



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΠΜΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ
ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΕ ΚΟΝΣΕΡΒΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΤΡΟΦΙΜΑ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ**



Επιβλέπων καθηγητής
Χ. Κυρανούδης Αν. Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών

Υπ' όψιν **Ν. Μαρκάτου**
Ομότιμος Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια
Παπαδημητρίου Αργυρώ-Αλίσια
ΑΜ. 05121002

με πείσμα και μεράκι....
Αφιερωμένη στη μητέρα μου,
που μου έμαθε να αγωνίζομαι για ότι
αγαπώ...

Θερμά ευχαριστώ τους καθηγητές μου, κ. Μαρκάτο και κ. Κυρανούδη,
την ομάδα που πλαισιώνει το εργαστήριο ρευστομηχανικής και το
εργαστήριο τεχνολογίας τροφίμων, για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Στην παρούσα εργασία έχουμε μελετήσει την επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποστείρωση παχύρρευστου υγρού τροφίμου το οποίο περιέχει το γνωστό συντηρητικό E466.

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήσαμε τις εξισώσεις ροής, την νευτώνεια πρότυπη εξίσωση και την εξίσωση Arrhenius, κάνοντας χρήση του προγράμματος Phoenix.

Ο στόχος μας είναι να βελτιωθεί η διαδικασία θέρμανσης κατά την διάρκεια της θερμικής αποστείρωσης των κονσερβοποιημένων υγρών τροφίμων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1

- 1.1 Αναφορές σε άλλες εργασίες.....σελ.5
1.2 Περιγραφή της παρούσας μελέτης.....σελ.7

Κεφάλαιο 2

- 2.1 Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών και όγκων ελέγχου
(Phoenics).....σελ.8
2.2 Διαδικασία σύγκλισης.....σελ.11
2.3 Μαθηματική προσομοίωση.....σελ.13

Κεφάλαιο 3

- 3.1 Η έννοια του ρευστού.....σελ.18
3.2 Ιδιότητες των ρευστών.....σελ.20
3.3 Θεμελιώδεις νόμοι της ρευστομηχανικής.....σελ.24
3.4 Νευτώνεια ρευστά.....σελ.26

Κεφάλαιο 4

- 4.1 Αποστείρωση.....σελ.30
4.2 Κονσερβοποίηση.....σελ.32
4.3 Ασηπτική επεξεργασία-ιστορική αναδρομή.....σελ.33
4.4 Στάδια ασηπτικής επεξεργασίας.....σελ.35
4.5 Πιθανές αλλοιώσεις τροφίμων κατά την θερμική
επεξεργασία.....σελ.36

Κεφάλαιο 5

- 5.1 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....σελ.37

Παράρτημα

Βιβλιογραφία

1.1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στην προσομοίωση αυτή βλέπουμε την κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό κονσέρβας που περιέχει παχύρρευστο υγρό και CMC.

Η εργασία μας βασίστηκε σε εργασία που έγινε από το πανεπιστήμιο Auckland της Ν. Ζηλανδίας από τους A. Chani και X.Chen, σχετικά με την πρόβλεψη της εσωτερικής θερμοκρασίας των κονσερβών, κατά την διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας.

Στόχος τους ήταν να συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους με άλλες έρευνες σχετικές, που έγιναν στο παρελθόν από τους Datta και Kumar. Τα αποτελέσματά τους πράγματι ήταν παρόμοια.

Τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φτιαγμένα από μέταλλο, που έχει χαμηλή θερμική αντίσταση. Οι διαστάσεις του είναι παρόμοιες με εκείνο που χρησιμοποίησε ο Kumar. Η εργασία στην οποία βασιστήκαμε έγινε για νευτώνεια υγρά τρόφιμα, με εξαίρεση την εργασία που έγινε από τον Kumar. Στόχος ήταν να βελτιωθεί η διαδικασία θέρμανσης παχύρρευστου υγρού κατά την διάρκεια της αποστείρωσης.

Έχουμε ένα κυλινδρικό κουτί (κονσέρβα), όπου το θερμαίνουμε από όλες τις πλευρές. Η κίνηση προκαλεί άνοση από τις διακυμάνσεις της πυκνότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Παρατηρούμε ότι το ψυχρότερο σημείο κινήθηκε προς το κάτω μέρος της κονσέρβας.

Η εξωτερική θερμοκρασία στην κάτω και πλευρική επιφάνεια αυξανόταν στιγμιαία, μέχρι που διατηρήθηκε σταθερή.

Η θερμοκρασία και η ταχύτητα είχαν μεγάλες διακυμάνσεις κοντά στα τοιχώματα. Έχουμε κενό αέρα στην κορυφή. Καθώς

το υγρό θερμαίνεται, διαστέλλεται. Το υγρό που βρίσκεται εσωτερικά και όχι στα πλευρικά τοιχώματα παραμένει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία.

Ο Datta ανέφερε πολύ υψηλότερες ταχύτητες για το νερό που είχε το δοχείο κατά την θέρμανση, υπό παρόμοιες συνθήκες. Η διαφορά των ταχυτήτων στο νερό και στο παχύρρευστο υγρό που χρησιμοποιείται στην ανάλυσή μας, οφείλεται λόγω μεγάλης διαφοράς στο ιξώδες των δύο υγρών.

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για την επίλυση της προσομοίωσης αυτής έγινε χρήση του κώδικα Phoenics. Μελετήσαμε την θέρμανση κονσερβοποιημένων τροφίμων για 2575s και κάναμε μελέτη ανεξαρτησίας της λύσης ως προς το χρόνο και το πλέγμα. Αρχικά έγινε σύγκριση για 3 χρονικά βήματα και διαφορετικά Isweep, για κάθε μία από τις παραμέτρους που εξετάζουμε (θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα). Έπειτα έγινε σύγκριση στο ανεξάρτητο πια Isweep των διαφορετικών χρονικών βημάτων για κάθε παράμετρο, όπου καταλήξαμε στο ανεξάρτητο χρονικό βήμα. Τέλος, παρουσιάζουμε τα μοτίβα της κονσέρβας για τις διάφορες παραμέτρους, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΟΓΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ (Phoenics)

Ο Phoenix είναι κώδικας υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) και χρησιμοποιείται στην προσομοίωση ροής ρευστών, μεταβολών χημικής και φυσικής σύστασης, εσωτερικών και εξωτερικών ροών, τάσεων που αναπτύσσονται σε στερεά σώματα βυθισμένα σε ρευστά.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του είναι ότι ανταποκρίνεται στις ανάγκες αρχάριου και έμπειρου χρήστη, με δυνατότητα επέμβασης στον κώδικα.

Η δομή του αρχείου Q1 βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Fortran και είναι η εξής

TALK=T; RUN(1,1)

GROUP1. Run title and other preliminaries

GROUP2. Transience; time-step specification

GROUP3. X-direction grid specification

GROUP4. Y-direction grid specification

GROUP5. Z-direction grid specification

GROUP6. Body-fitted coordinates or grid distortion

.....

GROUP24. Dumps for restarts

GROUP25. Debug

STOP

Ο Phoenix χρησιμοποιεί τις εξής επαναληπτικές μεθόδους επίλυσης

1. Πλήρους πεδίου (whole field)
2. Γραμμή προς γραμμή (slabwise)

3. Σημείο προς σημείο (point by point)

Τα κριτήρια σύγκλισης του κώδικα Phoenics είναι τα εξής

1. Υπόλοιπα εξισώσεων/RESREF<1.
2. “Κλείσιμο” συνολικών ισοζυγίων (αρχεία RESULT).
3. Σταθεροποίηση των τιμών των μεταβλητών επίλυσης σε προεπιλεγμένο σημείο του πεδίου επίλυσης.

Η διαδικασία της προσομοίωσης περιλαμβάνει



2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ

Για σύγκλιση σε μη γραμμικά προβλήματα χρησιμοποιούνται μέθοδοι υποχαλάρωσης. Η υποχαλάρωση είναι απαραίτητα για τα μη γραμμικά προβλήματα έτσι ώστε να αποφευχθεί η απόκλιση κατά την επαναληπτική διαδικασία. Ο κώδικας PHOENICS χρησιμοποιεί δύο μεθόδους υποχαλάρωσης:

1. Τη γραμμική υποχαλάρωση που χρησιμοποιείται για την πίεση και τις μεταβλητές που δεν υπολογίζονται από διαφορικές εξισώσεις. Κατά την επαναληπτική διαδικασία ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- $\Phi_{new} = \Phi_{old} + a(\phi - \Phi_{old})$, όπου Φ_{old} : η παλιά τιμή της ϕ στο πλεγματοεικό σημείο P που υπολογίσθηκε στο προηγούμενο sweep.
- Φ_{new} : η τιμή ϕ από την τελευταία σάρωση
- ϕ : η τιμή της ϕ από την προηγούμενη σάρωση
- a : ο παράγοντας γραμμικής υποχαλάρωσης ($0 < a < 1$)

Με τον τρόπο αυτό η μεταβολή της τιμής της ϕ από τη μία σάρωση στην επόμενη ελαττώνεται από $(\phi_{new} - \phi)$ σε $(\phi_{old} - \phi)$.

2. Την υποχαλάρωση μέσω ψευδούς χρονικού βήματος, η οποία χρησιμοποιείται για όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές εκτός της πίεσης. Κατά τη μέθοδο αυτή προστίθεται σε κάθε κελί μία πηγή της ϕ , ίση με τη μάζα στο κελί διαιρεμένη με το ψευδές χρονικό βήμα. Δηλαδή η εξίσωση πεπερασμένων διαφορών παίρνει τη μορφή:

$$\rho_p + \frac{pV_p}{\Delta t} \phi_p = \sum_i a_i \phi_i + \frac{pV_p}{\Delta t} \phi_p + d$$

Όπου

ρ_p : η τιμή της ϕ από την προηγούμενη σάρωση

Δt : το ψευδές χρονικό βήμα

$pV_p/\Delta t$: ο ψευδομεταβατικός όρος

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε μόνιμες ροές, γιατί οι μεταβατικές ροές έχουν ήδη τον πραγματικό όρο. Όπως είναι φανερό σε περίπτωση σύγκλισης ισχύει: $(\phi_p - \phi_p) = 0$ και ο όρος υποχαλάρωσης εξαλείφεται. Μικρές τιμές του ψευδούς χρονικού βήματος έχουν ως συνέπεια τη μικρή μεταβολή της επιλυμένης μεταβλητής μεταξύ δύο επαναλήψεων και την καθυστέρηση στην επίλυση του προβλήματος. Συγχρόνως όμως η επαναληπτική διαδικασία εμφανίζει ομαλή σύγκλιση.

Για την εξασφάλιση της σύγκλισης του αλγορίθμου υπάρχουν τα εξής κριτήρια:

- Η επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας, δηλαδή η πτώση των residuals κάτω από μία τιμή που έχει προεπιλεγεί από το χρήστη και εκφράζει την απαιτούμενη ακρίβεια της σύγκλισης. Η τιμή αυτή λαμβάνεται ως το 1/1000 της εισροής για κάθε μεταβλητή που επιλύουμε. Τα residuals καθορίζονται για κάθε μεταβλητή που επιλύεται και είναι η άθροιση για όλα τα πλεγματικά σημείων των υπολοίπων των διαφορικών εξισώσεων:

(Ar-SP)φρ-(AEφE+Aωφω+Anφn+Asφs+SU)

- Η επίτευξη της σταθεροποίησης της τιμής της μεταβλητής που επιλύεται σε κάποιο χρονικό σημείο του πλέγματος κατά τη διάρκεια διαδοχικών επαναλήψεων.
- Η ανεξαρτησία της λύσης από το πλέγμα.
- Η ικανοποίηση των ισοζυγίων μάζας, ενέργειας και ορμής, συνολικά σε όλο το πεδίο της λύσης. Το κριτήριο αυτό είναι και απαίτηση για τη σωστή επίλυση των εξισώσεων.

2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Όπως και στην εξαναγκασμένη συναγωγή, οι εξισώσεις που περιγράφουν την μεταφορά ορμής και ενέργειας στην φυσική συναγωγή προέρχονται από τις ίδιες αρχές διατήρησης, με μόνη διαφορά ότι η άνωση είναι αυτή που διατηρεί την ροή.

