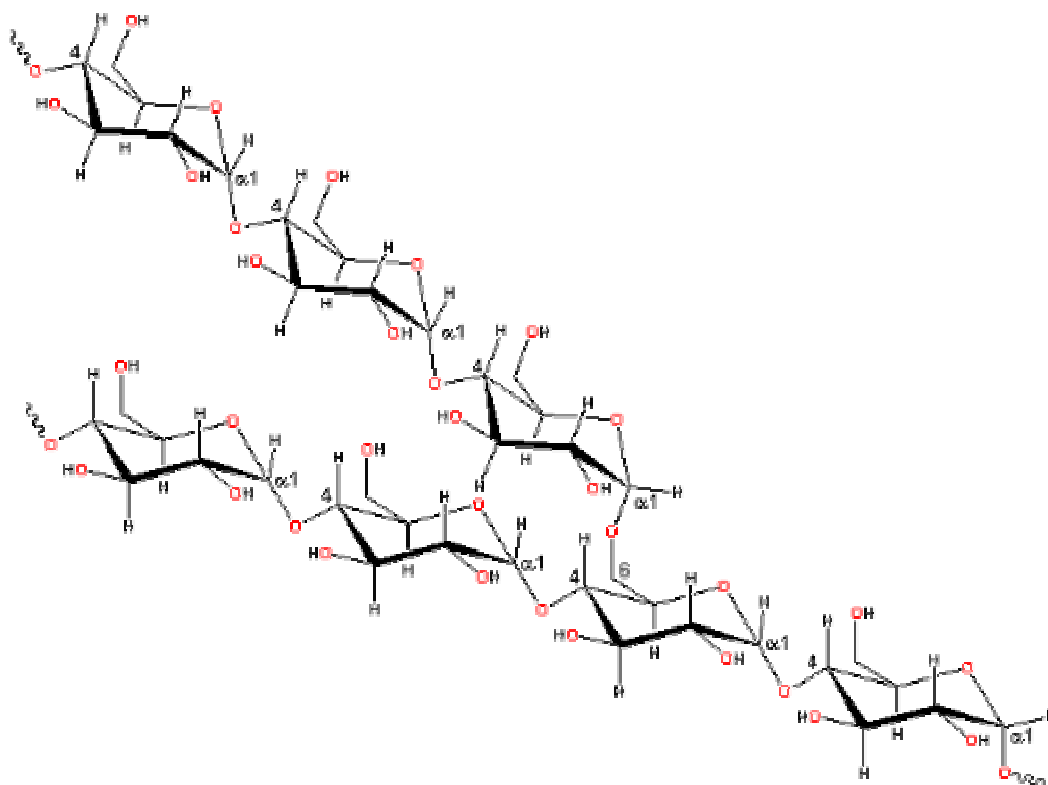
Η αμυλόζη σε διαλύματα παίρνει μια ελικοειδή μορφή (Εικόνα 2.3.2), η οποία οφείλεται στη στερεοχημική δομή των επαναλαμβανόμενων μονάδων της γλυκόζης.



Εικόνα 2.3.2: Ελικοειδή μορφή αμυλόζης (Πηγή: [1])

2.4 Αμυλοπηκτίνη

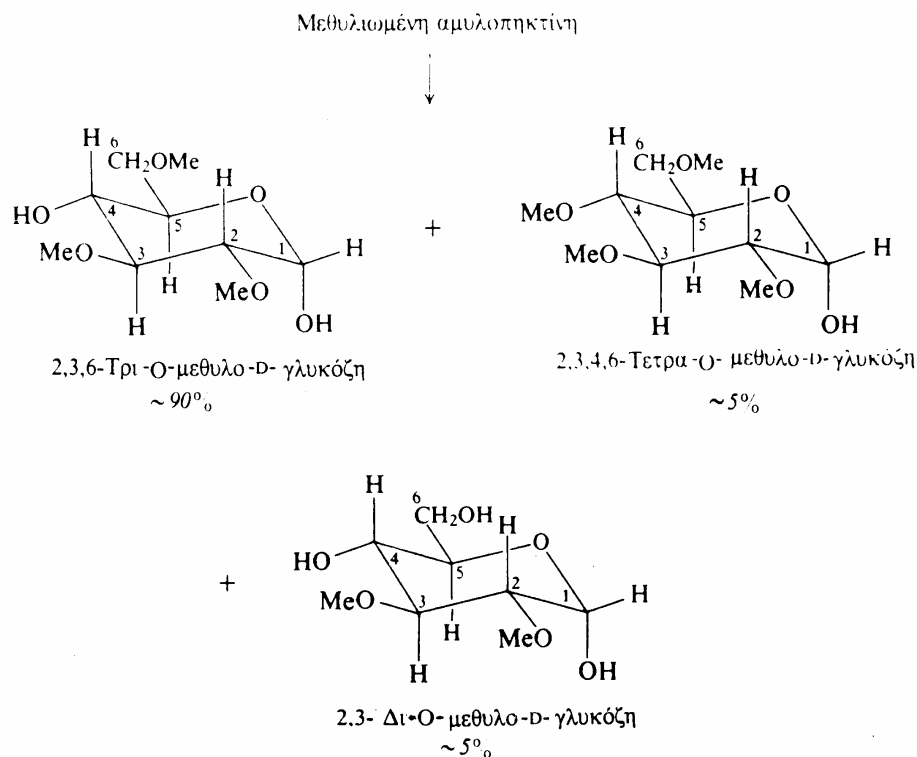
Η αμυλοπηκτίνη είναι ένα διακλαδισμένο πολυμερές (Εικόνα 2.4). Η δομή της μοιάζει με τη δομή της αμυλόζης, με τη διαφορά ότι σε κάθε 25 μονάδες γλυκόζης βρίσκονται πλευρικά ενωμένα, με α -(1 \rightarrow 6) δεσμούς, ένα ή περισσότερα μόρια γλυκόζης [17]. Το μέσο μοριακό βάρος της είναι 1.000.000 και περιέχει μεγαλύτερο αριθμό μονομερών γλυκόζης από ότι η αμυλόζη.



Εικόνα 2.4: Αντιπροσωπευτικό τμήμα της δομής της αμυλοπηκτίνης (Πηγή: [21])

Η αμυλοπηκτίνη αποτελεί το πρόβλημα των αμυλοκόκκων (starch granule) εξαιτίας των μικρών σε μήκος αλυσίδων των διακλαδώσεων, οι οποίες μπορούν να γίνουν ελικοειδείς δομές που κρυσταλλώνονται. Η αμυλοπηκτίνη περιέχει και μικρές ποσότητες φωσφορικού οξέος, το οποίο της προσδίνει ιονικό χαρακτήρα.

Μπορεί να διαχωριστεί από την αμυλόζη με ηλεκτροφόρηση. Το 50% περίπου του αρχικού μέσου μοριακού βάρους της αμυλοπηκτίνης με υδρόλυση εμφανίζεται ως μαλτόζη ενώ με μεθυλίωση και υδρόλυση παράγεται κυρίως το τριμεθυλωμένο προϊόν που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4.1.



Εικόνα 2.4.1: Μεθυλίωση και υδρόλυση της αμυλοπηκτίνης (Πηγή: [12])

2.5 Κρυσταλλική Δομή Αμύλου

Κάθε μόριο αμυλοπηκτίνης περιέχει γλυκοζιτικές μονάδες με σύνθετη δομή και ακτίνα υδροδυναμικής διασποράς 21-75nm. Τα μόρια προσανατολίζονται ακτινικά στους αμυλοκόκκους και όσο η ακτίνα μεγαλώνει, τόσο μεγαλώνει και ο αριθμός των διακλαδώσεων που απαιτούνται για να γεμίσουν το κενό, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ομόκεντρων περιοχών όπου παρατηρείται εναλλαγή άμορφης και κρυσταλλικής δομής. Οι διάφορες διακλαδώσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως Α, Β και C [20].

Οι εξωτερικές αλυσίδες είναι οι Α και συνδέονται με μια Β αλυσίδα. Οι Β αλυσίδες συνδέονται με άλλες Β αλυσίδες ή με τη C αλυσίδα. Κάθε μόριο αμυλοπηκτίνης διαθέτει μια μόνο C αλυσίδα και είναι αυτή της οποίας το ένα άκρο είναι το ελεύθερο αναγωγικό άκρο της αμυλοπηκτίνης. Η αμυλοπηκτίνη απαντάται στη φύση σε δύο κρυσταλλικές δομές: Α και Β. Σχεδόν όλα τα σιτηρά έχουν τη δομή Α, ενώ σε βολβούς παρατηρείται ο τύπος Β. Υπάρχει και ένας ακόμη τύπος κρυσταλλικής δομής της αμυλοπηκτίνης, ο τύπος C, ο οποίος όμως μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενδιάμεσος μεταξύ των Α και Β. Αυτός ο τρίτος τύπος (C) έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα μόνο στα μπιζέλια.

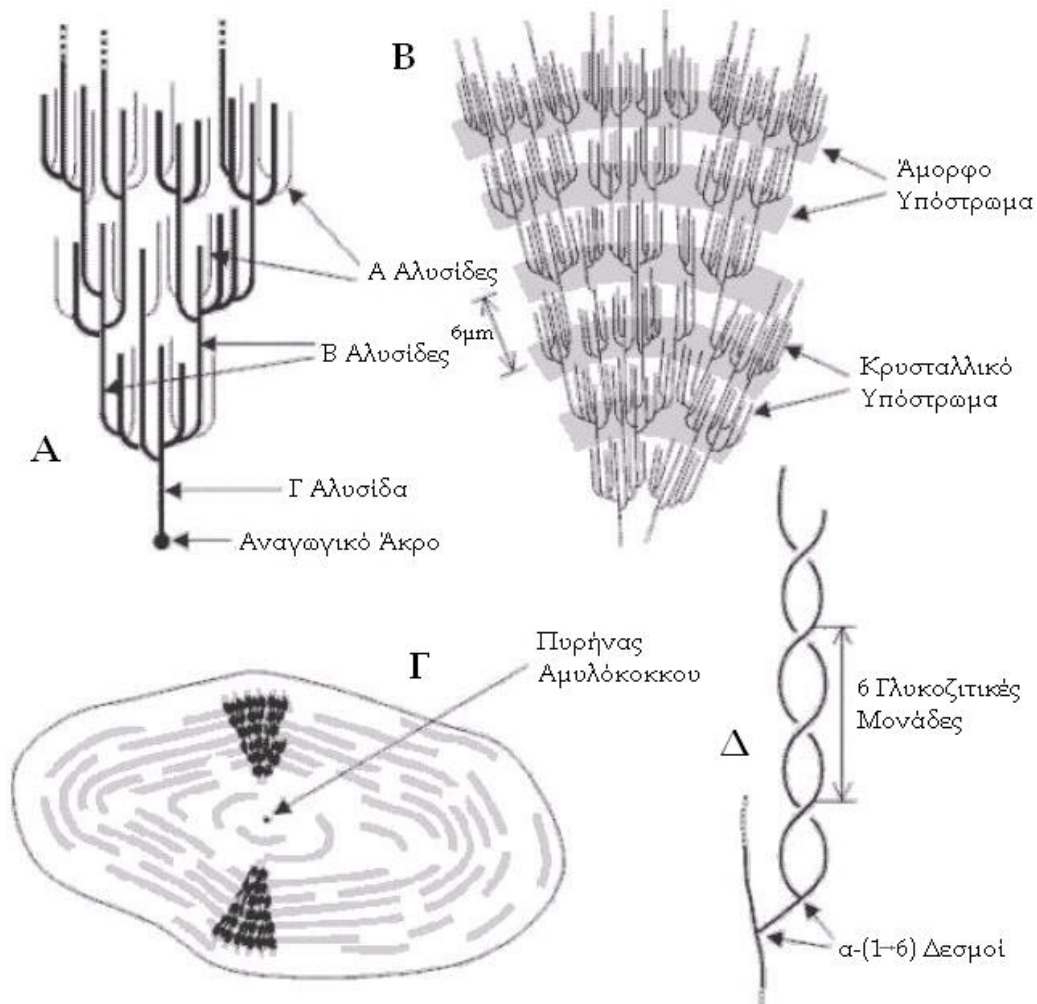
Τα στοιχεία Α, Β, Γ, Δ της Εικόνας 2.5, δείχνουν:

Α: Παριστάνει τη βασική δομή της αμυλοπηκτίνης

Β: Παριστάνει την οργάνωση της δομής των άμορφων και κρυσταλλικών υποστρώματων, δείχνοντας παράλληλα τις στρώσεις που συμβάλλουν στο σχηματισμό αναπτυσσόμενων δακτυλίων (growth rings) οι οποίοι είναι ορατοί από περιβαλλοντικό μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (Environmental Scanning Electron Microscopy, ESEM).

Γ: Φαίνεται ο προσανατολισμός των μορίων της αμυλοπηκτίνης που διασταυρώνονται σε ένα κόκκο αμύλου.

Δ: Παριστάνει την πιθανότητα σχηματισμού διπλής ελικοειδούς μορφής από τις γειτονικές αλυσίδες και έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση εκτεταμένου βαθμού κρυσταλλικότητας στον κόκκο αμύλου. Σύμφωνα με πειραματικά αποτελέσματα η έλικα περιέχει συνήθως έξι μόρια γλυκόζης ανά στρέψη [20]. Ο αριθμός αυτός των μορίων της γλυκόζης μεταβάλλεται ανάλογα με την υδρόφοβη ένωση με την οποία συμπλέκεται κάθε φορά η αμυλόζη.

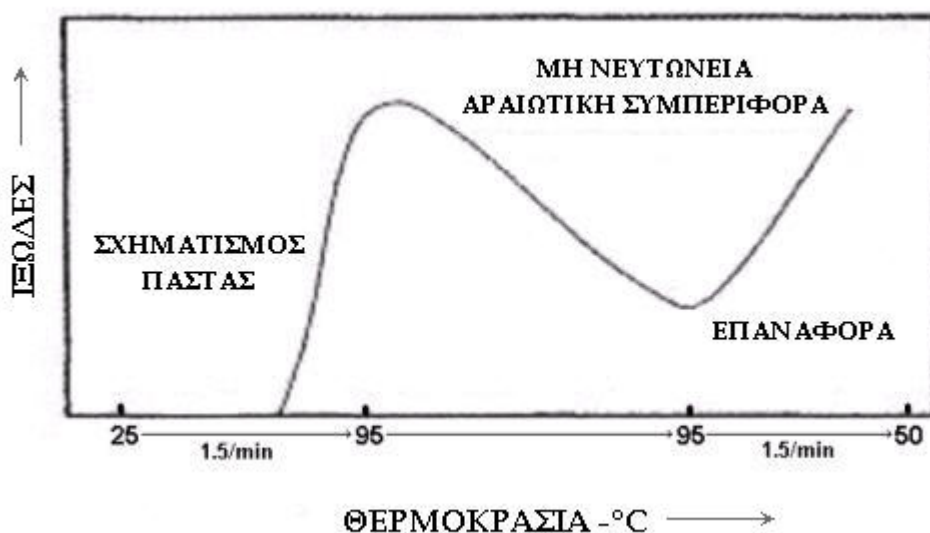


Εικόνα 2.5: Χαρακτηριστικά της κρυσταλλικής δομής του αμύλου (Πηγή: [20])

2.6 Ζελατινοποίηση Αμύλου

Όταν το άμυλο θερμαίνεται παρουσία μεγάλης ποσότητας ύδατος, οι κόκκοι του αμύλου (αμυλοπλάστες) υφίστανται μια χαρακτηριστική δομική αναδιοργάνωση. Συγκεκριμένα, αρχίζουν να διογκώνονται, απελευθερώνοντας τα μόρια της αμυλόζης και της αμυλοπηκτικής και προοδευτικά μεταλλάσσονται σε μια άμορφη ύλη που χαρακτηρίζεται από έλλειψη οργανωμένης δομής. Η διόγκωση των πλαστιδίων αυτών, συνοδεύεται με μια δραματική αύξηση του ιζώδους και της πρόσληψης ύδατος [16].

Έτσι η ζελατινοποίηση σε πρώτο στάδιο, έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό πάστας (<~4%), ή ενός gel (>~4%) καθώς το ζελατινοποιημένο άμυλο ψύχεται. Τυπικά η διαδικασία ξεκινά περίπου στους 45°C και μέχρι τους 120°C δεν έχει ολοκληρωθεί. Στους 95°C το ιζώδες της πάστας του αμύλου αποκτά τη μέγιστη τιμή και εν συνεχεία υπό συνεχή ανάδευση αρχίζει να μειώνεται. Μετά το τέλος της ζελατινοποίησης, το άμυλο καθίσταται εξαιρετικά εύπεπτο από τα ένζυμα που το υδρολύουν. Η σχέση ζελατινοποίησης/ιζώδους μπορεί να μετρηθεί με ένα αμυλογράφημα (Εικόνα 2.6). Άμυλα διαφόρων προελεύσεων έχουν διαφορετικούς χρόνους, θερμοκρασίες, ιζώδες και χαρακτηριστικά του gel. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ζελατινοποίηση περιορίζεται σε περίπτωση που το νερό δεν επαρκεί για τη διεκπεραίωση της [17].



Εικόνα 2.6: Αμυλογράφημα (Πηγή: [1])

2.7 Αερόβια Αποικοδόμηση Αμύλου

Κατά την αερόβια αποικοδόμηση πραγματοποιείται διάσπαση των χημικών ενώσεων που αποτελούν μια ουσία από μικροοργανισμούς, παρουσία οξυγόνου. Τα τελικά προϊόντα της διάσπασης είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το νερό (H_2O). Η αερόβια αποικοδόμηση των υδατανθράκων πραγματοποιείται

από μικροοργανισμούς, οι οποίοι περιέχουν ένζυμα ικανά να μετατρέψουν το άμυλο σε γλυκόζη. Παράλληλα προκύπτει ενεργειακό κέρδος σε μορφή τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), ενέργεια που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς στον αναβολισμό τους (οι αναβολικές αντιδράσεις είναι ενδόθερμες) [1].

