

**Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΖΕΣΤΟΥ  
ΝΕΡΟΥ (ΘΕΡΜΟΔΟΧΕΙΩΝ) – ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ :  
ΚΡΥΣΤΑΛΗ ΜΑΡΙΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :  
ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΑΙΓΑΛΕΩ  
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2016**

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία στοχεύει στο να παρουσιάσει μια συνοπτική εικόνα των δοχείων αποθήκευσης ζεστού και του φαινομένου της διαστρωμάτωσης που πραγματοποιείτε μέσα σε αυτά. Συγκεκριμένα θα αναφερθούν οι τύποι θερμοδοχείων, οι τρόποι θέρμανσης νερού, καθώς και ο ρόλος του θερμοδοχείου στα συστήματα θέρμανσης και εξοικονόμησης ενέργειας για οικιακή και επαγγελματική χρήση. Στη συνέχεια θα εμβαθύνουμε στο φαινόμενο της διαστρωμάτωσης και το μεγάλο ρόλο που παίζει στην ενεργειακή απόδοση των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού.

Πιο αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο θα επαναδιατυπώσουμε τις βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής και της μετάδοσης θερμότητας καθώς και την ανάγκη παραγωγής ζεστού νερού και της αποθήκευσης του.

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε της συσκευές παραγωγής ζεστού νερού που χρησιμοποιούνται σήμερα και στον ρόλο της δεξαμενής αποθήκευσης Ζ.Ν.Χ σε ένα σύστημα. Μετά θα αναλύσουμε λεπτομερώς της δεξαμενής αποθήκευσης Ζ.Ν.Χ του τύπου τα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την μέγιστη ενεργειακή απόδοση.

Στο κύριο κομμάτι της εργασίας θα εμβαθύνουμε στο φαινόμενο της θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα στην δεξαμενή. Συγκεκριμένα θα αναλύσουμε την φύση του φαινομένου και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει μέσα σε ένα σύστημα. Έμφαση έχει δοθεί στον τόπο υπολογισμού της διαστρωμάτωσης αφού υπάρχουν πολλές μέθοδοι για αυτό, καθώς και στις παραμέτρους που την επηρεάζουν.

Τέλος αναφέρετε ο τόπος ανάγνωσης της ενεργειακής επισήμανσης μίας δεξαμενής και τα συμπεράσματα της εργασίας.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Δοχεία Αποθήκευσης Ζεστού Νερού , Θερμική Διαστρωμάτωση , Δοχεία Αδρανείας , Θερμοδοχεία ,

## Abstract

This paper aims to present an overview of hot water storage tanks, and the effect of thermal stratification that is taking place inside them. Specifically all the types of hot storage tanks will be mentioned, the different means of heating water, and the role of the storage tank to the heating and energy-saving systems for home and professional use. Then we will emphasize in the phenomenon of thermal stratification and the large role it plays for the energy efficiency of hot water storage tanks.

In more detail in the first chapter will reaffirm the basic concepts of thermodynamics and heat transfer as well as the need to produce hot water for storage.

Then we will refer to the hot water generators currently used and the role of the D.H.W(domestic hot water) storage tank in a system.

Then we will analyze in detail the D.H.W storage tanks types , materials and technologies used for maximum energy efficiency.

In the main part of this paperwork we will study the phenomenon of thermal stratification in the tank. Specifically we will analyze the nature of this phenomenon and the advantages in using it in the system. Emphasis has been given to the calculation of stratification since there are many ways to do that.

Finally we will explain how to read the energy certificate of a thermal tank , and the conclusions of this project

**KEY WORDS:** Hot Water Storage Tanks , Thermal stratification, Buffer Tank

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT .....	iii
ΟΡΟΛΟΓΙΑ .....	viii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.1. . Η ανάγκη παραγωγής ζεστού νερού και οι ενεργειακές επιπτώσεις από την αποθήκευσή του .....	2
1.2 Τρόποι Θέρμανσης Νερού.....	2
1.3 Οικιακή και Βιομηχανική Αποθήκευση Ζεστού Νερού.....	3
1.4. Βασικές Έννοιες Θερμοδυναμικής.....	4
1.4.1.Θερμοδυναμικά Συστήματα .....	4
1.4.2 Διεργασία .....	4
1.4.3 Πίεση .....	4
1.4.4.Έργο.....	4
1.4.5 1 <sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος.....	5
1.4.6 2 <sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος.....	6
1.4.7 Εξέργεια.....	7
1.5. Βασικές έννοιες μετάδοσης θερμότητας .....	7
1.5.1.Αγωγή .....	7
1.5.2 Συναγωγή.....	8
1.5.3 Ακτινοβολία.....	9
2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ.....	10
2.1. Ηλεκτρικός Θερμοσίφωνας .....	10
2.2. Μπόιλερ Ζεστού Νερού Χρήσης.....	11
2.3. Ηλιακός Θερμοσίφωνας .....	15
2.4. Εναλλάκτες Θερμότητας .....	16
2.5. Δεξαμενή Αποθήκευσης Μέσα σε ένα Σύστημα.....	17
3. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	18
3.1. Τύποι Θερμοδοχείων .....	18

3.1.1. Δοχεία Αδρανείας .....	18
3.1.2. Μπόιλερ .....	19
3.1.3. Δοχεία Combi( Δοχείο μέσα σε Δοχείο) .....	19
3.2. Υλικό Κατασκευής Θερμοδοχείου .....	20
3.2.1. Χαλκός .....	20
3.2.2. Ανοξείδωτος Χάλυβας.....	21
3.2.4. Επιλογή του Υλικού .....	21
3.3. Επιστρώσεις Προστασίας από Διάβρωση .....	23
3.3.1. Γυάλινη Επισμάλτωση .....	23
3.3.2. Γαλβανιζέ δοχεία.....	24
3.3.3. Θερμοσκληραινόμενα υλικά .....	24
3.3.4. Θερμοπλαστικά υλικά .....	25
3.3.5. Επίστρωση τσιμέντου.....	25
3.3.6. Εσωτερικό δοχείο από αντιδιαβρωτικό υλικό .....	25
3.3.6. Δοχείο από Ανοξείδωτο χάλυβα.....	25
3.4. Μόνωση θερμοδοχείου.....	25
3.5. Παράγοντες Επιλογής Δοχείου Αποθήκευσης Z.N.X.....	26
4. ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ.....	28
4.1. Σπουδαιότητα Θερμικής Διαστρωμάτωσης .....	29
4.1.1. Πλεονεκτήματα Θερμικής Διαστρωμάτωσης .....	29
4.2. Δημιουργία και Απώλεια Θερμικής Διαστρωμάτωσης.....	30
4.3. Θερμική Διαστρωμάτωση Θερμοδοχείου .....	31
4.3.1. Στρωματοποιημένο Θερμοδοχείο Άμεσης Λειτουργίας Θέρμανσης.....	32
4.3.2. Στρωματοποιημένο Θερμοδοχείο Έμμεσης Λειτουργίας Θέρμανσης με Εμβυθισμένου Εναλλάκτη.....	33
4.3.3. Στρωματοποιημένο Θερμοδοχείο Έμμεσης Λειτουργίας Θέρμανσης με Εξωτερικό Εναλλάκτη.....	34
4.3.4 Στρωματοποιημένο Θερμοδοχείο Έμμεσης Λειτουργίας Θέρμανσης με Εναλλάκτη Μανδύα .....	35
5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗΣ.....	37
5.1 Μέθοδοι Προσδιορισμού της Αποτελεσματικότητας της Διαστρωμάτωσης.....	37
5.1.1. Γραφικές Παρουσιάσεις και Αδιάστατες θερμοκρασίες, Ύψος και Χρόνος.....	37
5.1.2. Δείκτες για τον βαθμό της διαστρωμάτωσης .....	38
5.1.3. Αποδοτικότητα Διαστρωμάτωσης με Βάση τον 1 Νόμο της Θερμοδυναμικής.....	39

5.1.4. Αποδοτικότητα Διαστρωμάτωσης με Βάση τον 2 Νόμο της Θερμοδυναμικής.....	40
5.1.4.1 Η Εξέργεια στην Θερμική Διαστρωμάτωση .....	40
5.2. Μοντέλα Θερμοκρασιακής Διανομής .....	42
5.3. Αδιάστατοι Αριθμοί που Περιγράφουν την Θερμική Διαστρωμάτωση.....	44
5.4. Μοντέλα Θερμικής Διαστρωμάτωσης .....	47
5.4.1. Μονοδιάστατο Μοντέλο.....	47
5.4.2. Δισδιάστατο Μοντέλο .....	50
5.4.3 Τρισδιάστατο Μοντέλο .....	51
5.4.4. Παράλληλος Αλγόριθμος Πολλαπλών Μπλοκ .....	52
6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ .....	53
6.1 Επίδραση Εισόδου Εξόδου.....	53
6.2 Σχήμα Θερμοδοχείου.....	55
6.3 Διάφραγμα Ανάκλασης (Baffle Plate).....	56
6.4 Εσωτερικό Υλικό Επένδυσης και Διαστρωμάτωση.....	57
6.5 Υγειονομική Ποιότητα Νερού στις Δεξαμενές Αποθήκευσης ZNX.....	58
6.6. Υλικά αλλαγή φάσης(PCM).....	59
6.6.1 . Γενικά για τα Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM) .....	59
6.6.2. PCM στα Δοχεία Αποθήκευσης ZNX .....	59
7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ .....	61
7.1. Γενικά για την Ενεργειακή Επισημάνση .....	61
7.2. Ευρωπαϊκή Οδηγία Ecodesign (ERP) .....	61
7.3. Δεξαμενές Αποθήκευσης Ζεστού νερού και ERP.....	62
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

## Ορολογία

**A:** επιφάνεια διατομής  
διαστρωματοποιημένης δεξαμενής,  $m^2$   
**Bi** : αριθμός Biot  $Bi = hr_i/k_f$   
**C<sub>p</sub>**: ειδική θερμότητα,  $kJ/(kg K)$   
**d**: διάμετρος εισόδου,  $m$   
**E**: ενέργεια του νερού,  $kJ$   
**E<sub>tank</sub>**: ενέργεια αποθηκευμένη στο δοχείο νερού,  $kJ$   
**D**: διάμετρος δεξαμενής,  $m$   
**Fr**: αριθμός Froude,  $Fr = u/(lg)^{1/2}$   
**g** : βαρυτική επιτάχυνση,  $m/s^2$   
**Gr**: αριθμός Grashof ,  $Gr = g\beta(T_i - T_\infty)r_i^3/\nu^2$   
**H**: Ύψος του δοχείου,  $m$   
**h**: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας,  $W/(m^2 K)$   
**J** : αριθμός στοιβάδων νερού  
**L**: ύψος δεξαμενής,  $m$   
**L**: αδιάστατο ύψος κυλινδρικής δεξαμενής,  $L = 1/r_i$   
**m**: αριθμός στοιβάδων πυθμένα δεξαμενής  
**md**: ρυθμός ροής εκκένωσης μάζας,  $kg/s$   
**M**: μάζα του νερού,  $kg$   
**ME,actual**: στιγμιά ενέργειας για την πραγματική δεξαμενή ,  $kJ m$   
**ME,fully-mixed**: στιγμιά ενέργειας για μία τελείως μικτή δεξαμενή ,  $kJ m$   
**ME,stratified**: στιγμιά ενέργειας για στρωματοποιημένο δοχείο,  $kJ m$   
**MIX**: Αριθμός MIX  
**n**: βήμα χρόνου  
**p**: πίεση,  $Pa$   
**P\***: αδιάστατη πίεση  $P^* = p/\rho_0 u_0^2$   
**Pe**: αριθμός Peclet,  $Pe = Re Pr(u_i r_i/a_f)$   
**Pr**: αριθμός Prandtl,  $Pr = \nu/a_f Pr = \nu/af$   
**Q**: Ρυθμός ροής εκκένωσης,  $m^3/s$   
**Qd**: ενεργεία αποθηκευμένη στο δοχείο,  $kJ$   
**Qo**: χρήσιμη ενέργεια που έχει φύγει από το δοχείο,  $kJ$   
**r**: ακτινική συντεταγμένη,  $m$   
**Re**: Αριθμός Reynolds  
**Ri**: Αριθμός Richardson  
**s**: απόσταση ανακλαστήρα από την είσοδο,  $m$   
**S**: αδιάστατη απόσταση ανακλαστήρα από την είσοδο,  $S = s/r_i$   
**t** : χρόνος,  $s$   
**T**: θερμοκρασία,  $K$

**T(i,0)**: αρχικό θερμοκρασιακό πεδίο δεξαμενής  
**T(i,n)**: θερμοκρασία της στοιβάδας  $i$  σε χρόνοι  $n$   
**T<sub>c</sub>**: θερμοκρασία κρύου νερού,  $K$   
**T<sub>h</sub>**: θερμοκρασία θερμού νερού,  $K$   
**T<sub>i</sub>**: θερμοκρασία εισόδου,  $K$   
**T<sub>in</sub>** : αρχική θερμοκρασία,  $K$   
**T<sub>mix</sub>**: θερμοκρασία δεξαμενής ανάμειξης,  $K$   
**T<sub>∞</sub>**: θερμοκρασία περιβάλλοντος,  $K$   
**T**: Θερμοκρασία νερού  $C$   
**T<sub>bottom</sub>**: θερμοκρασία στο πάτο του δοχείου  $C$   
**T<sub>in</sub>**: θερμοκρασία του νερού εισόδου  $C$   
**T<sub>out</sub>**: θερμοκρασία του νερού εξόδου  $C$   
**T<sub>top</sub>**: Θερμοκρασία νερού στο πάνω μέρος του δοχείου  $C$   
**u**: ταχύτητα σε κατεύθυνση  $x$ ,  $m/s$   
**u<sub>0</sub>**: αρχική ταχύτητα εισόδου,  $m/s$   
**u<sub>i</sub>**: ταχύτητα εισόδου,  $m/s$   
**u\***: αδιάστατη ταχύτητα σε κατεύθυνση  $x$ ,  $u^* = u/u_0$   
**v<sub>v</sub>**: ταχύτητα σε κατεύθυνση  $y$ ,  $m/s$   
**v\*v\***: αδιάστατη ταχύτητα σε κατεύθυνση  $y$ ,  $v^* = v/u_0 v^* = v/u_0$   
**V**: όγκος δεξαμενής,  $m^3$   
**v**: μέση ταχύτητα του νερού μέσα στο δοχείο,  $m/s$   
**v<sub>s</sub>**: μέση ταχύτητα του νερού στην περιοχή διαστρωμάτωσης ,  $m/s$   
**V(i)** : όγκος δεξαμενής της στοιβάδας  $i$ ,  $m^3$   
**ΔV**: όγκος εισερχόμενου νερού κατά το χρονικό διάστημα  $\Delta t$ ,  $m^3$   
**x\***: αδιάστατο μήκος,  $x^* = x/L$   
**y\***: αδιάστατο μήκος,  $y^* = y/L$   
**z**: κατεύθυνση κατά μήκος του ύψους δεξαμενής,  $M$   
**α** : θερμική διαχυτότητα (thermal diffusivity),  $m^2/s$   
**α<sub>1</sub>(i)**: θερμική αγωγιμότητα,  $W/(m K)$   
**α<sub>2</sub>(i)**: συντελεστής απώλειας θερμότητας,  $W/(m K)$   
**β**: συντελεστής θερμικής διαστολής,  $1/K$   
**β<sub>0</sub>**: συντελεστής θερμικής διαστολής σε θ/σια  $T_0$ ,  $1/K$   
**β\***: αδιάστατος συντελεστής θερμικής διαστολής,  $\beta^* = \beta/\beta_0$

**$\theta$** : αδιάστατη θερμοκρασία,  
 $\theta = (T - T_{\infty}) / (T_i - T_{\infty})$   
 **$\lambda$** : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,  
 $W / (m K)$ ,  $\lambda^* = \lambda / \lambda_0$

**$\mu$** : ιξώδες,  $kg / (m s)$ ,  $\mu^* = \mu / \mu_0$   
 **$\rho$** : πυκνότητα υγρού,  $kg / m^3$   
 **$\rho_0$** : πυκνότητα υγρού σε θ/σια  $T_0$ ,  $kg / m^3$

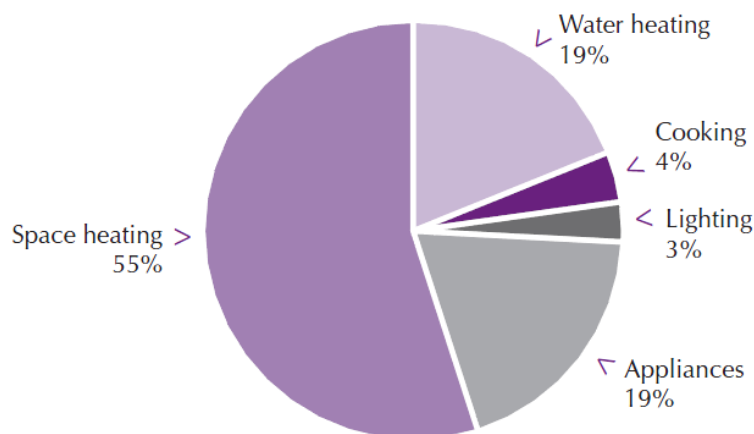


### 1.1 Η ανάγκη παραγωγής ζεστού νερού και οι ενεργειακές επιπτώσεις από την αποθήκευσή του

Η θέρμανση του νερού είναι μια θερμοδυναμική διαδικασία που χρησιμοποιεί ενεργειακές πηγές για την θέρμανση του(νερού) πάνω από την αρχική του θερμοκρασία. Το ζεστό νερό είναι απαραίτητο τόσο στην βιομηχανία αλλά πολύ περισσότερο για τις οικιακές χρήσεις. Δραστηριότητες όπως μαγείρεμα , μπάνιο , καθαρισμός ρούχων και πιάτων καθώς και θέρμανση χώρου απαιτούν ζεστό νερό. Η θέρμανση του νερού τα προηγούμενα χρόνια γινόταν για άμεση κατανάλωση και δεν αποθηκευόταν.

Τα χρόνια πέρασαν και οι ενεργειακές απαιτήσεις των νοικοκυρών αυξήθηκαν και με την άνοδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιουργήθηκε η ανάγκη για ενεργειακή αποθήκευση και μέγιστη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Η ενεργειακή αποθήκευση χρησιμοποιείται συχνά στα σύγχρονα κτίρια για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης ψύξης και Ζ.Ν.Χ(ζεστού νερού χρήσης). Στην έρευνα των (Dan Nchelatebe Nkwetta, 2014) αναφέρονται στατιστικές των (L. Pérez-Lombard, 2008) ότι η πρωτογενής ενέργεια έχει αυξηθεί κατά 49% και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 43% με μία μέση αύξηση του 2% και 1.8% αντίστοιχα παγκοσμίως. Βάση αναφορών της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA, 2008) πάνω στις τάσεις των ενεργειακών καταναλώσεων και η προώθηση των ενεργειακά αποδοτικών επενδύσεων, προβλέπεται ότι ο κτιριακός τομέας των ανεπτυγμένων χωρών καταναλώνει πάνω από το 40% της παγκόσμιας ενέργειας με 24% να είναι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το ζεστό νερό χρήσης παρέχεται από ηλεκτρικούς θερμαντήρες η με την χρήση αερίου γιατί είναι πολύ απλά συστήματα στην εγκατάσταση και συντήρησή τους.

Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε η ανάγκη για την αποθήκευση του ζεστού νερού τόσο για οικονομικούς αλλά και για περιβαλλοντολογικούς λόγους. Με την αποθήκευση του νερού πετυχαίνουμε μείωση της άσκοπής λειτουργίας της πυγής παραγωγής θερμότητας( καυτήρας , αντίσταση θερμότητας κ.τ.λ) και αποθήκευση του ποσού ενέργειας που δεν χρησιμοποιήθηκε για μελλοντική χρήση. Με αυτόν τον τρόπο κάνουμε οικονομία ρεύματος και συμβάλουμε στην μείωση CO<sub>2</sub>.



**Εικόνα 1.1** Μέση ενεργειακή κατανάλωση σε ένα σπίτι σε ήπιο κλίμα( IEA (2006), *Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050*, IEA/OECD, Paris.)

## 1.2 Τρόποι θέρμανσης νερού

Ο τρόπος θέρμανσης του νερού χρήσης παίζει σημαντικό ρόλο στην σύγχρονη κατοικία. Οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να θερμάνουμε το νερό είναι πολλοί με τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο , υγρό αέριο πετρελαίου, πετρέλαιο ) ή στερεά καύσιμα ( άνθρακας , βιομάζα , λιγνίτης ) τα οποία μπορεί να καταναλωθούν αυτούσια ή με μετατροπή τους σε ηλεκτρισμό είναι τα πιο σύνηθες. Οι εγκαταστάσεις καυστήρων ( πετρελαίου , φυσικού αερίου , υγραερίου) στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι σύνηθες και αρκετή ενέργεια χαραμίζετε με την απουσία μίας δεξαμενής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Η ενέργεια για την παραγωγή ζεστού νερού μπορεί να έρθει από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή , αιολική , αντλίες θερμότητας , ανακύκλωση ζεστού νερού ή ακόμα και χρήση γεωθερμίας. Σε ηλιόλουστες χώρες όπως η Ελλάδα η χρήση ηλιακής ενέργειας ( Ηλιακοί θερμοσίφωνες) είναι συνηθισμένη για την παραγωγή ζεστού νερού.

Οι παραπάνω τρόποι θέρμανσης νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά σε συνεργασία μέσα σε ένα σύστημα παραγωγής ζεστού νερού. Για παράδειγμα με την εγκατάσταση ενός δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού μπορούμε να συνδυάσουμε έναν ηλιακό θερμοσίφωνα με ένα καυστήρα πετρελαίου.

## 1.3 Οικιακή και Βιομηχανική Αποθήκευση Ζεστού Νερού

Η αποθήκευση ζεστού νερού είναι γνώριμη στους περισσότερους από τις συσκευές παραγωγής και αποθήκευσης ζεστού νερού στα σπίτια ( ηλιακοί θερμοσίφωνες , ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες ) όπως θα αναλύσουμε παρακάτω. Παρόλα αυτά οι νέοι κανονισμοί για μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> και εξοικονόμησης ενέργειας έχει ωθήσει τις βιομηχανίες και επιχειρήσεις σε χρήση δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού .

Στην παρούσα εργασία δεν θα εμβαθύνουμε στις βιομηχανικές δεξαμενές μεγάλης κλίμακας , αλλά θα αναφερθούμε στα ωφέλει χρήσης διαστρωματοποιημένων δεξαμενών στην βιομηχανία. Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Συλλογή περίσσειας θερμικής ενέργειας , και χρήση της τις ώρες αιχμής.
- Αποθήκευση θερμικής ενέργειας κατά τις ώρες οικονομικού ρεύματος
- Εξοικονόμηση Ρεύματος κατά τις ώρες αιχμής.



Εικόνα 1.2 Διαστρωματοποιημένη Δεξαμενή Αποθήκευσης Νερού βιομηχανικής κλίμακας (<http://www.araner.com/blog/stratified-thermal-energy-storage-tanks>)

## 1.4 Βασικές Έννοιες Θερμοδυναμικής

Η ανάλυση μίας δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού απαιτεί την κατανόηση των βασικών εννοιών της θερμοδυναμικής. Η δεξαμενή βρίσκεται συνήθως μέσα σε ένα πολύπλοκο σύστημα για την αποθήκευση του Ζ.Ν.Χ και την καλύτερη και ομαλή λειτουργία του συστήματος. Έτσι έννοιες όπως οι παρακάτω είναι αναγκαίες για την ανάλυση πιο πολύπλοκων υπολογισμών και εννοιών .