Θεωρούμε το ρευστό ασυμπίεστο, έτσι η πυκνότητά του λαμβάνεται σταθερή και η άνωση εμφανίζεται σαν όρος πηγής στην εξίσωση της ορμής κατά την διεύθυνση της βαρύτητας. Η

κατάλληλη μορφή που παίρνει η γενική εξίσωση διατήρησης της ορμής στην χ διεύθυνση του καρτεσιανού επιπέδου είναι:

$$\rho \left(u \frac{du}{dx} + v \frac{dv}{dy} \right) = - \frac{dp}{dx} + \frac{d}{dx} \left\{ \mu \left[\frac{du}{dx} - \frac{2}{3} \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \right) \right] \right\} + \frac{d}{dy} \left\{ \mu \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) \right\} + X \quad 1.1$$

Αντικαθιστούμε στην 1.1 την εξίσωση συνεχείας

$$\frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho v)}{dy} = 0$$

1.2

Οπότε καταλήγουμε στην εξίσωση 1.3

$$u \frac{du}{dx} + v \frac{dv}{dy} = - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} - g + v \frac{d^2 u}{dy^2}$$

Στην περιοχή αυτή έχουμε $u=0$ (έξω από το οριακό στρώμα) οπότε η 1.3 γίνεται:

$$\frac{dp}{dx} = \rho g$$

1.4

Αν αντικαταστήσουμε την 1.4 στην 1.3 τότε καταλήγουμε στην παρακάτω εξίσωση:

$$u \frac{du}{dx} + v \frac{dv}{dy} = \frac{g}{\rho} (\rho \square - \rho) + v \frac{d^2 u}{dy^2} V$$

1.5

Όπου εφαρμόζεται σε κάθε σημείο του οριακού στρώματος που δημιουργήθηκε από φυσική συναγωγή δηλαδή από δυνάμεις άνωσης.

Ο πρώτος όρος από τα δεξιά της εξίσωσης 1.5 είναι η δύναμη της άνωσης (buoyancy force) η οποία γεννά την ροή αφού η πυκνότητα ρ είναι πια μεταβλητή. Ένας άλλος τρόπος

προσέγγισης που καταλήγει στην ίδια εξίσωση για την επίδραση της άνωσης σε συνάρτηση με την πυκνότητα είναι ο ορισμός του συντελεστή θερμικής διαστολής β .

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

1.6

Η θερμοδυναμική αυτή ιδιότητα των ρευστών μας δίνει ένα μέσο να υπολογίσουμε την μεταβολή της πυκνότητας σε συνάρτηση με την μεταβολή της θερμοκρασίας σε σταθερή πίεση. Κατά προσέγγιση μπορούμε να γράψουμε ότι

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\rho_{\square} - \rho}{T_{\square} - T}$$

1.7

Αν αντικαταστήσουμε την 1.6 στην εξίσωση της ορμής 1.5 τότε προκύπτει

$$u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dy} = g\beta(T - T_{\square}) + \nu \frac{d^2u}{dy^2}$$

1.8

Η εξίσωση αυτή δείχνει πως επηρεάζεται η άνωση από την θερμοκρασιακή διαφορά και έτσι έχουμε ροή.

Από την στιγμή που εισαγάγαμε την επίδραση της άνωσης στην εξίσωση διατήρησης της ορμής τα άλλα δυο ισοζύγια της μάζας και της ενέργειας δεν άλλαξαν καθόλου από αυτά για κανονική συναγωγή. Οι εξισώσεις τελικά που περιγράφουν ένα δυσδιάστατο πρόβλημα φυσικής συναγωγής είναι οι εξής:

Στις εξισώσεις αυτές τα u , v , w είναι οι τρεις συνιστώσες της ταχύτητας του ρευστού στις κατευθύνσεις x , y , z ρ και p αντίστοιχα η πυκνότητα και η πίεση του ρευστού και t χρόνος.

Όλα τα πεδία ροής είναι χρονικά μεταβαλλόμενα. Σε ορισμένα από αυτά οι ταχύτητες του ρευστού μεταβάλλονται με τον χρόνο γύρω από μια μέση χρονικά τιμή της ταχύτητας. Οι μεταβολές αυτές είναι τόσο μικρές (\ll) ώστε να θεωρήσουμε το πεδίο αμετάβλητο χρονικά και οι χρονικές παράγωγοι στις εξισώσεις να μηδενίζονται. Στην περίπτωση αυτή έχουμε στρωτά πεδία ροής ή αλλιώς στρωτή ροή. Στα περισσότερα όμως πεδία ροής οι διακυμάνσεις της ταχύτητας γύρω από την μέση τιμή αποτελούν σημαντικό ποσοστό της μέσης τιμής. Έτσι, στην περίπτωση αυτή έχουμε τυρβώδη πεδία ροής.

Η περιγραφή της τύρβης σε όλα τα σημεία της στο χώρο και το χρόνο δεν είναι εφικτή. Ακολουθώντας την πρόταση του Reynolds (1895) αναπτύσσουμε εξισώσεις που ελέγχουν τις μέσες ιδιότητες της ροής, όπως είναι η μέση ταχύτητα. Οι εξισώσεις κίνησης ενός ασυμπίεστου ρευστού είναι:

Η ποσότητα σ_{ij} είναι ο τανυστής τάσης. Επαναλαμβανόμενοι δείκτες σε κάποιον όρο, δείχνουν άθροιση στις τρεις τιμές του δείκτη. Η ποσότητα u_i είναι η στιγμιαία τιμή της ταχύτητας και δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία σύμφωνα με το Reynolds, δηλαδή ανάλυση σε μέση τιμή και διαταραχές της ποσότητας γύρω από τη μέση τιμή. Αν το ρευστό είναι νευτωνικό, ο τανυστής τάσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:
$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + 2\mu s_{ij}.$$

Στην παραπάνω εξίσωση το δ_{ij} είναι το δέλτα του Kronecker, που είναι ίσο με τη μονάδα εάν $i=j$, και μηδέν σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, p είναι η υδροδυναμική πίεση και μ είναι το δυναμικό ιξώδες (το οποίο υποτίθεται ότι είναι σταθερό).

3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ

Τα υλικά σώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες : τα ρευστά και τα στερεά. Σαν κριτήριο για την ταξινόμηση αυτή θεωρούμε τον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν τα διάφορα υλικά όταν βρίσκονται κάτω από την επίδραση διατμητικών τάσεων.

Ρευστά χαρακτηρίζονται τα υλικά σώματα τα οποία υφίστανται συνεχή παραμόρφωση (ρέουν) όταν βρίσκονται κάτω από την επίδραση μιας διατμητικής τάσης, όσο μικρή και αν είναι αυτή. Άρα όταν ένα ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας δεν ασκείται πάνω του διατμητική τάση. Επομένως, όταν τα ρευστά ηρεμούν αναπτύσσονται σ' αυτά μόνο κάθετες τάσεις.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, τα ρευστά αποτελούνται από μόρια. Τα μόρια αυτά συνεχώς κινούνται σε ακανόνιστες τροχιές, προς όλες τις κατευθύνσεις. Επομένως λόγω της θερμικής αυτής κίνησης, οι θέσεις και οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων συνεχώς μεταβάλλονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, κάθε χρονική στιγμή, να επηρεάζεται το πλήθος των μορίων σε έναν ορισμένο όγκο ρευστού. Το αποτέλεσμα είναι να μην γίνεται δυνατός ο καθορισμός των ιδιοτήτων του ρευστού σε ένα σημείο του χώρου. Για το λόγο αυτό υποθέτουμε ότι το ρευστό είναι ένα συνεχές μέσο. Η υπόθεση αυτή μας οδηγεί στην παραδοχή ότι οι ιδιότητες του ρευστού, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο κατά τρόπο συνεχή.

Στη μηχανική των ρευστών, όταν αναφερόμαστε σε μια ιδιότητα του ρευστού, σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, εννοούμε τη μέση στατιστική τιμή της ιδιότητας σε μια περιοχή όγκου δV_0 η οποία περιβάλλει το σημείο αυτό. Όσα αναφέρθηκαν αποτελούν την ουσιαστική έννοια του μοντέλου του συνεχούς μέσου. Η ποσότητα του ρευστού που περιέχεται στον οριακό όγκο δV_0 θεωρούμε ότι αποτελεί ένα σωματίδιο του ρευστού. Η κατάσταση ενός σωματιδίου ρευστού μπορεί να περιγραφεί με βάση τις τιμές των ιδιοτήτων του, στο σημείο όπου βρίσκεται το σωματίδιο.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Δύο ιδιότητες που είναι σημαντικές για το χαρακτηριστικό του είδους της ροής και την περιγραφή της ρεολογικής συμπεριφοράς των ρευστών είναι: η πυκνότητα και το ιξώδες.

Πυκνότητα, ρ , ενός ρευστού είναι ο λόγος της μάζας, m , του ρευστού προς τον όγκο, V , που καταλαμβάνει αυτή στο χώρο. Ο λόγος m/V εκφράζει την πραγματική πυκνότητα του ρευστού μόνο σε περίπτωση ομοιόμορφης κατανομής της μάζας του. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν έχουμε ανομοιόμορφη κατανομή, ο λόγος m/V εκφράζει μονάχα μια μέση πυκνότητα, αλλά δεν αποτελεί ιδιότητα του ρευστού.

Η πυκνότητα ενός ρευστού , σε ένα δεδομένο σημείο του χώρου ορίζεται από την εξίσωση:

$$\rho = \lim (\delta m / \Delta v)$$

Η πυκνότητα έχει τις διαστάσεις μάζας ανά κυβικό μέτρο (ML^{-3}) και η μονάδα μέτρησης στο σύστημα SI είναι το χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (kg/m^3).

Το αντίστροφο της πυκνότητας (δηλαδή, ο όγκος που καταλαμβάνει η μονάδα μάζας του ρευστού) ονομάζεται ειδικός όγκος, v :

$v = 1/\rho$. Ο ειδικός όγκος έχει διαστάσεις L^3M^{-1} και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι m^3/kg .

Μια άλλη ιδιότητα που σχετίζεται με την πυκνότητα είναι το ειδικό βάρος. Ως ειδικό βάρος, γ , ενός ρευστού ορίζουμε το γινόμενο της πυκνότητας του ρευστού επί την τοπική επιτάχυνση της βαρύτητας : $\gamma = \rho g$.

Το ειδικό βάρος έχει τις διαστάσεις δύναμης ανά κυβικό μέτρο και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι το newton ανά κυβικό μέτρο (N/m^3). Το ειδικό βάρος χρησιμοποιείται σε προβλήματα στατικής των ρευστών και σε προβλήματα ροής υγρών με ελεύθερη επιφάνεια.

Η πυκνότητα των ρευστών εξαρτάται γενικά από την πίεση και τη θερμοκρασία. Η εξάρτηση αυτή εκφράζεται ποσοτικά με το μέτρο συμπιεστότητας και το συντελεστή κυβικής διαστολής. Το μέτρο συμπιεστότητας, k , ενός ρευστού ορίζεται από την εξίσωση:

$$K = 1/\rho(\theta_p/\theta_r)$$

και εκφράζει τη σχετική μεταβολή της πυκνότητας του ρευστού, η οποία προέρχεται από τη μεταβολή της πίεσης υπό σταθερή θερμοκρασία. Επειδή ο λόγος αυτός είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, το μέτρο συμπιεστότητας έχει τις διαστάσεις

αντίστροφης πίεσης και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι m^2/N . Το μέτρο συμπιεστότητας ενός υλικού είναι το αντίστροφο του μέτρου ελαστικότητας, E , έχουμε: $k=1/E$.

Το μέτρο ελαστικότητας έχει τις διαστάσεις πίεσης και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι το pascal (Pa).

Ο συντελεστής κυβικής διαστολής, β , ενός ρευστού ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\beta = -1/\rho(\theta\rho/\theta\tau)$$

και εκφράζει τη σχετική μεταβολή της πυκνότητας του ρευστού, η οποία προέρχεται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας υπό σταθερή πίεση. Ο συντελεστής κυβικής διαστολής έχει τις διαστάσεις αντίστροφης θερμοκρασίας και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι K^{-1} . Με βάση τον προηγούμενο τύπο παρατηρούμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας υπό σταθερή πίεση προκαλεί μείωση της πυκνότητας του ρευστού.

Για τεχνικές εφαρμογές μας ενδιαφέρουν οι τιμές των μέτρων συμπιεστότητας των ρευστών σε συνήθεις συνθήκες. Η τιμή του μέτρου συμπιεστότητας εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία. Στις παραπάνω συνθήκες, οι τιμές των μεγεθών k και β είναι πολύ μικρές και οι μεταβολές της πυκνότητας των υγρών μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Επομένως οδηγούμαστε στην παραδοχή ότι, σε συνήθεις συνθήκες, τα υγρά είναι ασυμπίεστα. Η παραδοχή του ασυμπίεστου υγρού δεν ισχύει σε περιπτώσεις όπου έχουμε απότομες ή μεγάλες μεταβολές πίεσης. Τότε οι μεταβολές της πυκνότητας των υγρών είναι σημαντικές και δεν μπορούμε να τις αγνοήσουμε.