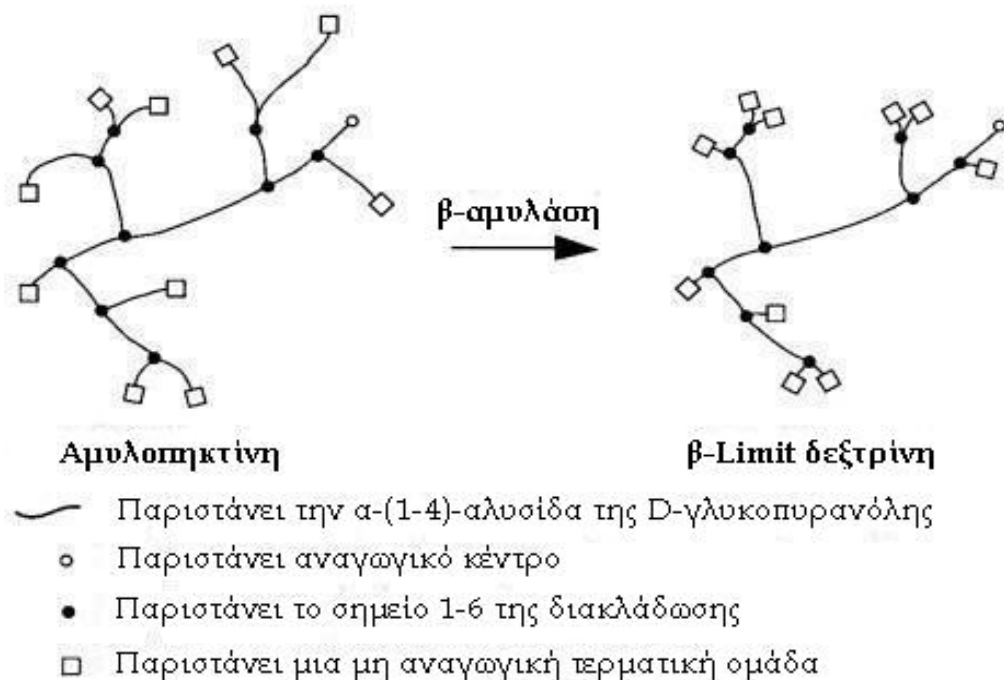
2.8 Υδρόλυση Αμύλου

2.8.1 Γενικά

Μια από τις βασικότερες αντιδράσεις που πραγματοποιείται κατά την επεξεργασία του αμύλου είναι η υδρόλυση. Η υδρόλυση λαμβάνει χώρα παρουσία υγρασίας και καταλύεται από αμυλοτικά ένζυμα. Συνήθως η υδρόλυση δεν είναι πλήρης και τα τελικά προϊόντα αυτής ποικίλουν. Στην περίπτωση που είναι πλήρης, λαμβάνεται ως τελικό προϊόν γλυκόζη. Κατά την υδρόλυση σπάνε οι α -(1 \rightarrow 4) και οι α -(1 \rightarrow 6) γλυκοζιτικοί δεσμοί με αποτέλεσμα να μικραίνει η αλυσίδα των μορίων μαλτόζης στην αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη. Τα αποκομμένα τμήματα της αλυσίδας μπορούν να υδρολυθούν περαιτέρω, με αποτέλεσμα το σχηματισμό διάφορων μορίων όπως δέξτρινες και μαλτόζες.

2.8.2 Ένζυμα

Το άμυλο μπορεί να διασπαστεί κατά κύριο λόγο από δύο είδη ενζύμων, τις α -αμυλάσες και τις β -αμυλάσες. Και οι δύο διασπούν τον α -(1 \rightarrow 4) γλυκοζιτικό δεσμό, αλλά διαφέρουν ως προς τα σημεία της πολυσακχαρικής αλυσίδας που διασπούν. Έτσι οι α -αμυλάσες, διασπούν το άμυλο σε τυχαία σημεία μέσα στα μόρια, με αποτέλεσμα από την αμυλόζη να δημιουργείται μίγμα μαλτόζης και γλυκόζης, ενώ από την αμυλοπηκτίνη μίγμα μαλτόζης, ισομαλτόζης και γλυκόζης. Για αυτό και οι α -αμυλάσες ονομάζονται και ενδοαμυλάσες. Οι β -αμυλάσες όμως αποικοδομούν τον πολυσακχαρίτη με τη σταδιακή απελευθέρωση δισακχαριτικών ομάδων μαλτόζης αρχίζοντας από το άκρο του πολυσακχαρίτη που δεν ανάγει, δηλαδή που δεν έχει ελεύθερη αλδευδομάδα. Για αυτό και οι β -αμυλάσες ονομάζονται και εξωαμυλάσες. Έτσι την αμυλόζη η β -αμυλάση θα την μετατρέψει τελείως σε μόρια μαλτόζης. Την αμυλοπηκτίνη όμως θα αρχίσει να την υδρολύει από τις διακλαδώσεις της μέχρις ότου έλθει αντιμέτωπη με έναν α -(1 \rightarrow 6) δεσμό και εκεί θα σταματήσει. Ο πολυσακχαρίτης που παράγεται ονομάζεται δεξτρίνη και μάλιστα οριακή δεξτρίνη γιατί αποτελεί το όριο των υδρολυτικών δυνατοτήτων του ενζύμου (Εικόνα 2.8.1). Συγκεκριμένα, με την επίδραση της β -αμυλάσης περίπου το $\frac{1}{2}$ της αμυλοπηκτίνης μετατρέπεται σε μαλτόζη και το υπόλοιπο χαρακτηρίζεται ως δεξτρίνη [9 & 18].



Εικόνα 2.8.1: Αντίδραση υδρόλυσης αμυλοπηκτίνης παρουσία β-αμυλάσης (Πηγή: [1])

Συνοπτικά τα υδρολυτικά ένζυμα, η πηγή και η δράση τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8.2:

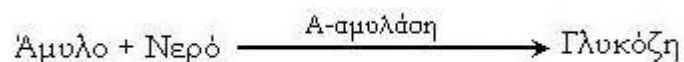
Ένζωμα	EC number	Πηγή προέλευσης	Δράση
A - Αμυλάση	3,2,1,1	Bacillus amyloquefaciens B.licheniformis Aspergillus oryzae, A.niger	Παραγωγή α- δεξτρίνης και μαλτόζης Παραγωγή α- δεξτρίνης και μαλτόζης Παραγωγή α- δεξτρίνης και μαλτόζης
Σαχαροποιητική A - Αμυλάση B - Αμυλάση	3,2,1,1	B. subtilis (amylolysacchariticus malted barley)	Παραγωγή α- δεξτρίνης και μαλτόζης καθώς Παραγωγή δεξτρίνης και β - μαλτόζης
Γλυκοαμυλάση		A.niger b. acidopullulyticus	B- γλυκόζη

Πίνακας 2.8.2: Ένζωμα που υδρολύουν το άμυλο (Πηγή: [1])

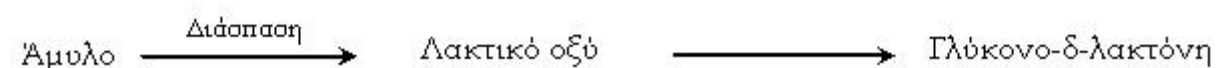
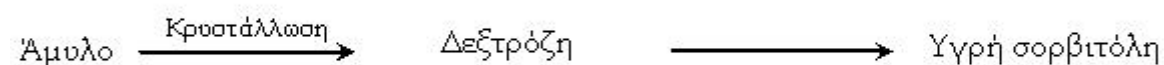
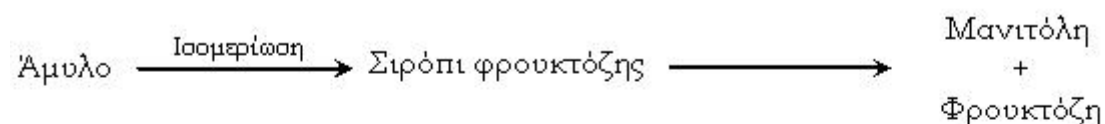
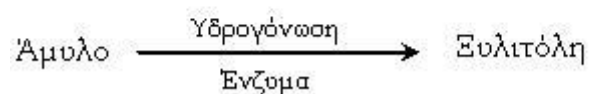
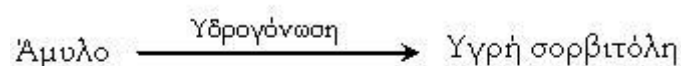
2.8.3 Αντιδράσεις

Πέρα από την υδρόλυση λαμβάνουν χώρα σε μικρότερο βαθμό και δευτερεύουσες αντιδράσεις όπως υδρογόνωση, ισομερίωση, διάσπαση και οξείδωση. Οι κύριες και δευτερεύουσες αντιδράσεις του αμύλου παρατίθενται σχηματικά παρακάτω:

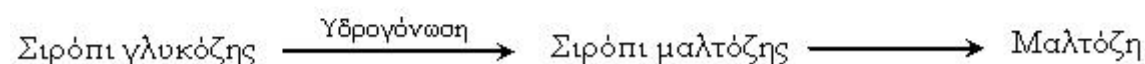
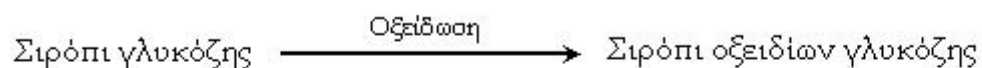
Κύρια αντίδραση υδρόλυσης:



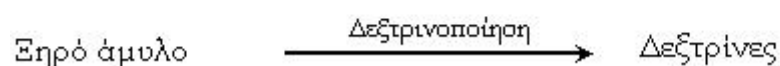
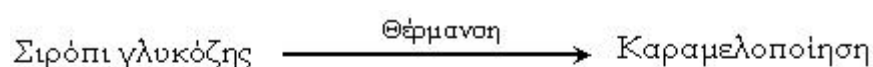
Δευτερεύουσες αντιδράσεις κατά την υδρόλυση:



Από την υδρόλυση του αμύλου παράγεται σιρόπι γλυκόζης το οποίο δίνει τις παρακάτω αντιδράσεις:



Δευτερεύοντες αντιδράσεις κατά την ξήρανση:



3. Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΑΠΟ ΒΡΩΜΗ

3.1 Γενικά

Η βιομηχανία παραγωγής γάλακτος από πρώτη ύλη τη βρώμη, που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε και εδρεύει στην πόλη Lund της Σουηδίας. Η μονάδα πρόκειται να αυξήσει τη δυναμικότητα της παραγωγή της, ώστε να λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο για 330 μέρες το χρόνο με παραγωγή προϊόντος $10\text{m}^3/\text{h}$ και απόβλητα σε ποσοστό 6,6% περίπου.

Σκοπός της συγκεκριμένης βιομηχανίας είναι η εκμετάλλευση των πολύτιμων στοιχείων που εμπεριέχονται στους σπόρους της βρώμης για την παραγωγή γάλακτος ικανού να αντικαταστήσει ισάξια το γάλα ζωικής προέλευσης σε θρεπτικά συστατικά, ή απλά να συμπληρώσει τις ημερήσιες διατροφικές ανάγκες του ανθρώπινου οργανισμού σε υδατάνθρακες, φυτικές ίνες και βιταμίνες. Το προϊόν που παράγεται είναι απαλλαγμένο από γενετικά τροποποιημένα συστατικά και απο λίπη ζωικής προέλευσης, με αποτέλεσμα να μπορεί να καταναλωθεί από άτομα που έχουν πρόβλημα χοληστερόλης, διαβήτη, δυσανεξία ή αλλεργία στη λακτόζη του ζωικού γάλακτος ή απλά έχουν υιοθετήσει μια πιο υγιεινή διατροφή που στηρίζεται στη χορτοφαγία [14]. Η βασική ιδέα της παραγωγής γάλακτος από βρώμη στηρίζεται στην υδρόλυση του αμύλου (starch hydrolysis) σε μαλτόζη.

3.2 Πρώτη ύλη - Βρώμη (*Avena Sativa*)

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται, η βρώμη, είναι ένα από τα πιο γνωστά δημητριακά που συμβάλει στη διατροφική ισορροπία και ανθρώπινη υγεία. Η ποικιλία (*Avena Sativa*) που έχει επιλεγεί από τη συγκεκριμένη βιομηχανία είναι λευκού χρώματος και η ακριβής σύσταση της παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.

Θρεπτικά Συστατικά Βρώμης	Ποσοστό (%)
Άμυλο (Starch)	63
Λίπη (Fat)	7
Πρωτεΐνες (Proteins)	13
Φυτικές Ίνες (Fibers)	14
Ιόντα (Ash)	3

Πίνακας 3.2: Σύσταση βρώμης

Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι:

- Μεγάλη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες των οποίων ο ρόλος αναγνωρίζεται ως πολύ σημαντικός για την ανθρώπινη διατροφή και υγεία.
- Υψηλό ποσοστό σύνθετων υδατανθράκων.
- Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες από όλα τα γνωστά δημητριακά.

- Βιταμίνη B1 (Θειαμίνη). Η Θειαμίνη είναι απαραίτητη στον ανθρώπινο οργανισμό για το μεταβολισμό των υδατανθράκων.
- Βήτα-γλουκάνια (Beta-glucans). Τα βήτα-γλουκάνια είναι μια μορφή πολυσακχαριτών που έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλουν στη μείωση της χοληστερόλης και μειώνουν τον κίνδυνο καρδιακών επεισοδίων [14].

3.3 Στάδια Επεξεργασίας

3.3.1 Γενικά

Το τμήμα παραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας που εξετάστηκε ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την επεξεργασία της πρώτης ύλης, δηλαδή των σπόρων βρώμης, από τη στιγμή της συγκομιδής τους και την ανάμιξη τους με νερό. Η παραπάνω διεργασία είναι τμηματικής επεξεργασίας (batch). Οι διεργασίες διαλείποντος έργου έχουν γενικά υψηλότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με αυτές με συνεχή λειτουργία, αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία και επομένως ο έλεγχος τους γίνεται ευκολότερος.

Το δεύτερο στάδιο, το οποίο αποτελεί και το βασικό τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας, περιλαμβάνει ένα σύνολο συνεχών διεργασιών (continuous) που έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του αρχικού αιωρήματος νερού και βρώμης σε φυτικό γάλα πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν μηχανήματα ή συσκευές που να μη χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της γραμμής παραγωγής και συνεπώς η παραγωγικότητα των μηχανών και των συσκευών είναι μεγαλύτερη [4]. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα με τη σειρά που πραγματοποιούνται είναι οι παρακάτω:

- Πρώτη φάση ενζυμικής ζύμωσης υπό συνεχή ανάδευση
- Θερμική επεξεργασία/αποστείρωση
- Επαναφορά θερμοκρασίας με ψύξη
- Δεύτερη φάση ενζυμικής ζύμωσης υπό συνεχή ανάδευση
- Θερμική επεξεργασία με χρήση εναλλάκτη θερμότητας
- Διαχωρισμός προϊόντος/αποβλήτου σε decanter
- Επαναφορά της θερμοκρασίας του προϊόντος με χρήση εναλλάκτη θερμότητας

3.3.2 Περιγραφή των Σταδίων Επεξεργασίας

α. Επεξεργασία σπόρων βρώμης

Οι σπόροι βρώμης (oat grains) αφού αποφλοιωθούν (ο φλοιός τους καταλαμβάνει το 25% περίπου του συνολικού τους βάρους) και καθαριστούν προσεκτικά από τα εξωγενή συστατικά που μπορεί να εμπεριέχουν (ξύλα, ακαθαρσίες), αναμειγνύονται με νερό, σε αναλογία 11,5% σε στερεά (dry matter), σε μύλο κολλοειδών που επιτυγχάνει ταυτόχρονα μείωση του μεγέθους τους (size

reduction). Αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός λευκού αιωρήματος νερού και βρώμης (oat slurry).

Στο **μύλο κολλοειδών** χρησιμοποιείται έντονη διάτμηση ρευστού, σε ένα ρεύμα υψηλής ταχύτητας για τη διασπορά των σωματιδίων του μίγματος με σκοπό το σχηματισμό ενός σταθερού αιωρήματος ή γαλακτώματος. Το τελικό μέγεθος των σωματιδίων είναι συνήθως μικρότερο από 5μm. Πολλές φορές η πραγματική μείωση του μεγέθους στο μύλο είναι μικρή και η κύρια δράση του μύλου είναι η διάσπαση των ασθενών συνδεδεμένων συσσωματωμάτων. Τα σιρόπια, το γάλα, οι πουρέδες, οι αλοιφές, οι μπογιές και τα λίπη είναι τυπικά προϊόντα που υφίστανται αυτή την επεξεργασία. Συχνά η διασπορά σταθεροποιείται με την προσθήκη χημικών πρόσθετων.

Στους περισσότερους μύλους κολλοειδών το υγρό της τροφοδοσίας αντλείται ανάμεσα σε στενά τοποθετημένες επιφάνειες, μια από τις οποίες κινείται σε σχέση με την άλλη με ταχύτητα 50m/s ή μεγαλύτερη. Σε έναν μύλο τέτοιου τύπου, το υγρό περνά μέσα από το στενό χώρο που υπάρχει ανάμεσα σε ένα ρώτορα με σχήμα δίσκου και στο περίβλημα του. Τα διάκενα είναι ρυθμιζόμενα έως τα 25 μm. Πολλές φορές χρειάζεται ψύξη για να απομακρυνθεί η θερμότητα που παράγεται. Οι δυναμικότητες των μύλων κολλοειδών είναι σχετικά μικρές και κυμαίνονται από 2 ή 3L/min (30-50gal/h) για μικρούς μύλους έως 440L/min (7.000gal/h) για μεγαλύτερους μύλους [8].

β. Πρώτο στάδιο ενζυμικής ζύμωσης υπό συνεχή ανάδευση

Το αιώρημα νερού και βρώμης εισέρχεται σε δεξαμενή σε θερμοκρασία 59°C και αναδεύεται συνεχώς. Το αρχικό ιξώδες του αιωρήματος είναι αρκετά υψηλό, γεγονός που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Προκειμένου να αποκτηθεί επιθυμητή συνοχή προστίθεται ποσότητα αμυλοτικού ενζύμου. Ο συνδυασμός του ενζύμου είναι μίγμα α-και β-αμυλασών, η ακριβής αναλογία των οποίων δεν είναι γνωστή. Υπό την επίδραση του ενζύμου το άμυλο της βρώμης υδρολύεται με αποτέλεσμα τη μερική μετατροπή του σε μαλτόζη.