### 1.4.1 Θερμοδυναμικά Συστήματα

Θερμοδυναμικό σύστημα χαρακτηρίζεται μία περιοχή του χώρου που περιέχει μια ποσότητα μάζας, τη συμπεριφορά της οποίας εξετάζουμε. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες θερμοδυναμικών συστημάτων:

- Κλειστό σύστημα: Στο σύστημα αυτό δεν υπάρχει ροή μάζας αλλά υπάρχει συναλλαγή θερμότητας και έργου , ενώ ο όγκος μπορεί να μεταβληθεί.
- Ανοικτό σύστημα : Στο σύστημα αυτό υπάρχει ροή μάζας καθώς και συναλλαγή θερμότητας και έργου.
- Αδιαβατικό η απομονωμένο σύστημα : Είναι το σύστημα εκείνο όπου δεν υπάρχει καμία ροή μάζας ούτε συναλλαγή θερμότητας και έργου. Οι θερμοδυναμικές εξισώσεις που ισχύουν σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετικές.

### 1.4.2 Διεργασία

Όταν σε ένα σύστημα αλλάζουν μία ή περισσότερες θερμοδυναμικές ιδιότητες, λέμε ότι το σύστημα αλλάζει κατάσταση. Η μετάβαση από μία κατάσταση στην άλλη ονομάζεται διεργασία. Όταν το σύστημα διέλθει από όλες τις διεργασίες τότε λέμε ότι επιτέλεσε ένα Θερμοδυναμικό κύκλο.

Για την περίπτωση μας η φόρτιση, κατάσταση αδρανείας και εκφόρτωση μίας δεξαμενής είναι ένας πλήρης κύκλος.

### 1.4.3 Πίεση

Η πίεση ενός ρευστού πάνω σε μία επιφάνεια ορίζεται ως το πηλίκο της κάθετης δύναμης, η οποία ασκείται από το ρευστό πάνω στην επιφάνεια αυτή, δια της επιφανείας αυτής:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \quad (1.1)$$

p : πίεση που ασκεί το ρευστό επί της επιφανείας

F : η κάθετη δύναμη που ασκεί το ρευστό επί της επιφανείας

A : η επιφάνεια όπου ασκείται η δύναμη

g: βαρυτική επιτάχυνση m/sec

m: μάζα  $m^3$

### 1.4.4 Έργο

Έργο υπάρχει όταν ένα σώμα μετατοπίζεται υπό την επίδραση κάποιας δύναμης. Υποθέτοντας ότι η δύναμη είναι παράλληλη προς την κατεύθυνση της μετατόπισης, το παραγόμενο έργο είναι ίσο με την δύναμη επί την απόσταση που το σύστημα μετατόπιστηκε δηλαδή :

$$W = \int F dx \quad \eta \quad W = \int p dV \quad (1.2)$$

W : το παραγόμενο έργο

p : η πίεση που δρα επί ενός στοιχειώδους όγκου dV

F : η συνιστώσα δύναμη κατά την κατεύθυνση της μετατόπισης dx

### Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Η συνολική ενέργεια η οποία υπάρχει σε ένα σύστημα στο τέλος της διαδικασίας μετατροπής μιας ποσότητας ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή, θα είναι ίση με το άθροισμα όλων των επί μέρους μορφών ενέργειας που προέκυψαν κατά τη διαδικασία αυτής της μετατροπής.

Η ενέργεια ποτέ δεν παράγεται από το μηδέν και ποτέ δεν εξαφανίζεται. Μπορεί να μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, ή να μεταδίδεται από ένα σώμα σε άλλο.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας υποδηλώνει, για οποιοδήποτε σύστημα, κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας του, ότι η μεταβολή της ολικής του ενέργειας ισούται με τη διαφορά της εισερχόμενης σε αυτό και της εξερχόμενης από αυτό και εκφράζεται ως:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system} \quad (1.3)$$

Όσον αφορά τη θερμική ανάλυση, η μόνη μορφή ενέργειας που μεταφέρεται, ως αποτέλεσμα θερμοκρασιακής διαφοράς, είναι η θερμότητα ή η θερμική ενέργεια. Επομένως, είναι προτιμότερο να καταγράφεται η θερμική ισορροπία ενός συστήματος, θεωρώντας ως εσωτερικά παραγόμενη ενέργεια (heat generation) τη μετατροπή άλλων ενεργειών (ηλεκτρικής, χημικής, πυρηνικής) σε θερμική. Οπότε, η εξίσωση της ενεργειακής ισορροπίας εκφράζεται ως:

$$Q_{in} - Q_{out} + E_{gen} = \Delta E_{thermal,system} \quad (1.4)$$

Για ένα σύστημα μόνιμης ροής ρευστού, με μία είσοδο και μία έξοδο, θεωρώντας τη μεταβολή της κινητικής και δυναμικής ενέργειας αμελητέα, χωρίς παραγωγή ή απώλεια έργου, η διατήρηση της θερμικής ενέργειας δίνεται από την έκφραση:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (1.5)$$

$C_p$ : ειδική θερμότητα, kJ/(kg K)

$\Delta T$ : διαφορά θερμοκρασίας °C

#### 1.4.5 Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός Νόμος συνεπάγεται την ύπαρξη μίας Δεξαμενής Θερμότητας, η οποία ορίζεται σαν σώμα από όπου γίνεται μεταφορά θερμότητας προς ή από αυτό, απεριόριστα, χωρίς καμία μεταβολή της θερμοκρασίας στη δεξαμενή. Για αυτό τνα λόγο μία δεξαμενή θερμότητας έχει πάντα μια σταθερή θερμοκρασία.

Η δεξαμενή θερμότητας πολλές φορές καλείται ' Σώμα Υψηλής Θερμοκρασίας' η 'Θερμοδοχείο' από όπου το μέσο λειτουργίας αντλεί τα αναγκαία ποσά θερμότητας.

Υπάρχουν δύο ισοδύναμες διατυπώσεις του Δεύτερου Θερμοδυναμικού Νόμου, σχετιζόμενες με την απαγόρευση αυτή.

- Η πρώτη διατύπωση κατά Kelvin, λέει ότι είναι αδύνατον για οποιοδήποτε σύστημα που εργάζεται με κυκλικές μεταβολές, να δίνει έργο στο περιβάλλον του, ευρισκόμενο σε επαφή αποκλειστικά με μία μόνον θερμική δεξαμενή.
- Η δεύτερη διατύπωση που οφείλεται στον Clausius, λέει ότι είναι αδύνατον για οποιοδήποτε σύστημα που εργάζεται με κυκλικές μεταβολές, να μεταφέρει θερμότητα από μια ψυχρή δεξαμενή σε μια θερμή δεξαμενή, χωρίς συγχρόνως να προσφέρουμε έργο.

**Εντροπία:** Σήμερα συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε τον όρο εντροπία σε συνδυασμό με τον δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο. Αφού λοιπόν η εντροπία δηλώνει την μη διαθέσιμη ενέργεια ενός συστήματος, η έκφραση του Δεύτερου Νόμου που αναφέρει "ότι σε ένα Κλειστό Σύστημα η διαθέσιμη ενέργεια δεν μπορεί να αυξάνει" είναι ισοδύναμη με εκείνη που δηλώνει "ότι η εντροπία ενός κλειστού συστήματος δεν μπορεί ποτέ να μειώνεται".

Μια άλλη μαθηματικοποιημένη μορφή του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου λέει ότι το στοιχειώδες ποσό θερμότητας που ανταλλάσσει ένα σύστημα κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής, η οποία γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία  $T$ , συνδέεται με τη μεταβολή ενός μεγέθους που ονομάζεται εντροπία, με τη σχέση:

$$dQ = < S dT \quad (1.6)$$

Η εντροπία που παράγεται καλείται παραγόμενη εντροπία είναι πάντοτε θετική η μηδέν.. Ισχύει σε μία αντιστρεπτή διαδικασία, που πραγματοποιείται μεταξύ των καταστάσεων ισοροπίας 1 και 2:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen} \quad (1.7)$$

#### 1.4.6 Εξέργεια

Ο πρώτος Θερμοδυναμικός νόμος υποστηρίζει ότι η ενέργεια ούτε καταστρέφεται και ούτε δημιουργείται. Αντίθετα ο δεύτερος Θερμοδυναμικός νόμος ασχολείται με την ποιότητα της ενέργειας και έχει αποδειχθεί ένα ισχυρό εργαλείο για την βελτιστοποίηση σύνθετων ενεργειακών συστημάτων. Η έννοια της εξέργειας είναι συνυφασμένη με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο και αποτελεί το μέγιστο ωφέλιμο έργο, το οποίο μπορεί να παραχθεί από ένα θερμοδυναμικό σύστημα που βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη κατάσταση και σένα δεδομένο περιβάλλον.

Η μεταβολή εξέργειας ανά μονάδα μάζας ενός ανοικτού συστήματος που εκτελεί κάποια διεργασία είναι :

$$e_2 - e_1 = (h_2 - h_1) - T_o(s_2 - s_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (1.8)$$

$e$  : η ανά μονάδα μάζας εξέργεια ενός κλειστού συστήματος σε δεδομένη κατάσταση  $e =$

$(h - h_o) - T_o(s - s_o)$

$s$  : Η ειδική εντροπία

$T_o$  : Η θερμοκρασία στην κατάσταση της πλήρους εξάντλησης

$V$  : Η ταχύτητα του συστήματος

$g$  : Η επιτάχυνση της βαρύτητας

$z$  : Η κατακόρυφη απόσταση του συστήματος από ένα επίπεδο αναφοράς

$h$  : Η ειδική ενθαλπία

### 1.5 Βασικές έννοιες μετάδοσης θερμότητας

Το αντικείμενο της Μετάδοσης Θερμότητας είναι η διερεύνηση των μηχανισμών με τους οποίους η θερμότητα μεταδίδεται μεταξύ των σωμάτων και η ποσοτικοποίηση αυτής της συναλλαγής. Έτσι όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δύο εργαζόμενων μέσων η δύο συστημάτων, παρατηρείται μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο.

Για την κατανόηση του φαινομένου της διαστρωμάτωσης και την ανάλυση του πρέπει να γνωρίζουμε τους τρόπους με τους οποίους μεταφέρετε η θερμότητα μέσα στο δοχείο αλλά και έξω από αυτό.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείτε αυτή η μεταφορά ενέργειας.

### 1.5.1 Με Αγωγή

Λαμβάνει χώρα μέσα σε ένα σώμα στερεό, υγρό ή αέριο, χωρίς να συνοδεύεται από αλλαγή φάσης καθώς και στην περίπτωση σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή.

Οφείλεται σε θερμοκρασιακή διαφορά και μεταβαίνει από μια μάζα υψηλής θερμοκρασίας σε μια μάζα χαμηλής θερμοκρασίας.

Θεωρώντας μονοδιάστατη αγωγή, μόνιμες συνθήκες, ισότροπο υλικό και στερεό επίπεδο σώμα δίνεται από την εξίσωση του Fourier .

Ο νόμος του Fourier, με μια σειρά απλοποιημένων παραδοχών όπως η συνέχεια του υλικού και η σταθερότητα του όγκου του, εκφράζει τη γραμμική σχέση της θερμικής ροής ως προς τη θερμοκρασιακή πτώση, μέσω του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Σε μονοδιάστατο θερμοκρασιακό πεδίο ο τύπος της αγωγής θερμότητας είναι :

$$Q_{\lambda} = -\lambda A (d\theta / dx) \quad (1.9)$$

$Q_{\lambda} = -\lambda A (d\theta / dx)$  όπου συμβολίζεται με

$Q_{\lambda}$  η ροή θερμότητας (Q),

$\lambda$  η θερμική αγωγιμότητα ( W/mK)

A η επιφάνεια διαμέσου της οποίας (κάθετα) συντελείται η θερμική ροή (m<sup>2</sup> )

$dd / dx$  η πτώση θερμοκρασίας στην κατεύθυνση  $x$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η μετάδοση θερμότητας συνοδεύεται από πτώση της θερμοκρασίας.

Η θερμική αγωγιμότητα  $\lambda$  εκφράζει την θερμική ροή από τη μονάδα επιφανείας για θερμοκρασιακή πτώση ενός βαθμού.

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή μακροσκοπικά περιγράφεται από το Νόμο του Fourier. Η πιο γενική μορφή για πολυδιάστατη αγωγή είναι :

$$\vec{q}'' = -k\vec{\nabla}T \quad (1.10)$$

### 1.5.2 Με Συναγωγή

Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή συμβαίνει μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού σώματος και ενός ρευστού (υγρού ή αέριου σώματος) που έρχονται σε επαφή και έχουν διαφορετική θερμοκρασία.

Η επαφή του ζεστού νερού με την δεξαμενή ζεστού νερού παίζει μεγάλο ρόλο στην διατήρηση της θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα στο δοχείο όπως θα δούμε στα παρακάτω κεφάλαια. Η κατανόηση των τύπων της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή χρειάζονται για να καταλάβουμε τα μοντέλα(μονοδιάστατα , δυσδιάστατα ,τρισδιάστατα) ανάλυσης της διαστρωμάτωσης.

Ανάλογα με το αίτιο που προκαλεί την κίνηση του ρευστού η συναγωγή διακρίνεται:

1. Εξαναγκασμένη: Οφείλεται σε εξωτερικά αίτια, π.χ. έναν ανεμιστήρα
2. Ελεύθερη: Οφείλεται σε διαφορές πυκνοτήτων μέσα στο ρευστό λόγω θερμοκρασιακών διαφορών, π.χ. ο αέρας ενός δωματίου στο οποίο λειτουργεί ένα θερμαντικό σώμα.

Η σχέση που εκφράζει το πολύπλοκο φαινόμενο της συναγωγής είναι :

$$Q_c = a * A * (\theta_0 - \theta_\infty) \quad (1.11)$$

$\theta_0$  η θερμοκρασία του τοιχώματος σε 0C,

$\theta_\infty$  η θερμοκρασία του ρευστού μακριά από το τοίχωμα, σε 0C,

A το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετα στη θερμική ροή, σε m<sup>2</sup>

a ο συντελεστής θερμικής συναγωγής σε W/m<sup>2</sup> K

Ο συντελεστής συναγωγής είναι μια ειδική αγωγιμότητα και ονομάζεται Κανονισμός Θερμομόνωσης συντελεστής θερμικής μετάβασης. Η παραπάνω σχέση ορισμού του συντελεστή συναγωγής λέγεται καταχρηστικά νόμος του Newton.

Ο συντελεστής συναγωγής είναι σύνθετο μέγεθος καθώς εκφράζει σύνθετα και πολύπλοκα φαινόμενα (αγωγή, μεταφορά). Η τιμή του μεταβάλλεται στην έκταση της επιφάνειας και εξαρτάται από την ομαλότητα και τη γεωμετρία του τοιχώματος, την ταχύτητα, την τάξη μεγέθους και τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού.

Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από τη ροή του ρευστού και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας. Ο νόμος του Newton για την συναγωγή μας δίνει την πυκνότητα ροής θερμότητας:

$$q_x'' = h(T_s - T_0) \quad (1.12)$$

Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μέσα από την επιφάνεια προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδόν A της επιφάνειας, δηλαδή:

$$q_x = Ah(T_s - T_0) \quad (1.13)$$

### 1.5.3 Μετάδοση Θερμότητας με Ακτινοβολία

Όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν ακτινοβολούν θερμότητα. Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Βασίζεται στην ικανότητα αρκετών σωμάτων να απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που δέχονται και να την επανεκπέμπουν.

Σε αντίθεση με τους προαναφερθέντες τρόπους μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και συναγωγή στην ακτινοβολία δεν απαιτείται η ύπαρξη υλικού μέσου για να πραγματοποιηθεί η μετάδοση θερμότητας η οποία ενισχύεται στο κενό.

Το μήκος κύματος της θερμικής ακτινοβολίας κυμαίνεται από 0.1 μέχρι 100 μm.

$$q_x^n = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.14)$$

Αυτός ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας δεν θα μας απασχολήσει την παρούσα εργασία.

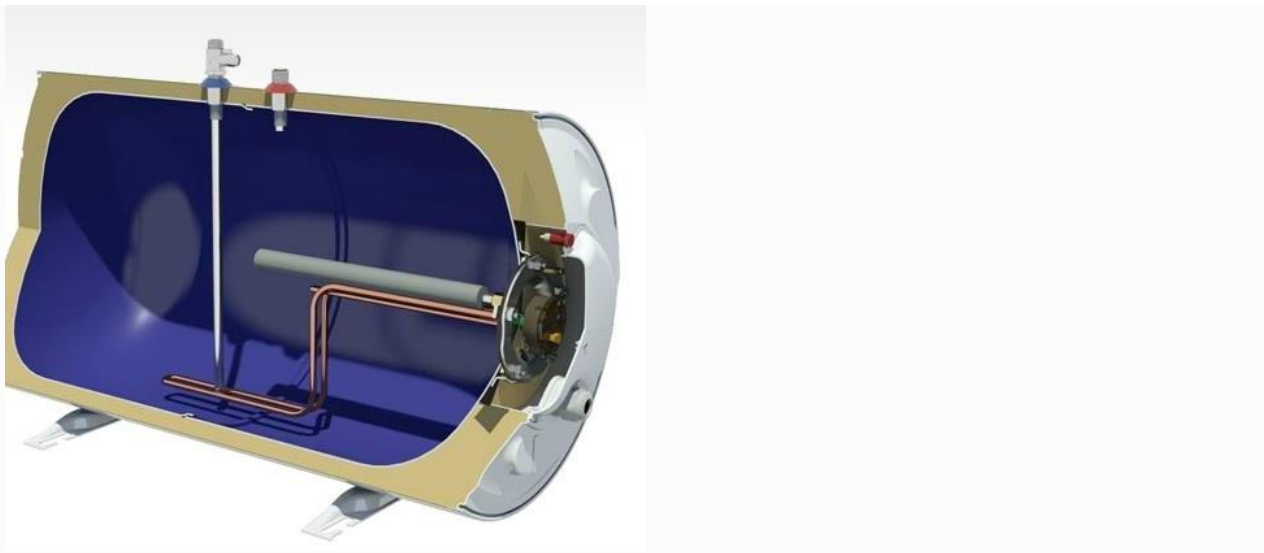


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

Η επιλογή συσκευής για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. είναι βασικός παράγοντας για την ενεργειακή απόδοση μίας εγκατάστασης. Δεν υπάρχει η βέλτιστη συσκευή ή το βέλτιστο σύστημα για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. αλλά πρέπει να προσαρμόζετε πάντα στις ανάγκες και απαιτήσεις της εγκατάστασης( οικία , επιχείρηση , βιομηχανία ). Παρακάτω είναι οι βασικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε σπίτια και επιχειρήσεις.

### 2.1 Ηλεκτρικός Θερμοσίφοντας

Ο ηλεκτρικός θερμοσίφοντας είναι ένα κλειστό μονωμένο δοχείο με μία ηλεκτρική αντίσταση για τη θέρμανση του νερού.

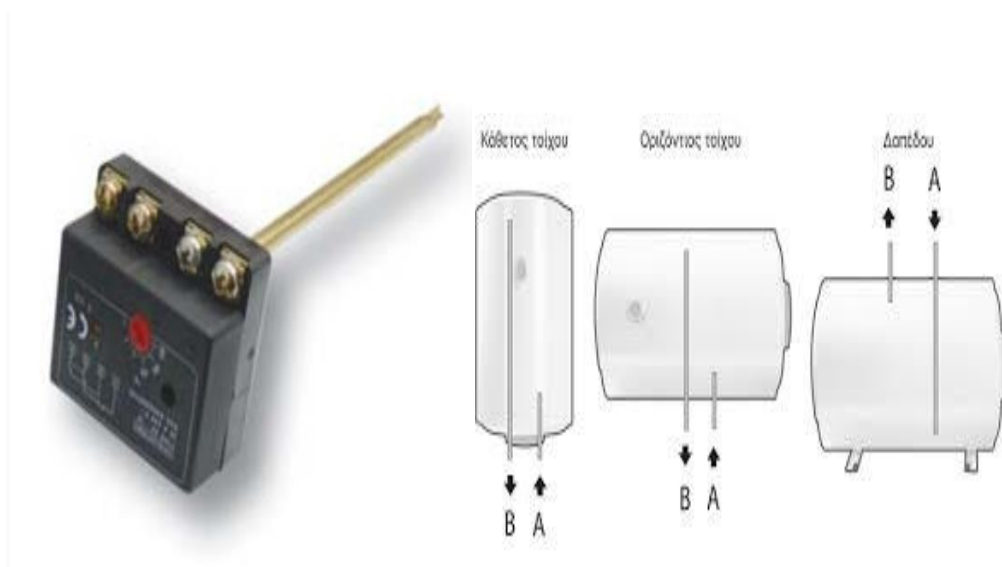


Εικόνα 2.1 Ηλεκτρικός Θερμοσίφοντας

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνεται η σωλήνα πλήρωσης (η μπλέ παροχή με τον εσωτερικό σωλήνα που κατεβαίνει μέχρι το κατώτατο σημείο του θερμοσίφωνα για να μην αναμιγνύεται κάθε στιγμή το ζεστό νερό με το κρύο και να διατηρείται η διαστρωμάτωση του νερού), η έξοδος του ζεστού νερού χρήσης (κόκκινη παροχή), η ηλεκτρική αντίσταση (για να θερμαίνει το νερό στο κάτω μέρος και συνεπώς ολόκληρη τη μάζα του νερού) και η ράβδος μαγνησίου που προστατεύει τον θερμοσίφωνα από διάβρωση.

Οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα, ο οποίος αναλόγως της ποιότητας του boiler μπορεί να είναι χαλκός, ανοξείδωτος χάλυβας, κοινός (μαύρος) χάλυβας επικαλυμμένος στο εσωτερικό του θερμοσίφωνα με υαλώδη σμάλτο για προστασία από διάβρωση. Η ηλεκτρική αντίσταση εμβαπτίζεται στο νερό στερεωμένη σε φλάντζα που φέρει υποδοχή για τοποθέτηση θερμοστάτη καθώς και ράβδο μαγνησίου για προστασία του θερμοσίφωνα από ηλεκτροχημική διάβρωση.

Ανάλογα με την τοποθέτηση τους, οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες διακρίνονται σε τοίχου (οριζόντιοι και κάθετοι) και δαπέδου:



**Εικόνα 2.2** Θερμοστάτης (Αριστερά)

**Εικόνα 2.3** Τοποθέτηση Θερμοσίφωνα (Δεξιά)

Ο θερμοσίφωνα συνδέεται στο ρεύμα με την παρεμβολή θερμοστάτη, ρυθμισμένου στους 60~65°C. Ο θερμοστάτης διακόπτει το ρεύμα όταν το νερό φτάσει την θερμοκρασία που επιλέξαμε

Η ηλεκτρική σύνδεση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα πρέπει να γίνεται απαραίτητως από αδειούχο ηλεκτρολόγο εγκαταστάτη για να συνδεθεί σωστά και να ελεγχθεί η σωστή σύνδεση της γείωσης

## 2.2 Μπόιλερ Ζεστού Νερού Χρήσης

Τα μπόιλερ ZNX είναι κατασκευές σχεδόν ίδιες με τους ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες, με τη διαφορά ότι τα μπόιλερ, εκτός της ηλεκτρικής αντίστασης, διαθέτουν έναν ή περισσότερους εναλλάκτες θερμότητας για θέρμανση του νερού χρήσης από άλλη πηγή πλην του ηλεκτρισμού (νερό θέρμανσης, ηλιακοί συλλέκτες)



**Εικόνα 2.4** Μπόιλερ ζεστού νερού χρήσης

Τα μπόιλερ όπως και οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, μπορούν να φέρουν φλάντζα με ηλεκτρική αντίσταση, θερμοστάτη και ηλεκτρόδιο προστασίας. Για τα υλικά κατασκευής και την ηλεκτρική σύνδεση ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τους ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες.

Ανάλογα με τον αριθμό πηγών που μπορούν να συνδεθούν σε ένα μπόιλερ, διακρίνουμε τα μπόιλερ διπλής ενέργειας (ηλεκτρική αντίσταση και ένας εναλλάκτης) και τριπλής ενέργειας (ηλεκτρική αντίσταση και δύο εναλλάκτες) για ταυτόχρονη σύνδεση σε π.χ. δίκτυο θέρμανσης και κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών.

Τα μπόιλερ, όμοια με τους θερμοσίφωνες διακρίνονται σε τοίχου (οριζόντια και κάθετα) και δαπέδου. Οι τύποι αυτοί κατασκευάζονται σε χωρητικότητες μέχρι 120lt.