Το **ιξώδες**, μ , είναι η ιδιότητα εκείνη των ρευστών που τους δίνει τη δυνατότητα να αντιστέκονται σε κάθε προσπάθεια αλλαγής της μορφής τους. Η παραμόρφωση των ρευστών (η διάτμηση αυτών) προκαλείται από την επίδραση διατμητικών τάσεων. Για τα περισσότερα υγρά ισχύει η σχέση:

Διατμητική τάση= μ *(ρυθμός διάτμησης)

επομένως, η διατμητική τάση σε ένα ρευστό (υπό σταθερή διάτμηση) είναι ανάλογη προς το ιξώδες του. Τα ρευστά για τα οποία ισχύει η παραπάνω σχέση ονομάζονται νευτωνικά ρευστά. Ενώ, τα ρευστά για τα οποία δεν ισχύει, ονομάζονται μη νευτωνικά ρευστά.

Οι διαστάσεις του μ προκύπτουν με βάση την παραπάνω σχέση, εφ' όσον αντικαταστήσουμε σ' αυτήν τις διαστάσεις της διατμητικής τάσης και του ρυθμού διάτμησης.

μ =διατμητική τάση/ρυθμός διάτμησης= $L^{-1}MT^{-1}H$ μονάδα μέτρησης του ιξώδους στο SI είναι το Pascal επί δευτερόλεπτο.

Το ιξώδες μ ονομάζεται συχνά δυναμικό ιξώδες προς διάκριση από το κινηματικό ιξώδες, ν , το οποίο ορίζεται από τη σχέση:
 $\nu = \mu/\rho$.

Την έννοια του κινηματικού ιξώδους εισήγαγε για πρώτη φορά ο Maxwell (το 1860) , για να γίνει διευκόλυνση στους υπολογισμούς και να απλουστευθούν οι ρευστομηχανικές σχέσεις. Ο λόγος μ/ρ έχει διαστάσεις κινηματικής. Η μονάδα μέτρησής του στο SI είναι m^2/s . Συχνά χρησιμοποιείται και το stokes (St) ως μονάδα μέτρησης.

Το ιξώδες των νευτωνικών ρευστών εξαρτάται από τη μοριακή φύση του ρευστού, την πίεση και τη θερμοκρασία. Στην περίπτωση μιγμάτων, το ιξώδες εξαρτάται και από τη σύσταση του μίγματος.

Σε χαμηλές πιέσεις, το δυναμικό ιξώδες των καθαρών ρευστών είναι πρακτικά ανεξάρτητο από την πίεση και εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία. Σε υψηλές πιέσεις, για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, το ιξώδες μ του ρευστού αυξάνεται συνήθως με την αύξηση της πίεσης.

Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ιξώδες των ρευστών. Δεν είναι βέβαια ίδια και για τα δύο είδη ρευστών. Η διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας εξηγείται λόγω της μοριακής φύσης του ρευστού. Η αντίσταση ενός ρευστού σε διάτμηση (άρα και το ιξώδες του) εξαρτάται από τις διαμοριακές δυνάμεις (δυνάμεις συνοχής) και από την ταχύτητα μεταφοράς μοριακής ορμής από μια περιοχή του ρευστού σε μια άλλη. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, οι δυνάμεις συνοχής μειώνονται, ενώ, αντίθετα, η ταχύτητα κίνησης των μορίων αυξάνεται. Δικαιολογείται με αυτό η διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες των υγρών. Το κινηματικό ιξώδες των υγρών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η μηχανική των ρευστών στηρίζεται σε ορισμένους φυσικούς νόμους. Οι φυσικοί αυτοί νόμοι έχουν αξιωματική διατύπωση. Η επιβεβαίωσή τους γίνεται έμμεσα, αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της μαθηματικής ανάλυσης με τα πειραματικά δεδομένα. Οι τρεις βασικοί νόμοι στους οποίους στηρίζεται η ανάπτυξη θεωρητικών μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ρευστών είναι: ο νόμος διατήρησης της μάζας, ο δεύτερος νόμος κίνησης του Newton και ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής.

Ο νόμος διατήρησης της μάζας μας δηλώνει ότι, η μάζα ενός συστήματος παραμένει σταθερή στο χρόνο, ανεξάρτητα από το είδος της διεργασίας την οποία υφίσταται αυτό το σύστημα. Και έχει την εξής μαθηματική έκφραση: $dm/dt=0$, όπου m είναι η

ολική μάζα του συστήματος. Η προηγούμενη εξίσωση ονομάζεται εξίσωση συνεχείας και είναι βαθμωτή.

Ο δεύτερος νόμος κίνησης του Newton μας δηλώνει ότι η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων, από το περιβάλλον, οι οποίες ασκούνται πάνω σε ένα σύστημα, είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της γραμμικής ορμής του συστήματος. Έχει την εξής μαθηματική έκφραση : $F=dP/dt$, όπου F είναι το διάνυσμα της συνισταμένης των εξωτερικών δυνάμεων και P το διάνυσμα της γραμμικής ορμής του συστήματος.

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση η ορμή ενός συστήματος διατηρείται σταθερή όταν δεν ασκείται πάνω σ'αυτό καμιά εξωτερική δύναμη ή όταν η συνισταμένη όλων των εξωτερικών δυνάμεων είναι μηδέν. Εφαρμόζεται μόνο σε συστήματα τα οποία κινούνται σε σχέση με ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Ενώ για ένα επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς, πρέπει να την τροποποιήσουμε ώστε να περιλαμβάνει και τη σχετική επιτάχυνση του συστήματος ως προς το μη αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Η εξίσωση που εκφράζει το δεύτερο νόμο του Newton ονομάζεται εξίσωση γραμμικής ορμής. Είναι διανυσματική εξίσωση, η οποία έχει τρεις συνιστώσες που είναι βαθμωτές εξισώσεις.

Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής μας δηλώνει ότι η διαφορά μεταξύ της θερμότητας δQ (που προστίθεται σε ένα σύστημα από το περιβάλλον του) και του αντίστοιχου έργου δW , το οποίο διενεργείται από το σύστημα, είναι ίση με τη μεταβολή dE της ενέργειας του συστήματος :

$$\delta Q - \delta W = dE.$$

Η θερμότητα Q και το έργο W είναι ποσότητες, ενώ η ενέργεια E είναι ιδιότητα του συστήματος. Το μέγεθος της ποσότητας

εξαρτάται από το είδος της διεργασίας την οποία υφίσταται το σύστημα, ενώ η τιμή μιας ιδιότητας εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του συστήματος. Η εξίσωση του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου ονομάζεται εξίσωση ενέργειας και είναι βαθμωτή.

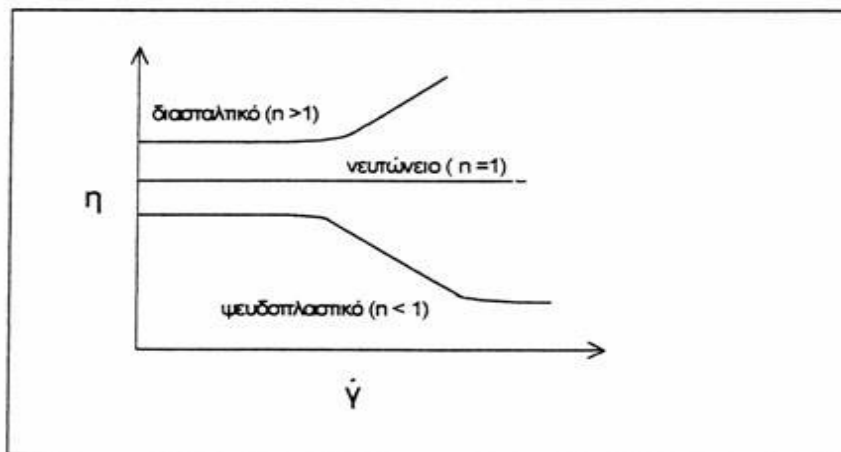
Σε προβλήματα ροής εκτός από τους θεμελιώδεις φυσικούς νόμους, χρησιμοποιούμε και ορισμένες βοηθητικές σχέσεις. Οι περισσότερες από αυτές ονομάζονται νόμοι, όπως είναι ο νόμος του Hooke κ.α. Για να ισχύσουν οι νόμοι αυτοί πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Ενώ, οι θεμελιώδεις φυσικοί νόμοι ισχύουν πάντοτε.

3.4 ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΡΕΥΣΤΑ

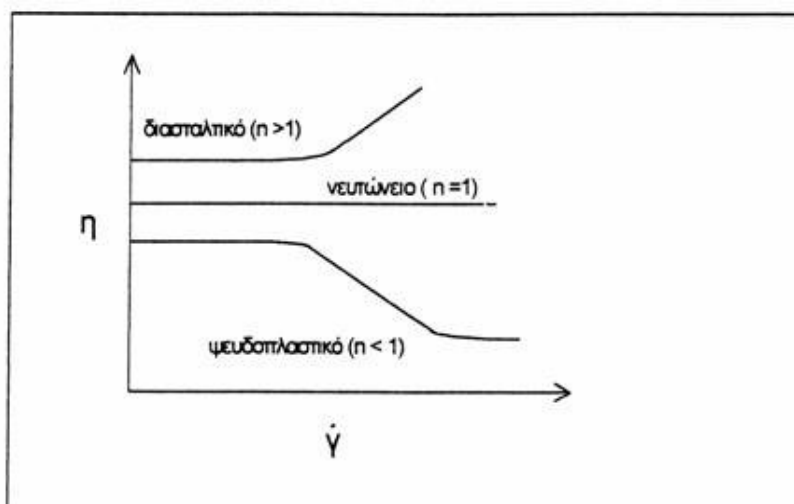
Νευτώνεια λέγονται τα ρευστά στα οποία η εξάρτηση της ιξώδους τάσης από το ρυθμό παραμόρφωσης του ρευστού είναι γραμμική. Τα νευτώνεια ρευστά υπακούουν στο νόμο ιξώδους του Newton, σε αντίθεση με τα μη νευτώνεια που δεν υπακούν σ' αυτόν. Νευτωνική συμπεριφορά εμφανίζουν τα αέρια, τα περισσότερα από τα γνωστά υγρά, όπως ο χυμός κερασιού και τα διαλύματα ουσιών μικρού μοριακού βάρους. Το ιξώδες τους εξαρτάται από τη μοριακή φύση και την κατάσταση (πίεση και θερμοκρασία) στην οποία βρίσκεται το ρευστό.

Νόμος ιξώδους του Newton ονομάζεται η υλική σχέση που περιγράφει τη ρεολογική συμπεριφορά των νευτώνειων ρευστών στην περίπτωση μονοδιάστατης στρωτής ροής. Έχει την εξής μαθηματική έκφραση: $\tau = \eta \dot{\gamma}$. Στο σχήμα 1

φαίνεται η γραφική παράσταση τ έναντι $\dot{\gamma}$ και στο σχήμα 2 η γραφική παράσταση η έναντι $\dot{\gamma}$.



σχήμα 1



σχήμα 2

Ένα ρευστό καλείται **ψευδοπλαστικό** όταν το φαινομενικό ιξώδες ελαττώνεται καθώς το $\dot{\gamma}$ αυξάνεται. Αντίθετα, όταν αυξάνει καλείται **διασταλτικό**. Για μικρά $\dot{\gamma}$, η συμπεριφορά είναι νευτώνεια, ενώ για μεγάλα περιγράφεται από τη σχέση:

$$\eta = m |\dot{\gamma}|^{n-1}$$

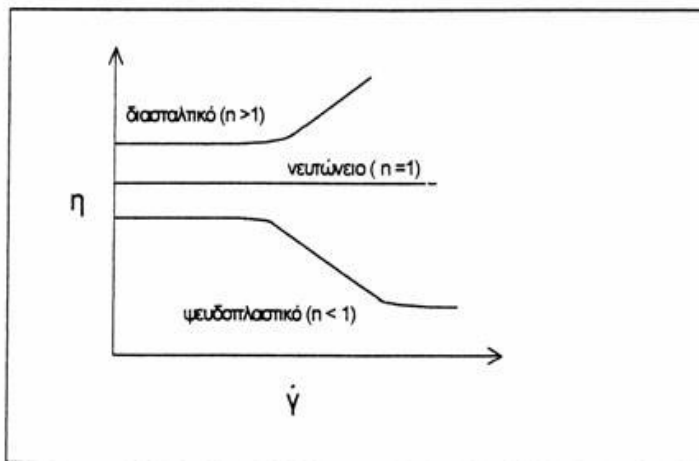
Ισχύει : ψευδοπλαστικά υγρά $n < 1$

νευτώνεια υγρά $n = 1$, $m = n$

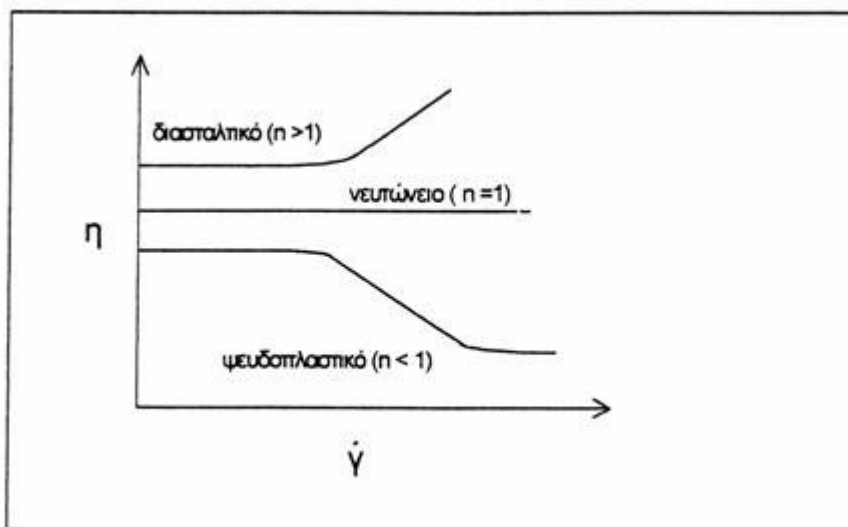
διασταλτικά υγρά $n > 1$

Το **ρευστό Bingham** ρέει γραμμικά όταν η διατμητική τάση που του ασκείται ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή.