Ποιο αναλυτικά, η α-μαλτάση διασπά σε τυχαία σημεία τους α-(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς γεγονός που συντελεί στην περαιτέρω ρευστοποίηση του διαλύματος. Καθώς η υδρολυτική διεργασία συνεχίζεται, παρατηρείται μείωση του ιξώδους. Παράλληλα η β-αμυλάση αποικοδομεί το άμυλο με σταδιακή απελευθέρωση δισακχαριτικών ομάδων μαλτόζης. Την αμυλόζη η β-αμυλάση θα τη μετατρέψει σχεδόν πλήρως σε μαλτόζη, ενώ την αμυλοπηκτίνη θα τη μετατρέψει κατά 50% περίπου σε μαλτόζη. Το υπόλοιπο χαρακτηρίζεται ως δεξτρίνη.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται σε **αναδευόμενο δοχείο συνεχούς λειτουργίας** το οποίο είναι κυλινδρικού σχήματος με κατακόρυφο άξονα, εξοπλισμένο με αναδευτήρα έτσι ώστε η σύσταση και η θερμοκρασία της μάζας των αντιδρώντων να είναι περίπου ίδιες σε όλα τα σημεία του. Το πάνω μέρος του δοχείου μπορεί να είναι ανοικτό ή κλειστό. Για να αποφευχθούν απότομες γωνίες ή περιοχές στις οποίες μπορεί να μη διεισδύουν τα ρεύματα του ρευστού, ο πυθμένας της δεξαμενής είναι σφαιροειδής και όχι επίπεδος. Το βάθος του υγρού είναι ίσο κατά προσέγγιση με τη διάμετρο του δοχείου. Ο αναδευτήρας

αναγκάζει το υγρό να κυκλοφορήσει μέσα στο δοχείο και τελικά να επιστρέψει σε αυτόν. Πολλές φορές τοποθετούνται ανακλαστήρες για να ελαττωθεί η εφαιπτομενική κίνηση. Σε συνηθισμένα προβλήματα ανάδευσης χρησιμοποιείται ένας αναδευτήρας στροβίλου. Ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα μπορεί να τοποθετηθεί υψηλότερα ή χαμηλότερα στη δεξαμενή [3 & 6].

γ. Θερμική επεξεργασία (Heat treatment)

Το νέο διάλυμα, το οποίο περιέχει πλέον και ένα ποσοστό μαλτόζης, αποτέλεσμα της υδρόλυσης του αμύλου από τις αμυλάσες θερμαίνεται στους 110°C για να επιτευχθεί πλήρης διάσπαση του ενζύμου και για την αποφυγή ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών. Επιπλέον η θέρμανση αυξάνει το βαθμό διαλυτοποίησης των β-γλουκανίων που εμπεριέχονται στους σπόρους βρώμης κατά μέσο όρο από 29 έως 84% περίπου [15].

Κατά τη θέρμανση, το ιζώδες κάνει ένα αυξητικό άλμα σαν αποτέλεσμα ενός αριθμού φαινομένων που συμβαίνουν ταυτόχρονα. Συγκεκριμένα, το άμυλο ζελατινοποιείται και κάποια από τα συστατικά του μίγματος υποβάλλονται σε αλλαγή της μοριακής τους κατάστασης [16]. Σταδιακά το ιζώδες αρχίζει να μειώνεται με το τέλος της θερμικής επεξεργασίας.

δ. Ψύξη (Cooling)

Μετά τη θερμική επεξεργασία, το διάλυμα επανέρχεται στη θερμοκρασία των 60°C με διεργασία ψύξης με κρύο νερό με εναλλάκτη.

ε. Δεύτερη φάση ενζυμικής ζύμωσης υπό συνεχή ανάδευση

Στη φάση αυτή της επεξεργασίας που το αιώρημα έχει πιο ρευστή μορφή και χαμηλότερο ιζώδες, υπόκειται σε μια δεύτερη ενζυμική ανάμιξη με τον ίδιο συνδυασμό ενζύμου, για επιπλέον μετατροπή του κρυσταλλικού αμύλου που έχει απομείνει από την πρώτη φάση σε μαλτόζη. Κατά ανάλογο τρόπο το κρυσταλλικό άμυλο αντιδρά με το ένζυμο και υδρολύεται μερικώς προς μαλτόζη. Παρατηρείται επιπλέον μείωση του ιζώδους του αιωρήματος φτάνοντας περίπου την τιμή των 50cp που είναι και η επιθυμητή.

στ. Αύξηση της θερμοκρασίας με χρήση εναλλάκτη θερμότητας (Heat exchanging)

Το προϊόν που προκύπτει θερμαίνεται στους 85°C με χρήση εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες. Η θέρμανση διασπά πλήρως και απενεργοποιεί και τη δεύτερη ποσότητα ενζύμου που έχει προστεθεί, έτσι ώστε να ακολουθήσει η διαδικασία διαχωρισμού του προϊόντος από το 'απόβλητο'.

Οι **εναλλάκτες με πλάκες** χρησιμοποιήθηκαν αρχικά κυρίως στη γαλακτοβιομηχανία και στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων, όμως σήμερα βρίσκουν και άλλες εφαρμογές.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή που η θερμοκρασία και η πίεση είναι μέτρια, χρησιμοποιείται ο εναλλάκτης με πλάκες και στεγανοποιητικά, ο οποίος

περιλαμβάνει πολλά και διάτρητα χαλύβδινα φύλλα που χωρίζονται με στεγανοποιητικά από πολυμερές και είναι τοποθετημένα σε ένα χαλύβδινο πλαίσιο.

Στα στεγανοποιητικά υπάρχουν ανοίγματα εισόδου και σχισμές, που κατευθύνουν το θερμό και ψυχρό ρευστό στα διαστήματα ανάμεσα στις πλάκες. Οι διατρήσεις προκαλούν στροβιλισμό για τη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας και κάθε πλάκα στηρίζεται με πολλαπλές επαφές με τις γειτονικές πλάκες, που έχουν διαφορετικό σχέδιο ή γωνία αυλακώσεων. Το διάστημα ανάμεσα στις πλάκες είναι ίσο με το βάθος των διατρήσεων και είναι συνήθως 2-5 mm.

Η συνηθισμένη ταχύτητα ρευστού για ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα σε υγρά είναι από 0,2 έως 1,0m/s και λόγω της μικρής απόστασης ανάμεσα στις πλάκες ο αριθμός Reynolds είναι συχνά μικρότερος από 2.100. Ωστόσο, οι αυλακώσεις δίνουν στη ροή χαρακτηριστικά στροβιλισμού σε αριθμούς Reynolds 100-400, ανάλογα με το σχεδιασμό της πλάκας. Απόδειξη της τυρβώδους ροής είναι το γεγονός ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταβάλλεται με το ρυθμό ροής υψωμένο στην 1,7-2,0. Η συσχέτιση μεταξύ θερμότητας για ένα κοινό τύπο εναλλάκτη με πλάκες είναι:

$$Nu = \frac{hD_e}{k} = 0,37 \times Re^{0,67} \times Pr^{0,33}$$

Το h βασίζεται στην ονομαστική επιφάνεια της αυλακωτής πλάκας, η ισοδύναμη διάμετρος είναι ίση με το τετραπλάσιο της υδραυλικής ακτίνας, που για τους περισσότερους εναλλάκτες είναι διπλάσιο της απόστασης ανάμεσα στις πλάκες και k η θερμική αγωγιμότητα του υγρού.

Όταν και στις δύο πλευρές υπάρχει νερό ή υδατικά διαλύματα, ο ολικός συντελεστής για ένα καθαρό εναλλάκτη με πλάκες μπορεί να είναι από 3.000 έως 6.000W/m² K (500-1.000 Btu/h ft² °F). Οι μονάδες μπορούν να συναρμολογηθούν εύκολα για να καθαριστούν λεπτομερώς.

Ο καλύτερος σχεδιασμός και τα βελτιωμένα στεγανοποιητικά που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν τη λειτουργία τους σε θερμοκρασίες έως 200°C και σε πιέσεις έως 25atm. Στο εμπόριο υπάρχουν εναλλάκτες με επιφάνειες πλακών 2 m² και συνολική επιφάνεια 1.500m² [8].

ζ. Διαχωρισμός προϊόντος / αποβλήτου (Decanter)

Στο στάδιο αυτό, το προϊόν που βρίσκεται σε θερμοκρασία 85°C εισέρχεται σε συσκευή φυγοκέντρωσης για το διαχωρισμό του 'αποβλήτου'. Μέρος των περιεχομένων συστατικών απομακρύνεται για την επίτευξη επιθυμητής σύστασης στο τελικό προϊόν.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται σε **φυγόκεντρη συσκευή με ελικοειδή μεταφορέα**, όπου ένα κυλινδρικό δοχείο με κωνικό άκρο περιστρέφεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Η τροφοδοσία εισέρχεται από ένα σταθερό αξονικό σωλήνα και ψεκάζεται σε μια λίμνη υγρών ή σε ένα δακτυλιοειδές στρώμα υγρού στο εσωτερικό του κυλινδρικού δοχείου. Το

καθαρισμένο υγρό υπερχειλίζει μέσω θυρίδων της πλάκας, η οποία καλύπτει τη μη κωνική άκρη του δοχείου. Η ακτινική θέση των θυρίδων καθορίζει το πάχος του δακτυλιοειδούς στρώματος του υγρού στο δοχείο. Τα στερεά καθιζάνουν μέσω του υγρού στην εσωτερική επιφάνεια του δοχείου. Ένας ελικοειδής μεταφορέας ο οποίος περιστρέφεται λίγο πιο αργά από το δοχείο, μετακινεί τα στερεά έξω από τη λίμνη και προς την άκρη, σε ανοίγματα εξόδου στο μικρό άκρο του κώνου. Το υγρό πλύσης μπορεί να ψεκαστεί πάνω στα στερεά, καθώς αυτά ανέρχονται προς το άκρο, για να απομακρυνθούν οι διαλυτές ακαθαρσίες. Το υγρό πλύσης ρέει μέσα στη λίμνη και εξέρχεται μαζί με το υγρό. Το ίζημα που έχει αποστραγγιστεί και το υγρό που έχει καθαριστεί απομακρύνονται από το δοχείο σε διαφορετικά μέρη του περιβλήματος, από όπου εξέρχονται μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων.

Οι φυγόκεντρες συσκευές με ελικοειδή μεταφορέα κατασκευάζονται με δοχεία διαμέτρου 100 έως 1.400mm (4–54in) και μπορούν να διαχωρίσουν μεγάλες ποσότητες υλικού. Σε πυκνά αιωρήματα τροφοδοσίας η δυναμικότητα μιας δεδομένης μηχανής περιορίζεται από την επιτρεπόμενη ροπή στρέψης του μεταφορέα. Όταν τα αιωρήματα είναι αραιά η ικανότητα επεξεργασίας υγρού του δοχείου και των θυρών υπερχειλίσσης περιορίζει την παραγωγή [8].

4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ

4.1 Γενικά

Με δεδομένο ότι η βιομηχανία φυτικού γάλακτος που εξετάστηκε σκοπεύει να αυξήσει τη δυναμικότητα της, μόνο η διεργασία της ξήρανσης του 'αποβλήτου' της, στην οποία προέβαινε μέχρι πρόσφατα, δεν επαρκεί. Ο όρος 'απόβλητο' επειδή πρόκειται για γαλακτοβιομηχανία, ουσιαστικά δεν περιγράφει ένα παραπροϊόν που ενδεχομένως να εμπεριέχει επιβλαβή στοιχεία για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, αλλά αντιθέτως προσεγγίζει την ιδανική περίπτωση της μηδενικής ρύπανσης (zero discharge). Ένα σύνολο θρεπτικών στοιχείων απαρτίζουν το 'απόβλητο' που με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε άλλους τομείς.

Στην παρούσα εργασία, που έγινε μια πρώτη προσέγγιση, συνιστάται η διάθεση του 'αποβλήτου' στον τομέα της κτηνοτροφίας για την παραγωγή ζωοτροφών. Οι μέθοδοι που προτείνονται για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι η διεργασία της υπερδιήθησης σε διπλή επανάληψη και μετέπειτα η ξήρανση. Από μελέτες έχει γενικά αποδειχθεί ότι η υπερδιήθηση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε βιομηχανίες αμύλου.

4.2 Η Μέθοδος της Υπερδιήθησης

Η υπερδιήθηση χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο διαχωρισμός γαλακτωμάτων λάδι-νερό, η συμπύκνωση σωματιδίων κόμπος, οι διεργασίες στο αίμα και στο πλάσμα, ο διαχωρισμός των πρωτεϊνών, η ανάκτηση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, η αφαίρεση βακτηρίων και άλλων σωματιδίων κατά την αποστείρωση κρασιού και η διαύγαση του χυμού φρούτων [4].

4.2.1 Φάσεις - Συστατικά

Η φάση μπορεί να είναι μία οπότε υπάρχει ένα συνεχές μέσο, το διάλυμα ή μπορεί να είναι δυο φάσεις, στερεή φάση-υδατική φάση, π.χ. αιωρούμενα στερεά (συνήθως όχι ορατά με γυμνό μάτι) και υγρή φάση. Επίσης έχουμε την παρεμβαίνουσα φάση (intervening phase) που είναι η μεμβράνη υπερδιήθησης. Τα διαλυμένα συστατικά ή τα μόρια που διαχωρίζονται γενικά με αυτή τη μέθοδο έχουν μοριακό βάρος από 500 και έως 1.000.000 ή περισσότερο (σύμφωνα με άλλη πηγή το μοριακό τους βάρος κυμαίνεται από 20.000 έως 100.000), όπως μακρομόρια πρωτεϊνών, πολυμερή και άμυλο, καθώς επίσης κolloειδή αργίλου σε διασπορά, μόρια κόμπος και μικροοργανισμούς. Το μέγεθος των σωματιδίων που διαχωρίζονται με αυτή τη μέθοδο είναι της τάξης: 0,002 – 0,2μ.

Η μεμβράνη παρεμβάλλεται ανάμεσα στη τροφοδοσία και το πέρασμα ή διήθημα. Η φάση προς την πλευρά της τροφοδοσίας ονομάζεται υπόλειμμα και είναι συνήθως η φάση του συμπυκνώματος, δηλαδή περιέχει ότι δεν περνάει από τη μεμβράνη. Η άλλη φάση από την άλλη πλευρά της μεμβράνης είναι το

πέρασμα, δηλαδή ότι περνάει από τη μεμβράνη. Η φάση του υπολείμματος δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη φάση της τροφοδοσίας. Αυτό συμβαίνει μόνο στη μέθοδο της κατά μέτωπο τροφοδοσίας (dead end), η οποία χρησιμοποιείται στην κλασσική διήθηση και εν μέρει στη μικροδιήθηση. Σε όλες τις περιπτώσεις και ειδικά στην υπερδιήθηση που μας ενδιαφέρει, έχει επικρατήσει η μέθοδος της εφαπτομενικής τροφοδοσίας (cross flow). Η εφαπτομενική τροφοδοσία έχει στόχο τον περιορισμό των εναποθέσεων υλικού πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης, ώστε να καθυστερεί η υποβάθμιση της απόδοσης της μεμβράνης (fouling) [2].

4.2.2 Κρίσιμη Ιδιότητα

Η πιο σημαντική ιδιότητα για το διαχωρισμό με υπερδιήθηση είναι η διάμετρος (μέγεθος) των διαχωριζομένων σωματιδίων, δεδομένου ότι ο κύριος μηχανισμός είναι το σούρωμα. Αυτό φυσικά συνδέεται και με το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης, με τελική επίδραση στην ημιπερατότητα της μεμβράνης υπερδιήθησης.

Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η συγκέντρωση του διαλύματος που διαχωρίζεται. Η εφαρμοζόμενη πίεση ή η διαφορά της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης εκτός από δρώσα δύναμη αποτελεί και κρίσιμη ιδιότητα της διεργασίας. Θεωρητικά η κρίσιμη ιδιότητα για τη μεταφορά μάζας ενός συστατικού είναι πάντοτε το ηλεκτροχημικό δυναμικό.

Η ταχύτητα του ρευστού κατά μήκος της μεμβράνης επίσης αποτελεί κρίσιμη ιδιότητα λόγω του φαινομένου της πόλωσης. Τέλος, παίζει ρόλο και η θερμοκρασία.

4.2.3 Μηχανισμοί (Φυσική της Διεργασίας)

Το προς διαχωρισμό διάλυμα διαβιβάζεται υπό πίεση διαμέσου της πορώδους μεμβράνης, η οποία συγκρατεί μηχανικά σαν ένα λεπτό κόσκινο τα σωματίδια και επιτρέπει τη διέλευση των μικρότερων μορίων και του διαλύτη. Η χρησιμοποιούμενη πίεση κυμαίνεται μεταξύ 0,5 – 5bar (ή 1–10bar).

Κύριος μηχανισμός είναι το σούρωμα (sieving effect). Αυτό που έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τη διάμετρο των πόρων συγκρατείται. Το σούρωμα είναι τριών ειδών:

- Επιφανειακό σούρωμα
- Σούρωμα σε βάθος
- Δημιουργία πλακών (Cake filtration). Μετά το φράξιμο των πόρων δεν αφήνεται να περάσει κάτι που θα περνούσε αν δεν είχε σχηματιστεί πλάκοντας

Δρώσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσης ή η κλίση της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης:

$$J = \frac{K\Delta p}{b} \text{ ή } J = K' \Delta P$$

όπου K: συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης

$$\text{Driving force} = \frac{\Delta p}{b}$$

Όμως σπάνια η πίεση είναι η μόνη δρώσα δύναμη. Δευτερεύουσες δρώσες δυνάμεις μπορεί να προέρχονται από την πόλωση της συγκέντρωσης ή και από τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταφερόμενων μορίων και του υλικού της μεμβράνης.

Πόλωση έχουμε όταν τα συσσωρευμένα στερεά βρίσκονται σε εν διαλύσει κατάσταση. Σε αυτή την περίπτωση δεν έχω δημιουργία πλακούντα, αλλά μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών.

Σε αντίθεση με την αντίστροφη όσμωση, στην υπερδιήθηση παραμένουν στην επιφάνεια της μεμβράνης μόνο μεγαλομόρια και η αύξηση της οσμωτικής πίεσης είναι αμελητέα. Αποτέλεσμα είναι η κλίση της συγκέντρωσης του μερικώς ή ολικώς εμποδισμένου συστατικού να προωθείται από μεταφορά με διάχυση και συμμεταφορά του συστατικού σε δύο αντίθετες διευθύνσεις:

- Προς τα πίσω στο υπόλειμμα (Θεωρία του φιλμ-film theory)
- Εμπρός και εγκάρσια της μεμβράνης στο πέρασμα. Διάφορα μοντέλα περιγράφουν αυτή τη συμπεριφορά, όπως το υδροδυναμικό, το θερμοδυναμικό και Stefan-Maxwell.