Σε μεγαλύτερα μεγέθη, τα μπόιλερ είναι σχεδιασμένα για κατακόρυφη τοποθέτηση στο δάπεδο του λεβητοστασίου και ονομάζονται μπόιλερ λεβητοστασίου. Τα μπόιλερ αυτά είναι συνήθως διπλής ή τριπλής ενέργειας.

Μπορούν να φέρουν ηλεκτρική αντίσταση ανάλογη της ισχύος τους (max 6kW 3~). Η ηλεκτρική αντίσταση συνήθως πωλείται ξεχωριστά. Φέρουν επίσης πολλαπλά σημεία σύνδεσης και τοποθέτησης οργάνων (θερμομέτρων, αισθητηρίων κ.λ.π.)

Τέλος, τα μπόιλερ λεβητοστασίου καλό είναι να φέρουν θυρίδα καθαρισμού, η οποία επιτρέπει την απομάκρυνση των αλάτων όταν απαιτηθεί.

Οι πιο συνηθισμένες διατάξεις εναλλακτών στα μπόιλερ είναι τρεις αν και στα παρακάτω κεφάλαια θα τις αναλύσουμε περισσότερο.

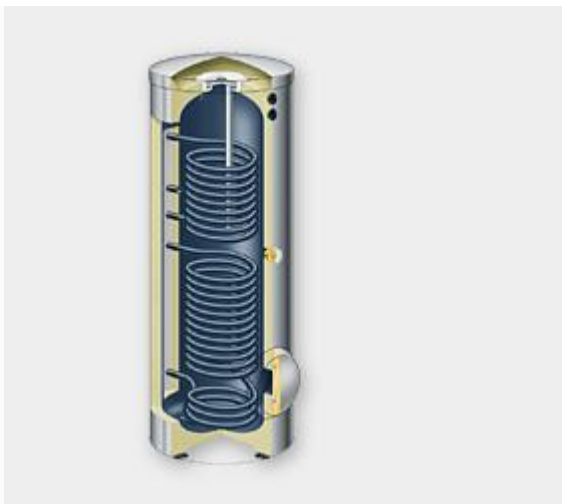
Οι εναλλάκτες των μπόιλερ μπορεί να είναι τύπου μανδύα (σχήμα 2.6) όπου το ζεστό νερό από το λέβητα ή τους ηλιακούς συλλέκτες ρέει μέσα από το διπλό τοίχωμα του μπόιλερ (κόκκινη περιοχή) και ανταλλάσει θερμότητα με το νερό χρήσης ζεσταίνοντας το. Τα μπόιλερ αυτού του τύπου ονομάζονται "μπόιλερ μανδύα".



**Εικόνα 2.5** Τύπος Μπόιλερ (τύπου σερπαντίνας)

Ένας άλλος τύπος εναλλάκτη που χρησιμοποιείται σε μπόιλερ ZNX, είναι ο σωληνωτός εναλλάκτης (τύπου σερπαντίνας), όπου το νερό θέρμανσης / συλλεκτών κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνα μεγάλου μήκους τυλιγμένο σε σπείρα και ανταλλάσει θερμότητα με το Ζ.Ν.Χ. διαμέσου της επιφάνειας της σωλήνας αυτής.

*Η σερπαντίνα μπορεί να είναι χάλκινη (σύνθετες), χαλύβδινη, αλουμινίου ή ανοξείδωτη.*



**Εικόνα 2.6** Τύπος Μπόιλερ (τύπου διπλής σερπαντίνας)

Στα μπόιλερ λεβητοστασίου τριπλής ενέργειας, συνήθως οι εναλλάκτες είναι ο ένας χαμηλά (και ζεσταίνει ολόκληρη τη μάζα του νερού) και ο άλλος ψηλά (και ζεσταίνει τη μισή μάζα του νερού). Στον κάτω εναλλάκτη πρέπει να συνδέονται οι ηλιακοί συλλέκτες ώστε με τον ήλιο που είναι δωρεάν να ζεσταίνεται ολόκληρη η μάζα του νερού και στον πάνω εναλλάκτη η θέρμανση (που δεν είναι δωρεάν) ώστε να μην ζεσταίνουμε περισσότερο νερό από όσο χρειαζόμαστε όταν

πληρώνουμε για τη θέρμανση του. Και στις δύο περιπτώσεις, το νερό χρήσης είναι το νερό που βρίσκεται έξω από τις σωληνώσεις.

Σε όλες τις εγκαταστάσεις με μπόιλερ χωρητικότητας μεγαλύτερης από 120lt, απαιτείται η τοποθέτηση δοχείου διαστολής και στο κύκλωμα νερού χρήσης, καθώς η μάζα του νερού που ζεσταίνουμε είναι μεγάλη και η διαστολή του νερού σημαντική.

Αν το νερό χρήσης ρέει μέσα στις σωλήνες, τότε δεν υπάρχει αποθήκευση ζεστού νερού χρήσης, αλλά το νερό χρήσης παράγεται τη στιγμή της ζήτησης. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται εναλλάκτες ροής. Το νερό στο δοχείο είναι νερό της εγκατάστασης θέρμανσης και θερμαίνεται στο λέβητα ή σε άλλη πηγή.

Οι διατάξεις αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και σαν δοχεία αδρανείας.

Ειδική μορφή αυτού του τύπου είναι τα μπόιλερ με δύο σερπαντίνες και ενδιάμεσο αδρανές υγρό, στα οποία το νερό της μάζας δεν κυκλοφορεί στο λέβητα, αλλά παραμένει στάσιμο, θερμαίνεται από σωληνωτό εναλλάκτη συνδεδεμένο στην πηγή και αποδίδει την ενέργεια του με δεύτερο σωληνωτό εναλλάκτη στο δίκτυο (όπως και οι εναλλάκτες ροής). Το στάσιμο νερό διατηρείται σε ατμοσφαιρική πίεση και δεν ανανεώνεται ούτε κυκλοφορεί. Για το λόγο αυτό προστίθενται στο αδρανές νερό αντιβακτηριδιακά πρόσθετα.

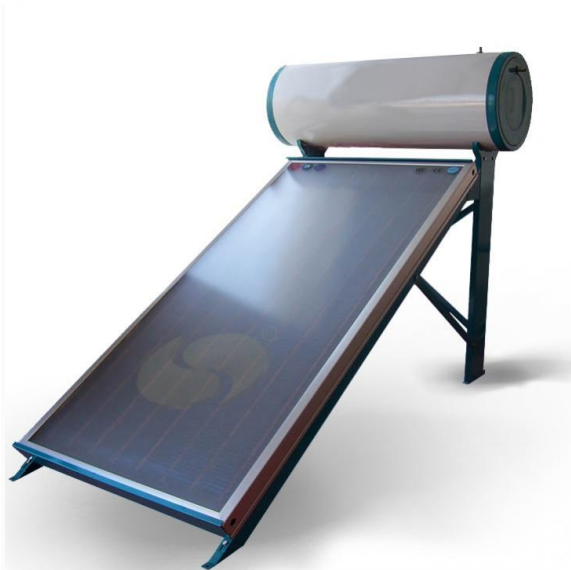


**Εικόνα 2.7** Τύπος Μπόιλερ (tank in tank)

Τέλος, ο εναλλάκτης, μπορεί ακόμα να είναι και ένα δεύτερο δοχείο, πλήρως εμβαπτισμένο μέσα στο εξωτερικό δοχείο του μπόιλερ. Στην περίπτωση αυτή, το νερό χρήσης κυκλοφορεί μέσα στο εσωτερικό δοχείο (και όχι στη μάζα του νερού όπως στους πιο πάνω τύπους).

Τα μπόιλερ αυτής της μορφής ονομάζονται tank in tank.

### 2.3 Ηλιακός θερμοσίφοντας



**Εικόνα 2.8** Ηλιακός Θερμοσίφοντας

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας, είναι ένα οριζόντιο μπόιλερ διπλής ή τριπλής ενέργειας, σταθερά συνδεδεμένο με ηλιακό συλλέκτη, επάνω σε κοινή μεταλλική βάση.

Ο πρώτος εναλλάκτης είναι τύπου μανδύα, και σε αυτόν κυκλοφορεί το νερό των ηλιακών συλλεκτών. Εφόσον υπάρχει ηλιοφάνεια, το νερό των συλλεκτών ζεσταίνεται και ανεβαίνει χωρίς χρήση κυκλοφορητή, με φυσική ροή στο μανδύα του μπόιλερ, όπου ανταλλάσει θερμότητα με το νερό χρήσης και κρύνει σε έναν αέναο (εφόσον υπάρχει σταθερή ηλιοφάνεια) κύκλο. Οι συλλέκτες μπορεί να είναι τύπου σάντουιτς, ή λυχνιών κενού.

### 2.3 Εναλλάκτες Θερμότητας

Ζεστό νερό χρήσης μπορούμε να παράγουμε και κατ' απαίτηση (on demand) με χρήση πλακοειδούς ή σωληνωτού εναλλάκτη. Οι εναλλάκτες θα πρέπει να είναι ανοξείδωτοι και γι αυτόν τον λόγο οι πλακοειδείς θεωρούνται πιο κατάλληλοι (οι πλάκες είναι εξ ορισμού ανοξείδωτες) αν και είναι πιο ευαίσθητοι στα άλατα του νερού.

Στο πρωτεύον του εναλλάκτη κυκλοφορεί το νερό λέβητα και στο δευτερεύον το νερό χρήσης. Με τη χρήση εναλλακτών αυτού του τύπου, επιτυγχάνουμε σημαντική οικονομία, γιατί δεν αποθηκεύουμε ζεστό νερό χρήσης (που μπορεί να θερμάνουμε σε μπόιλερ και να μην το χρησιμοποιήσουμε) αλλά το παράγουμε τη στιγμή που το χρειαζόμαστε, στην ποσότητα που το χρειαζόμαστε.

Η θέρμανση του νερού χρήσης στις αυτόνομες μονάδες πετρελαίου που παράγουν ζεστό νερό χρήσης και στις επιτοίχιες μονάδες αερίου, γίνεται με ενσωματωμένο στο μηχάνημα πλακοειδούς εναλλάκτη.



**Εικόνα 2.9** Επιτοίχια μονάδα αερίου

Υπάρχουν έτοιμοι στην αγορά και σταθμοί παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (εικόνα αριστερά), έτοιμοι να συνδεθούν με λέβητα ή δοχείο αδρανείας και να παράγουν νερό χρήσης θερμοκρασίας 40~55οC μόλις απαιτηθεί.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις είναι απαραίτητη η ύπαρξη ανακυκλοφορίας ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού χρήσης με την ίδια θερμοκρασία σε ολόκληρο το δίκτυο.

## 2.5 Δεξαμενή Αποθήκευσης Μέσα σε ένα Σύστημα

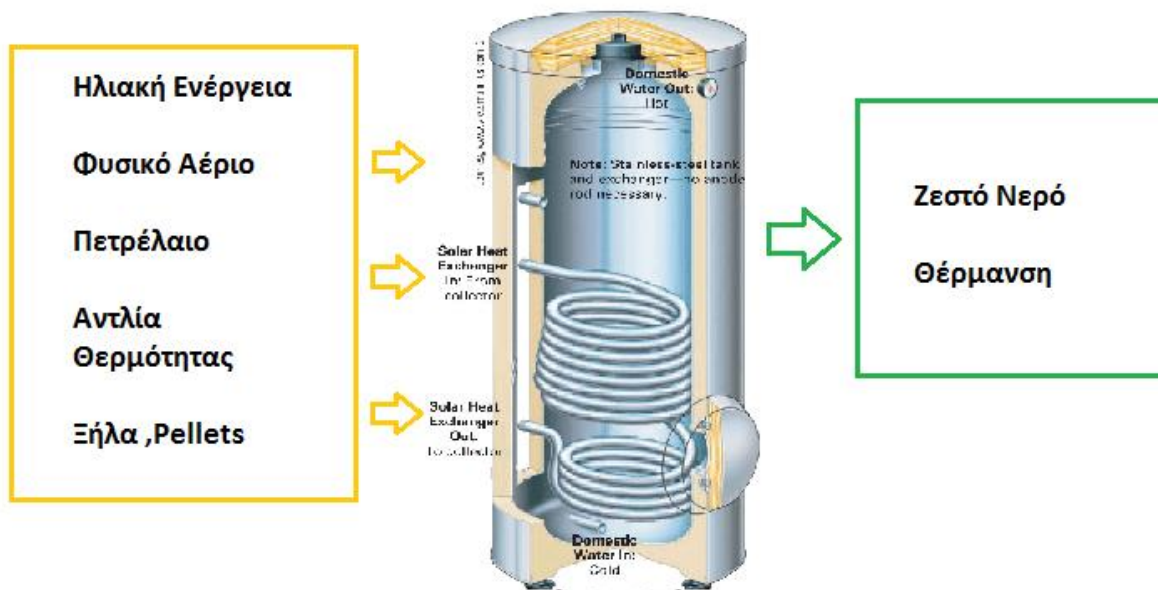
Τα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού(δοχεία αδρανείας) είναι απαραίτητα για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης. Σε συστήματα με πολλές πυγές παράγωγης ενέργειας το πιο σύνηθες θερμοδοχείο είναι το δοχείο αδρανείας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις παρακάτω εγκαταστάσεις.

- Σε εγκαταστάσεις κλιματισμού, το δοχείο αδρανείας προστίθεται για να μεγαλώσει η μάζα του νερού που κυκλοφορεί στο δίκτυο κλιματισμού, ώστε ο ψύκτης ή η αντλία θερμότητας να μην ξεκινούν και σταματούν με μεγάλη συχνότητα, αλλά σε αραιότερα διαστήματα. Οι ψύκτες και οι αντλίες θερμότητας, έχουν ενσωματωμένη ασφάλεια επανεκκίνησης και από την στιγμή που θα σταματήσουν τη λειτουργία τους, δεν επανεκκινούν αν δεν περάσει ο απαιτούμενος από τον κατασκευαστή ελάχιστος χρόνος επανεκκίνησης. Με την προσθήκη του δοχείου, ο ψύκτης κάθε φορά που εκκινεί, κρυώνει

ή ζεσταίνεται όλη τη μάζα του δοχείου και όταν τεθεί εκτός, το δοχείο αποδίδει την ενέργεια αυτή στο σύστημα, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται επανεκκίνηση μέχρι να απορροφηθεί η αποθηκευμένη στο buffer(δοχείο αδρανείας) ενέργεια.

- Σε εγκαταστάσεις ξυλολέβητα (ή τζακιού), το δοχείο αδρανείας απορροφά την περίσσεια ενέργειας που αποδίδει το τζάκι ή ο ξυλολέβητας σε σχέση με τις απώλειες του σπιτιού και την αποδίδει όταν σταματούμε να τροφοδοτούμε με ξύλα τον ξυλολέβητα. Με τον τρόπο αυτόν, προστατεύεται η εγκατάσταση από υπερθέρμανση του νερού. Με την τοποθέτηση του δοχείου αδρανείας δεν απαιτείται ανοικτό δοχείο διαστολής. Η τοποθέτηση δοχείου αδρανείας είναι πολύ σημαντική σε μια εγκατάσταση με ξυλολέβητα και δια τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, και για την ασφάλεια των χρηστών.
- Σε εγκαταστάσεις ηλιακής υποβοήθησης, το δοχείο αδρανείας απορροφά την περίσσεια ενέργειας που αποδίδουν οι συλλέκτες σε σχέση με τις ανάγκες του σπιτιού και την αποδίδει όταν πάψει η ηλιοφάνεια. Πλην των οφελών που είναι ίδιες με την περίπτωση του ξυλολέβητα, ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της ηλιακής υποβοήθησης είναι ότι η υλοποίηση της απαιτεί την ύπαρξη δοχείου, ενώ ένας ξυλολέβητας μπορεί να συνδεθεί και απ' ευθείας στα σώματα με τις κατάλληλες ασφαλιστικές διατάξεις και ανοικτό δοχείο διαστολής. Και εδώ στόχος είναι η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, και η ασφάλεια των χρηστών.
- Σε εγκαταστάσεις με πολλαπλές πηγές ενέργειας (π.χ. τζάκι, λέβητας, ηλιακή υποβοήθηση), το δοχείο αδρανείας είναι ο κοινός αποδέκτης της παραγόμενης ενέργειας, ανεξάρτητα από την πηγή από την οποία λαμβάνεται η ενέργεια. Έτσι, ανεξαρτητοποιείται το δίκτυο θέρμανσης του σπιτιού από την εκάστοτε πηγή και δεν μας ενοχλεί η διαφορά των θερμοκρασιών που επιτυγχάνονται από κάθε πηγή. Η τοποθέτηση του δοχείου είναι υποχρεωτική αν το κύκλωμα του σπιτιού είναι ενδοδαπέδιο και υπάρχει πηγή ενέργειας στερεού καυσίμου.





Εικόνα 2.10 Μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται από το θερμοδοχείο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

### 3.1 Τύποι θερμοδοχείων

Υπάρχουν πολλά είδη θερμοδοχείων και πολλές φορές οι κατασκευαστές δίνουν διάφορα ονόματα ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείτε στην κατασκευή και κατά την λειτουργία τους. Στο παρόν κομμάτι δεν θα αναφερθούμε στις βιομηχανικές δεξαμενές, παρά μόνο στις οικιακές μικρού σχετικά όγκου.

#### 3.1.1 Δοχεία αδράνειας

Τα δοχεία αδράνειας είναι δεξαμενές αποθήκευσης νερού, οι οποίες συνδέονται σε σειρά με μια αντλία θερμότητας π.χ. λέβητα πετρελαίου, φυσικού αερίου, ξυλολέβητα κ.λπ. ή/και με έναν ηλιακό συλλέκτη ενέργειας. Σε αυτές αποθηκεύεται ζεστό νερό που θερμαίνεται μέσω της αντλίας θερμότητας ή του ηλιακού συλλέκτη, και προωθείται προς χρήση στο σύστημα θέρμανσης (καλοριφέρ ή επιδαπέδιο) όταν παύει να λειτουργεί η αντλία θερμότητας ή όταν δύνει ο ήλιος και ο ηλιακός συλλέκτης παύει να προσφέρει ζεστό νερό.

Τα δοχεία αδράνειας είναι κατασκευασμένα έτσι να είναι πολύ καλά θερμομονωμένα. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιείται στο δυνατόν η μεταφορά θερμότητας από και προς το περιβάλλον και συνεπώς το περιεχόμενο νερό μπορεί να διατηρηθεί στην επιθυμητή θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνουμε οικονομία ενέργειας και επομένως και χρημάτων, αφού χρησιμοποιούμε το ζεστό νερό του δοχείου αδρανείας και δεν χρειάζεται να λειτουργεί συνέχεια ο λέβητας ή η αντλία θερμότητας για να έχουμε ζεστό νερό στα σώματα του καλοριφέρ ή στο ενδοδαπέδιο σύστημα. Το ίδιο ισχύει και για το ζεστό νερό χρήσης (ZNX), αν το δοχείο αδρανείας είναι συνδεδεμένο με ηλιακούς συλλέκτες και το δοχείο αδρανείας είναι τύπου “δοχείο εντός δοχείου” TIT (tank in tank) ή δοχείο αδρανείας με ανοξείδωτο εναλλάκτη .

Επίσης όταν πρόκειται για θέρμανση παραγόμενη από ηλεκτρικό ρεύμα (αντλία θερμότητας, αντιστάσεις, ηλεκτρολέβητας) το δοχείο αδρανείας μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια εκμεταλλευόμενο τις ώρες με τη χαμηλή τιμή του νυχτερινού τιμολογίου της ΔΕΗ.

Τα δοχεία αδρανείας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και για αποθήκευση κρύου νερού (αντί για ζεστού) με μόνη διαφορά ότι αντί να συνδέεται σε λέβητα ή ηλιακούς συλλέκτες, συνδέεται σε ψύκτες νερού.

Συνεκτικά τα πλεονεκτήματα χρήσης είναι τα εξής:

- Πιο ομαλή και οικονομική λειτουργία του λέβητα, ειδικά για στερεά καύσιμα
- Λειτουργία με σταθερή θερμοκρασία στο λέβητα και στο δίκτυο θέρμανσης
- Αύξηση ισχύος του συστήματος
- Ασφάλεια έναντι υπερθέρμανσης λέβητα στερεών καυσίμων
- Δυνατότητα σύνδεσης αυτονομιών σε λέβητα στερεών καυσίμων
- Διασύνδεση και αρμονική συνεργασία όλων των πηγών θερμότητας

### **3.1.2. Μπόιλερ**

Είναι παρόμοια με τα δοχεία αδρανείας, με τη διαφορά ότι σε αυτά αποθηκεύεται το Ζεστό Νερό Χρήσης. Για τον λόγο αυτό το εσωτερικό δοχείο θωρακίζεται εσωτερικά με διπλή επισμάλτωση (διπλό εμαγιέ). Το θερμομονωτικό υλικό που περικλείει το εσωτερικό δοχείο παρέχει ιδιαίτερα υψηλή θερμομόνωση με αποτέλεσμα να έχουμε αμελητέες θερμικές απώλειες. Οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις που αναπτύσσονται μέσα σε αυτού του είδους τα boiler είναι συνήθως υψηλότερες από αυτές των δοχείων αδρανείας.

Συνδέονται συνήθως σε σειρά με λέβητα οποιουδήποτε τύπου ή και με αντλία θερμότητας η ακόμα και με ηλιακούς συλλέκτες open loop, με σκοπό να αποθηκεύουν τη θερμότητα που παράγει ο λέβητας και να λειτουργεί για πολλές ώρες ακόμα και με καυστήρα σβηστό.

#### **Διαφορά μεταξύ boiler και δοχείου Αδρανείας.**

Και δύο είναι δεξαμενές αποθήκευσης νερού ,το δοχείο αδρανείας όμως συνήθως δεν διαθέτει εναλλάκτες ούτε κάποια ειδική προστασία για τα άλατα (επισμάλτωση) αφού η λειτουργία του δεν απαιτεί την εισαγωγή φρέσκου νερού ούτε διατηρεί νερό που προορίζεται για κατανάλωση. Η μετάδοση θερμότητας είναι ποιο αποτελεσματική στα δοχεία αδρανείας αφού δεν παρεμβάλλεται κάποιος εναλλάκτης και έχουμε απευθείας ανάμειξη του νερού από όποια πηγή θέρμανσης κι αν

προέρχεται. Πολλές εταιρίες δίνουν την δυνατότητα προσθήκης εναλλάκτη και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

### 3.1.3 Δοχεία Combi

Τα Δοχεία Combi αποτελούνται από δύο δοχεία, ένα εξωτερικό που αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού, το οποίο στη συνέχεια διοχετεύει στο σύστημα θέρμανσης και ένα εσωτερικό που αποθηκεύει ζεστό νερό χρήσης από το εξωτερικό δοχείο. Ο συνδυασμός των δύο προσφέρει εξοικονόμηση χώρου και κόστους αλλά και το πλεονέκτημα χρήσης έως και τριών πηγών ενέργειας. Η θέρμανση του νερού εντός του θερμοδοχείου μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: 1) με εμβυθισμένο εναλλάκτη, 2) με απευθείας σύνδεση στο δοχείο ή 3) με ηλεκτρικές αντιστάσεις. Κατά την φόρτιση με εσωτερικό εναλλάκτη το νερό που θερμαίνεται από τον εναλλάκτη ανυψώνεται και αναμειγνύεται με το νερό πάνω από τον εναλλάκτη. Με τον τρόπο αυτό η θερμότητα μεταφέρεται σε μεγάλο όγκο νερού το οποίο θερμαίνεται αργά. Έτσι δημιουργείται μια ζώνη ίδιας θερμοκρασίας πάνω από τον εναλλάκτη ή οποία ανεβαίνει προς το πάνω μέρος του δοχείου έως ότου συναντήσει μια ζώνη υψηλότερης θερμοκρασίας. Μόλις το νερό φτάσει την θερμοκρασία της ανώτερης ζώνης οι δύο ζώνες ομογενοποιούνται και θερμαίνονται στην ίδια θερμοκρασία. Ο όγκος του δοχείου κάτω από τον εναλλάκτη μένει ανεπηρέαστος, ενώ παρατηρείται μια μικρή θερμοκρασιακή κλίση του νερού στο ύψος του εναλλάκτη. Εξαιτίας της ανάμιξης που προκαλείται από το θερμαινόμενο νερό πάνω από τον εναλλάκτη διαταράσσεται έως ένα βαθμό η διαστρωμάτωση του δοχείου.