Στα σχήματα 3 και 4 βλέπουμε την εξάρτηση, στα διάφορα είδη ρευστών, του ρυθμού διάτμησης από την τάση και το ιξώδες αντίστοιχα.



σχήμα 3



σχήμα 4

Αν θεωρήσουμε νευτώνειο ρευστό μεταξύ παράλληλων επίπεδων πλακών, που απέχουν απόσταση d και η μια είναι σταθερή, ενώ η άλλη κινείται με σταθερή ταχύτητα v_{\max} , τότε στην επιφάνεια του ρευστού που έρχεται σ'επαφή με την κινούμενη πλάκα, ασκείται διατμητική τάση ίση με $\tau_{xy} = F / A$.

Μετά από ένα χρονικό διάστημα το προφίλ των ταχυτήτων γίνεται γραμμικό με την απόσταση και ισχύει:

$$\gamma = dv_x/dy = v_{\max} / b \quad (\text{s}^{-1})$$

Νόμος του Newton γίνεται : $\tau_{xy} = \eta\gamma = \eta (dv_x/dy)$.

4.1 ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗ

Ως αποστείρωση (sterilization) χαρακτηρίζεται η θερμική επεξεργασία των τροφίμων η οποία γίνεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 100 C και αποβλέπει στην καταστροφή των σπορίων των βακτηρίων. Ταυτόχρονα με την αποστείρωση καταστρέφονται και όλες οι βλαστικές μορφές των βακτηρίων, οι ζύμες και οι μύκητες επειδή είναι λιγότερο ανθεκτικοί στη θέρμανση από τα σπόρια των βακτηρίων.

Όταν με τη θερμική επεξεργασία επιτυγχάνεται η καθολική καταστροφή τόσο των βλαστικών μορφών όσο και των σπορίων των βακτηρίων που απαντούν στο τρόφιμο, τότε αναφερόμαστε σε πλήρη αποστείρωση. Η πλήρη αποστείρωση των τροφίμων δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί, γιατί απαιτεί θέρμανση για απεριόριστο χρόνο. Μια τέτοια όμως θερμική επεξεργασία στην οποία το προϊόν θερμαίνεται για απεριόριστο χρόνο επιφέρει υποβάθμιση της ποιότητας λόγω καταστροφής των θρεπτικών του στοιχείων και των οργανοληπτικών του χαρακτηριστικών. Εξάλλου, για τη συντήρηση των τροφίμων δεν είναι απαραίτητη η πλήρη καταστροφή των σπορίων των βακτηρίων. Εκείνο το οποίο επιδιώκεται με τη συντήρηση των τροφίμων είναι: α) να διατηρηθεί ικανοποιητικά η ποιότητα των τροφίμων μέχρι το τέλος μιας εκ των προτέρων καθορισμένης περιόδου διατήρησής τους και β) τα τρόφιμα να είναι ασφαλή για την

υγεία του καταναλωτή. Οι δυο αυτές προϋποθέσεις εξασφαλίζονται με την εφαρμογή της καλούμενης εμπορικής αποστείρωσης.

Ως εμπορική αποστείρωση (commercial sterilization) ορίζεται η θερμική επεξεργασία με την οποία καταστρέφονται τα σπόρια εκείνων των βακτηρίων τα οποία θα μπορούσαν να πολλαπλασιασθούν κατά τη συντήρηση των τροφίμων, κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες διατήρησης, και να επιφέρουν την αλλοίωσή τους ή να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία του καταναλωτή. Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει ότι με την εμπορική αποστείρωση σκοτώνονται οι βλαστικές μορφές όλων των βακτηρίων και επιζούν τα σπόρια ορισμένων βακτηρίων. Τα σπόρια όμως που επιζούν κατά την εμπορική αποστείρωση δεν μπορούν να βλαστήσουν και να πολλαπλασιασθούν κάτω από τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη συντήρηση του συγκεκριμένου τροφίμου και συνεπώς δεν μπορούν να προκαλέσουν την αλλοίωσή του.

Η εμπορική αποστείρωση είναι μια αυστηρή θερμική επεξεργασία η οποία εξασφαλίζει τη συντήρηση των τροφίμων για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 6 μήνες, ενώ ταυτόχρονα προκαλεί στο προϊόν μεγαλύτερες απώλειες σε θρεπτικά στοιχεία και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την παστερίωση. Παράλληλα με την εμπορική αποστείρωση πρέπει να καταστραφούν και τα ένζυμα που απαντούν στο προϊόν, αν δεν έχει από πριν ληφθεί μέριμνα για την καταστροφή τους με το ζεμάτισμα.

Η εμπορική αποστείρωση εφαρμόζεται στα τρόφιμα με δύο τρόπους: α) το προϊόν μετά από κατάλληλη προετοιμασία τοποθετείται στους περιέκτες οι οποίοι κλείνουν ερμητικά και στη συνέχεια υφίσταται εμπορική αποστείρωση. Η επεξεργασία αυτή είναι γνωστή ως κονσερβοποίηση. Β) το προϊόν υφίσταται αρχικά εμπορική αποστείρωση και τοποθετείται, κάτω από ασηπτικές συνθήκες, σε αποστειρωμένους περιέκτες οι οποίοι κλείνουν ερμητικά σε αποστειρωμένο περιβάλλον. Η επεξεργασία αυτή είναι γνωστή ως ασηπτική επεξεργασία.

4.2 ΚΟΝΣΕΡΒΟΠΟΙΗΣΗ

Με τον όρο κονσερβοποίηση (canning) εννοούμε τη θερμική επεξεργασία (αποστείρωση ή εμπορική αποστείρωση) των τροφίμων τα οποία βρίσκονται μέσα σε ερμητικά κλεισμένους περιέκτες.

Η κονσερβοποίηση αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων. Την κονσερβοποίηση ανακάλυψε για πρώτη φορά ο Nicholas Appert (1750-1840) στη Γαλλία το 1790. Ο Ναπολέων προκήρυξε διαγωνισμό με χορήγηση βραβείου με σκοπό την ανάπτυξη μεθόδου συντήρησης των τροφίμων για τις ανάγκες του Γαλλικού Στρατού προκειμένου να αντιμετωπισθεί η ασθένεια του σκορβούτου. Το βραβείο πήρε ο Nicholas Appert, οι εργασίες του οποίου οδήγησαν στην ανάπτυξη της εμπορικής αποστείρωσης. Οι αρχές που εφάρμοσε ο Appert για την κονσερβοποίηση των τροφίμων ισχύουν ακόμη και σήμερα.

Η κονσερβοποίηση ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων είναι μια οικονομική και ασφαλής μέθοδος με την οποία μπορούν να παραχθούν προϊόντα χωρίς χημικά συντηρητικά, ικανά να διατηρηθούν σε συνθήκες περιβάλλοντος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όμως, με τη θέρμανση επέρχονται μεταβολές στα

οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του νωπού προϊόντος και στη θρεπτική του αξία που είναι δυνατόν να υποβαθμίσουν την ποιότητα των τροφίμων, αν σε αυτά εφαρμοσθεί θερμική επεξεργασία μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για τη μικροβιολογική τους σταθερότητα και την ασφάλεια του καταναλωτή.

4.3 ΑΣΗΠΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ασηπτική επεξεργασία (aseptic processing) συνίσταται στην εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας σε υψηλές θερμοκρασίες για σύντομο χρονικό διάστημα (HTST thermal process) σε προϊόντα που βρίσκονται σε κατάσταση συνεχούς ροής, στην τοποθέτηση των προϊόντων, αμέσως μετά την ψύξη τους, σε προ-αποστειρωμένους περιέκτες και στο ερμητικό κλείσιμο των περιεκτών κάτω από ασηπτικές συνθήκες. Η συσκευασία τροφίμων σε προ-αποστειρωμένους περιέκτες κάτω από ασηπτικές συνθήκες αποτρέπει την επιμόλυνσή τους με μικροοργανισμούς και είναι ειδικότερα γνωστή ως ασηπτική συσκευασία (aseptic packaging). Με ασηπτική συσκευασία μπορούν και συσκευάζονται προϊόντα ζύμωσης, με σκοπό την αύξηση του χρόνου συντήρησής τους.

Οι θερμοκρασίες που εφαρμόζονται κατά την ασηπτική επεξεργασία στα τρόφιμα είναι δυνατόν να είναι μικρότερες από 100 C. Στην περίπτωση αυτή η HTST θερμική επεξεργασία αντιστοιχεί στην παστερίωση. Παράδειγμα αποτελεί η HTST ασηπτική επεξεργασία των χυμών στους 93 C για 30 sec. Συνηθέστερα όμως κατά την ασηπτική επεξεργασία εφαρμόζονται θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από τους 121 C

όποτε η HTST θερμική επεξεργασία αντιστοιχεί στην εμπορική αποστείρωση.

Η HTST θερμική επεξεργασία, που εφαρμόζεται κατά την ασηπτική επεξεργασία σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, χαρακτηρίζεται ως υπερθερμανση ή UHT επεξεργασία (Ultra High Temperature Processing), όταν ο χρόνος διατήρησης του προϊόντος στην υψηλή θερμοκρασία είναι μηδέν ή της τάξεως λίγων δευτερολέπτων, συνήθως 2-8 sec. Ο όρος UHT αναφέρεται κυρίως στην ασηπτική επεξεργασία των προϊόντων γάλακτος σε θερμοκρασίες μεταξύ 130 C και 150 C.

Η ασηπτική επεξεργασία εφαρμόζεται : α) σε ρευστά τρόφιμα με χαμηλό ιξώδες, όπως το γάλα και οι χυμοί φρούτων, β) σε ρευστά προϊόντα με κοκκώδη συστατικά, όπως το ρυζόγαλο, οι σούπες και οι σάλτσες, γ) σε ημίρευστα προϊόντα με υψηλότερο ιξώδες, όπως ο τοματοπολτός και δ) σε στερεά προϊόντα από αυτοτελή τεμάχια, μεγέθους 15-25 mm, μέσα σε ρευστή φάση.

Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη της ασηπτικής επεξεργασίας των τροφίμων άρχισαν το 1927 στις ΗΠΑ. Πρωτοπόρος θεωρείται ο C. OlinBall, ο οποίος ανέπτυξε κατάλληλη επεξεργασία για ταχεία θέρμανση-ψύξη-πλήρωση υγρών και ημίρευστων προϊόντων, για την οποία έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1938. Το 1942, και πάλι στις ΗΠΑ ο George Gridrod κατάφερε για πρώτη φορά να εξασφαλίσει ασηπτικές συνθήκες στο χώρο όπου γίνεται η τοποθέτηση των προϊόντων στους περιέκτες και το ερμητικό κλείσιμο αυτών. Στα τέλη της δεκαετίας του 1940 αναπτύχθηκε η ασηπτική επεξεργασία Dole και στις αρχές της δεκαετίας του 1960 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το υπεροξειδίο του υδρογόνου για την αποστείρωση εύκαμπτων υλικών συσκευασίας που χρησιμοποιούνται στην ασηπτική συσκευασία των τροφίμων.

4.4 ΣΤΑΔΙΑ ΑΣΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ασηπτική επεξεργασία των τροφίμων περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) τη θερμική επεξεργασία του προϊόντος πριν την τοποθέτησή του στον περιέκτη, β) την αποστείρωση του υλικού συσκευασίας πριν τη διαμόρφωσή του σε περιέκτη ή την αποστείρωση του περιέκτη πριν την πλήρωσή του με το προϊόν, γ) την αποστείρωση του χώρου συσκευασίας και τη διατήρηση ασηπτικών συνθηκών σε όλη τη διάρκεια επεξεργασίας και δ) το ερμητικό κλείσιμο του περιέκτη κάτω από ασηπτικές συνθήκες.