Επίσης άλλο ένα φαινόμενο είναι η προσρόφηση (absorption). Μικρό σωματίδιο περνά από το άνοιγμα αλλά λόγω μικρού μεγέθους προσροφάται και προσκολλάται στο υλικό της μεμβράνης (αλληλεπίδραση). Οι δεξτρίνες μπορεί να αλληλεπιδράσουν με τη μεμβράνη αντιστρεπτά, ενώ αντίθετα οι πρωτεΐνες συνήθως απορροφούνται αναντιστρεπτά στην επιφάνεια και στους πόρους της μεμβράνης υπερδιήθησης. Άλλες δρώσες δυνάμεις είναι το χημικό και το ηλεκτροχημικό δυναμικό.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης είναι επίσης η τάση που έχει να μειώνει την απόδοσή της με τη χρήση (fouling effects). Αυτή η τάση εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχει η επιφάνεια της μεμβράνης (υδρόφιλη/υδρόφοβη) και η διαλυμένη ουσία καθώς και τα χαρακτηριστικά του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης σε σύγκριση με το μέγεθος της διαλυμένης ουσίας [2].

4.3 Ξήρανση των Στερεών

4.3.1 Γενικά

Η ξήρανση των στερεών είναι η απομάκρυνση σχετικά μικρών ποσοτήτων νερού ή άλλου υγρού από τα στερεά υλικά, προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του εναπομείναντος υγρού σε μια αποδεκτή χαμηλή τιμή. Η ξήρανση αποτελεί

συνήθως το τελευταίο βήμα σε μια σειρά διεργασιών και το προϊόν που εξέρχεται από έναν ξηραντήρα είναι συνήθως έτοιμο για συσκευασία.

Το νερό ή τα άλλα υγρά μπορούν να απομακρυνθούν από τα στερεά μηχανικά με πρέσες ή φυγόκεντρες ή θερμικά με εξάτμιση. Γενικά η μηχανική απομάκρυνση του νερού είναι πιο οικονομική από τη θερμική. Κατά συνέπεια είναι καλύτερα να μειωθεί το περιεχόμενο υγρού όσο το δυνατόν περισσότερο πριν την τροφοδοσία του υλικού σε ένα θερμαινόμενο ξηραντήρα.

Το περιεχόμενο υγρού μιας ξηραμένης ουσίας ποικίλει από το ένα προϊόν στο άλλο. Μερικές φορές το προϊόν δεν περιέχει καθόλου υγρό και χαρακτηρίζεται 'εντελώς ξηρό'. Συνήθως όμως το προϊόν περιέχει κάποιο υγρό.

Τα στερεά που πρόκειται να ξηραθούν μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές μορφές: νιφάδες, κόκκοι, κρύσταλλοι, σκόνη, πλάκες ή συνεχή φύλλα και να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Το υγρό που πρόκειται να εξατμιστεί μπορεί να βρίσκεται στην επιφάνεια του στερεού ή στο εσωτερικό του. Η τροφοδοσία ορισμένων ξηραντήρων είναι κάποιο υγρό μέσα στο οποίο αιωρείται το στερεό με τη μορφή σωματιδίων ή βρίσκεται σε διάλυση. Το ξηραμένο προϊόν μπορεί να έχει τη δυνατότητα να υποστεί σκληρή επεξεργασία ή μπορεί να απαιτεί προσεκτική επεξεργασία σε χαμηλές ή μέτριες θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια στην αγορά διατίθενται πολλά διαφορετικά είδη ξηραντήρων. Τα είδη των ξηραντήρων διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο κινούνται τα στερεά μέσα από τη ζώνη ξήρανσης και στον τρόπο με τον οποίο μεταφέρεται η θερμότητα [8].

Για την βιομηχανία παραγωγής γάλακτος που εξετάζεται προτείνεται η ξήρανση του αποβλήτου, μετά τη συμπύκνωση του με υπερδιήθηση σε ξηραντήρα με ψεκασμό (Spray Dryers).

4.3.2 Ξηραντήρας με Ψεκασμό (Spray Dryers)

Σε έναν ξηραντήρα ψεκασμού το υγρό διάλυμα διασκορπίζεται μέσα σε ρεύμα θερμού αερίου, με μορφή νέφους μικρών σταγονιδίων. Η υγρασία εξατμίζεται γρήγορα από τα σταγονίδια και εγκαταλείπει τα τεμάχια του ξηρού στερεού, τα οποία στη συνέχεια διαχωρίζονται από το ρεύμα του αερίου. Η ροή του ρευστού και του αερίου μπορεί να είναι ομοροή, αντιροή ή και συνδυασμός των δύο μέσα στην ίδια συσκευή.

Τα σταγονίδια σχηματίζονται σε κυλινδρικό θάλαμο ξήρανσης με ακροφύσια πίεσης ή με ακροφύσια δύο ρευστών ή με δίσκους ψεκασμού μεγάλης ταχύτητας (σε μεγάλους ξηραντήρες). Σε όλες τις περιπτώσεις είναι πολύ σημαντικό να μη χτυπήσουν οι σταγόνες ή τα υγρά σωματίδια του στερεού στις στερεές επιφάνειες πριν την ξήρανση και για το λόγο αυτό οι θάλαμοι ξήρανσης είναι αναγκαστικά μεγάλοι. Οι πιο συνηθισμένες διαμέτροι κυμαίνονται από 2,5 έως 9m (8 έως 30ft).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ξηραντήρων με ψεκασμό είναι ο πολύ μικρός χρόνος ξήρανσης ο οποίος επιτρέπει την ξήρανση υλικών εξαιρετικά ευαίσθητων στη θερμότητα και την παραγωγή συμπαγών ή κοίλων σφαιρικών σωματιδίων. Η επιθυμητή συνεντικότητα, η φαινομενική πυκνότητα, η εμφάνιση και οι ιδιότητες ροής μερικών προϊόντων, κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων είναι πολύ δύσκολο

έως αδύνατο να επιτευχθούν σε οποιοδήποτε άλλο ξηραντήρα. Οι ξηραντήρες με ψεκασμό έχουν επίσης το πλεονέκτημα να παρέχουν από ένα διάλυμα πυκνού ή αραιού πολτού, ξηρό προϊόν σε μια βαθμίδα έτοιμο για συσκευασία. Ένας ξηραντήρας ψεκασμού μπορεί να συνδυάζει τις λειτουργίες ενός εξατμιστήρα, ενός κρυσταλλωτήρα, ενός ξηραντήρα, μιας μονάδας ελάττωσης μεγέθους και ενός ταξινομητή. Όπου είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός ξηραντήρα με ψεκασμό, μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά η διαδικασία της παραγωγής στο σύνολο της [8].

5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SUPERPRO DESIGNER

5.1 Λογισμικό SuperPro Designer

Το λογισμικό πρόγραμμα SuperPro Designer αποτελεί μια καλή επιλογή σήμερα, για κάθε χημικό, βιοχημικό ή περιβαλλοντολόγο μηχανικό, καθώς και για τους επιστήμονες που ασχολούνται με την έρευνα και την ανάπτυξη (R&D), τη βιομηχανική επεξεργασία ή την κατασκευή. Το SuperPro Designer διευκολύνει τη μοντελοποίηση, την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση των ολοκληρωμένων διεργασιών σε ένα ευρύ πεδίο βιομηχανικών εφαρμογών. Ο συνδυασμός των μοντέλων κατασκευής και των περιβαλλοντικών διεργασιών στο ίδιο πακέτο, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάζει και να αξιολογεί ταυτόχρονα την κατασκευή και το τελικό προϊόν των διεργασιών επεξεργασίας και να εφαρμόζει την ελαχιστοποίηση αποβλήτων μέσω της πρόληψης καθώς και του ελέγχου της ρύπανσης. Το λογισμικό πρόγραμμα SuperPro Designer είναι συμβατό με τα λειτουργικά προγράμματα MS Windows 95, 98, ME, NT, 2000 και XP. Έχει αναπτυχθεί από τον Έλληνα επιστήμονα Δ. Πετρίδη, επικεφαλής της εταιρίας Intelligen Inc αρχικά το 1989 και στη συνέχεια σε νεότερες εκδόσεις μέχρι σήμερα [22].

Το λογισμικό πρόγραμμα SuperPro Designer διευκολύνει τις παρακάτω διαδικασίες σε μία ποικιλία βιομηχανιών:

- Την προσομοίωση των συνεχών διεργασιών και των διεργασιών διαλείποντος έργου
- Τον προγραμματισμό των διεργασιών διαλείποντος έργου
- Τον εντοπισμό των πηγών που απαιτούνται
- Την ανάλυση κόστους
- Τη μείωση του χρόνου του κύκλου λειτουργίας και την αντιμετώπιση των επιβραδυντικών παραγόντων
- Την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Τον καθαρισμό του νερού και την ανακύκλωσή του
- Την επεξεργασία αποβλήτων
- Τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης

Μπορεί να προσομοιώσει μια ποικιλία χημικών, βιολογικών και φυσικών διεργασιών με εφαρμογές σε:

- Τεχνολογία περιβάλλοντος
- Τεχνολογία τροφίμων
- Βιοτεχνολογία
- Φαρμακοβιομηχανία
- Χημική οργανική και ανόργανη βιομηχανία
- Σχεδιασμό διεργασιών και εγκαταστάσεων
- Έλεγχος αέριας ρύπανσης

5.2 Καθορισμός Συστατικών

Ο χρήστης καθορίζει όλα τα συστατικά (χημικές ή βιολογικές ουσίες) ή μίγματα, τα οποία περιέχονται στην εφαρμογή που θέλει να σχεδιάσει. Οι δυνατότητες που έχει είναι:

- Να επιλέξει κάποιο συστατικό ή μίγμα που βρίσκεται στη βάση δεδομένων του προγράμματος
- Να καθορίσει κάποιο νέο συστατικό ή μίγμα

Κάθε **συστατικό** καθορίζεται μονοσήμαντα με τα εξής χαρακτηριστικά: όνομα, εμπορική ονομασία, αριθμός Chemical Abstract Service (CAS), τοπικό όνομα του συστατικού στην εφαρμογή. Από τη στιγμή που ο χρήστης καθορίσει κάποια νέα ουσία, μπορεί να τη μεταφέρει στη βάση δεδομένων του συστήματος για να τη χρησιμοποιήσει και σε άλλες εφαρμογές. Για την προσομοίωση, το πρόγραμμα πρέπει να γνωρίζει για κάθε συστατικό τις θεμελιώδεις ιδιότητες, με βάση τις οποίες υπολογίζει και όλες τις υπόλοιπες. Οι θεμελιώδεις ιδιότητες είναι:

- Στοιχεία ταυτότητας: όνομα, εμπορική ονομασία, αριθμός Chemical Abstract Service (CAS), τοπικό όνομα, IsBiomass (Ναι/Όχι)
- Φυσικές ιδιότητες: μοριακό βάρος, σημείο βρασμού, σημείο πήξεως, μέγεθος σωματιδίου, πυκνότητα, θερμοχωρητικότητα υγρού, θερμοχωρητικότητα αερίου, κρίσιμες ιδιότητες, τάση ατμών, σταθερά Henry, θερμότητα εξάτμισης κ.α.
- Οικονομικές ιδιότητες: τιμή πώλησης, τιμή αγοράς, κόστος διάθεσης και επεξεργασίας
- Υδατικές ιδιότητες: συντελεστές διάχυσης σε νερό, αέρα, ολικός οργανικός άνθρακας, ολικός φώσφορος, ολικό άζωτο, αμμωνιακό άζωτο, νιτρικό/νιτρώδες άζωτο, COD, BOD_u, BOD₅/BOD_u, IsSolid (δυαδικής μορφής παράμετρος με τιμές (Ναι/Όχι), ολικά στερεά (TS), ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), βιοαποικοδομήσιμα πτητικά αιωρούμενα στερεά (DVSS)
- Περιβαλλοντικές ιδιότητες: κατηγοριοποίηση ως ρυπαντής, επικίνδυνη (Ναι/Όχι), κατώφλι επικινδυνότητας και άλλες κατηγοριοποιήσεις σύμφωνα με τη νομοθεσία που εφαρμόζεται στις ΗΠΑ, καθώς και παράμετροι που καθορίζουν εάν μια ουσία μεταφέρεται στα υγρά, αέρια ή στερεά απόβλητα.

Για τα **μίγματα**, οι θεμελιώδεις ιδιότητες είναι το όνομα, η εμπορική ονομασία, το τοπικό όνομα, η σύσταση, η πυκνότητα και το κόστος αγοράς. Το πρόγραμμα παρακολουθεί την πορεία των μιγμάτων, αναλύοντας τα στα συστατικά τους σε όλη την εφαρμογή.

5.3 Ειδικά Συστατικά

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ορισμένα ειδικά συστατικά για να πετύχει ρεαλιστικότερη προσομοίωση των πραγματικών συστημάτων διεργασιών και είναι:

- Η πρωτογενής βιομάζα (primary biomass), που αντιπροσωπεύει τη βιομάζα σε οποιαδήποτε μορφή της (ενεργή, αδρανή, ετερότροφη, αυτότροφη) στην οποία προσροφώνται ενδοκυτταρικά άλλα συστατικά.
- Το συστατικό του νερού (water component).
- Το συστατικό αναφοράς ενεργότητας (activity reference component) το οποίο καθορίζει την ενεργότητα του ρεύματος.

5.4 Ρεύματα Συστατικών

Τα ρεύματα συστατικών μπορεί να είναι δύο κατηγοριών, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της ροής υλικών στο ρεύμα:

- Ρεύματα συνεχούς ροής συστατικών (bulk streams): Ρεύματα που αντιπροσωπεύουν συνεχή ροή υγρών, αέριων ή στερεών ουσιών και θεωρούνται ομογενή.
- Ρεύματα διακεκριμένων ποσοτήτων (discrete streams): Αναφέρονται σε μία συγκεκριμένη ποσότητα κάποιου συστατικού και παρακολουθούν αυτή την ποσότητα στη διαδρομή της.

Ως προς την προσομοίωση μιας διεργασίας, τα ρεύματα διακρίνονται σε ρεύματα:

- Εισόδου
- Ενδιάμεσα
- Εξόδου

Ο χρήστης καθορίζει τις ιδιότητες των ρευμάτων εισόδου (σύνθεση, παροχή, θερμοκρασία, πίεση) και το πρόγραμμα υπολογίζει τις αντίστοιχες ιδιότητες των ενδιάμεσων ρευμάτων και ρευμάτων εξόδου. Ο χρήστης δεν μπορεί να επέμβει στα χαρακτηριστικά ενδιάμεσων ρευμάτων και ρευμάτων εξόδου. Επίσης σε κάθε ρεύμα αποδίδεται από το πρόγραμμα μονοσήμαντα ένας κωδικός, τον οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει δίνοντας στο ρεύμα ένα όνομα.

5.4.1 Καθορισμός ενός Ρεύματος Εισόδου Συνεχούς Ροής Συστατικών

Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τα συστατικά που τα αποτελούν, τις παροχές τους, το εξωκυτταρικό ποσοστό τους (δηλαδή αυτό που δεν είναι προσροφημένο στην βιομάζα), τη θερμοκρασία και την πίεση του ρεύματος, ή να δώσει τη

συνολική παροχή του ρεύματος και την ποσοστιαία σύστασή του και το πρόγραμμα να υπολογίσει τις παροχές των επιμέρους συστατικών. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, το πρόγραμμα υπολογίζει:

1. Την πυκνότητα με βάση τους ογκομετρικούς συντελεστές συνεισφοράς του κάθε συστατικού c_w

$$\text{Πυκνότητα ρεύματος } \rho = \frac{m_{tot}}{\sum c_{wi} (m_i / \rho_i)}$$

Όπου:

m_{tot} : η συνολική μάζα του ρεύματος

m_i : η μάζα του συστατικού

ρ_i : η πυκνότητα του συστατικού I

2. Τις περιβαλλοντικές ιδιότητες του ρεύματος, TOC, TP, TKN, NH₃, CaCO₃, COD, NO₃-NO₂, BOD_u, BOD₅, TS, TSS, VSS, DVSS, TDS, VDS, DVDS

5.5 Μονάδες Διεργασιών

Στο πρόγραμμα SuperPro Designer ως μονάδα διεργασιών ορίζεται μια μοντελοποιημένη αλληλουχία πράξεων (που ονομάζονται λειτουργίες) η οποία πραγματοποιείται με την ίδια βασική μονάδα εξοπλισμού. Οι μονάδες διεργασιών διακρίνονται σε μονάδες διεργασιών σε διαλείπουσα λειτουργία και σε μονάδες διεργασιών σε συνεχή λειτουργία ή ημισυνεχή.

Στις μονάδες διεργασιών σε διαλείπουσα λειτουργία, συντελείται μια σειρά λειτουργιών ή και κάποιες ταυτόχρονα, χωρίς να υπάρχει όριο στον αριθμό των λειτουργιών που μπορούν να αποδοθούν στη μονάδα. Επιπλέον, περισσότερες από μία μονάδες μπορούν να μοιραστούν τον ίδιο εξοπλισμό. Αντίθετα, στις μονάδες διεργασιών σε συνεχή λειτουργία ή ημισυνεχή, ο εξοπλισμός τους αποδίδεται μονοσήμαντα.

Το πρόγραμμα ζητά να καθοριστεί η μορφή λειτουργίας κάθε μονάδας:

- Διαλείπουσα
- Συνεχής
- Ημισυνεχής

5.5.1 Απεικόνιση στο Διάγραμμα Ροής

Κάθε μονάδα αντιπροσωπεύεται στο διάγραμμα ροής με ένα εικονίδιο, το οποίο έχει θύρες εισόδου και εξόδου. Σε κάθε θύρα μπορεί να αποδοθεί μονοσήμαντα ένα ρεύμα εισόδου ή εξόδου αντίστοιχα. Κάθε εικονίδιο φέρει επίσης δύο κωδικούς, έναν με το όνομα της μονάδας διεργασιών και έναν περιγραφικό της μονάδας.

5.5.2 Είδη Διεργασιών που Μοντελοποιούνται από το SuperPro Designer

Οι διεργασίες που μοντελοποιεί το πρόγραμμα και οι αντίστοιχες μονάδες που χρησιμοποιεί παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.2.