Η ηλεκτρική αντίσταση φορτίζει το δοχείο με παρόμοιο τρόπο, μόνο που λόγω της μεγάλης ισχύος της και της μικρής της επιφάνειας η μεταφορά θερμότητας είναι πιο άμεση και το θερμαινόμενο νερό δεν αναμειγνύεται πλήρως με το περιβάλλον νερό. Συνεπώς η διαστρωμάτωση του δοχείου δεν διαταράσσεται.

Με την άμεση σύνδεση στο δοχείο, το ζεστό νερό εισέρχεται από την σύνδεση εισόδου και ωθεί το νερό του δοχείου προς την σύνδεση εξόδου. Αν το εισερχόμενο νερό είναι πιο θερμό από το νερό του δοχείου, η θερμότητα μεταφέρεται στην ζώνη πάνω από την αναμονή εισόδου καθώς και στον όγκο του νερού κάτω από αυτή. Έτσι επηρεάζεται μεγάλος όγκος νερού και η θερμοκρασία του νερού κάτω από την είσοδο είναι αρκετά μικρότερη από την θερμοκρασία του νερού εισόδου. Η φόρτιση με άμεσο τρόπο τείνει να βελτιώνει την διαστρωμάτωση στο θερμοδοχείο, αρκεί οι ροές εισόδου και εξόδου να είναι οριζόντιες, να έχουν μικρή ταχύτητα και να γίνονται στο σωστό ύψος του θερμοδοχείου.

Τα θερμοδοχεία COMBI έχουν αρκετό μεγάλο όγκο ώστε να μπορούν να καλύψουν ταυτόχρονα την απαίτηση θερμού νερού για θέρμανση και για χρήση (ZNX) και ταυτόχρονα να διαθέτει μεγάλη θερμοχωρητικότητα ώστε να αποθηκεύεται μεγάλο ποσό ενέργειας όταν υπάρχει διαθέσιμη ηλιοφάνεια. Το σχήμα του θα πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε το να έχει μικρή εξωτερική επιφάνεια (μικρές απώλειες θερμότητας) αλλά και να ευνοεί την διαστρωμάτωση στο εσωτερικό του. Ο όγκος του δοχείου ZNX καταλαμβάνει συνήθως το 10%-30% του συνολικού όγκου του δοχείου. Αυτή είναι περίπου και η αναλογία της απαιτούμενης ενέργειας για ZNX σε σχέση με το ολικό φορτίο, σε μια μέση εγκατάσταση. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό καλύτερα μονωμένο, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας, η οποίες συνεπάγονται

σπατάλη ενέργειας και διατάραξη της διαστρωμάτωσης του δοχείου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα ψηλότερα σημεία του θερμοδοχείου που η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη.

### 3.2 Υλικά Κατασκευής Δεξαμενών Αποθήκευσης ZNX

Οι ενεργειακές απαιτήσεις των σύγχρονων συστημάτων καλούν τη κατασκευή δοχείων από διάφορα κράματα μετάλλων που σκοπό έχουν την καλλίτερη διατήρηση της θερμότητας του νερού και την μακροζωία του θερμοδοχείου. Κάθε κατασκευαστής μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικά υλικά αλλά σε γενικές γραμμές τα είδη των υλικών που χρησιμοποιούνται είναι τρία

#### 3.2.1 Χαλκός

Ο χαλκός(Cu) είναι ένα φυσικό στοιχείο εξόρυξης, που χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών. Ο χαλκός που χρησιμοποιείται για την κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης ZNX είναι 99.99% καθαρός με θερμική αγωγιμότητα  $385 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  (V. O'Brien). Το πάχος του καθορίζεται από της συνθήκες λειτουργίας.

Ο χαλκός είναι ένα μη-αντιδραστική μέταλλο και ως τέτοιο είναι ανθεκτικός στο σχηματισμό σκουριάς. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο χαλκός μπορεί να ανακυκλωθεί ξανά και ξανά, καθιστώντας τον ένα από τα πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον υλικά που διατίθενται για την βιομηχανία.

Σε αντίθεση με τον ανοξείδωτο χάλυβα, η κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης ZNX είναι πιο εύκολη και η εσωτερική επικάλυψη δεν δημιουργεί προβλήματα εργοδιάβρωσης. Η αντοχή στην καταπόνηση του χαλκού είναι μικρότερη του ανοξείδωτου χάλυβα και για αυτό απαιτείται μεγαλύτερο πάχος και αυτό είναι που τον κάνει μη αποδεκτό από την σύγχρονη βιομηχανία.

#### 3.2.2 Ανοξείδωτος Χάλυβας

Τα διάφορα είδη ανοξείδωτου χάλυβα κατηγοριοποιούνται ανάλογα της κρυσταλλικής τους μορφής και του ποσοστού άνθρακα Χρωμίου νικελίου και μολύβδου που αποτελούνται.

Τα πιο συνήθη κράματα μετάλλου που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές ζεστού νερού είναι ο ωστενιτικός άνθρακας 300 (304L και 316L) και ο ανοξείδωτος χάλυβας Duplex που είναι 50% ωστενιτικός και 50% φερίτικός (2205 και 2304). Ο ορισμός 'ανοξείδωτο' έρχεται από την λεπτή 'παθητική' επίστρωση που δημιουργείτε στη επιφάνεια του μετάλλου όταν το Χρώμιο του μετάλλου αντιδράει με το οξυγόνο του περιβάλλοντος. Αυτή η παθητική στρώση αποτρέπει την διάβρωση του μετάλλου(σκουριά) και μπορεί να επιδιορθώνετε όσο οξυγονώνετε από το περιβάλλον.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι οικονομικός σαν υλικό αλλά απαιτεί ακριβές διαδικασίες παραγωγής ώστε να είναι ανθεκτικός στην διάβρωση. Ακόμα πρέπει να δοθεί προσοχή στην επιλογή της εσωτερικής επίστρωσης να είναι συμβατή με το κράμα χάλυβα που επιλέχτηκε, για την αποφυγή ρωγμών διάβρωσης(stress corrosion cracking). Στον πίνακα 3.1 βλέπουμε τα είδη χάλυβα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης ZNX, καθώς και την θερμική αγωγιμότητα τους.

Είδος Χάλυβα	Ανοξείδωτου	Ονομασία	Θερμική Αγωγιμότητα ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
Ωστεντικός		304L	16.2
		316L	16.2
Διπλός( Duplex)		2205	15.9
		2304	17

**Πίνακας 3.1** Κράματα χάλυβα που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές. (V. O'Brien)

### 3.2.4 Επιλογή του Υλικού

Όταν διαστασιολογούμε το υλικό του τοιχώματος του θερμοδοχείου πρέπει να έχουμε υπόψη τα εξής κριτήρια: κόστος, συμβατότητα με το πόσιμο νερό, μηχανικές ιδιότητες και Θερμική απόδοση. Στην πρόσφατη έρευνα των (Armstrong, 2014) μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα κριτήρια για την επιλογή του υλικού του τοιχώματος.

#### Κόστος

Το κόστος του τοιχώματος του δοχείου είναι ανάλογο της ποιότητας του υλικού που θα επιλέξουμε. Χάλκινο, Αλουμινένιο, Ανοξείδωτο. Μία δεξαμενή πρέπει να είναι ανταγωνιστική στην αγορά οπότε πρέπει να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ κόστους και ποιότητας. Το κόστος ορισμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις δεξαμενές αποθήκευσης Z.N.X παρουσιάζονται στον πίνακα (3.1).

#### Συμβατότητα με το πόσιμο νερό

Το υλικό που έρχεται σε επαφή με το πόσιμο νερό θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στην διάβρωση και δεν πρέπει να επιτρέπει την δημιουργία βακτηριδίων και ιών που μπορούν να βλάψουν τον άνθρωπο. Μεγάλες ποσότητες βακτηριδίων έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένους είδους λάστιχα, σιλικόνες και αλουμίνια. Υπάρχουν αντικρουόμενες μελέτες γύρω από την ισχύ του χαλκού ενάντια στα βακτηρίδια σε σύγκριση με τα άλλα υδραυλικά υλικά.

#### Μηχανικές ιδιότητες

Ο χαλκός είναι πιο εύπλαστος και εύκολος να επεξεργαστεί, ενώ ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι δύσκολος να επεξεργαστεί με τρυπάνι και να υποστεί συγκόλληση σε υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούν πιο εξελιγμένες διαδικασίες παραγωγής. Από την άλλη το Πολυαιθυλένιο μπορεί εύκολα να ενωθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες, και η χαμηλή αντοχή του στον εφελκυσμό περιορίζει την εφαρμογή του χωρίς ενίσχυση από άλλα υλικά μέσα σε μία σύνθετη κατασκευή. Στις χαμηλές πιέσεις που λειτουργούν τα οικιακά συστήματα ζεστού νερού δεν χρειάζονται σύνθετες δομές τοιχωμάτων.

Το πάχος του τοιχώματος ορίζεται με στόχο να αντέχει τις δυνάμεις στις πιέσεις της περιοχής εγκατάστασης του. Ο πίνακας 1 μας δείχνει την δύναμη εφελκυσμού που αντέχει το

υλικό του τού κύριου τοιχώματος. Το Πολυαιθυλένιο έχει την μικρότερη αντοχή σε εφελκυσμό μεταξύ 14 και 40 MPa όπου το καθιστά ακατάλληλο από μόνο του. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται άλλα υλικά για ενίσχυση όπως γυάλινη επισμάλτωση και πλαστικό . (Armstrong, 2014)

Υλικό	Δύναμη (Mpa)	Θερμική αγωγιμότητα	Κατασκευή	Κόστος υλικού (\$/ton)
Χαλκός C106	200-300	398	Ελατό , συγκολλήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες	7000
Ανοξειδωτο ατσάλι	415	26.8	Πιο δύσκολο να κατασκευαστεί , απαιτεί εξελιγμένες μεθόδους συγκόλλησης	3000
Πολυαιθυλένιο	14-40	0.33	Ενώνετε σε χαμηλές θερμοκρασίες όμως απαιτεί πρόσθετα υλικά για να αντέχουν πιέσεις λειτουργίας	1600

**Πίνακας 3.2** Ιδιότητες Υλικών (Armstrong, 2014)

Ακόμα υπάρχουν κάποιοι κατασκευαστές που χρησιμοποιούν επίστρωση αδαμαντίνης πάνω στο ατσάλι .

Ωστόσο η αδαμαντίνη είναι επιρρεπής σε ραγίσματα λόγω των θερμικών τάσεων που παράγονται , έτσι είναι απαραίτητη η χρήση ανοδίου.

### Θερμική απόδοση

Στα αστικά θερμοδοχεία το πάχος του τοιχώματος κυμαίνεται από 0.5 με 2.6 mm. Το εσωτερικό τοίχωμα είναι πολύ λεπτό και μεταλλικό και παίζει μικρό ρόλο στις απώλειες θερμότητας και μεγαλύτερο ρόλο έχει να κάνει η επένδυση μόνωσης. Κατά μέσο όρο το πάχος της μόνωσης είναι 45-55mm. (Armstrong, 2014)

### 3.3. Επιστρώσεις Προστασίας από Διάβρωση

Το υλικό κατασκευής ενός θερμοδοχείου είναι αυτό που καθορίζει την ποιότητα και την αντοχή του. Τα δοχεία ζεστού νερού χρήσης κατασκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτούμενες πιέσεις και την αντοχή τους στην διάβρωση. Ο μαλακός χάλυβας είναι το μέταλλο που χρησιμοποιείτε πιο συχνά γιατί έχει αντοχή πάνω από 6 bar πίεσης για 2-3mm πάχους τοιχώματος. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή θερμοδοχείων ανθεκτικών στην διάβρωση είναι ο ανοξειδωτος χάλυβας και στο παρελθόν ο χαλκός. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην μέγιστη θερμοκρασία που φτάνει το νερό μέσα στο δοχείο και να ληφθούν

τα απαραίτητα μέτρα κατά του μεγαλύτερου κινδύνου διάβρωσης . Η προστασία απέναντι στην διάβρωση επιτυγχάνετε με τις ακόλουθες επικαλύψεις/ επιστρώσεις [link 1] <sup>1</sup>

- Γυάλινη Επισμάλτωση
- Γαλβανιζέ δοχεία
- Θερμοσκληραινόμενα υλικά
- Θερμοπλαστικά υλικά
- Επίστρωση τσιμέντου
- Εσωτερικό δοχείο από αντιδιαβρωτικό υλικό
- Δοχείο από Ανοξειδωτο χάλυβα

### **3.3.1. Γυάλινη Επισμάλτωση**

Η επισμάλτωση χρησιμοποιήθηκε πρώτα στην Αμερική και ήρθε στην Ευρώπη με την ανάγκη αύξησης της θερμοκρασίας του νερού πάνω από 60C. Η επισμάλτωση είναι μία δύσκολη διαδικασία που απαιτεί σύγχρονες εγκαταστάσεις και εξοπλισμό και πρέπει να δίνετε μεγάλη προσοχή ώστε η επιφάνεια επισμάλτωσης ( εσωτερικά του δοχείου) να είναι όσο πιο λεία και ομοιόμορφη γίνετε.

Η γυάλινη επισμάλτωση πραγματοποιείτε σε δύο στρώσεις , μία που καλύβει την επιφάνεια του δοχείου και η άλλη που έρχεται σε επαφή με το νερό. Το πάχος πρέπει να είναι μεταξύ 0.250-0.400mm και οι πιέσει που αντέχει το δοχείο είναι 10-15bar . Παρόλα αυτά είναι απαραίτητο ένα ανόδιο μαγνησίου για πιθανά κενά στην επισμάλτωση.

### **3.3.2 Γαλβανιζέ Δοχεία**

Ο γαλβανισμένος χάλυβας χρησιμοποιήθηκε πολλά χρόνια για τα ηλεκτρικά δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού. Το μεγαλύτερο ελάττωμα που έχουν όμως είναι ότι η επικάλυψη ψευδάργυρου χάνει την προστατευτική του ικανότητα στο εύρος των 60-85 βαθμών C. Τα γαλβανισμένα δοχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για θερμοκρασίες μικρότερες των 60C.

### **3.3.3 Θερμοσκληραινόμενα Υλικά**

Υλικά θερμοσκληρούμενης ρητίνης έχουν χρησιμοποιηθεί σε θερμοδοχεία για προστασία κατά της διάβρωσης. Πρώτα πραγματοποιείτε αμμοβολή στο εσωτερικό του δοχείου και μετά εφαρμόζονται αρκετές στρώσεις του μονωτικού αυτού υλικού. Η τελική επίστρωση έχει ελάχιστο πάχος 0.250mm και μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 95C. Είναι μία οικονομική μέθοδος προστασίας κατά της διάβρωσης.

---

<sup>1</sup> <http://exergia.gr/wp-content/uploads/materials-domestic-water.pdf>

### **3.3.4 Θερμοπλαστικά Υλικά**

Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως πλαστική επικάλυψη της εσωτερικής επιφανείας του θερμοδοχείου. Το υλικό πρέπει να έχει εγκριθεί για άμεση επαφή με τρόφιμα. Η πλαστική επίστρωση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.300mm και η μέγιστη θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 85C. Όπως και στα θερμοσκληρούμενα υλικά έτσι και εδώ η τιμή του εξοπλισμού και η χρήση της μεθόδου αυτής κυμαίνετε σε λογικά επίπεδα.

### **3.3.5 Επίστρωση Τσιμέντου**

Αυτή είναι μία λιγότερο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιεί επίστρωση τσιμέντου 5mm(δύο στρώσεων) πάχους στο εσωτερικό του δοχείου για προστασία από την διάβρωση. Είναι λογικό αυτό να αυξάνει το βάρος του δοχείου και προκαλεί προβλήματα στην εγκατάσταση του.

### **3.3.6 Εσωτερικό δοχείο από αντιδιαβρωτικό υλικό**

Αντιδιαβρωτική προστασία μπορεί να επιτευχθεί με τοποθέτηση δοχείου μέσα στο δοχείο από χάλυβα. Αυτό το εσωτερικό δοχείο μπορεί να είναι κατασκευασμένο από λεπτά ελάσματα χαλκού ή πολυμερή υλικά. Το εξωτερικό σχήμα του δοχείου είναι ίδιο με το εσωτερικό δοχείο και οι πιέσεις μεταφέρονται στο εξωτερικό δοχείο.

### **3.3.7 Δοχείο από Ανοξειδωτο χάλυβα**

Το κυριότερο πρόβλημα του ανοξειδωτου χάλυβα είναι η εργοδιάβρωση και η ποιότητα του χάλυβα για να αντέξει αυτό το φαινόμενο είναι πού ακριβή, και η διαδικασία κατασκευής ενός τέτοιου θερμοδοχείου απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και πείρα.

## **3.4 Μόνωση Θερμοδοχείου**

Οι περισσότερες δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού χρησιμοποιούν μόνωση για να διατηρήσουν την θερμοκρασία του νερού. Αυτό γίνεται κατά την είτε τοποθέτηση τους είτε κατά την κατασκευή τους με τον δεύτερο τρόπο να είναι οικονομικότερος. Η μόνωση της δεξαμενής είναι σημαντικότερη σε ηλιακά συστήματα (Ηλιακοί θερμοσίφωνες) αφού η δεξαμενή είναι σε εξωτερικό χώρο. Τα δύο πιο δημοφιλή συστήματα μόνωσης σύμφωνα με τους κατασκευαστές είναι τα παρακάτω:

- Αφρός Πολυουρεθάνης : Η αλλιώς Διογκωμένη Πολυουρεθάνη είναι το πρότυπο σύστημα που αποτελείτε από δύο στρώσεις συστατικών που ψεκάζονται όπου συστέλλετε και σκληραίνει σε περίπου δύο ίντσες πάχος. Όταν ωριμάσει επικαλύπτεται με αδιάβροχη άσπρη ακριλική επικάλυψη. Το πάχος της μόνωσης κυμαίνετε μεταξύ 50mm και 100mm.
- Μόνωση αλουμινίου : Η μόνωση αλουμινίου συνήθως χρησιμοποιείτε σε ηλιακού θερμοσίφωνες οι άλλες δεξαμενές που είναι σε εξωτερικό περιβάλλον για την προστασία



της μόνωσης και του δοχείου από της καιρικές συνθήκες. Συνήθως τοποθετείται πάνω από την μόνωση Πολυουρεθάνης για να την προστατεύει.

Πρέπει να τονίσουμε ότι η μόνωση πρέπει να τοποθετηθεί μεθοδικά για να μειωθούν οι ‘Θερμικές γέφυρες’ (κενό μεταξύ μόνωσης και κελύφους δεξαμενής) και να έχουμε την μέγιστη δυνατή μόνωση.

### 3.5 Παράγοντες Επιλογής Δοχείου Αποθήκευσης Ζ.Ν.Χ

Η επιλογή ενός δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης εξαρτάτε από πολλούς παράγοντες που πρέπει να αναλυθούν πριν την επιλογή του. Πρώτα από όλα πρέπει να επιλεγεί το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού και αυτό εξαρτάτε από τους εξής παράγοντες :

- Ποσότητα του ζεστού νερού που απαιτείται
- Θερμοκρασία του ζεστού νερού στο σύστημα
- Κόστος εγκατάστασης και συντήρησης
- Είδος καυσίμου και τα έξοδα λειτουργίας
- Διατήρηση της ενέργειας και της θερμοκρασίας νερού
- Συνδυασμό κεντρικής θέρμανσης/ψύξης με παραγωγή ζεστού νερού
- Ασφάλεια του χρήστη

Η ακριβότερη επιλογή μεγέθους και ποιότητας ενός δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού δεν σημαίνει ότι ταιριάζει στις ανάγκες του κάθε συστήματος. Το μέγεθος του δοχείου είναι ανάλογο της θερμοκρασίας. Δηλαδή ένα μεγάλο θερμοδοχείο θα οδηγήσει σε απώλεια μεγάλων ποσών ενέργειας εξαιτίας της απώλειας θερμότητας από τον εξοπλισμό και την μεγάλη επιφάνεια του δοχείου.

Έτσι λοιπόν πρέπει να εκτιμηθεί η πιθανή ελάχιστη θερμοκρασία στο δοχείο αποθήκευσης για την κατανάλωση ζεστού νερού, που μπορεί να θεωρείται ως ‘κατανάλωση αιχμής’. Ένας απλός τρόπος υπολογισμού του όγκου του δοχείου αποθήκευσης είναι ο παρακάτω.

$$V_{H_2O} = \frac{(E_{DHW} - E_{HP}) \times 1000}{p \times C_s \times (T_{INIZ} - T_{FIN})} \quad (3.1)$$

Όπου

$$E_{HP} = P_{HP} \times t_{DHW} \times 60$$

$$E_{DHW} = p \times V_{DHW} \times C_s \times (T_{DHW} - T_{IN})$$

$V_{DHW}$ : Η ανάληψη ζεστού νερού χρήσης από το δοχείο αποθήκευσης (L)

$P_{HP}$ : Ισχύς μονάδας παραγωγής θερμότητας για την αποθήκευση του ζεστού νερού χρήσης (kW)

$t_{DHW}$ : Διάρκεια ανάληψης ζεστού νερού χρήσης από το δοχείο αποθήκευσης (min)

$T_{IN}$ : Θερμοκρασία νερού από την κεντρική παροχή (°C)

$T_{DHW}$ : Θερμοκρασία νερού εξόδου από το δοχείο (°C)

$T_{INIZ}$ : Αρχική θερμοκρασία της αποθήκευσης νερού (°C)

$T_{FIN}$ : Τελική θερμοκρασία της αποθήκευσης νερού (°C)

$E_{Pac}$ :Μεταφερόμενη ενέργεια προς το δοχείο αποθήκευσης από την μονάδα παραγωγής θερμότητας κατά την διάρκεια της κατανάλωσης (kJ)

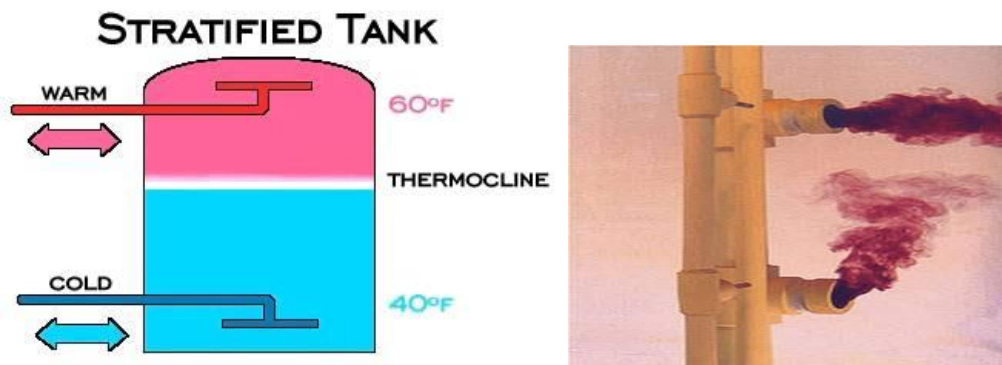
$E_{DWH}$ :Καταναλισκόμενη ενέργεια από το δοχείο αποθήκευσης κατά την διάρκεια της κατανάλωσης (kJ)

$V_{H2O}$ :Ελάχιστος όγκος νερού στο δοχείο για να λάβει την τελική θερμοκρασία , όχι μικρότερη από  $T_{fin}$

### 4.1 Σπουδαιότητα Θερμικής Διαστρωμάτωσης

Ο όρος θερμική διαστρωμάτωση αναφέρεται στην δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας μεταξύ αέριων ή υγρών μαζών. Τόσο ο αέρας όσο και το νερό κατά την θέρμανση ή ψύξη τους διαστέλλονται και συστέλλονται αντίστοιχα μεταβάλλοντας ταυτόχρονα την πυκνότητά τους. Οι θερμότερες ζώνες έχουν μικρότερη πυκνότητα, είναι πιο ελαφρές και μετακινούνται προς τη κορυφή, ενώ οι ψυχρότερες ζώνες μετακινούνται προς τα κάτω. Έτσι στην περίπτωση του νερού η θερμότερη ζώνη βρίσκεται στην επιφάνεια ενώ η ψυχρότερη στον πυθμένα του χώρου που τις περικλείει είτε πρόκειται για φυσικό αποδέκτη όπως είναι οι λίμνες, είτε για τεχνητό, όπως οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού.