4.5 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Όταν τα τρόφιμα υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία για να καταστραφούν οι ανεπιθύμητοι μικροοργανισμοί και να αδρανοποιηθούν τα ένζυμα, προκαλούνται παράλληλα και κάποιες ανεπιθύμητες μεταβολές. Παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος αυτών των μεταβολών είναι: η ποιότητα των πρώτων υλών και των πρόσθετων συστατικών, η θερμοκρασία και ο χρόνος θερμικής επεξεργασίας που εφαρμόζονται, η καλή λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας, οι συνθήκες αποθήκευσης των τελικών προϊόντων στην μονάδα παρασκευής και στους χώρους λιανικής πώλησης και τέλος οι συνθήκες μεταφοράς των τελικών προϊόντων από την μονάδα παρασκευής προς τα σημεία κατανάλωσης.

Οι σημαντικότερες ανεπιθύμητες μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη θρεπτική σύσταση των τροφίμων είναι οι ακόλουθες:

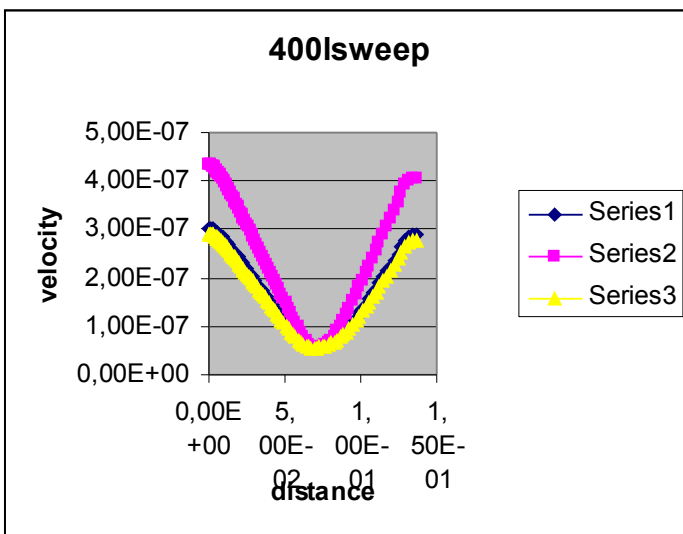
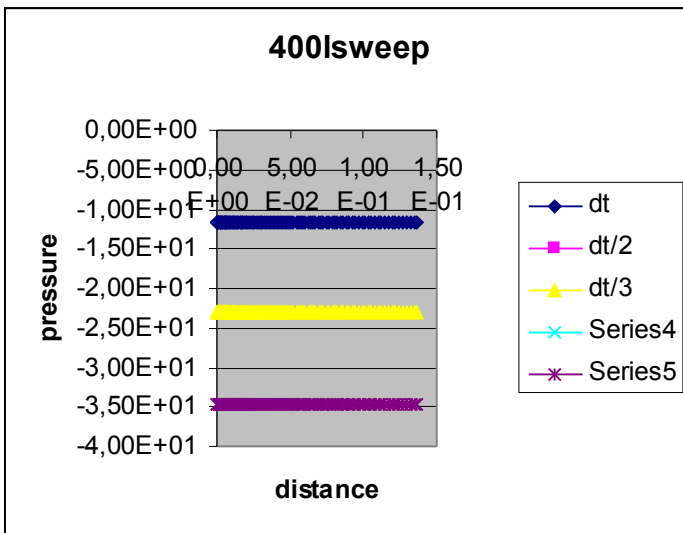
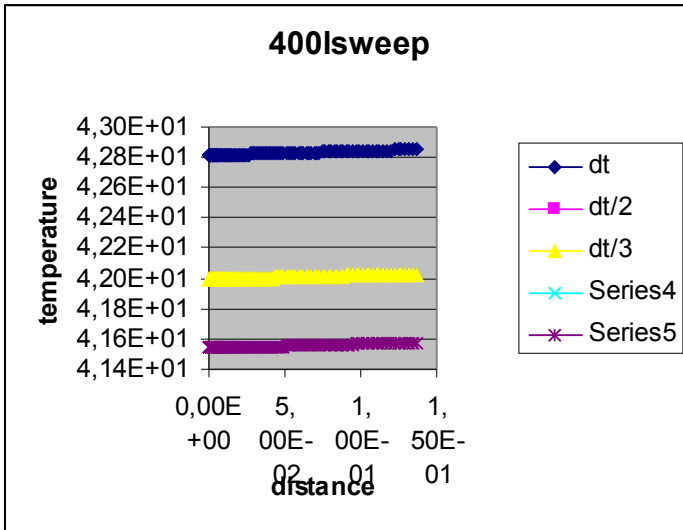
- A. Πρωτεΐνες
- B. Υδατάνθρακες
- Γ. Λιπίδια
- Δ. Βιταμίνες

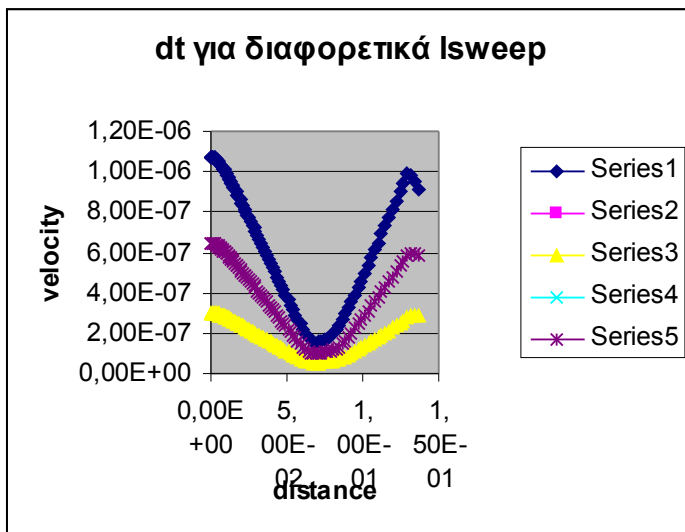
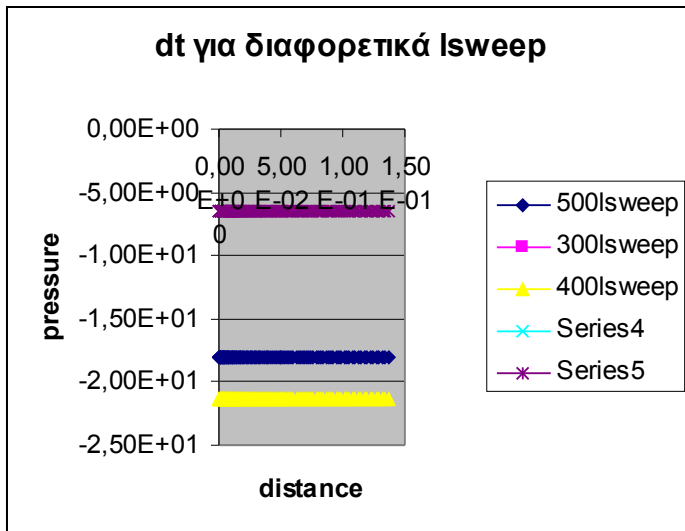
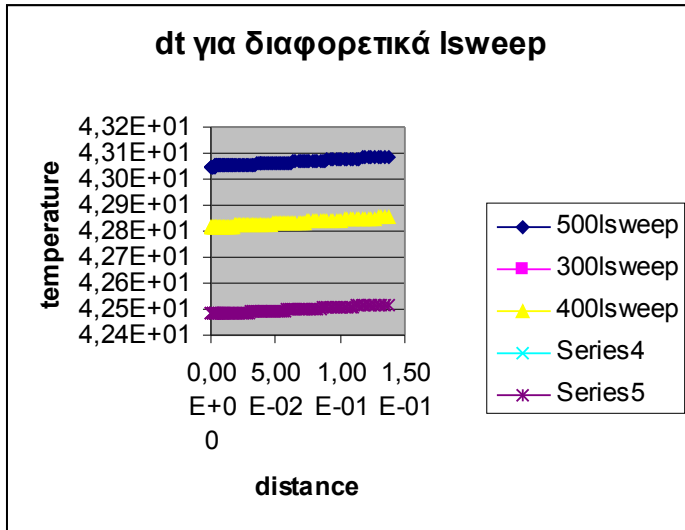
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

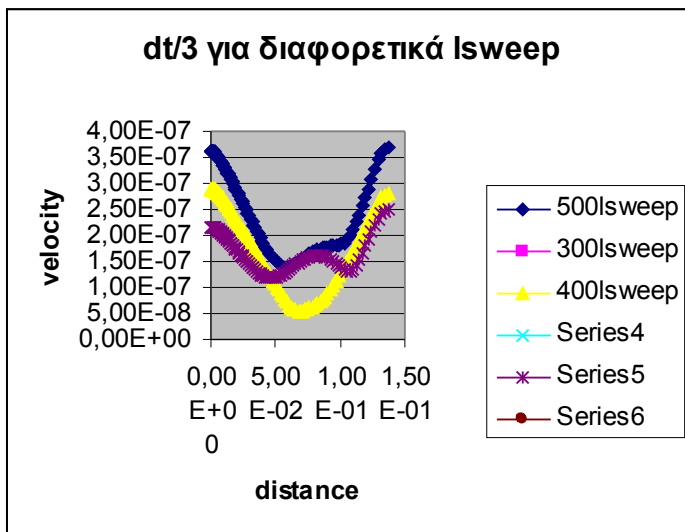
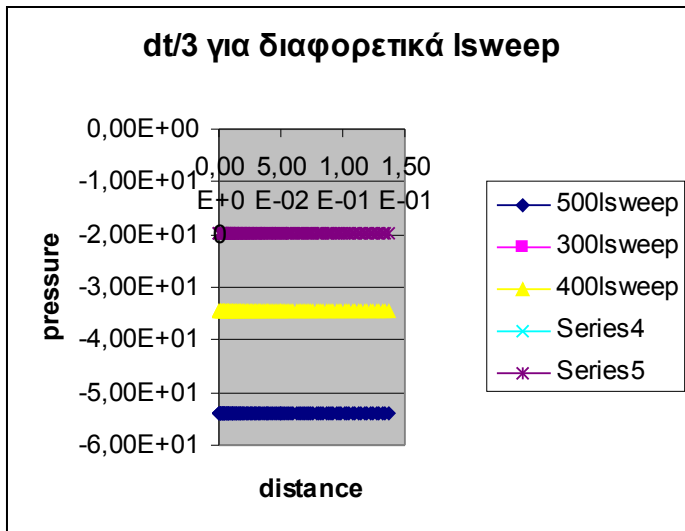
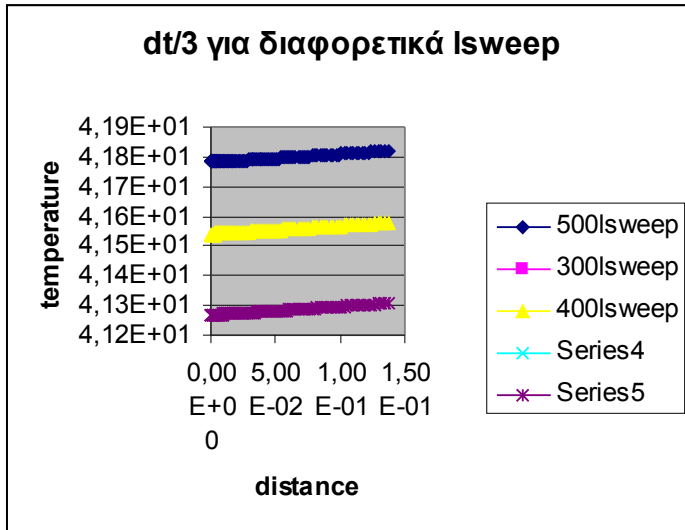
Τα αποτελέσματα μας συμπίπτουν με αυτά των Chani και Chan. Για την μελέτα ανεξαρτησίας της λύσης μας, ως προς το χρόνο έχουμε τα εξής αποτελέσματα: Το Isweep 400 που χρησιμοποιήθηκε είναι το ανεξάρτητο και για αριθμό χρονικών 300 (dt), δίνει την καλύτερη λύση με το χαμηλότερο υπολογιστικό κόστος.