Διεργασία	Μονάδες
Διεργασίες δοχείων	Σε αντιδραστήρα, ζυμωτήρα, ζυμωτήρα εμβολιασμού, ζυμωτήρα air -lift
Συνεχείς αντιδράσεις	Σε αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης, εμβολικής ροής, ζυμωτήρα, ζυμωτήρα εμβολιασμού, ζυμωτήρα air-lift
Αντιδράσεις ισορροπίας	Σε αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης
Περιβαλλοντικές αντιδράσεις	Σε αερόβιο βιοαντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης, εμβολικής ροής, αναερόβιο αντιδραστήρα, ανοξικό αντιδραστήρα, εξουδετέρωση, περιστρεφόμενα φίλτρα αποτέφρωσης, υγρής οξείδωσης αέρα, υπεριώδους ακτινοβολίας, μικροδιήθησης, υπερδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης, διήθησης με περιστρεφόμενο φίλτρο κενού, διήθησης πλακών, διήθησης σε ταινιοφιλτρόπρεσσα, διήθησης σε κοκκώδες φίλτρο, ηλεκτροστατική καταβύθιση, σακκόφιλτρο
Φυγοκέντρωση	Σε φυγόκεντρο τύπου decanter, δίσκων, κάδου, αέριο κυκλώνα, υδροκυκλώνα
Ομογενοποίηση	Υψηλής πίεσης, bead mill
Χρωματογραφία	Gel filtration, χρωματογραφία απορρόφησης, χρωματογραφία προσρόφησης, ιονανταλλαγής, απορρόφησης σε στήλη packed bed για υγρά και αέρια ρεύματα
Ξήρανση	Σε ξηραντήρα δίσκου, ξηραντήρα ψεκασμού, ξηραντήρα ρευστής κλίνης, περιστρεφόμενο ξηραντήρα, ξηραντήρα ιλός
Καθίζηση	Σε μονάδα διαχωρισμού υγρής-υγρής φάσης, διαυγαστήρα, διαυγαστήρα κεκλιμένων πλακών, πάχυνσης, επίπλευσης, διαχωρισμού λαδιού
Απόσταξη	Σε flash, μονάδες διαλείπουσας και συνεχούς απόσταξης
Εκχύλιση	Σε αναμίκτη-καθιζητήρα, διαφορικής εκχύλισης, φυγοκέντρωσης
Αλλαγή φάσης	Συμπύκνωσης, πολλαπλής εξάτμισης, κρυσταλλοποίησης
Απορρόφηση/Εκρόφηση	Απορρόφησης, εκρόφησης, απαέρωσης
Αποθήκευση	Διαλείπουσας λειτουργίας: Σε δεξαμενή ανάμιξης, σε δεξαμενή επίπεδου πυθμένα, σε οριζόντια δεξαμενή, σε σιλό, σε κατακόρυφη δεξαμενή

	Συνεχούς λειτουργίας: Σε δεξαμενή ανάμιξης, σε δεξαμενή επίπεδου πυθμένα, σε οριζόντια δεξαμενή, σε σιλό, σε κατακόρυφη δεξαμενή, σε δεξαμενή εξισορρόπησης
Εναλλαγή θερμότητας	Θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρικής θέρμανσης, εναλλαγής θερμότητας μεταξύ δύο ρευμάτων, θερμικής αποστείρωσης
Ανάμιξη	Αναμίκτης 2 έως 9 ρευμάτων, αναμίκτη ορισμένου έτοι ώστε τα ρεύματα εξόδου να έχουν συγκεκριμένη συγκέντρωση
Διαχωρισμό	Διαχωριστήρα σε 2 ως 9 ρεύματα, ή ορισμένου έτοι ώστε τα ρεύματα εξόδου να έχουν τις επιθυμητές παροχές
Διαχωρισμό σε συστατικά	Διαχωριστήρα σε 2 ως 9 ρεύματα συστατικών
Μείωση μεγέθους	Άλεσης, τεμαχισμού
Συσκευασία	Καλουπιάσματος με εμφύσηση ή έγχυση, αφαίρεσης υπολειμμάτων καλουπιάσματος, πλήρωσης, ετικετοποίησης, παλετοποίησης
Μεταφορά σε μικρή απόσταση	Υγρών με αντλίες, αερίων με συμπιεστές, ανεμιστήρες, στερεών με μεταφορική ταινία, ανυψωτήρα
Μεταφορά σε μεγάλη απόσταση	Θαλάσσια, αεροπορική, με τραίνο ή με φορτηγό
Generic boxes	Με ταυτόχρονο διαχωρισμό ενός ρεύματος σε 1 ή 2: διέλευση ή και ταυτόχρονη αντίδραση που δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί διαφορετικά

Πίνακας 5.5.2: Είδη διεργασιών που μοντελοποιούνται στο SuperPro Designer (Πηγή: [5])

Για κάθε μονάδα καθορίζονται μέσω των αντίστοιχων οθονών επιλογής:

Οι λειτουργικές συνθήκες (operating conditions). Στις συνεχείς διεργασίες κάθε μονάδα διεργασιών εκτελεί μια μοναδική λειτουργία, αντίθετα στις διαλειπούσες μπορεί μια μονάδα να εκτελεί ένα πλήθος, του οποίου την αλληλουχία πρέπει να καθορίσει ο χρήστης. Ο χρήστης πρέπει να καθορίσει ορισμένες από τις λειτουργικές συνθήκες (είσοδοι) και το πρόγραμμα υπολογίζει τις υπόλοιπες με βάση τα δεδομένα (έξοδοι).

Οι αντιδράσεις (reactions). Στους αντιδραστήρες καθορίζονται η στοιχειομετρία και η κινητική των αντιδράσεων.

Η έκλυση αερίων (gas release) ή οι εκπομπές (emissions) αερίων. Τα ποσοστά είτε καθορίζονται από το χρήστη είτε υπολογίζονται μέσω αντίστοιχων μοντέλων.

Η **προσρόφηση (absorption)**. Καθορίζονται τα συστατικά που προσροφώνται στη βιομάζα και τα αντίστοιχα ποσοστά προσρόφησης μόνο για βιολογικούς αντιδραστήρες.

Οι **όγκοι και οι σχέσεις όγκων (volumes)**. Ο χρήστης καθορίζει το χρόνο παραμονής σε μια μονάδα διεργασιών, ή τη σχέση και τα όρια ενεργού/συνολικού όγκου.

Ο **χρονοπρογραμματισμός (time scheduling)**. Καθορίζεται η ώρα έναρξης και η διάρκεια του λειτουργικού κύκλου μόνο για μονάδες διεργασιών διαλείπουσας λειτουργίας.

Το **εργατικό κόστος (labor)**. Για το εργατικό κόστος ρυθμίζονται επιμέρους:

- Ο συντελεστής εργατικού κόστους σε εργατοώρες ανά μονάδα λειτουργίας της μονάδας
- Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις (Θέρμανση/Ψύξη/Ενέργεια), οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο για τον υπολογισμό κόστους πρώτων υλών και δεν υπολογίζονται στα ισοζύγια μάζας και ενέργειας της εφαρμογής
- Ο συντελεστής χρήσης της πλήρους δυναμικότητας του εξοπλισμού (%)

Το **μέσο μεταφοράς θερμότητας**. Το μέσο μεταφοράς θερμότητας καθορίζεται σε κάθε διεργασία που αφορά εναλλαγή θερμότητας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από τη βιβλιοθήκη μέσων θέρμανσης/ψύξης του προγράμματος, ή να προσθέσει κάποιο δικό του το οποίο στη συνέχεια να συμπεριλάβει στην παραπάνω βάση δεδομένων. Για κάθε μέσο θέρμανσης/ψύξης ο χρήστης καθορίζει τις θερμοκρασίες εισόδου-εξόδου στη μονάδα, την αποδιδόμενη ενέργεια ανά μονάδα μάζας, και την τιμή ανά μονάδα μάζας. Τα θερμαντικά μέσα που προσδιορίζονται από την οθόνη αυτή συμμετέχουν στους υπολογισμούς των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.

Ο **εξοπλισμός**. Σε κάθε μονάδα διεργασιών, ο εξοπλισμός αποδίδεται αυτομάτως από το πρόγραμμα εκτός από τις διεργασίες ανάμιξης, διαχωρισμού, τις μονάδες γενικής χρήσης και τις διεργασίες μεταφοράς από ξηράς, αέρα ή θάλασσας.

Ο χρήστης μπορεί:

- Να καθορίσει το μέγεθος των αντίστοιχων μονάδων (rating mode) ή να καθορίσει ότι τα κατασκευαστικά στοιχεία του εξοπλισμού θα υπολογιστούν από το πρόγραμμα (design mode). Στην δεύτερη περίπτωση το πρόγραμμα υπολογίζει τα μεγέθη με βάση τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που έχουν δοθεί από τον χρήστη.
- Να καθορίσει το ακριβές τμήμα του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί από τη συγκεκριμένη μονάδα διεργασιών. Αν και το είδος του εξοπλισμού επιλέγεται από το πρόγραμμα αυτόματα ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ότι δύο μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν π.χ. τον ίδιο αντιδραστήρα (μόνο σε διαλείπουσες διεργασίες).

Το **κόστος αγοράς εξοπλισμού**. Το κόστος αγοράς εξοπλισμού για μια συγκεκριμένη μονάδα μπορεί να υπολογιστεί από το πρόγραμμα με βάση το ενσωματωμένο μοντέλο ή να καθοριστεί απευθείας από το χρήστη.

Οι **αναπροσαρμογές κόστους**. Οι αναπροσαρμογές κόστους ρυθμίζονται σε σχέση με:

- Το τμήμα του εξοπλισμού που έχει ήδη υποστεί απόσβεση
- Το κόστος εγκατάστασης
- Το συντελεστή υλικού: το πρόγραμμα κατά τον υπολογισμό του κόστους αγοράς θεωρεί ένα υλικό ως προεπιλεγμένο. Σε περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει οποιοδήποτε άλλο για τη συγκεκριμένη μονάδα, το κόστος που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή που δείχνει την σχέση με το κόστος του υλικού αναφοράς
- Τον αριθμό των εφεδρικών μονάδων εξοπλισμού

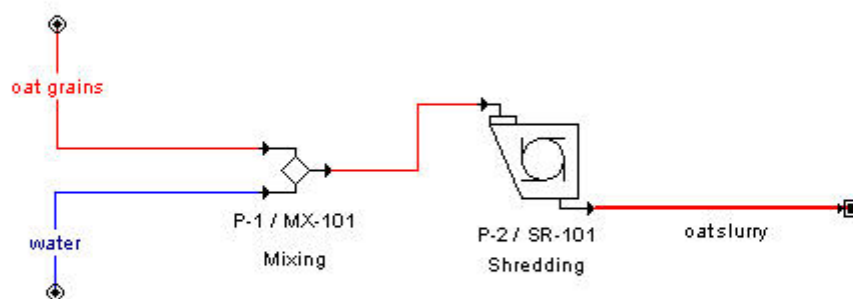
Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία το πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από:

- Μοντέλα για περισσότερες από 140 φυσικές διεργασίες/λειτουργίες
- Αυστηρά πρότυπα αντιδραστήρων
- Ισοζύγια υλικών και ενέργειας
- Εκτενείς βάσεις δεδομένων χημικών συστατικών και μιγμάτων
- Εκτενείς βάσεις δεδομένων εξοπλισμού και πηγών
- Διαστασιολόγηση και οικονομική εκτίμηση εξοπλισμού
- Λεπτομερή οικονομική ανάλυση διεργασιών
- Προγραμματισμός των διεργασιών διαλείποντος έργου
- Ανάλυση του συνολικού έργου και αντιμετώπιση των επιβραδυντικών παραγόντων
- Εντοπισμός των πηγών (αναλώσιμα, πρώτες ύλες και εργασία) σαν συνάρτηση με το χρόνο
- Χαρακτηρισμός του ρεύματος των αποβλήτων
- Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Δημιουργία διαγραμμάτων ροής και προσαρμογή τους μέσω της εισαγωγής γραφικών και κειμένων του χρήστη
- Συμβατότητα με μία ποικιλία προγραμμάτων γραφικών και επεξεργασίας κειμένων

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ SUPERPRO DESIGNER

6.1 Προσομοίωση της Επεξεργασίας των Σπόρων Βρώμης

Η προσομοίωση της επεξεργασίας των σπόρων βρώμης, πραγματοποιήθηκε στην πρώτη εφαρμογή του λογισμικού προγράμματος SuperPro Designer (Εικόνα 6.1) σε λειτουργία διαλείποντος έργου (batch). Ο χρόνος της διεργασίας ορίστηκε 1h και τα αποτελέσματα της κάθε λειτουργίας που την απαρτίζουν παρουσιάζονται μέσω της χρήσης των παραθύρων επικοινωνίας του λογισμικού προγράμματος SuperPro Designer.



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης της επεξεργασίας των σπόρων βρώμης

Η προσομοίωση της λειτουργίας του μύλου κολλοειδών πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση δύο διαγραμματικών διεργασιών, της ανάμιξης P-1/MX-101 (Mixing) του ρεύματος των σπόρων βρώμης (Stream oat grains-Παράθυρο 6.1.1) με το ρεύμα του νερού (Stream water-Παράθυρο 6.1.2) και της μείωσης του μεγέθους των σπόρων βρώμης P-2/SR-101 (Shredding).

Στη διεργασία της ανάμιξης στη συσκευή P-1/MX-101 το πρόγραμμα υπολογίζει, επιλύοντας τα ισοζύγια μάζας, την καινούργια παροχή του ρεύματος ανάμιξης νερού και σπόρων βρώμης (Παράθυρο 6.1.3). Ο χρόνος της διεργασίας ορίστηκε 5min. Το νέο ρεύμα εισέρχεται στη συσκευή P-2/SR-101 όπου επιλέγεται να γίνει μείωση του μεγέθους των σπόρων βρώμης κατά 50% (Παράθυρο 6.1.4) με χρόνο διεργασίας άλλα 5min. Τα αποτελέσματα της τμηματικής επεξεργασίας των σπόρων βρώμης συγκεντρώνονται στο ρεύμα εκροής του αιωρήματος νερού/βρώμης (Stream oat slurry-Παράθυρο 6.1.5).

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Registered Ingredients

☒ Components
☐ Stock Mixtures

ash

ash
fat
fiber
Nitrogen
Oxygen
proteins
starch
Water

>>>

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	<input checked="" type="checkbox"/>	36,91500	3,000	29,46934	100,0
2	fat	<input checked="" type="checkbox"/>	86,13500	7,000	68,76179	100,0
3	fiber	<input checked="" type="checkbox"/>	172,27000	14,000	137,52359	100,0
4	proteins	<input checked="" type="checkbox"/>	159,96500	13,000	127,70047	100,0
5	starch	<input checked="" type="checkbox"/>	775,21500	63,000	618,85613	100,0

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates Auto-Adjust ☐

☒ Set Mass Flow 1230,500 kg/batch
☐ Set Vol. Flow 1252,658 L/batch

Temperature 59,00 °C
Pressure 1,013 bar
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☒ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☐ Time Average h

Παράθυρο 6.1.1: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος εισροής σπόρων βρώμης (Stream oat grains)

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Registered Ingredients

☒ Components
☐ Stock Mixtures

ash

ash
fat
fiber
Nitrogen
Oxygen
proteins
starch
Water

>>>

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	9469,50000	100,000	982,31133	100,0

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates Auto-Adjust ☐

☒ Set Mass Flow 9469,500 kg/batch
☐ Set Vol. Flow 9640,019 L/batch

Temperature 59,00 °C
Pressure 1,013 bar
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☒ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☐ Time Average h

Παράθυρο 6.1.2: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος του νερού (Stream water)

Oper.Cond's | Utilities | Labor, etc. | Description | Scheduling

Operating Throughput per Unit kg/h

Duration

Setup Time min

Process Time

☒ Set by User h

☐ Calculated Based on Throughput

Παράθυρο 6.1.3: Αποτελέσματα ανάμιξης του ρεύματος νερού και σπόρων βρώμης στη συσκευή P-1/MX-101 (Mixing)

Oper.Cond's | Utilities | Labor, etc. | Description | Scheduling

Operating Throughput per Unit kg/h

Duration

Setup Time min

Process Time

☒ Set by User h

☐ Calculated Based on Throughput

Παράθυρο 6.1.4: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της μείωσης μεγέθους των σπόρων βρώμης στη συσκευή P-2/SR-101 (Shredding)

Composition, etc. | Density | Env.Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	36,91500	0,3450	3,388974	100,00
2	fat	86,13500	0,8050	7,907606	100,00
3	fiber	172,27000	1,6100	15,815212	100,00
4	proteins	159,96500	1,4950	14,685554	100,00
5	starch	775,21500	7,2450	71,168455	100,00
6	Water	9469,50000	88,5000	869,345523	100,00

Total Flowrates

Mass Flow kg/batch

Volumetric Flow L/batch

Temperature °C

Pressure bar

Activity U/mL

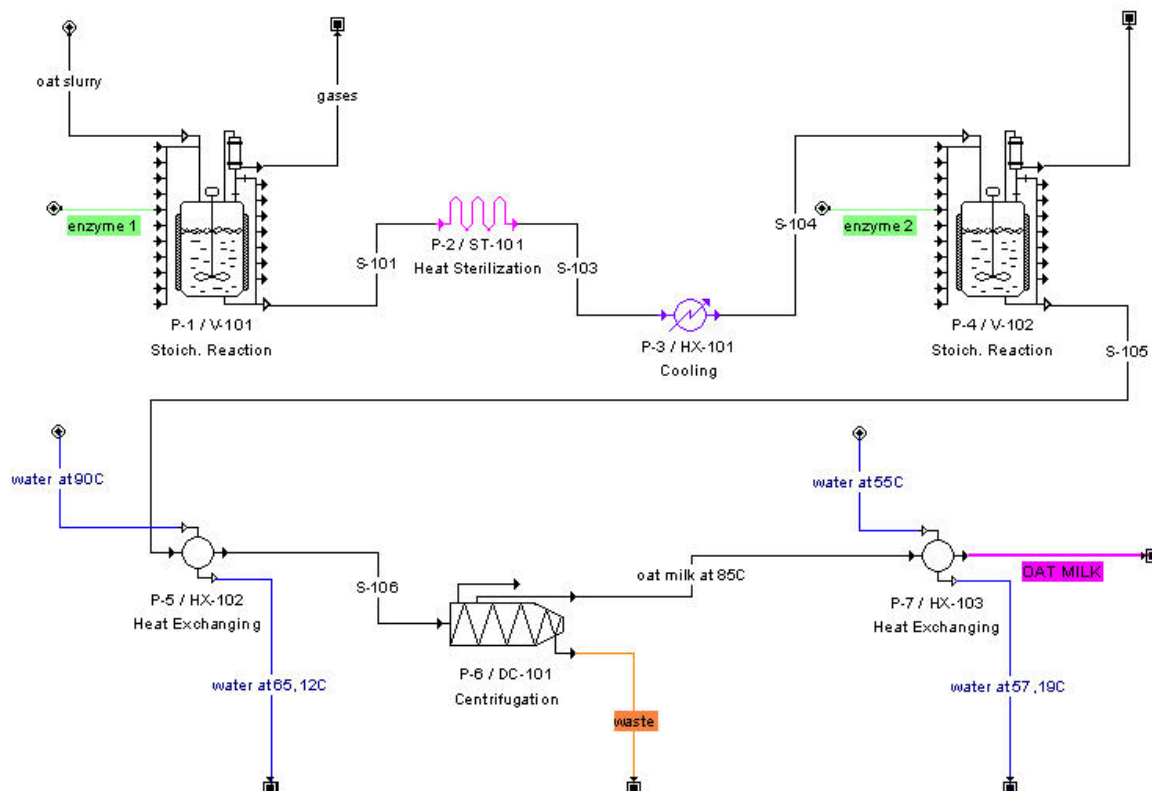
Units Mass in Volume in Composition in Conc. in

Time Ref. for Flows ☒ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☐ Time Average

Παράθυρο 6.1.5: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος εκροής αιωρήματος νερού/βρώμης (Stream oat slurry)

6.2 Προσομοίωση του Βασικού Τμήματος Παραγωγής Γάλακτος Βρώμης (Oat – Milk)

Οι βασικές διεργασίες παραγωγής γάλακτος από βρώμη προσομοιώθηκαν με τη χρήση του SuperPro Designer (Εικόνα 6.2), σε συνεχή λειτουργία (continuous) και τα αποτελέσματα της κάθε διεργασίας παρουσιάζονται με τα παράθυρα επικοινωνίας του προγράμματος.