Όσον αφορά τη διαστρωμάτωση του αέρα, υπάρχουν ελάχιστες μελέτες σχετικές με τους εξωτερικούς χώρους (Di Sabatino, 2014) (Norman, (2006) ) ενώ όσον αφορά σε εσωτερικούς χώρους έχουν μελετηθεί εφαρμογές που σχετίζονται την κατανομή θερμότητας κατά τη θέρμανση χώρων με επιδαπέδια (Mitchell, (1996)) (Lee, K., Xue, G., Jiang, Z., Chen, Q. , (2011) ) και ηλιακά συστήματα (Fontana, D., Spena, A, (1982) ). Αναφορικά με τις εφαρμογές της θερμικής διαστρωμάτωσης του νερού, η ερευνητική δραστηριότητα φαίνεται να είναι περισσότερο εκτεταμένη, εστιάζοντας κυρίως στη μελέτη των συστήματος παροχής νερού ειδικά σε συνδυασμό με την ηλιακή τεχνολογία. Η έρευνα για θερμική διαστρωμάτωση εντός δεξαμενών ήταν εντατική ήδη από την δεκαετία του 1970 (LavanZ., (1977) ), (ViskantaR., (1977)) με τα αποτελέσματα μοντελοποίησης και προσομοίωσης των διεργασιών θερμικής διαστρωμάτωσης στη δεξαμενή αποθήκευσης να υποδεικνύουν ότι η θερμική διαστρωμάτωση μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά την απόδοση της αποθήκευσης ενέργειας (GhaddarN.K., (1994))



Εικόνα 4.α Αναπαράσταση διαστρωμάτοποιημένου δοχείου (αριστερά)

Εικόνα 4.β Αναπαράσταση της τάσης του ζεστού νερού να ανεβαίνει προς τα πάνω( δεξιά)

#### 4.1.1 Πλεονεκτήματα Θερμικής Διαστρωμάτωσης

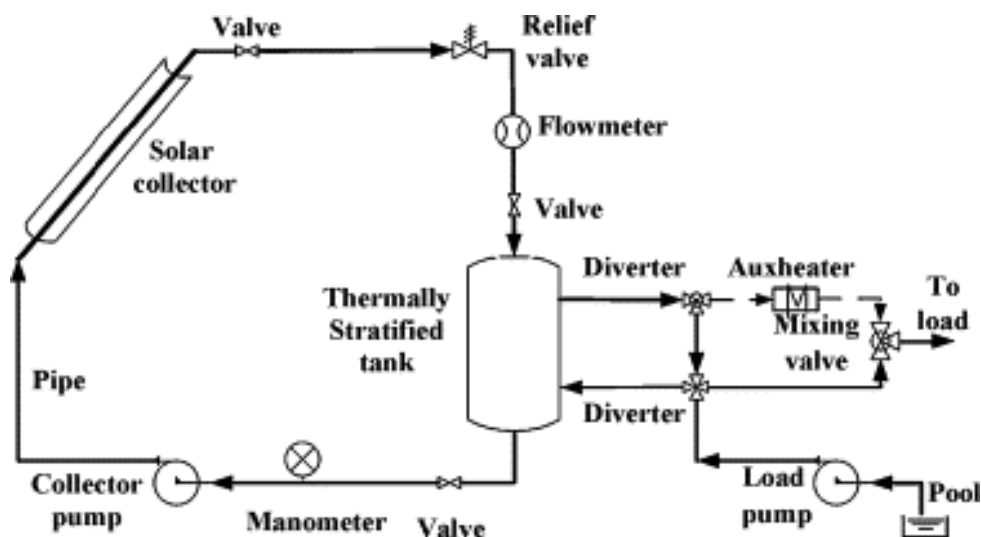
Ένα θερμικά διαστρωματοποιημένο δοχείο είναι προτιμότερο από ένα απλό για τους εξής λόγους :

1. Μέγιστη αξιοποίηση του συλλέκτη: Τα συστήματα με ηλιακούς συλλέκτες είναι αυτά που κερδίζουν περισσότερο από ένα στρωματοποιημένο δοχείο. Μία διαστρωματοποιημένη δεξαμενή χρησιμοποιεί τους ηλιακούς συλλέκτες από νωρίς το πρωί μέχρι αργά το απόγευμα , και αυτό γιατί δεν χιάζετε να φτάσουν οι συλλέκτες το νερό σε μεγάλη θερμοκρασία (πάνω από 40°C) για να το χρησιμοποιήσει όπως θα έκανε ένα απλό ομογενοποιημένο δοχείο.
2. Μειωμένη απώλεια θερμότητας από τον εξοπλισμό: Το νερό της δεξαμενής περνάει από πολλά μέτρα σωλήνας από και προς τα διάφορα μέρη του συστήματος μέσα στο κτίριο που έχει εγκατασταθεί το σύστημα παραγωγής Ζ.Ν.Χ. Έτσι λοιπόν όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία του νερού κυκλοφορίας , τόσο μικρότερες είναι οι θερμικές απώλειες από το σύστημα. Η θερμοκρασία στο κάτω μέρος της διαστρωματοποιημένης δεξαμενής είναι σαφώς μικρότερη από μίας ομογενοποιημένης δεξαμενής , έτσι λοιπόν η θερμοκρασία του νερού κυκλοφορίας είναι μικρότερη. Ακόμα τα διαστρωματοποιημένα δοχεία χρησιμοποιούνται σε συστήματα χαμηλής ροής επομένως η διάμετρος των σωληνώσεων μπορεί να είναι μικρότερη με τις απώλειες θερμότητας να μειώνονται αναλόγως.
3. Συχνότερη θερμοκρασία χρήσης: Ένα ομογενοποιημένο δοχείο δεν μας παρέχει την επιθυμητή θερμοκρασία όλες τις ώρες της ημέρας της γρήγορης απώλειας θερμότητας και την ομοιογένεια την θερμοκρασίας μέσα στην δεξαμενή. Από την άλλη μία διαστρωματοποιημένη δεξαμενή παρέχει την απαιτούμενη θερμοκρασία πιο συχνά γιατί το θερμότερο στρώμα νερού συσσωρεύεται στο πάνω μέρος της δεξαμενής.
4. Λιγότερα άλατα: Στον κύκλο ζωής ενός διαστρωματοποιημένου δοχείου ο όγκος νερού κυκλοφορίας και η κατανάλωση του νερού είναι μικρότερες από ένα ομογενοποιημένο δοχείο. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό στην διαστρωματοποιημένη δεξαμενή έχει πιο συχνά την απαιτούμενη θερμοκρασία χρήσης, και χεριάζετε λιγότερος όγκος νερού. Μελέτες (Furbo, 1993) έδειξαν ότι σε συστήματα χαμηλής ροής η δημιουργία αλάτων είναι μέχρι 2.5 φορές μικρότερη σε σχέση με τα ομογενοποιημένα δοχεία
5. Χρήση μικρότερων δεξαμενών : Όπως αναφέραμε παραπάνω όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής , τόσο μικρότερο όγκο ζεστού νερού χιαζόμαστε για να παρέχουμε την απαραίτητη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν κερδίζουμε οικονομικότερες δεξαμενές και με μικρότερες δεξαμενές έχουμε μικρότερη διαταραχή των θερμικών στρωμάτων και επομένως καλύτερη διατήρηση της θερμικής διαστρωμάτωσης.

## 4.2 Δημιουργία και Απώλεια Θερμικής Διαστρωμάτωσης

Προκειμένου να γίνει αντιληπτό το πως δημιουργείται η θερμική διαστρωμάτωση εντός μιας δεξαμενής, θα θεωρήσουμε ως παράδειγμα την υποθετική περίπτωση ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού οικιακής χρήσης, όπως παρουσιάζεται γραφικά στο **Σχήμα 4.1**. Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη, δηλαδή, το βρόχο ηλιακής θέρμανσης, το βρόχο φορτίου χρήσης, και τη δεξαμενή νερού με θερμική διαστρωμάτωση. Η δεξαμενή αποτελεί το κεντρικό σημείο σύνδεσης των δύο βρόχων. Ο ρόλος του ηλιακού βρόχου είναι η παραγωγή ζεστού νερού που αποθηκεύεται στη δεξαμενή ενώ ο βρόχος χρήσης συμβολίζει όλες τις διεργασίες αξιοποίησης της ενέργειας μέσω του τελικού εξοπλισμού με τις οποίες συνδέεται, όπως ο εναλλάκτης θερμότητας, τα καλοριφέρ και άλλες συσκευές που απαιτούν εκμετάλλευση ζεστού νερού.

Όσον αφορά τη θερμική διαστρωμάτωση του δοχείου, γίνεται η θεώρηση ότι το νερό εισόδου θα πέσει σε επίπεδο όπου η πυκνότητά του να ταιριάζει με την πυκνότητα του περιβάλλοντος νερού που ήδη υπάρχει στο δοχείο. Έτσι λόγω των δυνάμεων της βαρύτητας και της άνωσης, το νερό με διαφορετική θερμοκρασία θα τοποθετηθεί στο αντίστοιχο ύψος ανάλογα με την πυκνότητά του. Λόγω χαμηλής πυκνότητας το ζεστό νερό θα μεταφερθεί στην ανώτερη ζώνη ενώ το κρύο νερό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα θα «πέσει» στην κάτω ζώνη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται η θερμική διαστρωμάτωση έτσι ώστε να αποτελεί ένα «θερμικό φράγμα» για το διαχωρισμό των θερμών και ψυχρών μαζών, διατηρώντας μια σταθερή κάθετη κλίση θερμοκρασίας ή πυκνότητας.



**Σχήμα 4.1.** Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού οικιακής χρήσης (Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

Η δημιουργία και διατήρηση σταθερής θερμικής διαστρωμάτωσης εντός των δεξαμενών ζεστού νερού είναι απαραίτητη για την μέγιστη απόδοση ενέργειας και συνεπώς η μίξη εντός του

δοχείου πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια προφανής θερμοκρασιακή κλίση ή θερμοκλινές, όπως ονομάζεται αλλιώς, με το ζεστό νερό να παραμένει στην κορυφή και το κρύο στον πυθμένα. Σύμφωνα με τους (KenjoL, (2007)) η επίτευξη της θερμικής διαστρωμάτωσης μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους που περιλαμβάνουν :

(1) τη θέρμανση των κάθετων τοιχωμάτων του δοχείου που οδηγεί τη δημιουργία ζεστών θερμικών οριακών στρωμάτων, αντλώντας το ζεστό νερό στο άνω τμήμα του,

(2) την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του νερού που περιέχεται στο δοχείο και εκείνο που κυκλοφορεί σε έναν εναλλάκτη θερμότητας προσεκτικά τοποθετημένο μέσα ή έξω από το δοχείο και

(3) την άμεση είσοδο στο δοχείο ζεστού νερού σε κατάλληλο ύψος.

Εάν το κρύο νερό αρχίσει να ρέει προς τα κάτω θα συμπαρασύρει και το ζεστότερο νερό εντός της δεξαμενής, με αποτέλεσμα την ανάμιξη και συνεπώς την απώλεια του θερμοκλινούς. Συνήθως το φαινόμενο αυτό έχει τοπική δράση περιοριζόμενο σε μια μικρή οριζόντια περιοχή κοντά στη θύρα εισόδου, ωστόσο σε περίπτωση δημιουργίας ευνοϊκών συνθηκών η ανάμιξη δύναται να επεκταθεί και στο μεγαλύτερο τμήμα της

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης το νερό που εξέρχεται από τον πυθμένα της δεξαμενής θερμαίνεται και επιστρέφει στην κορυφή. Ταυτόχρονα είναι δυνατή και η χρήση ενός δευτέρου κυκλώματος που εξωθεί θερμό νερό από την κορυφή της δεξαμενής και εισάγει κρύο νερό στον τον πυθμένα της με την ίδια ροή. Όπως είναι προφανές οι αναταράξεις που συνεπάγονται της διεργασίας αυτής θα έχουν ως αποτέλεσμα τη μίξη και συνεπώς την διατάραξη της θερμικής διαστρωμάτωσης.

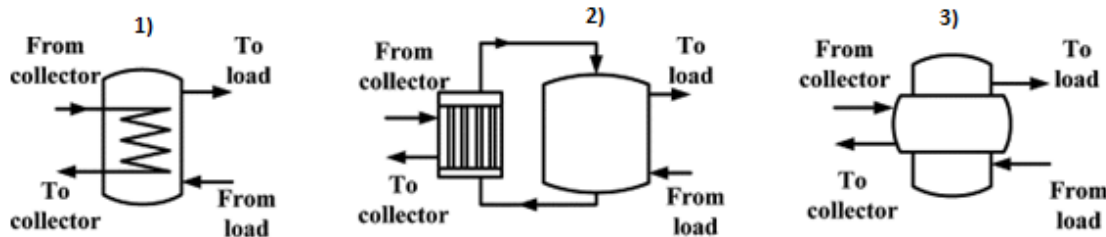
Οι τέσσερεις κυριότεροι παράμετροι που οδηγούν στην απώλεια της θερμικής διαστρωμάτωσης είναι οι παρακάτω:

- 1) Θερμικές Απώλειες στο εξωτερικό περιβάλλον .
- 2) Θερμική αγωγιμότητα από τα ζεστά κομμάτια του νερού της δεξαμενής προς τα κρύα κομμάτια.
- 3) Κάθετη αγωγιμότητα στα τοιχώματα της δεξαμενής.
- 4) Ανάμιξη κατά την φόρτωση και εκφόρτωση.

### 4.3 Θερμική διαστρωμάτωση θερμοδοχείου

Τα διαστρωματοποιημένα δοχεία αποθήκευσης νερού κατατάσσονται τυπικά σε δύο κατηγορίες, τα δοχεία άμεσης θέρμανσης και τα δοχεία έμμεσης θέρμανσης. Για την δεύτερη περίπτωση έχουν προταθεί διάφορες διατάξεις εναλλακτών θερμότητας εκ των οποίων τρεις είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες. Αυτές παρουσιάζονται σχηματικά στο **σχήμα 4.2**. και αποτελούνται από 1) εμβυθισμένα σπειρώματα εντός της δεξαμενής (immersed coils) , 2) εξωτερικό εναλλάκτη κελύφους-σωλήνα (shell and tube) και 3). εναλλάκτη μανδύα, με στενό δακτυλιοειδές χιτώνιο να περιβάλλει τη δεξαμενή αποθήκευσης (mantle heat).

Στην περίπτωση της έμμεσης θέρμανση εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των θερμών και ψυχρών περιοχών του δοχείου, το νερό μπορεί να διατηρηθεί πιο εύκολα τη θερμική του διαστρωμάτωση λόγω της φυσικής διάδοσης της θερμότητας. Στην περίπτωση όμως αυτή η ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος θα είναι μειωμένη λόγω της ανεπαρκούς μεταφοράς θερμότητας. Αντιθέτως στην περίπτωση της άμεσης θέρμανσης η θερμική διαστρωμάτωση θα διαταραχτεί ευκολότερα λόγω των αναταράξεων του νερού.



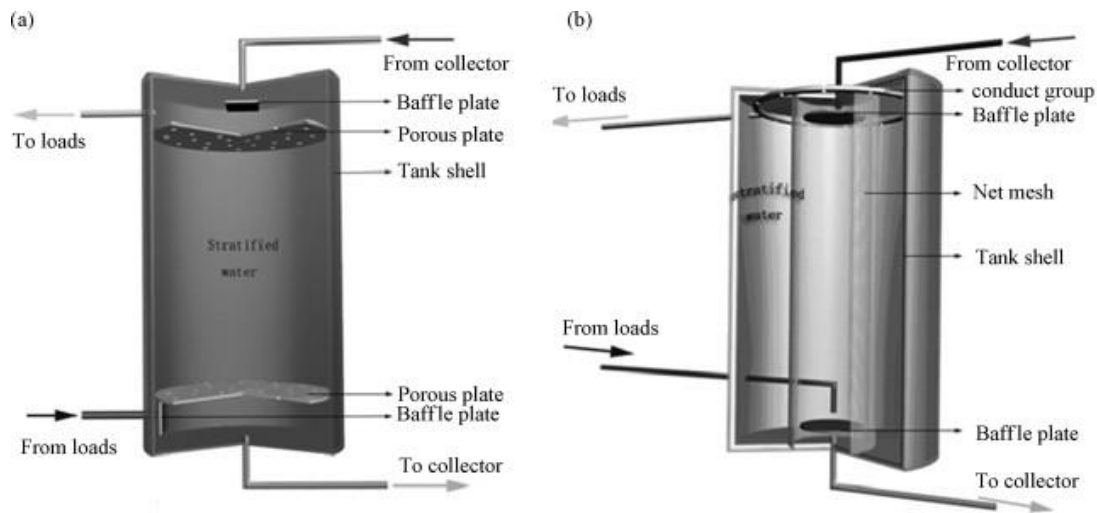
**Σχήμα 4.2.** Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ρευστού που περιέχεται στη δεξαμενή και αυτού που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη θερμότητας τοποθετημένου μέσα ή έξω από τη δεξαμενή.

(Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

Στη συνέχεια αναλύονται οι τρόποι λειτουργίας των διαφορετικών τύπων θερμικά διαστρωματοποιημένων θερμοδοχείων άμεσης και έμμεσης θέρμανσης .

#### 4.3.1 Στρωματοποιημένο θερμοδοχείο άμεσης θέρμανσης

Τα θερμοδοχεία άμεσης θέρμανσης εμπεριέχουν στοιχεία τα οποία δύνανται να αποτρέψουν κατά το δυνατό την απώλεια της διαστρωμάτωσης που συνεπάγεται της μίξης θερμού και ψυχρού νερού. Έτσι προτείνεται η προσθήκη πλακών τύπου διαφράγματος ή πορώδους (baffle plate, porous plate) και πλεγμάτων (mesh) έτσι ώστε να μειώνεται η ροή του εισερχόμενου νερού είτε από το συλλέκτη είτε από το φορτίο χρήσης και κατ' επέκταση η ανάμιξη και διατάραξη. Στο **σχήμα 4.3.** παρουσιάζονται δυο διαφορετικές διατάξεις που περιλαμβάνουν τη συνδυαστική χρήση πλακών διαφράγματος και πορωδών πλακών ταυτόχρονα (σχήμα 4.3.α) ή πλακών διαφράγματος και κυλινδρικού πλέγματος παράλληλα με τα κάθετα τοιχώματα του δοχείου (σχήμα 4.3.β).



**Σχήμα 4.3.** Σχηματικό διάγραμμα θερμοδοχείων άμεσης θέρμανσης. (Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

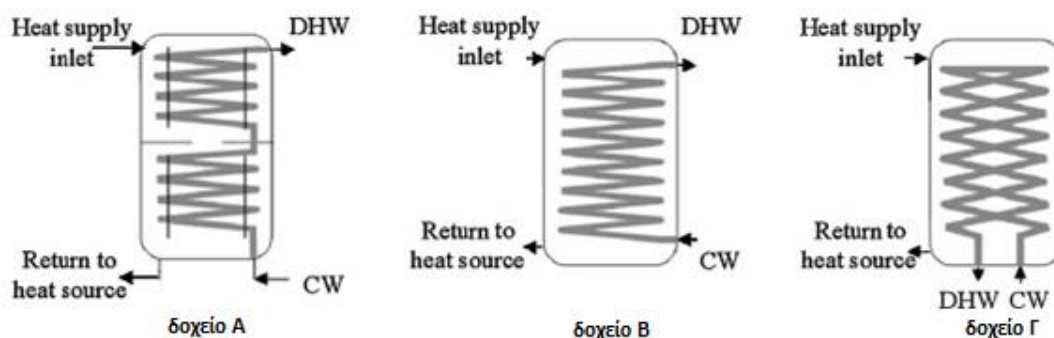
Πέραν των ως άνω διαμορφώσεων προκειμένου για τη διασφάλιση της θερμικής διαστρωμάτωσης σε θερμοδοχεία άμεσης θέρμανσης πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός βάσει γεωμετρικών παραμέτρων. Αυτές περιλαμβάνουν το μέγεθος και τις σχετικές αναλογίες του δοχείου καθώς και το σχήμα και το μέγεθος των διαφόρων διαφραγμάτων βάσει των οποίων γίνεται η ρύθμιση της ροής του νερού. Επιπλέον η διαστρωμάτωση διασφαλίζεται και βάσει της ρύθμισης των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος (Van Berkel J., Rindt C.C.M., (2002)), (Knudsen S., (2004)) όπως η ταχύτητα ροής του νερού εισόδου, η αρχική θερμοκρασία του νερού αλλά και η θερμοκρασία του νερού εισόδου καθώς και η εφαρμογή κυκλικών περιόδων φόρτωσης και εκφόρτωσης τους συστήματος.

#### 4.3.2 Στρωματοποιημένο θερμοδοχείο έμμεσης θέρμανσης με εμβυθισμένο εναλλάκτη

Σύμφωνα με τους Farrington and Bingham (1987) που ήταν από τους πρώτους ερευνητές που ασχολήθηκαν με την αποδοτικότητα της μεταφορά θερμότητας σε ηλιακά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού με εμβυθισμένους εναλλάκτες, η χρήση λείων σπειρωμάτων με επιφάνεια μόλις 70% των αντίστοιχων πτερυγιοφόρων σπειρωμάτων απέδιδε καλύτερα από τη χρήση των πτερυγιοφόρων. Επιπροσθέτως οι εναλλάκτες πλευρικού φορτίου φαίνεται να διατηρούν και να ενισχύουν τη διαστρωμάτωση των θερμοδοχείων, επιτρέποντας έτσι τη χρήση στρατηγικών ρύθμισης που επωφελούνται της ιδιότητας αυτής προκειμένου να αυξήσουν την συνολική αποδοτικότητα του συστήματος. Μέσω της αύξησης της παροχής και της επιφάνεια του εναλλάκτη επιτυγχάνονται υψηλότεροι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας αλλά όχι και απαραίτητα βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Κι αυτό γιατί οι χαμηλότερες αρχικές θερμοκρασίες στο θερμοδοχείο οδηγούν σε μειωμένη διαστρωμάτωση του δοχείου. Το αποτέλεσμα είναι όπως προαναφέρθηκε, ο λείος εναλλάκτης να έχει καλύτερη απόδοση από φτερωτό παρά τη μειωμένη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας.



Μεταγενέστερες εργασίες των (Spur R, Fiala D, Nevrala D, Probert D.) υποδεικνύουν ότι η χρήση εμβυθισμένων εναλλακτών επηρεάζει αξιοσημείωτα την λειτουργία αποθήκευσης θερμότητας. Στις μελέτες αυτές πραγματοποιήθηκε πειραματική σύγκριση τριών διαφορετικών διατάξεων όσον αφορά τους εναλλάκτες εντός της δεξαμενής όπως παρουσιάζεται γραφικά στο **σχήμα 4.4**. Η δεξαμενή Α είναι μια καινοτόμα διαστρωματοποιημένη δεξαμενή, η Β περιέχει εναλλάκτη με το σπείρωμα να έχει κατεύθυνση από τον πυθμένα προς την κορυφή ενώ η Γ περιέχει εναλλάκτη διπλού σπειρώματος (από τον πυθμένα προς την κορυφή και από την κορυφή προς τον πυθμένα). Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της κορυφής και του πυθμένα της δεξαμενής Γ είναι 8 °C, ενώ η διαφορά για τις δεξαμενές Α και Β είναι 15 °C.. τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η χρήση της καινοτόμου διάταξης στη δεξαμενή Α είχε ως αποτέλεσμα την κατ α15% βελτίωση της απόδοσης του συστήματος σε σχέση με τη Β, ενώ η χρήση εναλλακτών καθοδικής ροής οδήγησε σε μείωση της αποδοτικότητας κατά 20%. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα αυτά προκύπτει ότι η εσωτερική διάταξη των εναλλακτών έχει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της διαστρωμάτωσης, την μεταφορά θερμότητας και την διαδικασία επαναφοράς του εναλλάκτη. Έτσι ο εναλλάκτης πρέπει να έχει σπείρωμα ανοδικής κατεύθυνσης και να είναι τοποθετημένος στο ανώτερο τμήμα του θερμοδοχείου ώστε να εξασφαλίζεται υψηλός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας.