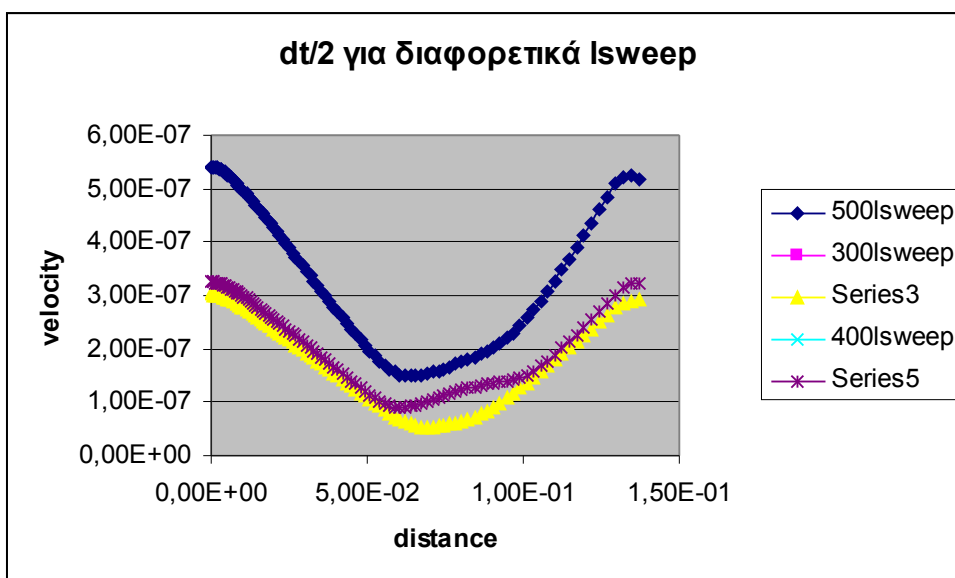
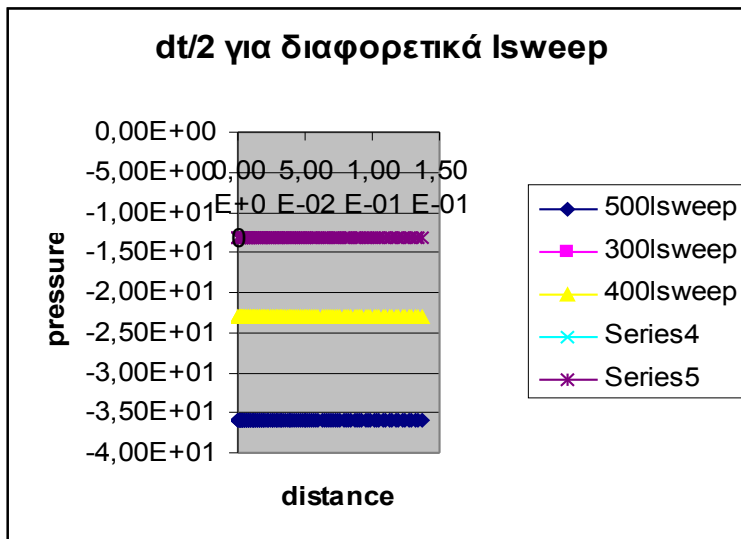
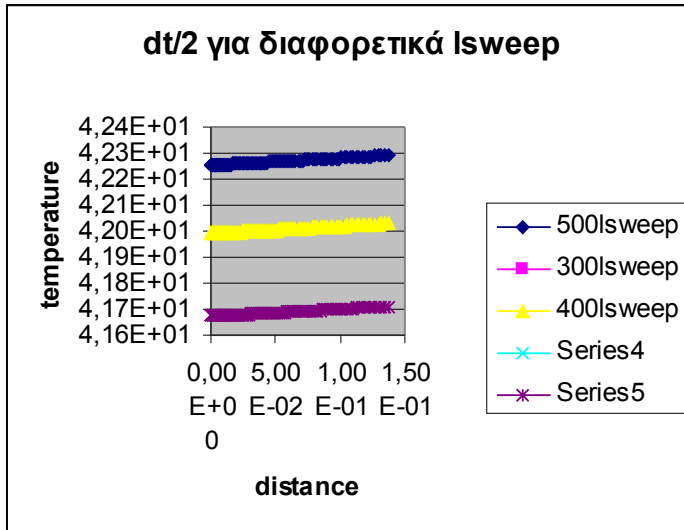
Αρχικά συγκρίναμε τα αποτελέσματα κάθε χρονικού βήματος με Isweep 400, Isweep 500 και Isweep 300. Παρατηρήσαμε ότι για Isweep 500 τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με του Isweep 400 και για Isweep 300 τα αποτελέσματα αποκλίνουν. Επομένως το ανεξάρτητο Isweep είναι το 400.

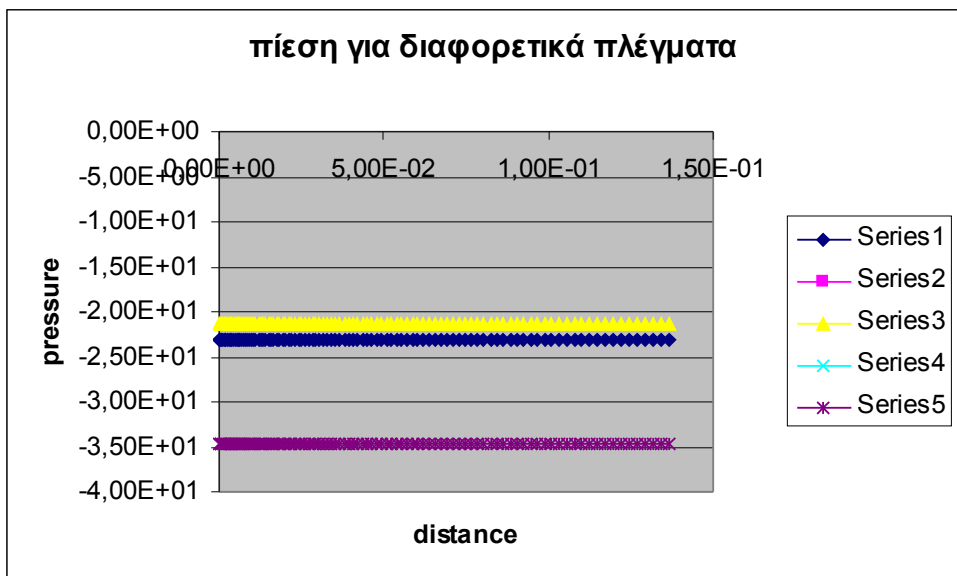
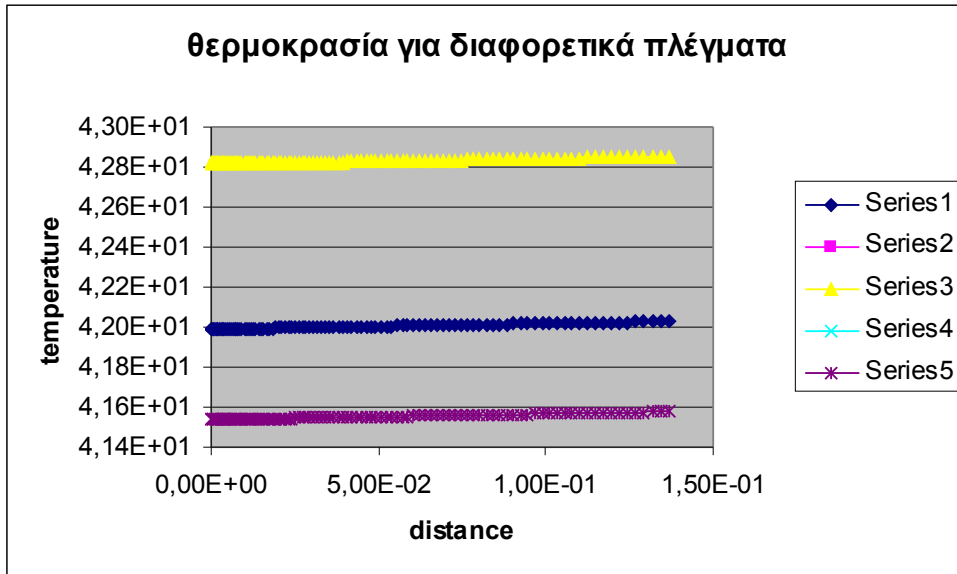
Για το ανεξάρτητο πια Isweep 400, μελετήσαμε τις παραμέτρους μας (θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα) για 3 χρονικά βήματα dt, dt/2, dt/3. Τα αποτελέσματα που βρήκαμε και για τα τρία χρονικά βήματα είναι παρόμοια. Επομένως δεχόμαστε το μεγαλύτερο δηλ. dt(300), αφού θα έχει και το μικρότερο υπολογιστικό κόστος. Στα τρεξίματα που έγιναν αφήσαμε την γραμμική υποχαλάρωση (LINRLX) ως έχει. Αλλάξαμε την υποχαλάρωση ψευδούς χρονικού βήματος (FALSDT) ανάλογα με το αντίστοιχο χρονικό βήμα. Παρακάτω παραθέτουμε τα διαγράμματα.