Εικόνα 6.2: Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης των βασικών διεργασιών παραγωγής γάλακτος από βρώμη

Το ρεύμα αιωρήματος νερού και βρώμης (oat slurry) εισέρχεται στη συσκευή P-1/V-101 σε θερμοκρασία 59°C και αναδεύεται συνεχώς. Παράλληλα προστίθεται και η πρώτη ποσότητα του αμυλοτικού ενζύμου (Παράθυρο 6.2.1). Υπό την επίδραση του ενζύμου το άμυλο αρχίζει σταδιακά να υδρολύεται προς μαλτόζη και δεξτρίνες.

Για την προσομοίωση της αντίδρασης του αμύλου με το ένζυμο, το λογισμικό πρόγραμμα SuperPro Designer απαιτούσε τη στοιχειομετρία της αντίδρασης που ωστόσο δεν είναι γνωστή. Για το λόγο αυτό με τη λογική ότι ένα μόριο αμύλου απαρτίζεται περίπου από 1000 γλυκοζιτικές μονάδες και κάθε μόριο γλυκόζης αποτελείται από 2 μόρια μαλτόζης έγινε χρήση μιας απλουστευμένης παραδοχής (Παράθυρο 6.2.2). Πρόσθετα για την αντίδραση, ως συστατικό αναφοράς επιλέχτηκε το άμυλο, με βαθμό μετατροπής (reaction extend) 45% (Παράθυρο 6.2.3). Με επιλογή χρόνου αντίδρασης (resident time) 40min το πρόγραμμα υπολογίζει ότι για τη διεργασία αυτή χρειάζεται μία μονάδα P-1/V-101 με όγκο 6063,59L (Παράθυρο 6.2.4). Παρατηρούμε ότι στο ρεύμα S-101 (Παράθυρο 6.2.5),

που συγκεντρώνει τα αποτελέσματα της 1^{ης} ενζυματικής υδρόλυσης του αμύλου, παράγεται ένα ποσοστό μαλτόζης της τάξεως του 3,4339%.

Ακολουθεί η θερμική επεξεργασία στη συσκευή P-2/ST-101 (Heat Sterilization), με επιλογή θερμοκρασίας αποστείρωσης τους 110°C (Παράθυρο 6.2.6). Το ρεύμα S-103 το οποίο διαφέρει με το S-101 μόνο ως προς τη θερμοκρασία, εισέρχεται στη συσκευή ψύξης P-3/HX-101 (Cooling) για επαναφορά της θερμοκρασίας του στους 60°C (Παράθυρο 6.2.7).

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Registered Ingredients

Components
Stock Mixtures

ash
enzyme 2
enzyme 1
fat
fiber
maltoze
Nitrogen
Oxygen
proteins
starch
Water

>>>

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	enzyme 1	<input checked="" type="checkbox"/>	21,40000	100,000	982,31133	100,0

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates Auto-Adjust ☐

☒ Sol Mass Flow 21,400 kg/h
☐ Sol Vol Flow 21,785 L/h

Temperature 59,00 °C
Pressure 1,013 bar
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Παράθυρο 6.2.1: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος της 1^{ης} ποσότητας του ενζύμου (Stream enzyme 1)

Component	Molar Coeff.	MW	Mass Coeff.
starch	1,00	62028,01	162028,00
Water	499,00	18,02	8991,98

Total Mass 71019,980

Component	Mole Coeff.	MW	Mass Coeff.
maltoze	500,00	342,00	171000,00

Total Mass 71000,000

Παράθυρο 6.2.2: Παραδοχή για τη στοιχειομετρία της αντίδρασης της 1^{ης} υδρόλυσης του αμύλου

Oper.Cond's | Volumes | Reactions | Emissions | Labor, etc. | Description

Reaction Data

Name: Starch Hydrolysis 1 Seq.No: 1

Reaction Extent

☒ Set: 45,000 %

Based on: ☐ Limiting Comp. ☒ Ref. Comp: starch

☐ Calculate to Achieve: 0,0000 g/L of (none)

Reaction Stoichiometry

Component	Stoich.Coeff.
maltoze	500,00
Nitrogen	0,00
Oxygen	0,00
proteins	0,00
starch	-1,00

Stoichiom. Coefficients: ☐ Mass ☒ Molar

View Reaction Stoichiometry Details

Reaction Heat

Enthalpy: 0,0 kcal/kg

Ref. Comp: starch Ref. Temp: 59,0 °C

Reaction Sequence

Starch Hydrolysis 1

Add... Insert... Rename... Delete

Παράθυρο 6.2.3: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της αντίδρασης για την 1^η υδρόλυση του αμύλου από το ένζυμο

Equipment | Purchase Cost | Adjustments | Scheduling | Throughput | Comments | Allocation

Selection

☒ Select: V-101

☐ Request New: Name:

Size

☒ Calculated (Design Mode)

☐ Set by User (Rating Mode)

Description

Name: V-101

Type: Continuously Stirred Reactor

Number of Units: 1

Max Volume: 20000,00 L

Volume: 6063,59 L

Max Allowable Working/Vessel Volume: 90,00 %

Height / Diameter: 2,500

Height: 3,641 m

Diameter: 1,456 m

Design Pressure: 1,500 bar

ASME Vessel: ☒

Fractionation Column: Attached ☐

Number of Trays: 5

Παράθυρο 6.2.4: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού V-101

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	36,91500	0,3443	3,382223	100,00
2	enzyme 1	21,40000	0,1996	1,960709	100,00
3	fat	86,13500	0,8034	7,891854	100,00
4	fiber	172,27000	1,6068	15,783708	100,00
5	maltoze	368,16349	3,4339	33,731846	100,00
6	proteins	159,96500	1,4920	14,656301	100,00
7	starch	426,36825	3,9768	39,064678	100,00
8	Water	9450,14024	88,1431	865,840005	100,00

Total Flowrates

Mass Flow 10721,357 kg/h

Volumetric Flow 10914,419 L/h

Temperature 59,00 °C

Pressure 1,013 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Παράθυρο 6.2.5: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος S-101

Oper. Cond's | Labor, etc. | Description

Sterilization Criterion --- ln(No/N) --- 37,000

Death Kinetic Constants

ln (Frequency Factor) 83,3500 1/s

Activation Energy 67700,0000 cal/mol

Operating Throughput 10,91 m3/h

Fluid Viscosity 150,0000 cp

Dispersion Coeff. 0,4676 m2/s

Specific Death Rate 0,04 1/s

Linear Velocity 1546,38 m/s

Reynolds Number 12000,00

Peclet Number 330,73

Damkohler Number 0,00

☐ Calculated Based on

Flow Modeling

☐ Plug Flow ☒ w/ Axial Dispersion

Heating / Cooling

Sterilization Temp 120,00 °C

Preheat Outlet Temp 59,00 °C

Final Exit Temp 110,00 °C

Heating

Agent

Name Steam

In Temp. 152,00 °C

Out Temp. 152,00 °C

Rate 605481,3 kcal/h

Mass Flow 1242,49 kg/h

Cooling

Agent

Name Cooling Water

In Temp. 25,00 °C

Out Temp. 30,00 °C

Rate 99259,2 kcal/h

Mass Flow 19862,98 kg/h

Παράθυρο 6.2.6: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της θερμικής επεξεργασίας στη συσκευή P-2/ST-101 (Heat Sterilization)

The screenshot shows a software interface with two main sections: 'Cooling Specification' and 'Heat Agent'.

Cooling Specification:

- ☒ Set Exit Temperature: 60,00 °C
- ☐ Set Cooling Duty: 496296,18 kcal/h

Heat Agent:

- Name: Chilled Water (dropdown menu)
- Inlet Temp.: 5,00 °C
- Outlet Temp.: 10,00 °C
- Agent Rate: 98820,18 kg/h

Below these sections, there are two more fields:

- Heat Transfer Coeff.: 1290,66 kcal/m²·h·°C
- Heat Transfer Effic.: 100,00 %

Παράθυρο 6.2.7: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της διεργασίας ψύξης του προϊόντος στη συσκευή P-3/HX-101 (Cooling)

Το ρεύμα S-104 εισέρχεται στη συσκευή P-4/V-102 στους 60°C για το δεύτερο στάδιο ενζυμικής ζύμωσης υπό συνεχή ανάδευση. Παράλληλα προστίθεται και η δεύτερη ποσότητα του αμυλοτικού ενζύμου (Παράθυρο 6.2.8). Για τη στοιχειομετρία της αντίδρασης εκτελείται η ίδια παραδοχή όπως και στην 1^η ενζυμική υδρόλυση του αμύλου, με συστατικό αναφοράς το άμυλο και βαθμό μετατροπής του 45% (Παράθυρο 6.2.9). Για χρόνο αντίδρασης (resident time) 20min το πρόγραμμα υπολογίζει ότι απαιτείται μία μονάδα P-4/V-102 με όγκο 3035,03L (Παράθυρο 6.2.10). Τα αποτελέσματα της διεργασίας περιγράφονται στο ρεύμα S-105 (Παράθυρο 6.2.11).

The screenshot shows a software interface with four tabs: 'Composition, etc.', 'Density', 'Env. Properties', and 'Comments'. The 'Composition' tab is active.

Registered Ingredients:

- ☒ Components
- ☐ Stock Mixtures

ash

>>>

ash
enzyme 2
enzyme 1
fat
fiber
maltose
Nitrogen
Oxygen
proteins
starch
Water

Composition Table:

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	enzyme 2	<input checked="" type="checkbox"/>	7,49000	100,000	981,94683	100,0

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates: Auto-Adjust ☐

- ☒ Set Mass. Flow: 7,490 kg/h
- ☐ Set Vol. Flow: 7,628 L/h

Temperature: 60,00 °C
Pressure: 1,013 bar
Activity: 0,00 U/mL

Units: Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows: ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Παράθυρο 6.2.8: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι της 2^{ης} ποσότητας του ενζύμου (Stream enzyme 2)

Oper. Cond's | Volumes | Reactions | Emissions | Labor, etc. | Description

Reaction Data

Name: Starch Hydrolysis 2 Seq.No: 1

Reaction Extent

☒ Set: 45,000 %

Based on: ☐ Limiting Comp. ☒ Ref. Comp: starch

☐ Calculate to Achieve: 0,0000 g/L of (none)

Reaction Stoichiometry

Component	Stoich. Coeff.
maltoze	500,00
Nitrogen	0,00
Oxygen	0,00
proteins	0,00
starch	-1,00

Stoichiom. Coefficients: ☐ Mass ☒ Molar

View Reaction Stoichiometry Details

Reaction Heat

Enthalpy: 0,0 kcal/kg

Ref. Comp: starch Ref. Temp: 60,0 °C

Reaction Sequence

Starch Hydrolysis 2

Add... Insert... Rename... Delete

Παράθυρο 6.2.9: Ρυθμίσεις για την προσομοίωση της αντίδρασης της 2^{ης} υδρόλυσης του αμύλου από το ένζυμο

Equipment | Purchase Cost | Adjustments | Scheduling | Throughput | Comments | Allocation

Selection

☒ Select: V-102

☐ Request New

Name:

Size

☒ Calculated (Design Mode)

☐ Set by User (Rating Mode)

Description

Name: V-102

Type: Continuously Stirred Reactor

Number of Units: 1

Max Volume: 10000,00 L

Volume: 3035,03 L

Max Allowable Working/Vessel Volume: 90,00 %

Height / Diameter: 2,500

Height: 2,891 m

Diameter: 1,156 m

Design Pressure: 1,500 bar

ASME Vessel: ☐

Fractionation Column: Attached ☐

Number of Trays: 5

Παράθυρο 6.2.10: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού V-102

Composition Data					
	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	36,91500	0,3441	3,378615	100,00
2	enzyme 2	7,49000	0,0698	0,685516	100,00
3	enzyme 1	21,40000	0,1995	1,958618	100,00
4	fat	86,13500	0,8028	7,883436	100,00
5	fiber	172,27000	1,6057	15,766872	100,00
6	maltoze	570,65341	5,3189	52,228589	100,00
7	proteins	159,96500	1,4910	14,640666	100,00
8	starch	234,50254	2,1857	21,462654	100,00
9	Water	9439,49237	87,9826	863,941859	100,00

Total Flowrates		Temperature
Mass Flow	10728,823 kg/h	60,00 °C
Volumetric Flow	10926,074 L/h	Pressure 1,013 bar
		Activity 0,00 U/mL

Units	Mass in	Volume in	Composition in	Conc. in
kg	L	%	g/L	

Time Ref. for Flows	Batch	Source Cycle	Destination Cycle	Time Average
				h

Παράθυρο 6.2.11: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος S-105

Στη συνέχεια το ρεύμα S-105 εισέρχεται στη συσκευή P-5/HX-102 (Heat Exchanging) που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες, για την αύξηση της θερμοκρασίας του ενδιάμεσου προϊόντος από τους 60°C στους 85°C (Παράθυρο 6.2.12).

Ακολουθεί το στάδιο που το ενδιάμεσο προϊόν στους 85°C (Ρεύμα S-106-Παράθυρο 6.2.13), διαχωρίζεται από το απόβλητο. Η προσομοίωση του decanter επιτυγχάνεται στη συσκευή P-6/DC-101 (Centrifugation), (Παράθυρο 6.2.14). Ποιο αναλυτικά επιλέγεται αφαίρεση στερεών σε ποσοστά 50% για τα ιόντα (ash), 10% για τα λίπη (fat), 50% για τις φυτικές ίνες (fibers), 30% για τη μαλτόζη (maltoze), 50% για τις πρωτεΐνες και 50% για το άμυλο (Παράθυρο 6.2.15).

Oper. Cond's	Labor, etc.	Description
Flow Type <input checked="" type="radio"/> Countercurrent <input type="radio"/> Cocurrent Correction Factor 1,00		
Performance Options <input checked="" type="radio"/> Min. Temp. Approach 5,00 °C <input type="radio"/> Hot Stream Temp. Decrease 24,88 °C <input type="radio"/> Cold Stream Temp. Increase 25,00 °C <input type="radio"/> Hot Stream Outlet Temp. 65,12 °C <input type="radio"/> Cold Stream Outlet Temp. 85,00 °C		
Pressure Drop Tube (Main) Stream 0,000 bar Shell (Side) Stream 0,000 bar Heat Transfer Coeff. 1290,66 kcal/m ² ·h·°C		

Παράθυρο 6.2.12: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης του εναλλάκτη θερμότητας P-5/HX-102 (Heat Exchanging) για θέρμανση του ενδιάμεσου προϊόντος

Composition, etc.					
Composition Data					
	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	36,91500	0,3441	3,347262	100,00
2	enzyme 2	7,49000	0,0698	0,679155	100,00
3	enzyme 1	21,40000	0,1995	1,940442	100,00
4	fat	86,13500	0,8028	7,810277	100,00
5	fiber	172,27000	1,6057	15,620554	100,00
6	maltoze	570,65341	5,3189	51,743906	100,00
7	proteins	159,96500	1,4910	14,504801	100,00
8	starch	234,50254	2,1857	21,263480	100,00
9	Water	9439,49237	87,9826	855,924449	100,00

Total Flowrates		Temperature	
Mass Flow	10728,823 kg/h	85,00	°C
Volumetric Flow	11028,418 L/h	Pressure	1,013 bar
		Activity	0,00 U/mL

Units	Mass in	Volume in	Composition in	Conc. in
	kg	L	%	g/L

Time Ref. for Flows
<input type="radio"/> Batch <input type="radio"/> Source Cycle <input type="radio"/> Destination Cycle <input checked="" type="radio"/> Time Average

Παράθυρο 6.2.13: Ρεύμα S-106

Oper. Cond's		Mat. Balance		Utilities		Labor, etc.		Description	
Equipment Design/Rating is based on									
<input checked="" type="radio"/> Solids Removal <input type="radio"/> Oil/Fat Removal <input type="radio"/> Solids and Oil/Fat Removal									
Limiting Oil Globule Data									
Min Diameter 20,00 microns Density 900,000 kg/m3									
Limiting Solid Particle Data									
Min Diameter 1,00 microns Density 1030,000 kg/m3									
Water (Solvent) Component Data									
Density 1000,000 kg/m3 Viscosity 50,000 cp									
Sedimentation Efficiency 30,0 %									
Volumetric Throughput per Unit 183,81 L/min									

Παράθυρο 6.2.14: Ρυθμίσεις για την προσομοίωση του decanter P-6/DC-101

Oper.Cond's | Mat.Balance | Utilities | Labor, etc. | Description

Removal of Particulate and Oily Components

Component Removal % ☒ Set by User ☐ Calculated

	Component	Oil Components Removal %	Solid Components Removal %
1	ash	0,00	50,00
2	enzyme 2	0,00	0,00
3	enzyme 1	0,00	0,00
4	fat	0,00	10,00
5	fiber	0,00	50,00
6	maltoze	0,00	30,00
7	Nitrogen	0,00	0,00
8	Oxygen	0,00	0,00

Oil Concentration in Oil Stream 200,00 g/L

Solids Concentration in Solids Stream 150,00 g/L

Παράθυρο 6.2.15: Επιλεγμένα ποσοστά αφαίρεσης στερεών από τα συστατικά στο decanter P-6/DC-101

Το ρεύμα του γάλακτος βρώμης που αποτελεί το καθαρό προϊόν σε θερμοκρασία 85°C (Stream oat milk at 85°C) περνάει στο τελικό στάδιο επεξεργασίας, όπου μέσω του εναλλάκτη θερμότητας P-7/HX-103 (Heat Exchanging) επανέρχεται στη θερμοκρασία των 60°C (Παράθυρο 6.2.16). Η σύσταση του τελικού προϊόντος γάλακτος βρώμης παρουσιάζεται στο Παράθυρο 6.2.17.