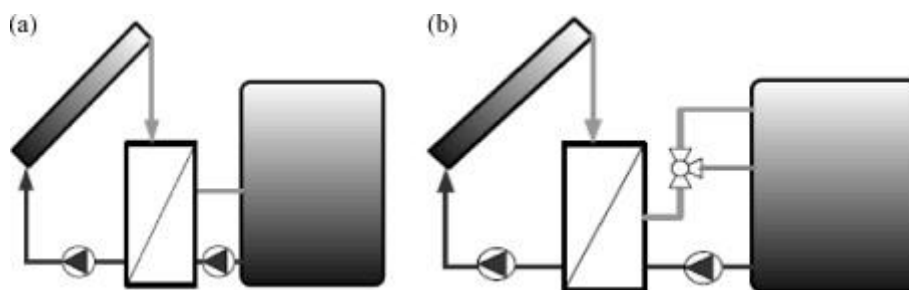
**Σχήμα 4.4.** Σχηματική απεικόνιση τοποθέτησης εμβυθισμένων εναλλακτων σε μελέτη εκτίμησης θερμικής αποδοτικότητας και διαστρωμάτωσης. (Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

### 4.3.3 Στρωματοποιημένο θερμοδοχείο έμμεσης θέρμανσης εξωτερικού εναλλάκτη

Στο **σχήμα 4.5** παρουσιάζεται σχηματικά η λεπτομερής δομή ενός εξωτερικού εναλλάκτη θερμότητας όπου όπως φαίνεται το ηλιακό υγρό ρέει μέσα από την πρωτεύουσα πλευρά του εναλλάκτη. Για τη φόρτιση της δεξαμενής, όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.5.α**, μέσω δευτέρου κυκλοφορητή αντλείται κρύο νερό από το κάτω μέρος της δεξαμενής, ρέει μέσω της δευτερεύουσας πλευράς του εναλλάκτη θερμότητας σε ένα μετρητή ροής και κατόπιν εισέρχεται ξανά στο μέσο της δεξαμενής. Ένα εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας έχει καλύτερες ιδιότητες θερμικής μεταφοράς από μια εσωτερική τύπου. Αντίστοιχα στο **σχήμα 4.5.β** παρουσιάζεται ένα στρωματοποιημένο σύστημα φόρτισης με τριπλή βαλβίδα για είσοδο του θερμού νερού σε δύο διαφορετικά ύψη, δηλαδή στο μέσο και την κορυφή της δεξαμενής.

Οι (Parent M.G.) ανέλυσαν έναν εναλλάκτη θερμότητας κελύφους-σωλήνα τοποθετημένο στο εξωτερικό διαστρωματοποιημένη δεξαμενής στον οποίο ο βρόχος φυσικής συναγωγής

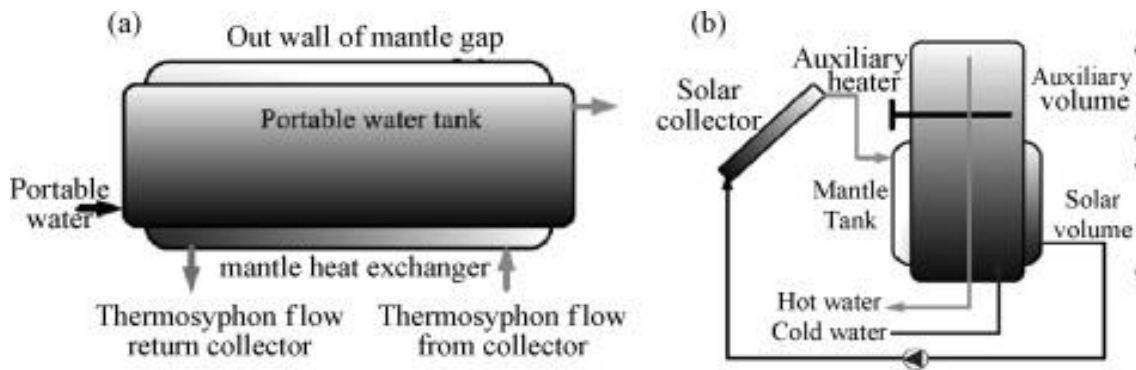
βρίσκεται στη δεξαμενή νερού και όχι στο υγρό του συλλέκτη, και η ροή προκαλείται από τη διαφορά πυκνότητας λόγω διαστρωμάτωση στη δεξαμενή αποθήκευσης. Οι (Parent M.G.) πρότειναν τη διαμόρφωση αυτή ως πιο πρακτική σε σχέση με εκείνη εμβυθισμένου τύπου γιατί φαίνεται να αποτρέπει την και συνεπώς να διατηρεί καλύτερα τη θερμική διαστρωμάτωση. Η ανάλυσή τους βασίστηκε σε δύο θεωρητικά μοντέλα καθώς και πειραματικές μετρήσεις. Για τις διαφορετικές διατάξεις που διερευνήθηκαν, η αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη θερμότητας κυμαίνονταν από 40 έως 99%. Εν τη συνεχεία οι (Fraser K.F., 55 (1995)) και οι Dahl και Davidson (1997) προχώρησαν ερευνητικά στον χαρακτηρισμό αυτού του είδους εναλλάκτη ως ρυθμό ροής μέσω φυσικής συναγωγής με σκοπό τη χρήση του σε ηλιακούς θερμοσίφωνες. Από τις εργασίες αυτές προτάθηκε ότι εάν οι θερμοκρασίες και ο ρυθμό ροής είναι γνωστά τότε η μεταφορά θερμότητας στη δεξαμενή αλλά και η τοπολογία της μεταφοράς μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια.



**Σχήμα 4.5.** Σχηματική απεικόνιση δύο τύπων εξωτερικών εναλλακτών που χρησιμοποιούνται σε θερμικά διαστρωματοποιημένη δεξαμενή : (α) εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας και (β) εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας με κύκλωμα παράκαμψης. (Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

#### 4.3.4 Στρωματοποιημένο θερμοδοχείο έμμεσης θέρμανσης με εναλλάκτη μανδύα

Η διάταξη ενός εναλλάκτη θερμότητας με μανδύα έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα γιατί παρέχει μεγάλη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας και ένα επαρκές και επιθυμητό πρότυπο ροής του ηλιακού υγρού στο μανδύα. Έτσι ο εναλλάκτης θερμότητας μανδύα καθίσταται ως ένας από τους απλούστερους και φθηνότερους τρόπους επίτευξης υψηλής αποτελεσματικότητας και προάγει τη θερμική διαστρωμάτωση. Τα πλεονεκτήματα του εναλλάκτη θερμότητας μανδύα περιλαμβάνουν: (1) απλότητα του σχεδιασμού λόγω του συνδυασμού της δεξαμενής θερμού νερού και εναλλάκτη θερμότητας σε μία μονάδα (2) μεγαλύτερη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας (3) μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Στην εργασία του (Furbo, 1993) πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη τριών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού με εναλλάκτες θερμότητας χαμηλής ροής και διαπιστώθηκε ότι η κάθετη διάταξη τύπου μανδύα είχε κατά πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με τις αντίστοιχες εμβυθισμένου εναλλάκτη και εναλλάκτη εξωτερικού τύπου κελύφους-σωλήνα. Οι δύο κύριες διατάξεις που αναλύθηκαν από τον (Furbo, 1993) παρουσιάζονται στο **σχήμα 4.6**.



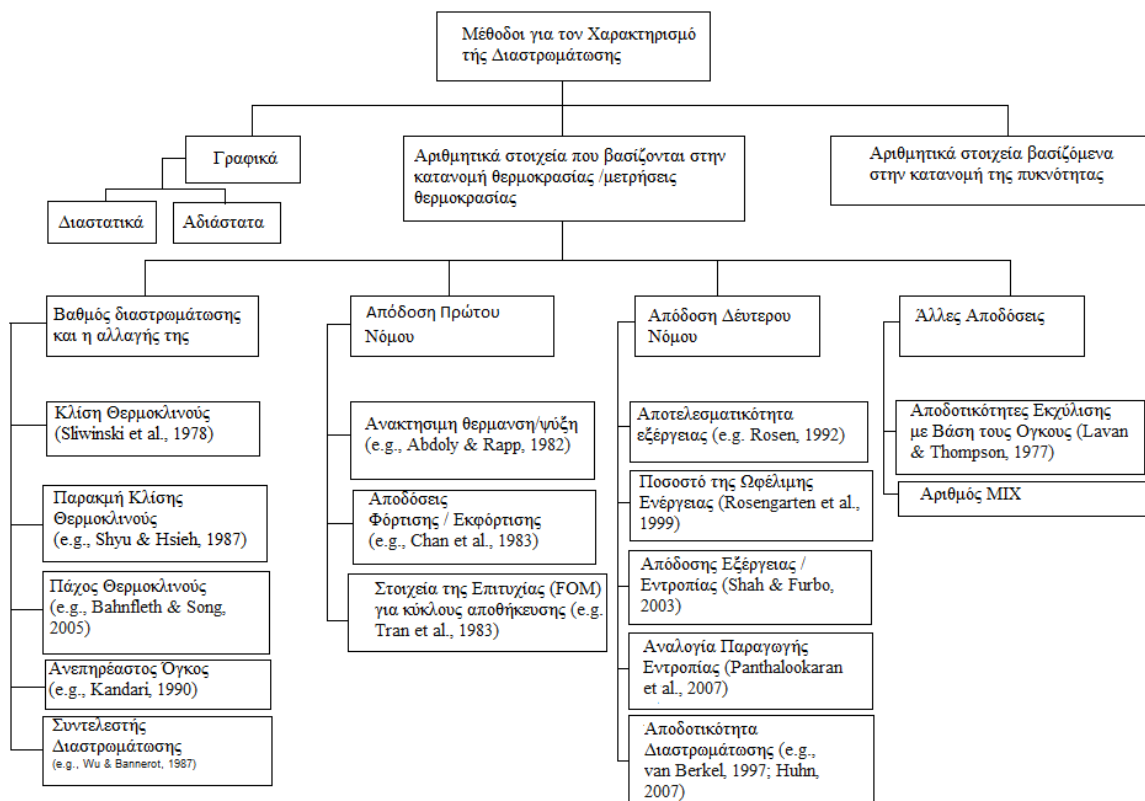
**Σχήμα 4.6.** Σχηματική απεικόνιση δύο τύπων εναλλακτών μανδύα που χρησιμοποιούνται σε θερμικά διαστρωματοποιημένη δεξαμενή ηλιακής θέρμανσης. (Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai, 2008)

Οι ερευνητικές ομάδες των Buenconsejo (1994) και των (Nasr A., 1997) προχώρησαν στη μελέτη των οριζόντιων εναλλακτών θερμότητας τύπου μανδύα, χρησιμοποιώντας οπτικοποίηση ροής και υπολογιστική μοντελοποίηση αντίστοιχα (CDF). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όταν η εσωτερική δεξαμενή είναι διαστρωματοωμένη, σχηματίζονται στο δακτυλιοειδή χώρο εναλλάκτη θερμότητας ζώνες ανακυκλοφορίας με αποτέλεσμα την μεταφορά περισσότερης θερμότητας στον πυθμένα του δοχείου, και κατ' επέκταση μείωση της διαστρωμάτωσης της δεξαμενής. Αν και στον οριζόντιο εναλλάκτη θερμότητας τύπου μανδύα η ροή δεν χαρακτηρίζεται από ελεύθερη συναγωγή, αποδείχθηκε ότι οι δυνάμεις άνωσης μεταβάλλουν το πεδίο ροής, υποδεικνύοντας έτσι ότι η ροή χαρακτηρίζεται τελικά από συναγωγή μεικτού τύπου.

Οι (Baur J.M., S.A. Klein, W.A. Beckman., 1993) πραγματοποίησαν μελέτη με κάθετους εναλλάκτες θερμότητας μανδύα για ηλιακά συστήματα με κυκλοφορία άντλησης. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα τους, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπήρξε μικρή διαφορά στην ετήσια απόδοση μεταξύ της διάταξης κάθετου μανδύα και εξωτερικού εναλλάκτη θερμότητας. Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα των (Shah L.J., 75 (2003)) σύμφωνα με τα οποία το μεγαλύτερο μέρος του εισερχόμενου ρευστού του μανδύα επιδιώκει τη θερμική ισορροπία στο επίπεδο του μανδύα, και τη θερμική διαστρωμάτωση του μανδύα ενώ το εσωτερικό δοχείο δεν διαταράσσεται..

5.1 Μέθοδοι Προσδιορισμού της Αποτελεσματικότητας της Διαστρωμάτωσης

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για να χαρακτηρίσουν την θερμική διαστρωμάτωση μέσα της δεξαμενές νερού. Στην εικόνα (5.1) βλέπουμε της διάφορες μεθόδους και τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν το φαινόμενο της διαστρωμάτωσης. Όπως αναφέρει ο (Panthalookaran, 2007) ότι πιο αποδοτικές μέθοδοι είναι είτε με την χρήση του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου( ενεργειακή προσέγγιση) , είτε με την χρήση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου( προσέγγιση εξέργειας η εντροπίας).Οι (Michel Y. Haller, 2009) αναλύουν 4 μεθόδους στην έρευνα τους που θα δούμε παρακάτω.



Εικόνα 5.1 Διαφορετικές μέθοδοι για χαρακτηρισμό της θερμικής διαστρωμάτωσης. (Michel Y. Haller, 2009)

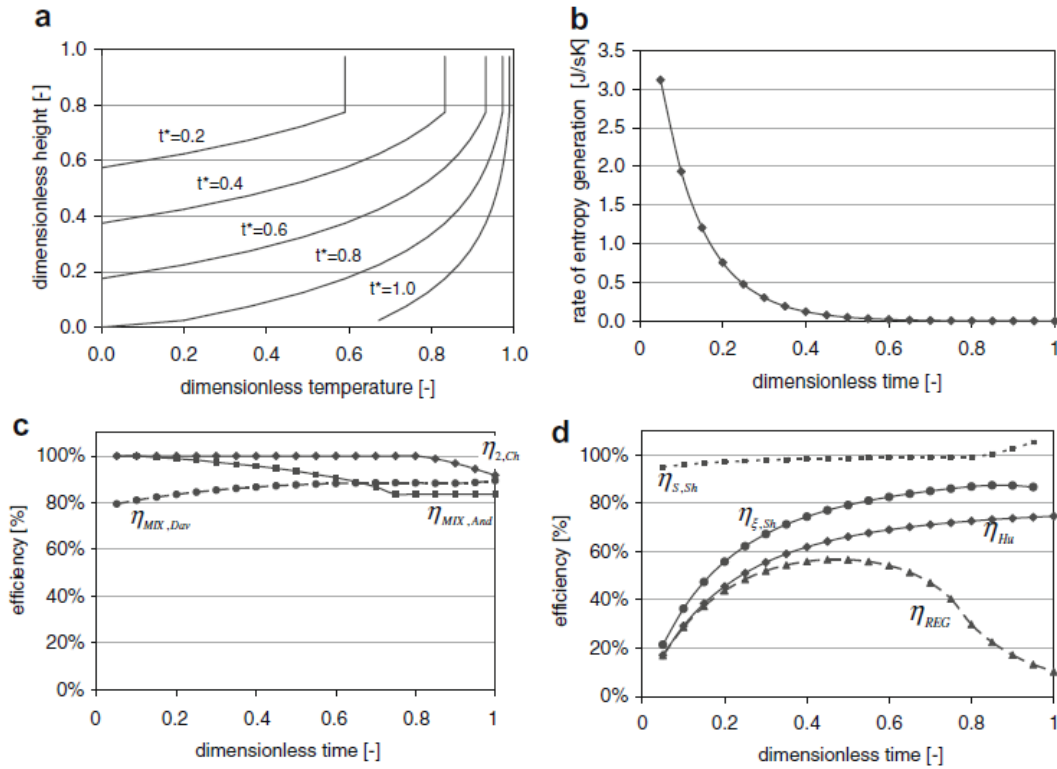
5.1.1 Γραφικές Παρουσιάσεις και Αδιάστατες Θερμοκρασίες, Ύψος και Χρόνος

Ο πιο απλός τρόπος αποτύπωσης της θερμικής διαστρωμάτωσης είναι σε διαγράμματα και γραφικές παραστάσεις. Οι άξονες των διαγραμμάτων μπορεί να έχουν κανονικά οι αδιάστατα δεδομένα. Αδιάστατες τιμές μπορεί να είναι το ύψος της δεξαμενής τα θερμοκρασία και ο χρόνος. Οι αδιαστατές τιμές έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να δήξουμε πειραματικά αποτελέσματα σε ένα διάγραμμα.

$$\text{Ύψος} : y^* = \frac{y}{H} \text{ όπου} \tag{5.1}$$

$$\text{Θερμοκρασία} : T^* = \frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \tag{5.2}$$

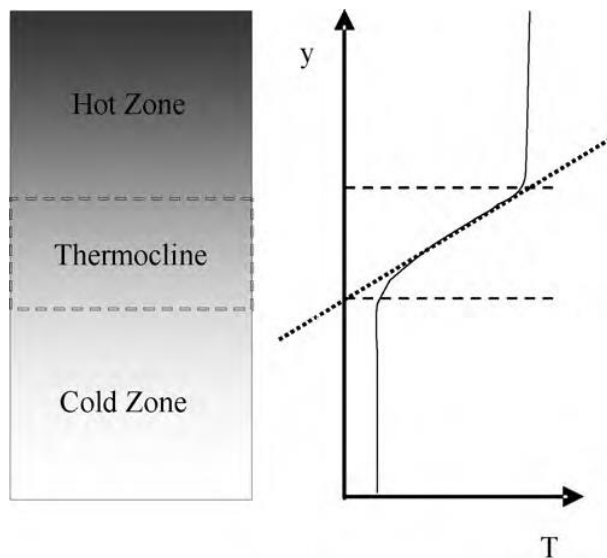
$$\text{Χρόνος : } t^* = \frac{t \cdot \dot{m}}{m_{store}} \quad (5.3)$$



**Εικόνα 5.2** θερμοκρασιακά προφίλ(a), παραγωγή εσωτερικής εντροπίας (b), η εξέλιξη των αποδόσεων της διαστρωμάτωσης βασισμένες στην ενέργεια(c) και βασισμένες στον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο (d) κατά την κατάσταση αδρανείας της δεξαμενής στο πείραμα των (Michel Y. Haller, 2009)

### 5.1.2 Δείκτες για τον Βαθμό της Διαστρωμάτωσης

Ένας άλλος τρόπος να υπολογίσουμε την θερμική διαστρωμάτωση είναι να ποσοτικοποιήσουμε την θερμοκρασία και το πάχος του θερμοκληνούς. Αν το πάχος του θερμοκληνούς είναι μικρό τότε η διαστρωμάτωση είναι μεγάλη ενώ αν είναι μικρό τότε έχουμε μικρό ποσοστό διαστρωμάτωσης. Στο σχήμα 5.3 βλέπουμε την αναπαράσταση στρωματοποιημένου δοχείου και δίπλα το διάγραμμα θερμοκρασίας ύψους.



**Εικόνα 5.3** Αναπαράσταση θερμοκληνούς σε διαστρωματοποιημένο δοχείο (Cynthia A. Cruickshank, 2010)

### 5.1.3 Αποδοτικότητα Διαστρωμάτωσης με Βάση τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής

Οι αποδοτικότητα της διαστρωμάτωσης μέσα από τον πρώτο Θερμοδυναμικό νόμο υπολογίζει το ποσό ενέργειας εκείνο που ανακτάτε με την διαδικασία φόρτισης η αποφόρτισης της δεξαμενής.

Ο (Abdoly, 1982.) καθόρισε ένα κομμάτι της ανακτήσιμης θερμότητας σαν ένα μέτρο της καταστροφής του θερμοκληνούς κατά την αποθήκευση. Έτσι μετά από έρευνες των (Nelson, 1999) (Zurigat, 2002) δόθηκε ο παρακάτω τύπος για τον καθορισμό της αποδοτικότητας φόρτισης και εκφόρτωσης της δεξαμενής.

$$\eta_{ZG} = \frac{\int_0^{t_d} \dot{m} \cdot c \cdot |T_{out} - T_{inlet}| dt}{m_{store} \cdot c \cdot |T_{inlet} - T_{ini}|} \quad (5.4)$$

Όπου το  $t_d$  αντιπροσωπεύει τον χρόνο όπου η θερμοκρασιακή διαφορά έχει κατέβει πιο πολύ από 20% της αρχικής θερμοκρασίας.

$c$  = ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kg K)

$\dot{m}$  = ρυθμός ροής μάζας (kg/s)

$T_{out}$  = θερμοκρασία εξερχόμενου ρευστού(°C)

$T_{inlet}$  = θερμοκρασία εισερχόμενου ρευστού(°C)

$T_{ini}$  = αρχική θερμοκρασία (°C)

$m_{store}$  = μάζα ρευστού που είναι αποθηκευμένη (kg)

Ο (Chan, 1983) ανάλυσε την αποδοτικότητα θερμικής αποθήκευσης κατά τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Καθόρισε δύο συγγενικές αποδόσεις για φόρτωση και εκφόρτωση. Το  $\eta_{1,ch}$ (5.4a) αντιπροσωπεύει την πραγματική αλλαγή ενέργειας σε χρόνο  $t$  διαιρούμενη προς την μέγιστη αλλαγή ενέργειας μετά την ιδανική αντικατάσταση ροής όλου του όγκου της δεξαμενής. Ενώ το  $\eta_{2,ch}$ (5.4b) αντιπροσωπεύει την πραγματική αλλαγή ενέργειας διαιρούμενη με την αλλαγή ενέργειας που θα συνέβαινε στο ίδιο πείραμα να υποθέταμε ιδανική ροή ρευστού.

$$\eta_{1,Ch}(t) = \frac{m_{store} \cdot c \cdot [T_{avg}(t) - T_{ini}]}{m_{store} \cdot c \cdot [T_{inlet}(t) - T_{ini}]} \quad (5.4a)$$

$$\eta_{1,Ch}(t) = \frac{\eta_{1,Ch}(t)}{t^*} \quad (5.4b)$$

$T_{avg}$  = μέση θερμοκρασία αποθήκευσης (°C)

$t^*$  = αδιαστάτος χρόνος (sec)

$c$  = ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kg K)

$T_{inlet}$  = θερμοκρασία εισερχόμενου ρευστού (°C)

$T_{ini}$  = αρχική θερμοκρασία (°C)

$m_{store}$  = μάζα ρευστού που είναι αποθηκευμένη (kg)

#### 5.1.4 Αποδοτικότητα Διαστρωμάτωσης με Βάση τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής

Οι μέθοδοι βασισμένες στον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο είναι τις περισσότερες φορές αλλά όχι πάντα χρήσιμες όταν η αποθηκευμένη ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου. Σε αυτήν την περίπτωση η εξέργεια που αποθηκεύτηκε και όχι η ενέργεια είναι το θερμοδυναμικό όριο του έργου που μπορεί να παραχθεί. Πολλές έρευνες έχουν γίνει σε αυτόν τον τομέα από τους (Krane, 1987), (Rosen, 1992).

##### 5.1.4.1 Η Εξέργεια στην Θερμική Διαστρωμάτωση

Πολλές θερμοδυναμικές αναλύσεις έχουν βασιστεί πάνω στον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο όπου αντιπροσωπεύει την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Μία ενεργειακή ανάλυση ενός συστήματος είναι αναγκαία για να καταλάβουμε τις ενέργειες που εισέρχονται και εξέρχονται από το σύστημα. Οι δεξαμενές αποθήκευσης Z.N.X στην περίπτωση μας είναι μία θερμική αποθήκη που συγκρίνεται με βάση την ενεργειακή τους απόδοση. Παρόλα αυτά η ενεργειακή απόδοση δεν μας δείχνει την πραγματική απόδοση των δεξαμενών αποθήκευσης Z.N.X.