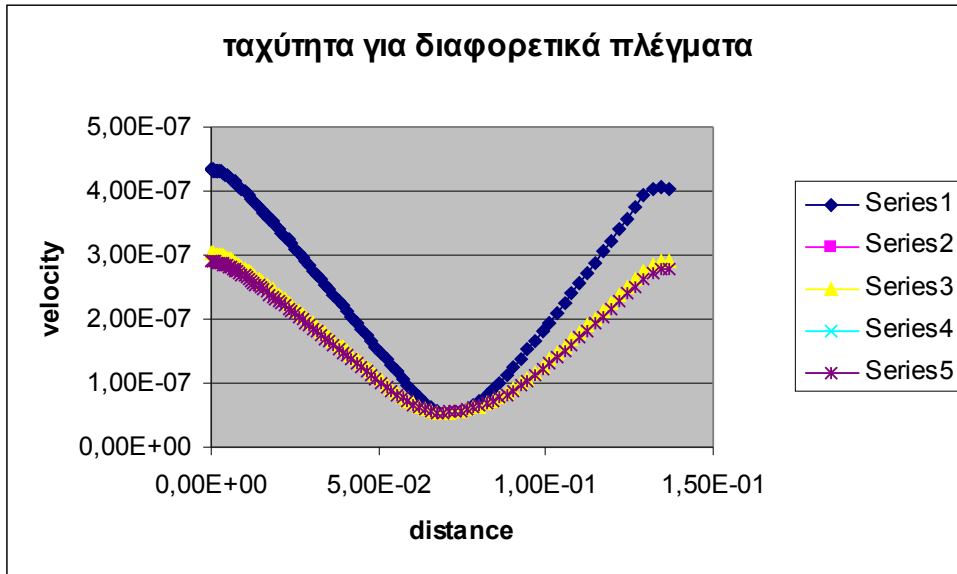


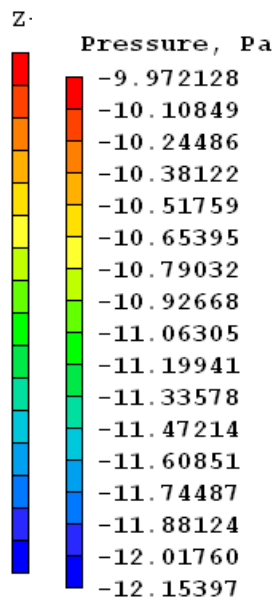




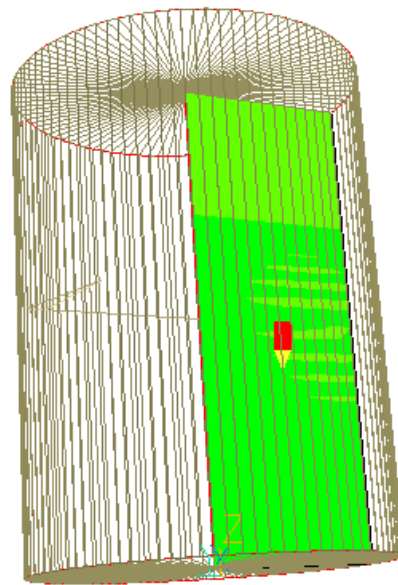






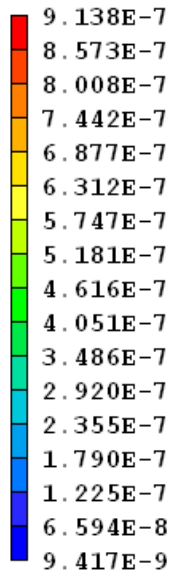


Time 1787.000 s
 Probe value
 -11.08797
 Average value
 -11.07814



Temperature distribution in a can filled

Velocity, m/s



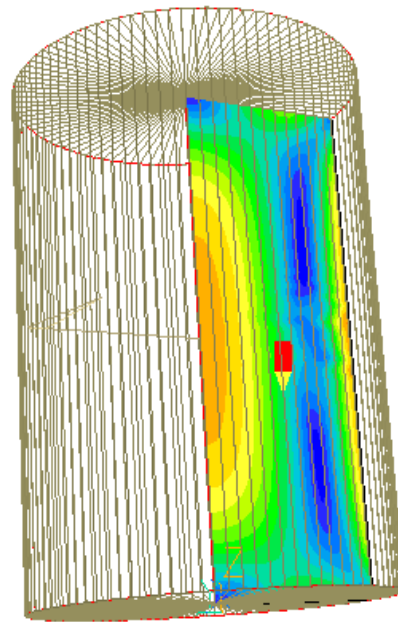
Time 1787.000 s

Probe value

3.545E-7

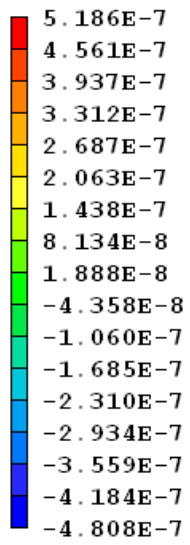
Average value

4.017E-7



Temperature distribution in a can filled

Y-Velocity, m/s



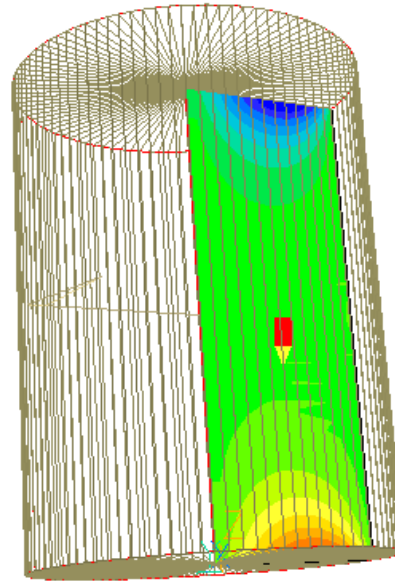
Time 1787.000 s

Probe value

8.762E-9

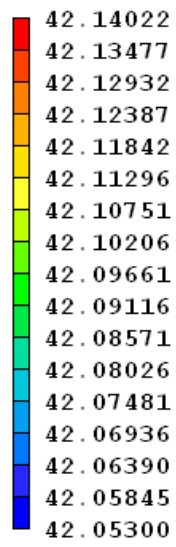
Average value

2.12E-11



Temperature distribution in a can filled

Temperature, °C



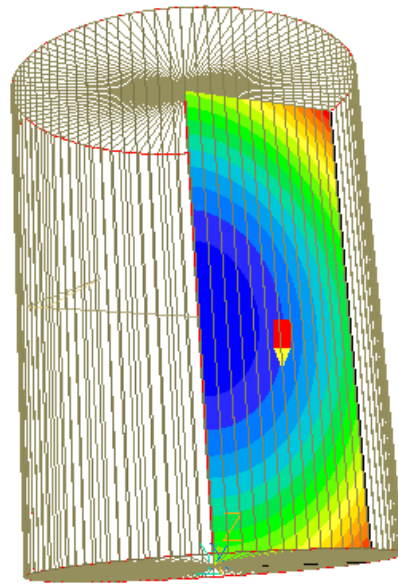
Time 1787.000 s

Probe value

42.06475

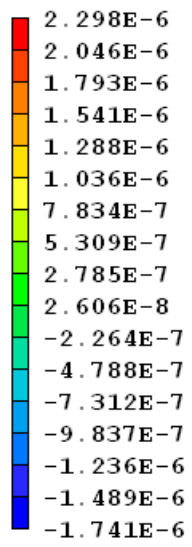
Average value

42.08231



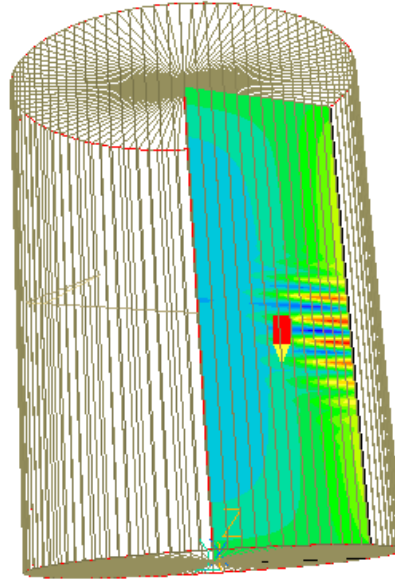
Temperature distribution in a can filled

Z-Velocity, m/s



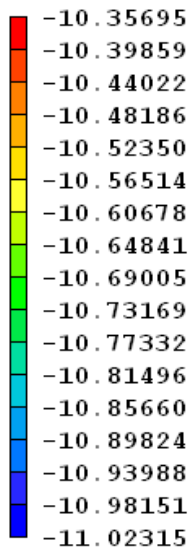
Time 1787.000 s

Probe value
-3.110E-7
Average value
-1.956E-7



Temperature distribution in a can filled

Pressure, Pa



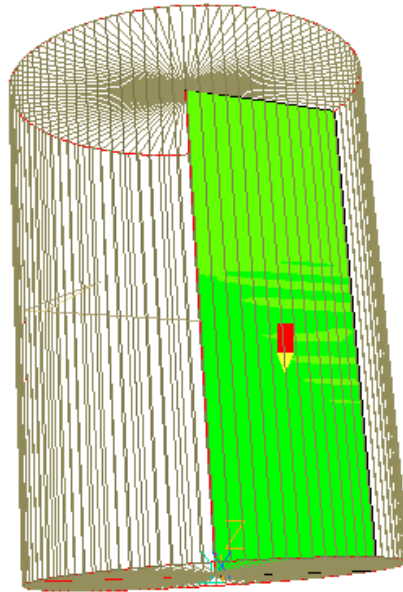
Time 1157.400 s

Probe value

-10.70041

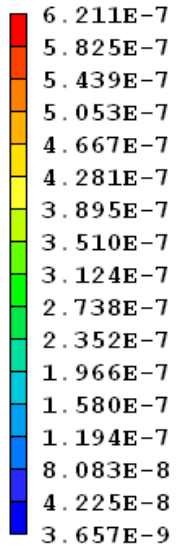
Average value

-10.69475



Temperature distribution in a can filled

Velocity, m/s



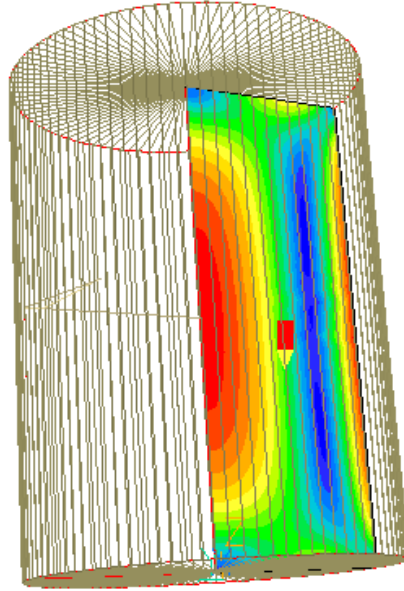
Time 1157.400 s

Probe value

2.940E-7

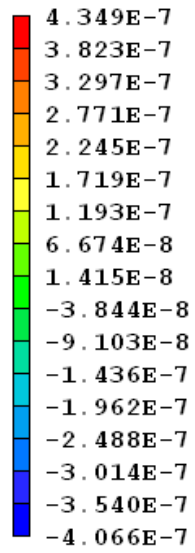
Average value

3.325E-7



Temperature distribution in a can filled

Y-Velocity, m/s



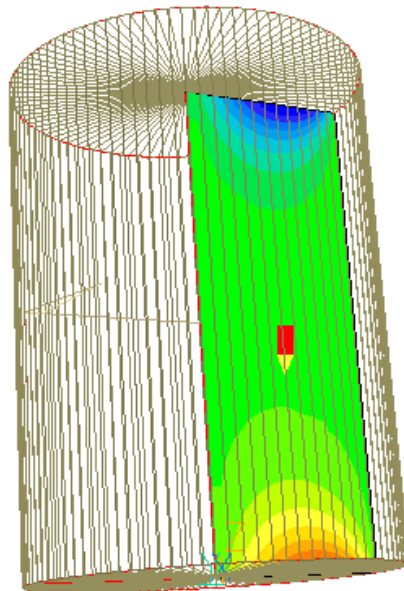
Time 1157.400 s

Probe value

6.000E-9

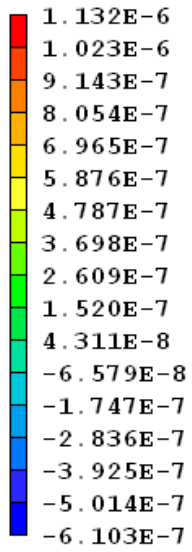
Average value

-9.07E-11



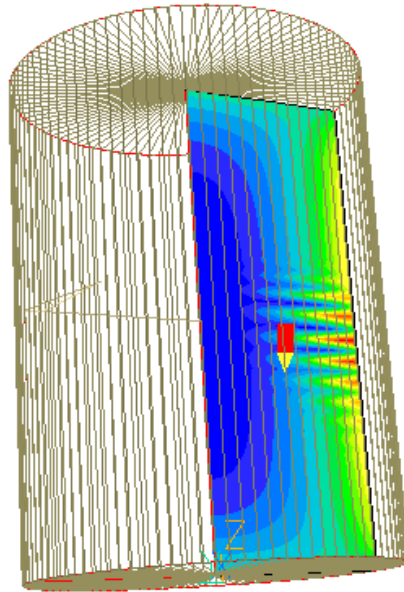
Temperature distribution in a can filled

Z-Velocity, m/s



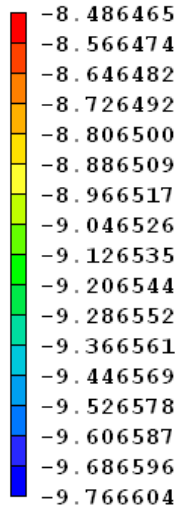
Time 1157.400 s

Probe value
-3.076E-7
Average value
-1.642E-7



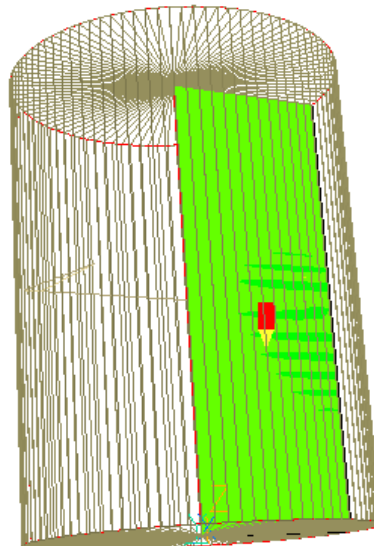
Temperature distribution in a can filled