Oper.Cond's | Labor, etc. | Description

Flow Type

☒ Countercurrent ☐ Cocurrent

Correction Factor 1,00

Performance Options

☒ Min. Temp. Approach 5,00 °C

☐ Hot Stream Temp. Decrease 25,00 °C

☐ Cold Stream Temp. Increase 2,19 °C

☐ Hot Stream Outlet Temp. 60,00 °C

☐ Cold Stream Outlet Temp. 57,19 °C

Pressure Drop

Tube (Main) Stream 0,000 bar

Shell (Side) Stream 0,000 bar

Heat Transfer Coeff. 1290,66 kcal/m²·h·°C

Παράθυρο 6.2.16: Ρυθμίσεις για την προσομοίωση του εναλλάκτη θερμότητας P-7/HX-103 (Heat Exchanging) για την ψύξη του προϊόντος

Composition, etc.					
Density					
Env. Properties					
Comments					
Composition Data					
	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	18,45750	0,1990	1,954238	100,00
2	fat	77,52150	0,8359	8,207799	100,00
3	fiber	86,13500	0,9287	9,119777	100,00
4	maltoze	399,45739	4,3071	42,293636	100,00
5	proteins	79,98250	0,8624	8,468365	100,00
6	starch	117,25127	1,2643	12,414297	100,00
7	Water	8495,54314	91,6026	899,488713	100,00

Total Flowrates	
Mass Flow	9274,348 kg/h
Volumetric Flow	9444,858 L/h

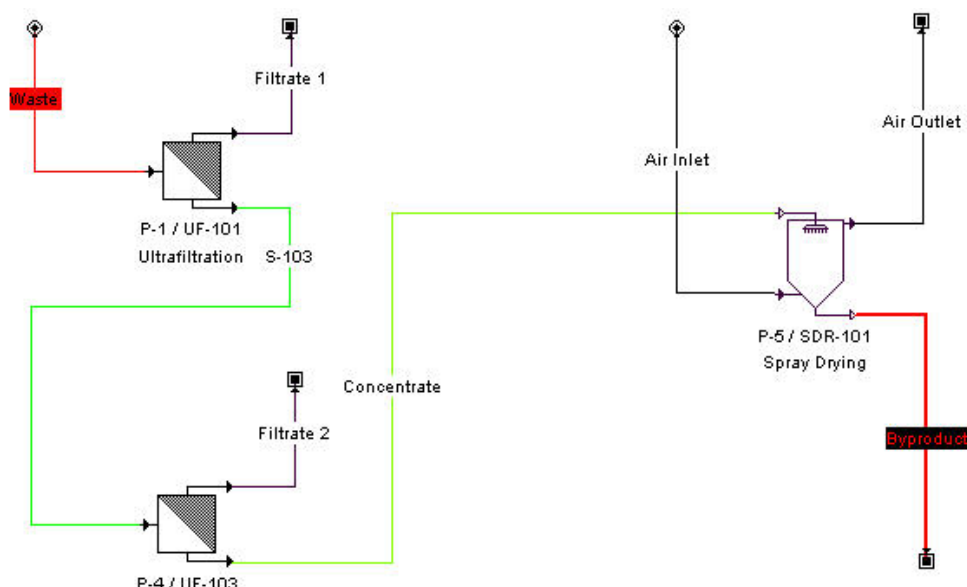
Temperature	60,00 °C
Pressure	1,013 bar
Activity	0,00 U/mL

Units	Mass in kg	Volume in L	Composition in %	Conc. in g/L
Time Ref. for Flows	<input type="radio"/> Batch	<input type="radio"/> Source Cycle	<input type="radio"/> Destination Cycle	<input checked="" type="radio"/> Time Average

Παράθυρο 6.2.17: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του τελικού προϊόντος γάλακτος βρώμης (Stream OAT MILK)

6.3 Προσομοίωση της Διαχείρισης του Αποβλήτου

Οι διεργασίες που προτείνονται για τη διαχείριση του 'αποβλήτου' της γαλακτοβιομηχανίας, με σκοπό τη διάθεση του ως ζωτροφή, προσομοιώθηκαν με τη χρήση του λογισμικού SuperPro Designer σε ημισυνεχή λειτουργία. Στο διάγραμμα ροής (Εικόνα 6.3) απεικονίζονται οι δύο συσκευές υπερδιήθησης P-1/UF-101 και P-4/UF-103 και η συσκευή ξήρανσης με ψεκασμό P-5/SDR-101. Ο λόγος που προτείνεται η μέθοδος της υπερδιήθησης σε επανάληψη είναι για να αποφευχθεί η περίπτωση πόλωσης της συγκέντρωσης της μεμβράνης υπερδιήθησης, εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης των στερεών.



Εικόνα 6.3: Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης της διαχείρισης του 'αποβλήτου'

Το ρεύμα του 'αποβλήτου' (Stream Waste-Παράθυρο 6.3.1) εισέρχεται στη συσκευή υπερδιήθησης P-1/UF-101 (Ultrafiltration). Επιλέγεται συντελεστής απόρριψης (rejection coefficient) στη μεμβράνη 50% για τις δεξτρίνες (dextrins), 95% για τις φυτικές ίνες (fibers) και 90% για τις πρωτεΐνες (proteins) με βαθμό συγκέντρωσης (concentration factor) στη μεμβράνη 1,5% (Παράθυρο 6.3.2). Με αυτές τις ρυθμίσεις το ρεύμα S-103 (Παράθυρο 6.3.3) που εξέρχεται από την πρώτη διεργασία υπερδιήθησης, περιλαμβάνει στερεά σε ποσοστό περίπου 40% και εισέρχεται στη συσκευή P-4/UF-103 (Ultrafiltration) για επανάληψη της διεργασίας υπερδιήθησης με τις ίδιες ρυθμίσεις (Παράθυρο 6.3.4). Το ρεύμα του περάσματος (Stream Concentrate-Παράθυρο 6.3.5) περιλαμβάνει ποσοστό στερεών της τάξεως του 50% πριν την ξήρανση. Για τη διεργασία της ξήρανσης με ψεκασμό (Παράθυρο 6.3.6) επιλέγεται αφαίρεση νερού σε ποσοστό 90% από όπου και προκύπτει η τελική σύσταση του παραπροϊόντος (Stream Byproduct-Παράθυρο 6.3.7).

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	<input checked="" type="checkbox"/>	18,45750	1,269	12,34541	100,0
2	dextrins	<input checked="" type="checkbox"/>	117,25127	8,061	78,42421	100,0
3	enzyme 1	<input checked="" type="checkbox"/>	21,40000	1,471	14,31352	100,0
4	enzyme 2	<input checked="" type="checkbox"/>	7,49000	0,515	5,00973	100,0
5	fat	<input checked="" type="checkbox"/>	8,61350	0,592	5,76119	100,0
6	fiber	<input checked="" type="checkbox"/>	86,13500	5,922	57,61191	100,0
7	maltoze	<input checked="" type="checkbox"/>	171,19602	11,770	114,50548	100,0
8	proteins	<input checked="" type="checkbox"/>	79,98250	5,499	53,49677	100,0
9	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	943,94924	64,900	631,36610	100,0

Total Flowrates: ☐ Set Mass Flow 1454,475 kg/h ☐ Set Vol. Flow 1495,090 L/h ☐ Auto-Adjust
 Temperature: 85,00 °C Pressure: 1,013 bar Activity: 0,00 U/mL
 Units: Mass in kg Volume in L Composition in % Conc. in g/L
 Time Ref. for Flows: ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Παράθυρο 6.3.1: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος του 'αποβλήτου' (Stream Waste)

Oper. Cond's | Utilities | Filter Cost | Labor, etc. | Description | Scheduling

Rejection Coefficient (RC)

Component	RC (%)
ash	0,00
dextrins	50,00
enzyme 1	0,00
enzyme 2	0,00
fat	0,00
fiber	95,00
maltoze	0,00
...	...

Product Denaturation Data

Denaturation: 5,00 %

Active Product: (none)

Denatured Product: (none)

Duration

Setup Time: 0,00 min

Filtration Time

☒ Set by User: 4,000 h

☐ Calculated Based on: Filtrate Flux: 20,000 L/m²-h

Concentration Factor / Recovery

☒ Concentration Factor (Feed/Retentate): 1,500

☐ Recovery (Permeate/Feed): 30,000 %

Max. Solids Conc. in Retentate: 600,000 g/L

Παράθυρο 6.3.2: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της διεργασίας υπερδιήθησης στη συσκευή P-1/UF-101 (Ultrafiltration)

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	11,27903	1,1632	11,314521	100,00
2	dextrins	93,80102	9,6737	94,096162	100,00
3	enzyme 1	13,07714	1,3486	13,118286	100,00
4	enzyme 2	4,57700	0,4720	4,591400	100,00
5	fat	5,26355	0,5428	5,280110	100,00
6	fiber	84,03415	8,6664	84,298561	100,00
7	maltoze	104,61467	10,7889	104,943845	100,00
8	proteins	76,17381	7,8558	76,413491	100,00
9	Water	576,82966	59,4884	578,644660	100,00

Total Flowrates

Mass Flow: 969,650 kg/h

Volumetric Flow: 996,863 L/h

Temperature: 85,37 °C

Pressure: 1,013 bar

Activity: 0,00 U/mL

Units: Mass in kg | Volume in L | Composition in % | Conc. in g/L

Time Ref. for Flows: ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average | h

Παράθυρο 6.3.3: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος S-103 της διαχείρισης του 'αποβλήτου'

Oper. Cond's | Utilities | Filter Cost | Labor, etc. | Description | Scheduling

Rejection Coefficient (RC)

Component	RC (%)
enzyme 2	0,00
fat	0,00
fiber	95,00
maltoze	0,00
Nitrogen	0,00
Oxygen	0,00
proteins	90,00

Product Denaturation Data

Denaturation: 5,00 %

Active Product: (none)

Denatured Product: (none)

Duration

Setup Time: 0,00 min

Filtration Time

☒ Set by User: 4,000 h

☐ Calculated Based on: Filtrate Flux: 20,000 L/m²-h

Concentration Factor / Recovery

☒ Concentration Factor (Feed/Retentate): 1,500

☐ Recovery (Permeate/Feed): 80,000 %

Max. Solids Conc. in Retentate: 600,000 g/L

Παράθυρο 6.3.4: Ρυθμίσεις της προσομοίωσης της διεργασίας υπερδιήθησης στη συσκευή P-4/UF-103 (Ultrafiltration)

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	6,57005	1,0164	9,884711	100,00
2	dextrins	75,04081	11,6084	112,899788	100,00
3	enzyme 1	7,61744	1,1784	11,460534	100,00
4	enzyme 2	2,66611	0,4124	4,011187	100,00
5	fat	3,06602	0,4743	4,612865	100,00
6	fiber	81,98453	12,6826	123,346697	100,00
7	maltoze	60,93814	9,4268	91,682144	100,00
8	proteins	72,54649	11,2226	109,147043	100,00
9	Water	336,00376	51,9781	505,521625	100,00

Total Flowrates

Mass Flow: 646,433 kg/h

Volumetric Flow: 664,667 L/h

Temperature: 85,73 °C

Pressure: 1,013 bar

Activity: 0,00 U/mL

Units Mass in: kg Volume in: L Composition in: % Conc. in: g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Παράθυρο 6.3.5: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του ρεύματος του περάσματος (Stream Concentrate)

Oper. Cond's | Utility Data | Labor, etc. | Description

Volatile Component Evaporation

☐ Calculated Based on Final LOD

☒ Set by User

Component	Volatile?	Removal%
fat	<input type="checkbox"/>	0,00
fiber	<input type="checkbox"/>	0,00
maltoze	<input type="checkbox"/>	0,00
Nitrogen	<input type="checkbox"/>	0,00
Oxygen	<input type="checkbox"/>	0,00
proteins	<input type="checkbox"/>	0,00
Water	<input checked="" type="checkbox"/>	90,00

Initial LOD %

Final LOD %

Evap. Rate kg evap./m3-h

Final Solids Temp. °C

Drying Gas Requirement kg drying gas per kg evaporated

Παράθυρο 6.3.6: Ρυθμίσεις για την προσομοίωση της διεργασίας της ξήρανσης με ψεκασμό στη συσκευή P-5/SDR-101 (Spray Drying)

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	ash	6,57005	1,9097	18,682930	100,00
2	dextrins	75,04081	21,8123	213,390032	100,00
3	enzyme 1	7,61744	2,2142	21,661368	100,00
4	enzyme 2	2,66611	0,7750	7,581479	100,00
5	fat	3,06602	0,8912	8,718700	100,00
6	fiber	81,98453	23,8306	233,135563	100,00
7	maltoze	60,93814	17,7130	173,286913	100,00
8	proteins	72,54649	21,0873	206,297030	100,00
9	Water	33,60038	9,7667	95,547811	100,00

Total Flowrates

Mass Flow kg/h

Volumetric Flow L/h

Temperature °C

Pressure bar

Activity U/mL

Units Mass in Volume in Composition in Conc. in

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average

Παράθυρο 6.3.7: Σύσταση, παροχή και λειτουργικές παράμετροι του τελικού ρεύματος του παραπροϊόντος (Stream Byproduct)

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που έδωσε το πρόγραμμα SuperPro Designer, από την προσομοίωση των σταδίων επεξεργασίας του τμήματος παραγωγής και την προσομοίωση της προτεινόμενης λύσης διαχείρισης του 'αποβλήτου'. Επιπλέον καταθέτονται νέες προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες στις οποίες μπορεί να προβεί η βιομηχανία φυτικού γάλακτος που εξετάστηκε, με τη χρήση του ίδιου προγράμματος.

7.1 Συμπεράσματα της Μοντελοποίησης της Παραγωγικής Διαδικασίας και Διαχείρισης του Αποβλήτου

Σε σχέση με την ικανότητα του λογισμικού προγράμματος SuperPro Designer που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και διαχείρισης του 'αποβλήτου', προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το πρόγραμμα αποδείχθηκε ικανό και ευέλικτο στο να προσομοιώσει ρεαλιστικά το τμήμα παραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για τα συστατικά, όσο και για τις διεργασίες που προσαρμόστηκαν στο μοντέλο, είναι τα πραγματικά.
- Οι απλουστευμένες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των αντιδράσεων απέδωσαν λογικά αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι το πολυενζυμικό σύστημα της υδρόλυσης του αμύλου είναι πολύπλοκο και δεν έχει διερευνηθεί ακόμα με ακρίβεια.
- Η σύσταση του προϊόντος που προέκυψε από το μοντέλο, προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική σύσταση του φυτικού γάλακτος που παράγει η βιομηχανία.
- Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων με την προσθήκη πύο σύνθετων διεργασιών, όπως είναι οι υπερδιηθήσεις που προτείνονται σε σχέση με τη διαχείριση του 'αποβλήτου' της βιομηχανίας. Η απώλεια μαλτόζης που παρατηρείται θα μπορούσε να αποφευχθεί με μια διεργασία νανοδιήθησης μετά την πρώτη υπερδιήθηση, αλλά για οικονομικούς λόγους, εξαιτίας του σκοπού διάθεσης του 'αποβλήτου', απορρίφθηκε.

7.2 Προτάσεις

Με το ίδιο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, το SuperPro Designer, το μοντέλο που εφαρμόστηκε μπορεί να επεκταθεί:

- Με τη μοντελοποίηση των διεργασιών ανάκτησης των πολύτιμων συστατικών που εμπεριέχονται στο 'απόβλητο' όπως χαρακτηριστικά είναι τα βήτα-γλουκάνια.

- Με την οικονομική αξιολόγηση της λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Με την πρόβλεψη της λειτουργίας της εγκατάστασης με τη χρήση νέων τεχνολογιών πιθανώς και με νέα υπολογιστικά εργαλεία.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική και Ξένη Βιβλιογραφία

- [1] Β.Χρ. Γκέκας & Κ.Μπαλτά, *Βιομηχανία Τροφίμων και Περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005
- [2] Β.Χρ. Γκέκας & Σπ. Πρωιμάκη, *Φυσικοχημικές Διεργασίες Διαχωρισμού για Μηχανικούς Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2001
- [3] Ελευθέριος Γ. Καστρινάκης, *Μηχανικές Φυσικές Διεργασίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1999
- [4] Δρ. Κώστας Ε. Σαββάκης, *Χημική Τεχνολογία & Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Τεχνολογία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2002
- [5] Χριστίνα Α. Κοτσιφάκη, *Μοντελοποίηση της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Χανίων με την βοήθεια του Λογισμικού Προσομοίωσης SuperPro Designer, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά, 2000*
- [6] J.M Smith, 3th Ed., *Μηχανική Χημικών Διεργασιών*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1997
- [7] Δ. Μπόσκου, *Χημεία Τροφίμων*, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 1989
- [8] Mc Cabe, Smith & Harriott, 6th Ed., *Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2002
- [9] P.F. Fox *Food Enzymology*, Elsevier, Cork, Ireland, 1991
- [10] SuperPro Designer User's Guide, Intelligen Inc., NJ 07076 USA
- [11] Β. Γκέκας, Ν. Φραντζεσκάκη, Ε. Κατσιβελα, *Τεχνολογίες Επεξεργασίας Τοξικών-Επικίνδυνων Αποβλήτων*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2002
- [12] L. Stryer, *Βιοχημεία*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1988

Δημοσιεύσεις

- [13] Karkalas John, *An Improved Enzymatic Method of the Determination of Native and Modified Starch*, J.Sci.Food Agric., 36,1019, 1985
- [14] D.Paton, *Oat Starch: Physical, Chemical and Structural Properties*, Pages 93-120 in: *Oats: Chemistry and Technology*, F.M.Webster,ed.Am.Assoc, Cereal Chem.: St.Paul, MN,1986

- [15] Hoover R., Vasanthan T., *Effect of Heat- Moisture Treatment an the Structure and Physicochemical properties of Cereal, Legume and Tuber Starches*, Department of Biochemistry, Memorial University of Newfoundland, St's John's, Canada, 15-Jan, 1994
- [16] J.Jaskari, K.Henriksson, A.Nieminen, T.Snortti, H.Salovaara & K.Poutanen, *Effect of Hydrothermal and Enzymic Treatments of the Viscous Behaviour of Dry and Wet-milled Oat Brans*, Cereal. Chem. 72(6): 625-631, July 26, 1995
- [17] R.F. Tester, J.Karkalas & X.QI., *Starch Sructure and Digestibility Enzyme-Substrate Relationship*, Department of Biological Sciences, Clasgow, Caledonian, Worlds's Poultry Science Journal. Vol.60., June 2004
- [18] N.S. Reddy, A. Nimmagadda & K.R.S. Sampasiva Rao, *An Overview of the Microbial A-Amylase Family*, Centre of Biotechnology, Nagarjuna University, African jurnal of Biotechnology, Vol.2(12), pp: 645-648, December 2003
- [19] A.Buleon, P.Colonna, V.Planchot & S.Ball, *Starch granules: Structure and Biosynthesis*, Int.J.Biol.Macromol. 23 (pp: 85-112), 1998
- [20] R.Parker & S.G.Ring, *Aspects of the Physical Chemistry of Starch*, J.Cereal Sci. 34 (pp: 1-17), 2001
- [21] R.Hoover, *Composition, Molecular Structure and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches: a review*, Carbohydrate Polymer 45 (pp: 253-267), 2001