Η ανάλυση της εξέργειας από την άλλη βασίζεται στον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής που είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό των αιτίων, των θέσεων και τα μεγεθών των διαδικασιών που είναι ανεπαρκείς. Με άλλα λόγια η ανάλυση της εξέργειας καθορίζει τα θεωρητικά όρια σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με το να δείχνει ότι μόνο ένα ποσοστό της εισερχόμενης θερμικής εξέργειας που μπορεί να ανακτηθεί.

Έτσι λοιπόν οι λόγοι για τους οποίους οι σύγχρονοι ερευνητές επιλέγουν την ανάλυση ενός θερμοδοχείου βάση της εξέργειας είναι οι παρακάτω σύμφωνα με τα λεγόμενα του (ROSEN, 2000) :

- Οι απώλειες εξέργειας αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές απώλειες του δυναμικού που υπάρχει για να παράγει την απαιτούμενη θερμική ενέργεια με μικρές απώλειες θερμοκρασίας από την δεδομένη είσοδο( είσοδος θερμικής ενέργειας και ρεύματος στην περίπτωση των θερμοδοχείων). Αυτό δεν γίνεται μελετώντας τις ενεργειακές απώλειες.
- Η ανάλυση της εξέργειας πάντα μας δείχνει το μέτρο του πόσο ένα σύστημα πλησιάζει το ιδανικό ή θεωρητικά ιδανικό όριο του.

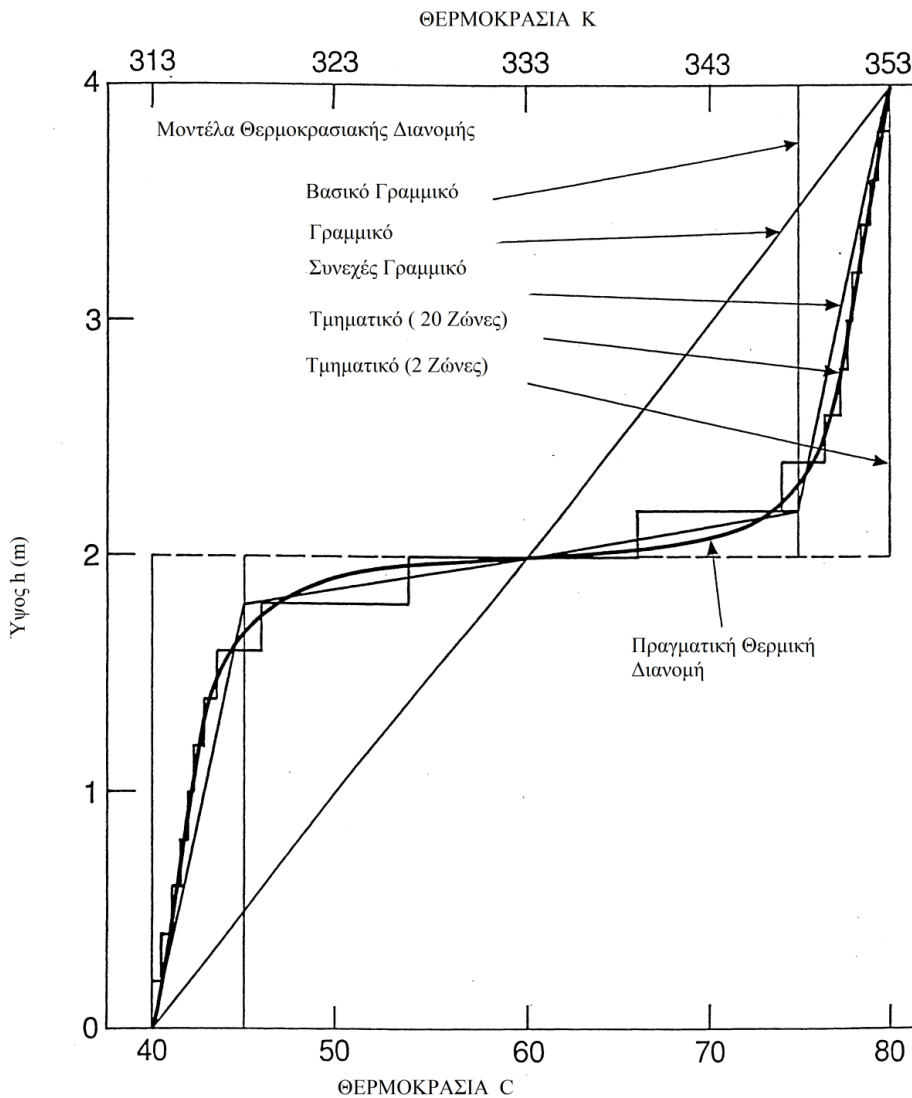
Έτσι λοιπόν η ανάλυση της εξέργειας σε ένα θερμοδοχείο μας βοηθάει να καθορίσουμε την ποιότητα της θερμικής διαστρωμάτωσης τόσο θεωρητικά αλλά και ρεαλιστικά.



## 5.2 Μοντέλα Θερμοκρασιακής Διανομής

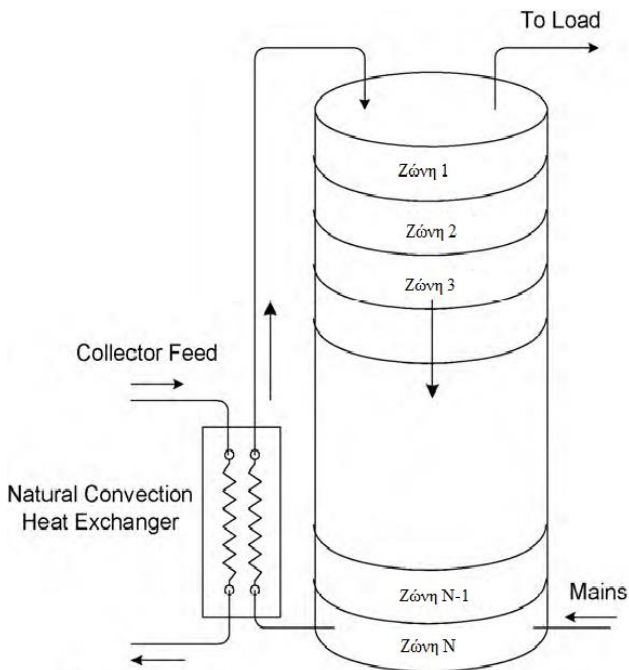
Τα μοντέλα θερμοκρασιακής διανομής είναι έξι σύμφωνα με την έρευνα του (ROSEN, 2000). Οι θερμοκρασιακές διανομές αυτές δεν είναι οι μοναδικές αλλά είναι απλές αφού επιτρέπουν στις τιμές της ενέργειας και εξέργειας να λαμβάνονται αναλυτικά και συνάμα πολύπλοκες για την παραγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων. Τα μοντέλα θερμοκρασιακής διανομής είναι τα παρακάτω:

1. Γραμμικό μοντέλο θερμοκρασιακής διανομής
2. Τμηματικό μοντέλο θερμοκρασιακής διανομής
3. Συνεχές γραμμικό μοντέλο
4. Βασικό γραμμικό μοντέλο
5. Βασικό μοντέλο θερμοκρασιακής διανομής τριών ζωνών
6. Γενικό μοντέλο θερμοκρασιακής διανομής τριών ζωνών

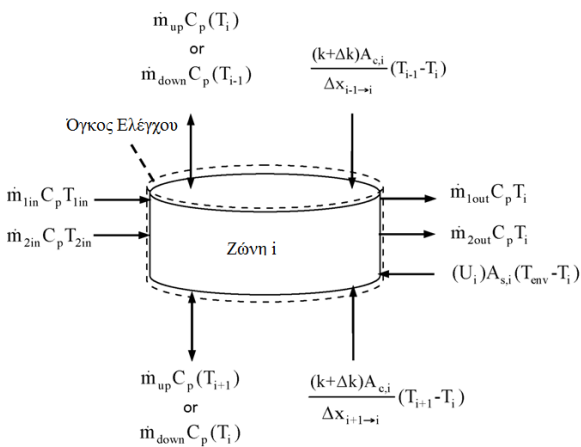


**Εικόνα (5.4)** Παράδειγμα ρεαλιστικής απεικόνισης θερμοκρασιακής διανομής και μερικά από τα μοντέλα θερμοκρασιακής διανομής που χρησιμοποιούνται για να την εκφράσουν. (ROSEN, 2000)

Το κάθε ένα από τα έξι μοντέλα θερμοκρασιακής διανομής έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το γραμμικό μοντέλο είναι απλό στην χρήση αλλά δεν αρκετά ευέλικτο ώστε να ταιριάζει με το ευρύ φάσμα των πραγματικών κατανομών θερμοκρασιών. Το τμηματικό, το συνεχές γραμμικό και το βασικό γραμμικό είναι ευέλικτα και αν οι ζώνες είναι αρκετά μικρές μπορούν με ακρίβεια να καθορίσουν την θερμοκρασιακή διανομή. Παρόλο που το βασικό και συνεχές γραμμικό μοντέλο εμπεριέχει πιο πολύπλοκες εξισώσεις, χρειάζονται λιγότερες ζώνες από το τμηματικό μοντέλο για να πετύχουν παρόμοια αποτελέσματα.



**Εικόνα (5.5)** Τμηματικό μοντέλο θερμοκρασιακής διανομής (Cynthia A. Cruickshank, 2010)



**Εικόνα (5.6)** Όγκος ελέγχου που χρησιμοποιείτε για να καθορίσει την ροή μάζας και ενέργειας μέσα και έξω από την ζώνη  $i$  όπου  $1 < i < N$  (Cynthia A. Cruickshank, 2010)

### 5.3 Αδιάστατοι Αριθμοί που Περιγράφουν την Θερμική Διαστρωμάτωση

Όπως εξηγήσαμε παραπάνω η θερμική διαστρωμάτωση σε ένα θερμοδοχείο δημιουργείται από την διαφορά πυκνότητας μεταξύ του κρύου και ζεστού νερού. Το ενδιάμεσο πεδίο μεταξύ κρύου και ζεστού νερού ονομάζεται θερμοκληνές και όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας του κρύου με το ζεστό νερό τόσο μεγαλύτερη είναι η ποιότητα της διαστρωμάτωσης. Πολλές έρευνες έχουν γίνει για να καθοριστεί ένας αδιάστατος αριθμός που θα καθορίζει την ποιότητα της θερμικής διαστρωμάτωσης. Από έρευνα των (A. Castell, M. Medrano, C. Solé, L.F. Cabeza, 2010) πέντε αδιάστατοι αριθμοί που μπορούν να περιγράψουν την θερμική διαστρωμάτωση είναι οι παρακάτω:

#### 1. Αριθμός MIX

Ο αριθμός MIX βασίζεται στο επίπεδο θερμοκρασιακής και ενεργειακής διανομής στο δοχείο και καθορίζεται από την πρώτη στιγμή ενέργειας. Είναι η διαφορά της στιγμιαίας ενέργειας μεταξύ μίας τέλεια διαστρωματοποιημένης δεξαμενής και μιας πειραματικής δεξαμενής, προς την διαφορά της στιγμιαίας ενέργειας μίας τέλεια διαστρωματοποιημένης δεξαμενής και μίας τελείως αναμιγμένης.

$$MIX = \frac{(M_{E, stratified} - M_{E, actual})}{(M_{E, stratified} - M_{E, fully-mixed})} \quad (a.1)$$

Όπου:

$$M_E = \sum_{i=1}^n y_i \cdot E_i \quad (a.2)$$

$$E_i = \rho \cdot V_i \cdot C_p \cdot T_i \quad (a.3)$$

$\rho$ : πυκνότητα του νερού  $kg/m^3$

$V$ : όγκος ελέγχου  $m^3$

$C_p$ : ειδική θερμότητα του νερού,  $kJ / kg K$

$T$ : θερμοκρασία του νερού  $^{\circ}C$

$E$ : Ενέργεια του νερού  $kJ$

$M_{E, stratified}$  = Στιγμιαία ενέργεια διαστρωματοποιημένης δεξαμενής

$M_{E, actual}$  = Στιγμιαία ενέργεια πειραματικής δεξαμενής

$M_{E, fully-mixed}$  = Στιγμιαία ενέργεια τελείως αναμιγμένης δεξαμενής

$y_i$  = τμήματα αποθήκευσης ( $m$ )

Ο αριθμός MIX κυμαίνεται από 0 μέχρι 1, όπου  $MIX=1$  αντιπροσωπεύει το τέλεια διαστρωματοποιημένο δοχείο και  $MIX=0$  όταν δεν υπάρχει καθόλου διαστρωμάτωση.

#### 2. Αριθμός Richardson

Ο αριθμός Richardson είναι ο πιο χρήσιμος αριθμός για να περιγράψει την διαστρωμάτωση.

Είναι ένα μέτρο της αναλογίας των δυνάμεων άνωσης προς τις δυνάμεις ανάμιξης.

$$Ri = \frac{g \cdot \beta \cdot H \cdot (T_{top} - T_{bottom})}{v_s^2} \quad (a.4)$$

Όπου:

$$v_s = \frac{Q}{\pi \cdot r_{stratifier}^2} \quad (a.5)$$

$g$ : επιτάχυνση βαρύτητας  $m^2/s$

$\beta$ : συντελεστής θερμικής διαστολής  $1/^\circ C$

$H$ : Ύψος της δεξαμενής  $m$

$T_{top}$ : Θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής  $^\circ C$

$T_{bottom}$ : Θερμοκρασία στο κάτω μέρος της δεξαμενής  $^\circ C$

$Q$ : Ταχύτητα ροής εκφόρτωσης  $m^3/s$

$r_{stratifier}$ : ακτίνα διαστρωματοποιητή( στομίου εισόδου νερού)  $m$

$v_s$ : Μέση ταχύτητα του νερού στον διαστρωματοποιητή( στο στόμιο εισόδου)

Όταν ο αριθμός Richardson είναι μικρός σημαίνει μεικτή διαστρωμάτωση, ενώ όταν είναι μεγάλος σημαίνει καλή διαστρωμάτωση.

### 3. Αναλογία (Υ/Δ)

(Υ/Δ) είναι οι παράμετροι Ύψους Και Διαμέτρου του δοχείο. Ένα ψηλό δοχείο έχει καλύτερη διαστρωμάτωση από ένα χαμηλό. Έτσι λοιπόν όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία τόσο καλύτερη διαστρωμάτωση έχουμε. Έρευνα των Lavan και Thompson [] έδειξε ότι ένας αριθμός 3-4 είναι ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ απόδοσης και κόστους.

### 4. Αναλογία Αποτελεσματικότητας Εκκένωσης

Η αποτελεσματικότητα εκκένωσης είναι μία αναλογία που συγκρίνει το ποσοστό χρήσιμης θερμότητας που μπορεί να φύγει από το δοχείο με την συνολική θερμότητα ανάκτησης. Αυτή η αναλογία μας βοηθάει να αξιολογήσουμε την θερμική διαστρωμάτωση κατά τη διάρκεια της εκκένωσης.

$$\eta_d = \frac{Q_d}{Q_o} \quad (a.6)$$

Όπου:

$$Q_o = M_t \cdot C_p \cdot (T_{start} - \bar{T}_{in}) \quad (a.7)$$

$$Q_d = \sum \dot{m}_d \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \cdot \Delta T \quad \mu\epsilon \quad T_{out} \geq 45^\circ C \quad (a.8)$$

$Q_d$ : ενεργεία αποθηκευμένη στο δοχείο,  $kJ$

$Q_o$ : χρήσιμη ενέργεια που έχει φύγει από το δοχείο,  $kJ$

$M_t$ : Η συνολική μάζα του νερού κατά την έναρξη του πειράματος  $kg$

$T_{start}$ : Θερμοκρασία νερού κατά την έναρξη του πειράματος  $^\circ C$

$T_{in}$ : θερμοκρασία του νερού εισόδου  $^\circ C$

$\dot{m}_d$ : ρυθμός ροής μάζας εκκένωσης  $kg/s$

$T_{out}$ : θερμοκρασία του νερού εξόδου  $^\circ C$

$\Delta T$ : Διακύμανση χρόνου μεταξύ δύο διαδοχικών ονομαστικών δεδομένων  $sec$

## 5. Αριθμός Peclet

Ο αριθμός Peclet μας δίνει την σχέση μεταξύ μαζικής μεταφοράς θερμότητας και αγωγή μεταφορά θερμότητας.

$$Pe = \frac{v \cdot H}{a} \quad (a.9)$$

Όπου

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot r_{tank}^2} \quad (a.10)$$

$r_{tank}$ : ακτίνα δεξαμενής m

$v$ : μέση ταχύτητα του νερού μέσα στο δοχείο, m/s

$a$ : θερμική διαχυτότητα (thermal diffusivity), m<sup>2</sup>/s

## 6. Αριθμός Reynolds

$$Re = \frac{\rho v_s \cdot D_{stratifier}}{\mu} \quad (a.11)$$

Όπου:

$\mu$ : δυναμικό ιξώδες, Ns / m<sup>2</sup>

$D_{stratifier}$ : διάμετρος διαστρωματοποιητή (στομίου εισόδου νερού) m

$v_s$ : είναι η μέγιστη επιτάχυνση του νερού στον διαστρωματοποιητή (m/s) όπως φαίνεται από την εξίσωση [α.5]

Ο αριθμός Reynolds αντιπροσωπεύει το λόγο της αδράνειας στις δυνάμεις ιξώδους. Όταν το ιξώδες μειώνετε με την αύξηση της θερμοκρασίας, τότε ο αριθμός Reynolds αυξάνετε. Ο αριθμός Reynolds χρησιμοποιείτε μαζί με άλλους αδιάστατους αριθμούς για να καθορίσει την θερμική διαστρωμάτωση στο δοχείο.

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που πρέπει να αναλύσουμε για να αξιολογήσουμε την θερμική διαστρωμάτωση σε ένα δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού είναι ο ρυθμός ροής του νερού, η θερμοκρασία εισροής(είσοδος) και εκροής(έξοδος) νερού στο δοχείο και τέλος οι θερμικές ιδιότητες.

Συμφώνα με την μελέτη των (A. Castell, M. Medrano, C. Solé, L.F. Cabeza, 2010) ο αριθμός Richardson και η αναλογία αποτελεσματικότητας εκκένωσης είναι αυτοί που συμπεριλαμβάνουν όλες τις παραπάνω παραμέτρους. Ο αριθμός Richardson αντιπροσωπεύει την συμπεριφορά του δοχείου νερού σωστά όταν συμβαίνει η διαστρωμάτωση. Το μεγαλύτερο αρνητικό του αριθμού Richardson είναι ότι εξηγεί την διαστρωμάτωση ποιοτικά, αλλά είναι δύσκολο να το αξιολογήσει ποσοτικά. Ο αριθμός MIX προσφέρει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα αλλά απαιτεί πολύπλοκη και χρονοβόρα πειραματική διαδικασία. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει ένας μοναδικός αδιάστατος αριθμός που να περιγράφει το φαινόμενο της διαστρωμάτωσης σε όλες της φάσεις του δοχείου(πριν και μετά την δημιουργία η καταστροφή διαστρωμάτωσης). Πρέπει λοιπόν να

χρησιμοποιούμε τον σωστό αριθμό για να περιγράψουμε την παράμετρο ή την φάση που μας ενδιαφέρει. (φόρτωση, εκφόρτωση, αδράνεια δεξαμενής)

#### 5.4 Μοντέλα θερμικής διαστρωμάτωσης

Η ανάπτυξη κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων μέσω αλγεβρικών εξισώσεων που περιγράφουν τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός και εκτός της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού, είναι εξαιρετικά σημαντική για την μελέτη και την κατανόηση του φαινομένου της θερμικής διαστρωμάτωσης εντός της δεξαμενής. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύνοψη του φυσικού μηχανισμού της θερμικής διαστρωμάτωσης καθώς και περιγραφή των βασικών τύπων και των συνιστωσών των μαθηματικών μοντέλων που έχουν προταθεί.

##### 5.4.1 Μονοδιάστατα μοντέλα

Έως σήμερα έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή και πρόβλεψη της θερμικής διαστρωμάτωσης που αφορά σε δύο κυρίως τύπους δεξαμενών αποθήκευσης θερμού νερού: τον θερμικά διαστρωματοποιημένο τύπο και τον ισορροπημένου τύπου. Σύμφωνα με τους (Sagara K, 1985) το μοντέλο του θερμικά διαστρωματοποιημένου τύπου δύναται επίσης να εφαρμοστεί και για την μελέτη ισορροπημένης δεξαμενής, που αποτελεί ουσιαστικά εξελιγμένο τύπο, μετά από κατάλληλες τροποποιήσεις. Οι Caldwell και Bahnfleth (1998) πρότειναν διάφορα μονοδιάστατα μοντέλα προκειμένου για την περιγραφή των προτύπων ανάμειξης σε διαστρωματοωμένες δεξαμενές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με κρύου νερού. Στα απλούστερα μοντέλα γίνεται η θεώρηση ότι ανάμειξη ότι είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση της δεξαμενής, ενώ άλλα μοντέλα προβλέπουν χωρική διακύμανση της έντασης ανάμειξης.

Το τυπικό φυσικό πρότυπο διαστρωματοποιημένης δεξαμενής που χρησιμοποιείται κατά την περιγραφή των μοντέλων παρουσιάζεται στο **σχήμα 5.7** όπου όπως φαίνεται η δεξαμενή χωρίζεται σε  $N$  ίσα στοιχεία κατά μήκος της κατεύθυνσης ροής. Τα κυριότερα μονοδιάστατα μαθηματικά μοντέλα συνοψίζονται στη συνέχεια.