Pressure, Pa



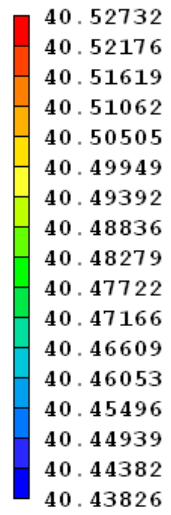
Time 344.0000 s

Probe value
-9.117658
Average value
-9.117955



Temperature distribution in a can filled

Temperature, °C



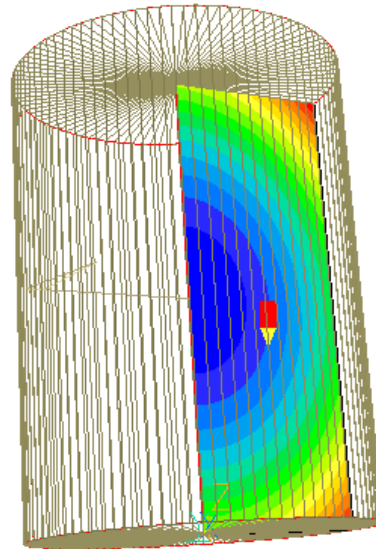
Time 344.0000 s

Probe value

40.45028

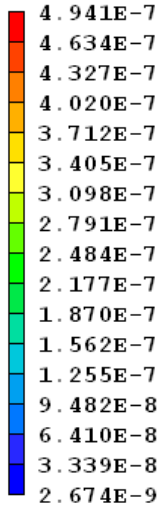
Average value

40.46820



Temperature distribution in a can filled

Velocity, m/s



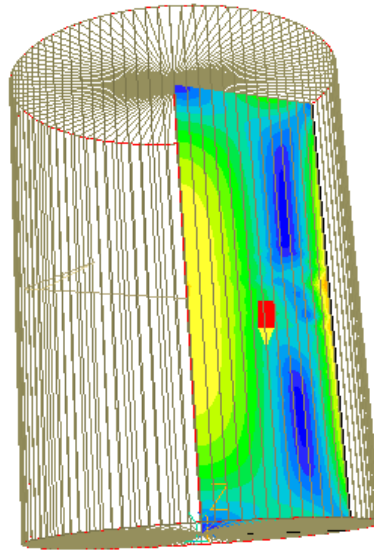
Time 344.0000 s

Probe value

1.723E-7

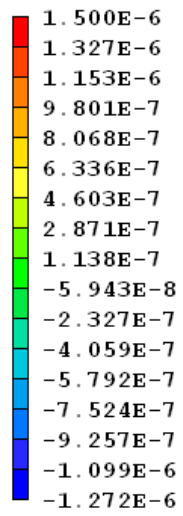
Average value

1.933E-7



Temperature distribution in a can filled

Z-Velocity, m/s



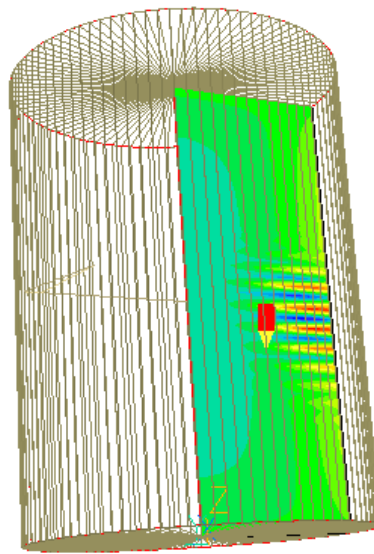
Time 344.0000 s

Probe value

-1.397E-7

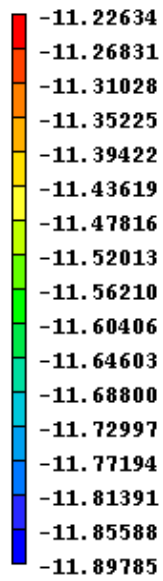
Average value

-9.290E-8



Temperature distribution in a can filled

Pressure, Pa



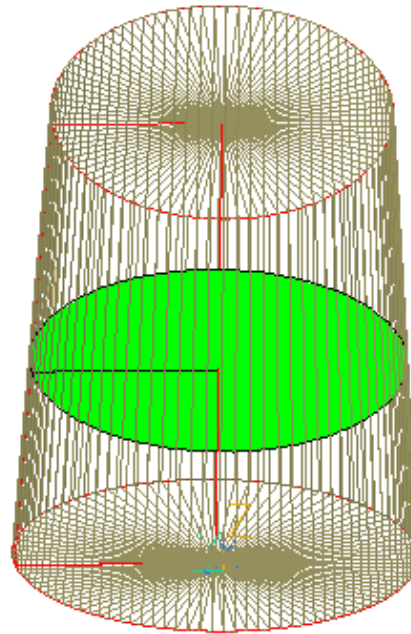
Time 2574.000 s

Probe value

-11.56583

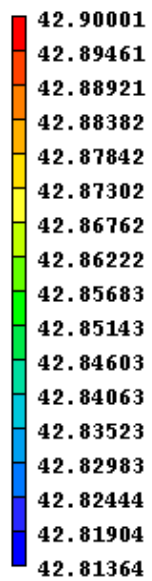
Average value

-11.55115



Temperature distribution in a can filled

Temperature, °C



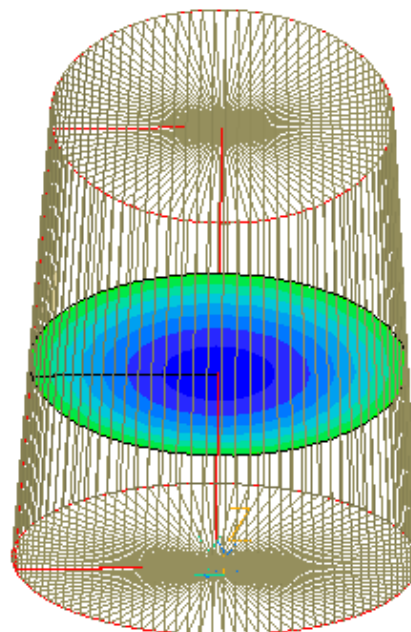
Time 2574.000 s

Probe value

42.82529

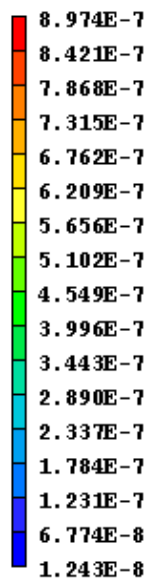
Average value

42.77908



Temperature distribution in a can filled

Velocity, m/s



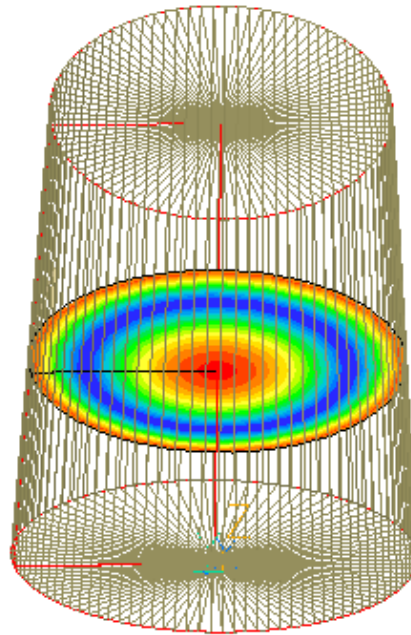
Time 2574.000 s

Probe value

4.197E-7

Average value

4.449E-7



Temperature distribution in a can filled

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

TALK=T; RUN(1,1); VDU=X11-TERM
IRUNN= 1; LIBREF=166

GROUP 1. Run Title

TEXT(Temperature distribution in a can filled with CMC)

GROUP 2. Transience

STEADY = F
RSET (U, 0.000E+00,2.574E+03,300)
RSET (T, L, 0, 1.800E+02)
RSET (T, L, 0, 1.000E+03)
RSET (T, 1, 100, 1.000E+00)
RSET (T, 2, 100, 1.000E+00)
RSET (T, 3, 100, 1.000E+00)

GROUP 3, 4, 5 Grid Information

RSET (M, 1, 51, 69)
XSI= 6.283E+00;YSI= 4.048E-02;ZSI= 1.111E-01;RSET (D,
CAN)
XPO= 0.000E+00;YPO= 0.000E+00;ZPO= 1.111E-01
XSI= 6.283E+00;YSI= 4.048E-02;ZSI= 0.000E+00;RSET (B,
UP)
XPO= 0.000E+00;YPO= 0.000E+00;ZPO= 0.000E+00
XSI= 6.283E+00;YSI= 4.048E-02;ZSI= 0.000E+00;RSET (B,
DOWN)

XPO= 0.000E+00;YPO= 0.000E+00;ZPO= 5.555E-02
 XSI= 6.283E+00;YSI= 4.048E-02;ZSI= 0.000E+00;RSET (B,
 PLATE)
 XPO= 0.000E+00;YPO= 0.000E+00;ZPO= 0.000E+00
 XSI= 6.283E+00;YSI= 0.000E+00;ZSI= 1.111E-01;RSET (B,
 MID)
 XPO= 0.000E+00;YPO= 4.048E-02;ZPO= 0.000E+00
 XSI= 6.283E+00;YSI= 0.000E+00;ZSI= 1.111E-01;RSET (B,
 SIDE)
 RSET (Y, 1, 51, 7.000E-01)
 RSET (Z, 1, 34, 1.600E+00)
 RSET (Z, 2, 35, 8.000E-01)
 CARTES=F

GROUP 7. Variables: STORED, SOLVED & NAMED

ONEPHS = T
 NAME(46) = BLOK; NAME(47) =SPH1
 NAME(48) = TEM1; NAME(49) =DEN1
 NAME(50) = PRPS
 SOLVE (P1, V1, W1, TEM1)
 STORE(PRPS, DEN1, SPH1, BLOK)
 SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,Y)
 SOLUTN(V1,Y,Y,Y,N,N,Y)
 SOLUTN(W1,Y,Y,Y,N,N,Y)
 SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
 IVARBK = -1; ISOLBK = 1

GROUP 8. Terms & Devices

TERMS (P1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)
 TERMS (v1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)
 TERMS (w1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)
 TERMS (TEM1,Y,Y,Y,Y,Y,N)
 NEWRH1 = T
 NEWENL = T

ISOLX = 0; ISOLY = 0; ISOLZ = 0

GROUP 9. Properties
RHO1 = GRND10
PRESS0 = 1.010E+04
TEMP0 = 3.130E+02
CP1 = GRND10
ENULA= 4.135E-03; ENULB=-6.219E-05; ENULC=2.586E-07
ENUL= GRND2; ENUT = 0.000E+00
PRNDTL(TEM1) = -GRND10

GROUP 11. Initialise Var/ Porosity Fields

FIINIT(BLOK) = 1.000E+00 ; FIINIT (PRPS) = 9.000E+01
PATCH (TIMI, INIVAL, #1, #1, #1,#1,#1, #2, #1, #1)
INIT (TIMI, TEM1, 0.000E+00, 4.000E+01)
INIADD = F

GROUP 13. Boundary & Special Sources

PATCH(BUOYANCY, PHASEM, 1, 1, 1, 51, 1, 69, 1, 300)
COVAL(BUOYANCY, V1, FIXFLU, GRND3)
COVAL(BUOYANCY, W1, FIXFLU, GRND3)

PATCH(UP, HIGH, #1, #1, #1, #1, #2, #2, #1,#3)
COVAL(UP, V1, 1.0, 0.000E+00)
COVAL(UP, TEM1, 1.0, 1.210E+02)

PATCH(SIDE, NORTH, #1, #1, #1, #1, #1, #2, #1,#3)
COVAL(SIDE, W1, 1.0, 0.000E+00)
COVAL(SIDE, TEM1, 1.0, 1.210E+02)

PATCH(DOWN, LOW, #1, #1, #1, #1, #1, #1, #1, #3)
COVAL(DOWN, V1, 1.0, 0.000E+00)
COVAL(DOWN, TEM1, 1.0, 1.210E+02)

BUOYA = 0.000E+00 ; BUOYB = 0.000E+00 ; BUOYC =
-9.810E+00
BUOYD =GRND10 ; BUOYE = 4.000E+01
EGWF = T

GROUP 15. Terminate Sweeps
LSWEEP =400
TSTSWP = 2
SELREF = T
RESFAC = 1.000E-03

GROUP 17. Relaxation
RELAX(P1,LINRLX, 1.000E+00)
RELAX(V1,FALSDT,1.103E-05)
RELAX(W1,FALSDT,1.103E-05)
RELAX(TEM1,FALSDT,4.411E-02)

GROUP 19. EARTH Calls To GROUND Station
GENK = T
CSG10 = Q1

GROUP 20. Preliminary Printout
ECHO=T

GROUP 21. Print-out of variables
INIFLD = T

OUTPUT(BLOK, Y, N, Y, N, N, N)
OUTPUT(SPH1, N, N, Y, Y, N, N)
OUTPUT(DEN1, Y, N, Y, N, N, N)
OUTPUT(PRPS, Y, N, Y, N, N, N)

GROUP 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1; IYMON= 20; IZMON=30
TSTSWP =-1
UWATCH = T
USTEER = T

GROUP 23. Field print-Out & Plot Control

NTPRIN = 10; ISTPRF = 1; ISTPRL = 10000

GROUP 24. Dumps For Restarts
IDISPA = 10
CSG1 = M

STOP

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Datta, A.K (1991). Mathematical modeling of biochemical changes during processing of liquid food and solutions, *Biotechnol. Prog.*, 7, 397-402.

Fryer, P. J., Pyle, D.L.& Rielly, C.D. (1997). *Chemical Engineering for Food Industry*. Chapman and Hall.

Giner, J., Ibarz, A., Garza, S.& Xhian-Quan. (1996). Rheology of clarified cherry juices. *Journal of Food Engineering*, 30, 147-154.

Kumar, A., Bhattacharya, M.& Blaylock, J. (1990). Numerical Simulation of natural convection heating of canned thick

viscous liquid food products. *Journal of Food Science*, 55(5), 1403-1411.

Tressler, D. K., Charley, V. L. S. & Luh, B. S. (1980). Cherry, berry and other miscellaneous fruit juices. In *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*, eds P. E. Nelson & D. K. Tressler. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut, pp. 310-343.

Κυρανάς Ευστρατιος, Τρόφιμα σύσταση, προέλευση, αλλοιώσεις, επεξεργασία και συσκευασία, Εκδόσεις Τζιόλα, 2012.

Μαρκάτος Ν., Υπολογιστική Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995.

Μπλούκας Γ. Ιωάννης, Επεξεργασία και συντήρηση τροφίμων, Εκδόσεις Σταμούλη, 2004.

Παπαϊωάννου Α. Θ., Μηχανική των ρευστών, 1993.