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

- [22] www.google.com
- [23] <http://scholar.google.com>
- [24] www.academicjournals.org/AJB
- [25] www.iso14000.com
- [26] www.intelligen.com
- [27] www.oatly.com
- [28] www.Isbu.ac.uk/biology/enzotech/starch.html
- [29] www.bio-link.org/pdf/starch.pdf
- [30] www.biochemistry.com

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. Τυπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης της Επεξεργασίας των Σπόρων Βρώμης

OVERALL PROCESS DATA

=====

Annual Operating Time	=	7919.33	h
Annual Throughput	=	0.00	kg MP
Batch Throughput	=	0.00	kg MP
Recipe Batch Time	=	1.17	h
Recipe Cycle Time	=	1.17	h
Number of Batches Per Year	=	6788	

=====

MP = Main Product = Unknown

STARTING MATERIAL REQUIREMENTS

=====

=====

Section	Starting	Active	Gross	Amt
Needed				
Name	Material	Product	Yield (%)	kg Sin/kg
MP				

Main Section	(none)	(none)	Unknown	Unknown
--------------	--------	--------	---------	---------

=====

=====

Sin	=	Section Starting Material
Aout	=	Section Active Product

BULK RAW MATERIAL REQUIREMENTS PER SECTION

=====

==

SECTIONS IN: Main Branch

Main Section

--

Raw Material	kg/Year	kg/Batch	kg/kg MP
--------------	---------	----------	----------

--

ash	250579.02	36.915	N/A
fat	584684.38	86.135	N/A
starch	5262159.42	775.215	N/A
fiber	1169368.76	172.270	N/A
proteins	1085842.42	159.965	N/A
Water	64278966.00	9469.500	N/A

--

Section Total	72631600.00	10700.000	N/A
---------------	-------------	-----------	-----

--			
SUMMARY (Entire Flowsheet)			

--			
Raw Material	kg/Year	kg/Batch	kg/kg MP

--			
ash	250579.02	36.915	N/A
fat	584684.38	86.135	N/A
starch	5262159.42	775.215	N/A
fiber	1169368.76	172.270	N/A
proteins	1085842.42	159.965	N/A
Water	64278966.00	9469.500	N/A

--			
Flowsheet Total	72631600.00	10700.000	N/A

--			
=====			
==			

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/batch)		
=====		
Raw Material	Main Section	Subtotal

ash	36.915	36.915
fat	86.135	86.135
starch	775.215	775.215
fiber	172.270	172.270
proteins	159.965	159.965
Water	9469.500	9469.500

TOTAL	10700.000	10700.000
=====		

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/year)		
=====		
Raw Material	Main Section	Subtotal

ash	250579.0	250579.0
fat	584684.4	584684.4
starch	5262159.4	5262159.4
fiber	1169368.8	1169368.8
proteins	1085842.4	1085842.4
Water	64278966.0	64278966.0

TOTAL	72631600.0	72631600.0
=====		

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT

=====				
STREAM NAME	oat grains	water		oat slurry
SOURCE	INPUT	INPUT	P-1	P-2

DESTINATION	P-1	P-1	P-2	OUTPUT
=====				

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0
TEMP	°C	59.0	59.0	59.0	59.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/L	982.311	982.311	982.311	982.311

COMPONENT FLOWRATES (kg/Batch)

ash	36.9150	0.0000	36.9150	36.9150
fat	86.1350	0.0000	86.1350	86.1350
fiber	172.2700	0.0000	172.2700	172.2700
proteins	159.9650	0.0000	159.9650	159.9650
starch	775.2150	0.0000	775.2150	775.2150
Water	0.0000	9469.5000	9469.5000	9469.5000

TOTAL (kg/batch)	1230.5000	9469.5000	10700.0000	10700.0000
TOTAL (L/batch)	1252.6579	9640.0192	10892.6770	10892.6770

OVERALL COMPONENT BALANCE (kg/Batch)

=====			
=====			
COMPONENT	INITIAL	INPUT	OUTPUT
FINAL			
=====			
=====			
ash	0.0000	36.9150	36.9150
0.0000			
fat	0.0000	86.1350	86.1350
0.0000			
fiber	0.0000	172.2700	172.2700
0.0000			
proteins	0.0000	159.9650	159.9650
0.0000			
starch	0.0000	775.2150	775.2150
0.0000			
Water	0.0000	9469.5000	9469.5000
0.0000			
=====			
=====			
TOTAL	0.0000	10700.0000	10700.0000
0.0000			
=====			
=====			

B. Τυπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης του Βασικού Τμήματος Παραγωγής

OVERALL PROCESS DATA

```
=====
Annual Operating Time      =          7920.00 h
Annual Throughput         =           0.00 kg MP
Operating Days Per Year   =           330.00
=====
MP = Main Product = Unknown
```

STARTING MATERIAL REQUIREMENTS

```
=====
Section      Starting      Active      Gross      Amt
Needed
Name         Material      Product      Yield (%)   kg Sin/kg
MP
-----
Main Section  (none)          (none)          Unknown     Unknown
=====
Sin  = Section Starting Material
Aout = Section Active Product
```

BULK RAW MATERIAL REQUIREMENTS PER SECTION

```
=====
==
SECTIONS IN:  Main Branch

Main Section
-----
--
Raw Material      kg/Year      kg/Hour      kg/kg MP
-----
--
Water              946198440.00    119469.500    N/A
ash                292366.80       36.915        N/A
fat                682189.20       86.135        N/A
starch             6139702.80      775.215       N/A
fiber              1364378.40      172.270       N/A
proteins           1266922.80      159.965       N/A
enzyme 1           169488.00       21.400        N/A
enzyme 2           59320.80        7.490         N/A
-----
--
Section Total      956172808.80    120728.890    N/A
-----
--
```

SUMMARY (Entire Flowsheet)

Raw Material	kg/Year	kg/Hour	kg/kg MP
Water	946198440.00	119469.500	N/A
ash	292366.80	36.915	N/A
fat	682189.20	86.135	N/A
starch	6139702.80	775.215	N/A
fiber	1364378.40	172.270	N/A
proteins	1266922.80	159.965	N/A
enzyme 1	169488.00	21.400	N/A
enzyme 2	59320.80	7.490	N/A
Flowsheet Total	956172808.80	120728.890	N/A

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/h)

Raw Material	Main Section	Subtotal
Water	119469.500	119469.500
ash	36.915	36.915
fat	86.135	86.135
starch	775.215	775.215
fiber	172.270	172.270
proteins	159.965	159.965
enzyme 1	21.400	21.400
enzyme 2	7.490	7.490
TOTAL	120728.890	120728.890

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/year)

Raw Material	Main Section	Subtotal
Water	946198440.0	946198440.0
ash	292366.8	292366.8
fat	682189.2	682189.2
starch	6139702.8	6139702.8
fiber	1364378.4	1364378.4
proteins	1266922.8	1266922.8
enzyme 1	169488.0	169488.0
enzyme 2	59320.8	59320.8
TOTAL	956172808.8	956172808.8

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT

STREAM NAME	oat slurry	enzyme 1	S-101	S-103
S-104				
SOURCE	INPUT	INPUT	P-1	P-2
P-3				
DESTINATION	P-1	P-1	P-2	P-3
P-4				

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					
TEMP	°C	59.0	59.0	59.0	110.0
60.0					
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0					
DENSITY	g/L	982.311	982.311	982.311	0.618
981.947					

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

ash	36.9150	0.0000	36.9150	36.9150
36.9150				
enzyme 1	0.0000	21.4000	21.4000	21.4000
21.4000				
fat	86.1350	0.0000	86.1350	86.1350
86.1350				
fiber	172.2700	0.0000	172.2700	172.2700
172.2700				
maltoze	0.0000	0.0000	368.1635	368.1635
368.1635				
proteins	159.9650	0.0000	159.9650	159.9650
159.9650				
starch	775.2150	0.0000	426.3682	426.3682
426.3682				
Water	9469.5000	0.0000	9450.1402	9450.1402
9450.1402				

TOTAL (kg/h)	10700.0000	21.4000	10721.3570	10721.3570
10721.3570				
TOTAL (L/h)	10892.6770	21.7854	10914.4186	17357010.0727
10918.4700				

STREAM NAME	enzyme 2	S-105 water at 90	S-106 water
at 65			
SOURCE	INPUT	P-4	INPUT
P-5			P-5
DESTINATION	P-4	P-5	P-5
OUTPUT			P-6

=====

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					
TEMP	°C	60.0	60.0	90.0	85.0
65.1					
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0					
DENSITY	g/L	981.947	981.947	971.012	972.834
980.082					

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

ash	0.0000	36.9150	0.0000	36.9150
0.0000				
enzyme 1	0.0000	21.4000	0.0000	21.4000
0.0000				
enzyme 2	7.4900	7.4900	0.0000	7.4900
0.0000				
fat	0.0000	86.1350	0.0000	86.1350
0.0000				
fiber	0.0000	172.2700	0.0000	172.2700
0.0000				
maltoze	0.0000	570.6534	0.0000	570.6534
0.0000				
proteins	0.0000	159.9650	0.0000	159.9650
0.0000				
starch	0.0000	234.5025	0.0000	234.5025
0.0000				
Water	0.0000	9439.4924	10000.0000	9439.4924
10000.0000				

=====

TOTAL (kg/h)	7.4900	10728.8233	10000.0000	10728.8233
10000.0000				
TOTAL (L/h)	7.6277	10926.0736	10298.5358	11028.4177
10203.2259				

=====

=====

STREAM NAME	oat milk at	waste water at 55	OAT MILK water
at 57			
SOURCE	P-6	P-6	INPUT
P-7			P-7
DESTINATION	P-7	OUTPUT	P-7
OUTPUT			OUTPUT

=====

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					

Μελέτη Περιβαλλοντικής Συμπεριφοράς Βιομηχανίας Αμύλου

TEMP	°C	85.0	85.0	55.0	60.0
57.2					
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0					
DENSITY	g/L	972.834	972.834	983.769	981.947
982.969					

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

ash	18.4575	18.4575	0.0000	18.4575
0.0000				
enzyme 1	0.0000	21.4000	0.0000	0.0000
0.0000				
enzyme 2	0.0000	7.4900	0.0000	0.0000
0.0000				
fat	77.5215	8.6135	0.0000	77.5215
0.0000				
fiber	86.1350	86.1350	0.0000	86.1350
0.0000				
maltoze	399.4574	171.1960	0.0000	399.4574
0.0000				
proteins	79.9825	79.9825	0.0000	79.9825
0.0000				
starch	117.2513	117.2513	0.0000	117.2513
0.0000				
Water	8495.5431	943.9492	100000.0000	8495.5431
100000.0000				

=====				
=====				
TOTAL (kg/h)	9274.3483	1454.4750	100000.0000	9274.3483
100000.0000				
TOTAL (L/h)	9533.3276	1495.0902	101649.8456	9444.8580
101732.5702				
=====				
=====				

OVERALL COMPONENT BALANCE (kg/h averaged)

=====				
=====				
COMPONENT	IN	OUT	(OUT-	
IN)				
=====				
=====				
ash	36.915000	36.915000		
0.000000				
enzyme 1	21.400000	21.400000		
0.000000				
enzyme 2	7.490000	7.490000	-	
0.000000				
fat	86.135000	86.135000		
0.000000				
fiber	172.270000	172.270000	-	
0.000000				
maltoze	0.000000	570.653412		
570.653412				

proteins	159.965000	159.965000	
0.000000			
starch	775.215000	234.502537	-
540.712463			
Water	119469.500000	119439.492374	-
30.007626			
=====			
=====			
TOTAL	120728.890000	120728.823324	-
0.066676			
=====			
=====			

EQUIPMENT CONTENTS

This section will be skipped (overall process is continuous)

Γ. Τοπική Λίστα Αποτελεσμάτων του Προγράμματος SuperPro Designer στην Εφαρμογή της Προσομοίωσης της Διαχείρισης του Αποβλήτου

OVERALL PROCESS DATA

```
=====
Annual Operating Time      =      7920.00 h
Annual Throughput          =      0.00 kg MP
Operating Days Per Year    =      330.00
=====
MP = Main Product = Unknown
```

STARTING MATERIAL REQUIREMENTS

```
=====
=====
Section      Starting      Active      Gross      Amt
Needed
Name         Material      Product      Yield (%)   kg Sin/kg
MP
-----
Main Section  (none)        (none)        Unknown     Unknown
=====
=====
Sin  = Section Starting Material
Aout = Section Active Product
```

BULK RAW MATERIAL REQUIREMENTS PER SECTION

```
=====
==
```

SECTIONS IN: Main Branch

Main Section

Raw Material	kg/Year	kg/Hour	kg/kg MP
Water	7476077.98	943.949	N/A
ash	146183.40	18.458	N/A
enzyme 1	169488.00	21.400	N/A
enzyme 2	59320.80	7.490	N/A
fat	68218.92	8.614	N/A
fiber	682189.20	86.135	N/A
dextrins	928630.06	117.251	N/A
proteins	633461.40	79.983	N/A
maltoze	1355872.48	171.196	N/A
Air	11975174.13	1512.017	N/A
Section Total	23494616.37	2966.492	N/A

SUMMARY (Entire Flowsheet)

Raw Material	kg/Year	kg/Hour	kg/kg MP
Water	7476077.98	943.949	N/A
ash	146183.40	18.458	N/A
enzyme 1	169488.00	21.400	N/A
enzyme 2	59320.80	7.490	N/A
fat	68218.92	8.614	N/A
fiber	682189.20	86.135	N/A
dextrins	928630.06	117.251	N/A
proteins	633461.40	79.983	N/A
maltoze	1355872.48	171.196	N/A
Air	11975174.13	1512.017	N/A
Flowsheet Total	23494616.37	2966.492	N/A

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/h)

Raw Material	Main Section	Subtotal
Water	943.949	943.949
ash	18.458	18.458
enzyme 1	21.400	21.400
enzyme 2	7.490	7.490
fat	8.614	8.614
fiber	86.135	86.135
dextrins	117.251	117.251
proteins	79.983	79.983
maltoze	171.196	171.196

Air	1512.017	1512.017

TOTAL	2966.492	2966.492
=====		

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/year)

Raw Material	Main Section	Subtotal

Water	7476078.0	7476078.0
ash	146183.4	146183.4
enzyme 1	169488.0	169488.0
enzyme 2	59320.8	59320.8
fat	68218.9	68218.9
fiber	682189.2	682189.2
dextrins	928630.1	928630.1
proteins	633461.4	633461.4
maltoze	1355872.5	1355872.5
Air	11975174.1	11975174.1

TOTAL	23494616.4	23494616.4
=====		

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT

=====				
=====				
STREAM NAME	Waste	Filtrate 1	S-103	Filtrate 2
Concentrate				
SOURCE	INPUT	P-1	P-1	P-4
P-4				
DESTINATION	P-1	OUTPUT	P-4	OUTPUT
P-5				
=====				
=====				

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					
TEMP	°C	85.0	85.4	85.4	85.7
85.7					
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0					
DENSITY	g/L	972.834	972.701	972.701	972.567
972.567					

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

ash	18.4575	7.1785	11.2790	4.7090
6.5700				
dextrins	117.2513	23.4503	93.8010	18.7602
75.0408				
enzyme 1	21.4000	8.3229	13.0771	5.4597
7.6174				
enzyme 2	7.4900	2.9130	4.5770	1.9109
2.6661				

Μελέτη Περιβαλλοντικής Συμπεριφοράς Βιομηχανίας Αμύλου

fat	8.6135	3.3500	5.2635	2.1975
3.0660				
fiber	86.1350	2.1009	84.0341	2.0496
81.9845				
maltoze	171.1960	66.5813	104.6147	43.6765
60.9381				
proteins	79.9825	3.8087	76.1738	3.6273
72.5465				
Water	943.9492	367.1196	576.8297	240.8259
336.0038				

=====				
=====				
TOTAL (kg/h)	1454.4750	484.8250	969.6500	323.2167
646.4333				
TOTAL (L/h)	1495.0902	498.4317	996.8634	332.3337
664.6674				
=====				
=====				

=====			
STREAM NAME	Air Inlet	Air Outlet	Byproduct
SOURCE	INPUT	P-5	P-5
DESTINATION	P-5	OUTPUT	OUTPUT
=====			

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0
TEMP	°C	25.0	70.0	70.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/L	1.179	1.229	978.302

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

ash	0.0000	0.0000	6.5700
dextrins	0.0000	0.0000	75.0408
enzyme 1	0.0000	0.0000	7.6174
enzyme 2	0.0000	0.0000	2.6661
fat	0.0000	0.0000	3.0660
fiber	0.0000	0.0000	81.9845
maltoze	0.0000	0.0000	60.9381
Nitrogen	1159.8952	1159.8952	0.0000
Oxygen	352.1217	352.1217	0.0000
proteins	0.0000	0.0000	72.5465
Water	0.0000	302.4034	33.6004

=====			
TOTAL (kg/h)	1512.0169	1814.4203	344.0300
TOTAL (L/h)	1282209.3070	1476043.2165	351.6603
=====			

OVERALL COMPONENT BALANCE (kg/h averaged)

=====			
=====			
COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)

=====			
=====			
ash	18.457500	18.457500	
0.000000			
dextrins	117.251270	117.251270	
0.000000			
enzyme 1	21.400000	21.400000	
0.000000			
enzyme 2	7.490000	7.490000	-
0.000000			
fat	8.613500	8.613500	
0.000000			
fiber	86.135000	86.135000	
0.000000			
maltoze	171.196020	171.196020	-
0.000000			
Nitrogen	1159.895220	1159.895220	
0.000000			
Oxygen	352.121716	352.121716	
0.000000			
proteins	79.982500	79.982500	-
0.000000			
Water	943.949240	943.949240	
0.000000			
=====			
=====			
TOTAL	2966.491966	2966.491966	
0.000000			
=====			
=====			

EQUIPMENT CONTENTS

This section will be skipped (overall process is continuous)