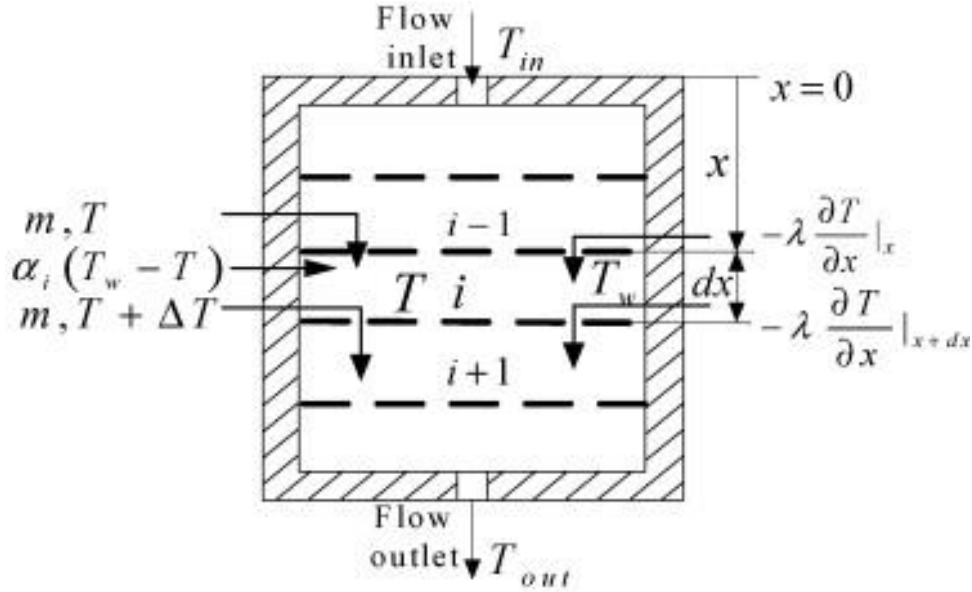
Πρώτο είδος μονοδιάστατο μοντέλου είναι το θερμικά διαστρωματοωμένο μοντέλο, που περιγράφεται από τις βασικές εξισώσεις 5.5 έως 5.8 και στο οποίο το  $\delta$  διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της θέσης της εισερχόμενης ροής. Το νερό μπορεί να βρει την αντίστοιχη θέση σύμφωνα με τη θερμοκρασία του.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_{p,s}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \delta \cdot \frac{\dot{m}_s}{\rho c_{p,s}} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5.5)$$

$$\delta = \begin{cases} 0, & T > T_{in} \\ 1, & T \leq T_{in} \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_{p,s}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\dot{m}}{\rho c_p} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{hP}{Ap} \cdot (T_w - T) \quad (5.7)$$

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = a_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + \frac{a_o P}{A_w \rho_w c_w} (T_\infty - T_w) - \frac{a_s P}{A_w \rho_w c_w} (T_w - T) \quad (5.8)$$



**Σχήμα 5.7.** Σχηματική απεικόνιση θερμικά διαστρωματοποιημένης δεξαμενής.

Τα επόμενα δυο μοντέλα προτάθηκαν και εξελεγχθήκαν από τον (Alizadeh), και διακρίνονται στο μοντέλο τυρβώδους αναμίξεως που περιγράφεται από τις εξισώσεις 5.9 έως 5.11 και το μοντέλο ανάμιξης με εκτόπιση που περιγράφεται από τις εξισώσεις 5.12 και 5.13.

$$T(i, n) = \frac{\{[V(i) - (\frac{\Delta V}{m})]T(i, n-1) + (\frac{\Delta V}{m})T_{in}\}}{V(i)}, (i \leq m) \quad (5.9)$$

$$T(i, n) = \frac{\{[V(i) - \Delta V]T(i, n-1) + \Delta VT(i-1, n-1)\}}{V(i)}, (i > m) \quad (5.10)$$

$$T(i, n) = \frac{\{[V(i) - (\frac{\Delta V}{m})]T(i, n-1) + (\frac{\Delta V}{m})T_{in} + a_2(i)T_0 + \frac{a_1(i)[T(i, n-1) - T(i-1, n-1)]}{a(i)}\}}{V(i)}, (i \leq m) \quad (5.11)$$

$$T(i, n) = \frac{\{[V(i) - (\Delta V)]T(i, n-1) + \Delta VT(i-1, n-1) + a_2(i)T_0 + a_1(i)[T(i, n-1) - T(i-1, n-1)]\}}{a(i)}, (i \leq m) \quad (5.12)$$

$$T(i, n) = \frac{\left\{ \left[ V(i)T(i, n-1) - \left( \frac{\Delta V}{m T_{in}} \right) \right] + (i-1) \left( \frac{\Delta V}{m} \right) T(i-1, n-1) \right\}}{\left[ v(i) + i \left( \frac{\Delta V}{m} \right) \right]}, \quad (i \leq m)$$

(4.9)

$$T(i, n) = \frac{\{ [V(i) - \Delta V] T(i, n-1) + \Delta V T(i-1, n-1) \}}{V(i)}, \quad (i > m) \quad (5.13)$$

Και τα δύο θεωρούν την διαμερισματοποίηση της δεξαμενής σε 'N' στοιβάδες ίσου όγκου. Επίσης προβλέπουν ότι το κρύο νερό επιτρέπεται να εισέλθει από τον πυθμένα της δεξαμενής και γίνεται η θεώρηση ότι αναμιγνύεται με της αρχικές στοιβάδες πυθμένα 'm'. Εδώ η θερμοκρασία  $T(i, n)$  είναι η θερμοκρασία της στοιβάδας  $i$  σε χρόνο  $n$  και  $V(i) = V/k$ .

Ταυτόχρονα με τις παραπάνω παραδοχές τα και τα δυο μοντέλα ακολουθούν την παραδοχή ότι το νερό που βρίσκεται άνωθεν του σημείου των στοιβάδων  $m$  και δεν επηρεάζεται. Έτσι η κατώτερη θερμοκρασία του νερού εισόδου δε θα έχει καμία επίδραση επί της θερμοκρασίας του θερμού νερού και η διαδικασία ανάμιξης θεωρείται αμελητέα λόγω της θεώρησης ύπαρξης θερμικής διαστρωμάτωσης. Όσον αφορά στο δεύτερο μοντέλο οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν τις διαρροές θερμότητας από το περιβάλλον, τα φαινόμενα αγωγιμότητας λόγω θερμοκληνούς και αγωγιμότητας από της θερμές στοιβάδες του νερού προς τις ψυχρές μέσω της επαφής των τοιχωμάτων στο κρύο υγρό στρώματα μέσω του τοιχώματος θερμικής αγωγιμότητας καθώς και τη θερμική και ανάμιξη στην είσοδο και έξοδο (Nelson και Balakrishnan 1999).

Ο Al-Nimr (1993) μελέτησε την συζευγμένη συμπεριφορά θερμοδοχείου με πεπερασμένο πάχος τοιχωμάτων εφαρμόζοντας μια αναλυτική λύση για το θερμοκρασιακό πεδίο εντός του θερμοδοχείου με χρήση την τεχνική μετασχηματισμού Laplace. Βάσει της ανάλυσης αυτής εξήχθη το συμπέρασμα ότι η θερμική διαστρωμάτωση μειώνεται αναλογικά με το πεπερασμένο πάχος τοιχώματος, αλλά η ένταση του φαινομένου μειώνεται για υψηλούς αριθμούς Peclet. Όταν η ως άνω εξίσωση ενέργειας με μία άλλη εξίσωση που αφορά στη θερμική ισορροπία τότε οι διαστάσεις του τοιχώματος του θερμοδοχείου μπορεί να θεωρηθούν ως αντίρροπες της διαστρωμάτωσης. Οι Nelson και Balakrishnan (1999) έκριναν βάσει των μελετών τους ότι η επίδραση της θερμικής διαστρωμάτωσης αυξάνει με τον τροποποιημένο αριθμό Biot, που δίνεται από την εξίσωση 5.14:

$$Bi_m = \frac{h_0 L^2}{k_w \delta} \quad (5.14)$$

Οι Davidson and Adams (1994) εισήγαγαν την έννοια του μικτού αριθμού βασιζόμενοι στο ύψος της σταθμισμένη ενέργειας, ή στην ενεργειακή στιγμή στη δεξαμενή που κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1, με το 0 να αντιπροσωπεύει μια τέλεια στρωματοποιημένη (αμιγή) δεξαμενή και το 1 να αντιπροσωπεύει δεξαμενή πλήρους ανάμειξης. Στα μοντέλα ανώτερης τάξης, δηλαδή τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα εισάγονται παράμετροι που αντιπροσωπεύουν ποικίλους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση ενός συρματοποιημένου δοχείου κάτι το οποίο δεν είναι δυνατόν να εισαχθεί σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο. Ωστόσο οι Zurigat και Maloney



(1987) θεωρούν ότι η εισαγωγή των παραμέτρων ανάμιξης στα μοντέλα του τύπου αυτού με εμπειρικό τρόπο εμπειρικά είναι αποδεκτή και τα καθιστά τα ευρέως εφαρμόσιμα και πρακτικά για την προσομοίωση των ενεργειακών συστημάτων που βασίζονται σε δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας.

Ωστόσο παραμένει γεγονός ότι τα μονοδιάστατα μοντέλα δεν επαρκούν για να περιγράψουν λεπτομερώς τη δομή ροής εντός της δεξαμενής, ιδιαίτερα όταν χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα ροής και πολύπλοκη δομή. Κι αυτό γιατί η πιθανή αναρροή που δημιουργείται ως συνέπεια της ανάμιξης και της πρόωσης αναμένεται να διαταράσσει τη σχετική κανονικότητα της διαστρωμάτωσης η οποία μπορεί να περιγραφεί με μονοδιάστατες εξισώσεις. Ως εκ τούτου, μετά το 1990, οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες εστιάζουν σε ανώτερης τάξης μοντέλα που αναπτύχθηκαν σταδιακά ενώ με τις εξελίξεις της υδροδυναμικής ένα σύνολο νέων μεθόδων ανάλυσης διαστρωμάτωσης άρχισε να εφαρμόζεται.

Παρόλα αυτά με ορισμένες τροποποιήσεις που πρότειναν οι (Brecht Baeten, 2016) μπορούμε να λάβουμε υπόψη και να υπολογίσουμε τις επιπτώσεις της ταχύτητας εισροής και εκροής ακόμα και σε μονοδιάστατο μοντέλο.

#### 5.4.2 Δισδιάστατα μοντέλα

Η θερμική διαστρωμάτωση προκαλείται από την ελαχιστοποίηση του φαινομένου της ανάμιξη των θερμών και ψυχρών υγρών μαζών εντός της δεξαμενής, ενώ η φυσική εικόνα του μηχανισμού ανάμιξης ελέγχεται από τη θερμική άνωση και ανάμιξη με συναγωγή. Αριθμητικές προσεγγίσεις από μέσω της εξίσωση Navier-Stokes δείχνουν ότι το περίγραμμα της διαδικασίας ανάμιξης μπορεί να εξεταστεί με τη χρήση αυτής της δισδιάστατης μεθόδου. Στην συνέχεια παρατίθενται κάποιες τυπικές προτάσεις που αφορούν σε δυσδιάστατα μοντέλα.

Κατά την κατάστρωση των δισδιάστατων μοντέλων η ροή εντός του θερμοδοχείου συνήθως περιγράφεται με τη χρήση δύο εξισώσεων που λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της βαρύτητας. Σε ορθογώνιες συντεταγμένες Euler, οι εξισώσεις αυτές δύναται να εκφραστούν όπως παρακάτω:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (5.15)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + g\beta(T - T_{\mu}) + \nu \nabla^2 \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}T) = a \nabla^2 \quad (5.17)$$

Σύμφωνα δε με την της πειραματικής συνάφειας της υδροδυναμικής και της μεταφοράς μάζας και θερμότητας, οι αδιάστατες εξισώσεις 5.15, 5.16 και 5.17 μπορούν να διαμορφώσουν τελικά στις κάτωθι εξισώσεις (Dorgan and Elleson, 1992, Homan and Soo, 1997):

- Εξίσωση συνοχής

$$\frac{\partial(p^*u^*)}{\partial x^*} + \frac{\partial(p^*v^*)}{\partial y^*} = 0 \quad (5.18)$$

•Εξισώσεις ορμής

$$\frac{\partial u^*}{\partial t} + \frac{\partial(p^*u^*)}{\partial x^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} \right) \quad (5.19)$$

$$\frac{\partial v^*}{\partial t} + \frac{\partial(p^*v^*)}{\partial y^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) + Ri\theta \quad (5.20)$$

•Εξίσωση ενέργειας

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \nabla \cdot (u^* \theta) = \frac{1}{RePr} \nabla^2 \theta \quad (5.21)$$

Η ομάδα αδιάστατων εξισώσεων 5.15 έως 5.16 χρησιμοποιείται συνήθως για τη διευκόλυνση της αριθμητικής επεξεργασίας αφού επιτρέπουν την καλύτερη σύγκριση μεταξύ των διαφόρων μεθόδων επίλυσης ενώ επίσης βασίζονται πιο άμεσα στα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Οι μορφές των εξισώσεων αυτών μπορεί να εμφανίζονται με διάφορες τρόπους υπό διαφορετικές παραδοχές και συστήματα συντεταγμένων. Η βασική τους αρχή ωστόσο συνίσταται στο ότι θεωρούν ότι η ιξώδης διάχυση είναι αμελητέα και ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο. Επιπλέον οι θερμοφυσικές ιδιότητες θεωρούνται σταθερές, πλην της μεταβολής της πυκνότητας με τη θερμοκρασία για τη χρήση της προσέγγισης Boussinesq.

### 5.4.3 Τρισδιάστατα μοντέλα

Οι Eames και Norton (1996) και (Cònsul R., I. Rodríguez, C.D. Pérez-Segarra, M. Soria. , 2004) πρότειναν τη χρήση τρισδιάστατων μοντέλων προκειμένου να εισάγουν και να αξιολογήσουν την επίδραση της γεωμετρίας της δεξαμενής αποθήκευσης. Η προσομοίωση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, CFD (computational fluid dynamics) αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την επίλυση των τρισδιάστατων μοντέλων και πολλές σχετικά πρόσφατες ερευνητικές εργασίες βασίζονται σε αυτή (Shah L.J., 75 (2003)), (Johannes and Fraisse, 2005).

Ο σχεδιασμός διατρωματωμένων δεξαμενών αποθήκευσης νερού εξελιγμένης δομής τελεί ακόμη υπό βελτιστοποίηση καθώς μάλιστα η σχετική τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς. Προς την κατεύθυνση αυτή οι Jordan και Vajen (2002) χρησιμοποίησαν τα μοντέλα θερμικής αποθήκευσης TRNSYS's TYPE 60 and 140 (<http://www.trnsys.com/>) προκειμένου να αναλύσουν την κίνηση του ρευστού σε μεγάλο ηλιακό σύστημα, ενώ τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα προγενέστερης μελέτης (Klein 1996). Η σύγκριση υπέδειξε διαφορές που αποδόθηκαν σε πιθανή αδυναμία της βάνας και πρέπει να συμπεριληφθούν οι υποθέσεις σχετικά με την ανάμιξη και την αντίσταση από συναγωγή. περισσότερο την προσοχή πάνω της διαστρωμάτωσης που είναι πολύ σημαντικό για την ενεργειακή απόδοση δεν είναι έμφαση στις προσομοιώσεις CFD, δηλαδή, η λεπτομερής διαστρωμάτωση πάνω από εύλογο χρονικό διάστημα προσομοίωσης θα πρέπει να κατασκευαστεί με την ανάπτυξη ενός διζωνικού μοντέλου επειδή το ένα στρώμα δεν είναι σε ομοιόμορφο επίπεδο θερμοκρασίας.

#### 5.4.4 Παράλληλος Αλγόριθμος Πολλαπλών Μπλοκ

Οι παραδοσιακές τρισδιάστατες αναπαραστάσεις CDF και οι αναπαραστάσεις μεταφοράς θερμότητας με την χρήση τυποποιημένων αλγορίθμων , είναι πολύ ακριβή υπολογιστικά. Ένας απλός υπολογιστής χρειάζεται 3-4 μέρες για να πραγματοποιήσει υπολογισμούς τρισδιάστατων μοντέλων. Με την χρήση των Beowulf clusters( παράλληλη σύνδεση υπολογιστών με ειδικό λογισμικό που τους επιτρέπει να μοιράζονται υπολογιστικά δεδομένα) και την ανάπτυξη των παράλληλων αλγορίθμων σχεδιασμένων ειδικά για τον υπολογισμό μέσα σε ένα τέτοιο υπολογιστικό σύστημα , το υπολογιστικό κόστος μειώνετε ικανοποιητικά. Έτσι λοιπόν η χρήση παράλληλων αλγορίθμων πολλαπλών μπλοκ (Parallel multi-block algorithm) μπορούμε να πούμε ότι είναι μία γρήγορη οικονομική και αποτελεσματική μέθοδος για την κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα μέσα σε μία δεξαμενή αποθήκευσης Z.N.X.

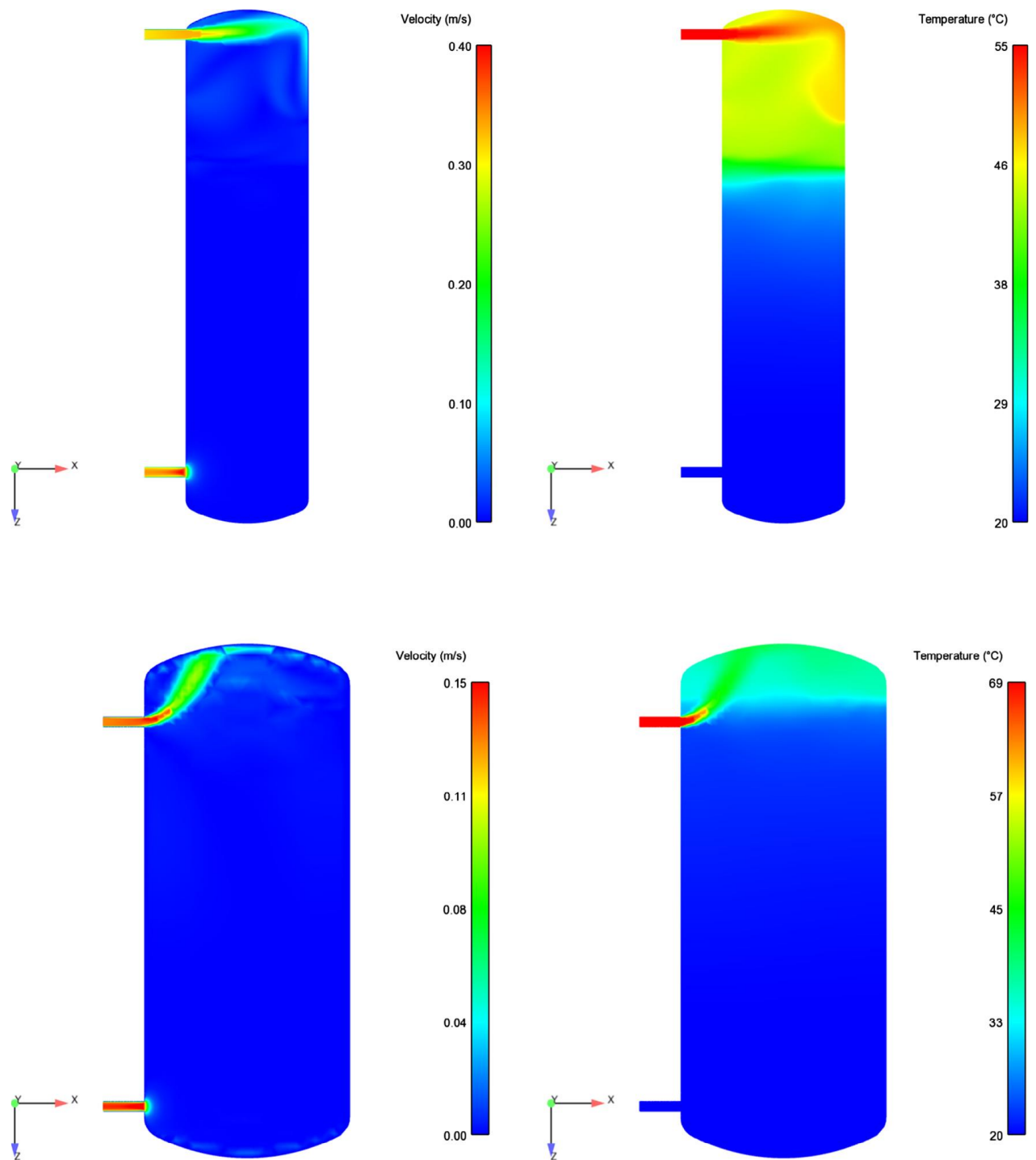
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ

Οι γεωμετρικές παράμετροι μιας δεξαμενής περιλαμβάνουν το μέγεθος, την αναλογία διαστάσεων, το σχήμα εισόδου του συστήματος διάχυσης καθώς και το μέγεθος και το σχήμα του διαφράγματος που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του προτύπου της ροής. Επιπλέον, οι παράμετροι που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας περιλαμβάνουν τις συνθήκες ροής εισόδου όπως την ταχύτητα ροής, την θερμοκρασία εισόδου και αρχική θερμοκρασία δεξαμενής καθώς και την κυκλική περίοδο φόρτωσης και εκφόρτωσης του συστήματος. Στη συνέχεια θα αναλυθεί η επίδραση των κυριότερων παραμέτρων στην διαστρωμάτωση θερμοδοχείου.

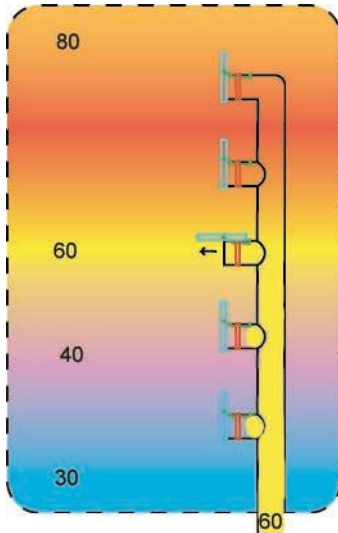
### 6.1 Επίδραση εισόδου-εξόδου

Το πρότυπο ροής κατά την είσοδο ή την έξοδο του νερού από το θερμοδοχείο αναμένεται να επηρεάζεται σημαντικά από την γεωμετρική δομή του, που αφορά στη διάμετρο, τη θέση εγκατάστασης, το διάφραγμα ανάκλασης κ.λπ. Οι Lavan και Thompson (LavanZ., (1977) ) διεξήγαγαν μελέτη προκειμένου για τη διερεύνηση της επίδρασης των γεωμετρικών και δυναμικών παραμέτρων στη θερμική διαστρωμάτωση μιας κάθετης δεξαμενής αποθήκευσης θερμού νερού. Αυτό που διαπίστωσαν ήταν ότι η θέση εισόδου είχε πολύ ισχυρότερη επίδραση στη θερμική διαστρωμάτωση, ενώ η θέση της εξόδου ήταν πολύ λιγότερο σημαντική. Αντίστοιχη μελέτη των Al-Najem και El-Refae's (Al-Najem, 1997) έδειξε ότι η τυρβώδης ανάμιξη, παράγοντας που προκαλείται από τις υδροδυναμικές διαταραχές στα σημεία εισόδου και εξόδου της δεξαμενής αποθήκευσης έχει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της θερμικής διαστρωμάτωσης των δεξαμενών αποθήκευσης θερμού νερού.

Για την αποφυγή του φαινομένου της ανάμιξης κατά την είσοδο του ζεστού νερού, πρέπει η ταχύτητα με την οποία αυτό εισέρχεται στην δεξαμενή να είναι τέτοια ώστε να μην προσκρούετε στο τοίχωμα της σχήμα(6.1). Για βέλτιστη διατήρηση της διαστρωμάτωσης κατά την φόρτιση της δεξαμενής απαιτούνται περισσότερες από μία εισοδοί του ζεστού νερού. Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους είναι το ζεστό νερό που εισέρχεται στην δεξαμενή να εισέρχεται στο ύψος της δεξαμενής αυτό, όπου το νερό εισροής και νερό στην δεξαμενή έχουν την ίδια η παρόμοια θερμοκρασία. Μπορούμε να δούμε μία απεικόνιση αυτού του μηχανισμού στο σχήμα (6.2).



**Εικόνα 6.1** Αποτελέσματα CFD της έρευνας των **(Brecht Baeten, 2016)** που απεικονίζει την ταχύτητα και θερμοκρασιακή διανομή για μεγάλη ταχύτητα εισόδου(πάνω) και μικρή ταχύτητα εισόδου (κάτω).



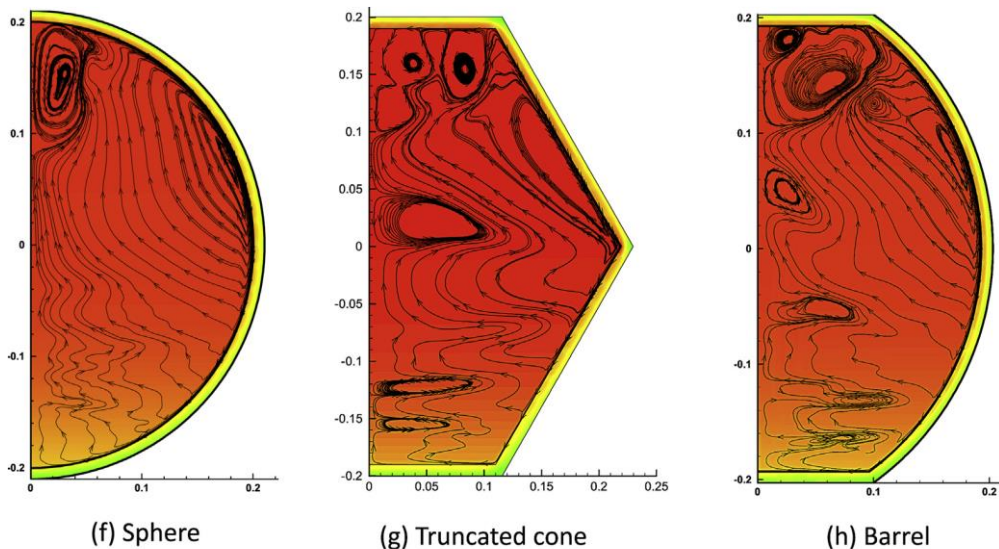
**Εικόνα 6.2** Δεξαμενή με σωλήνα με διαφορετικές εξόδους ζεστού νερού αναλόγως της θερμοκρασίας. (<http://www.aljezurfarm.com/Stratified%20heat%20storage%20tank%20for%20solar%20home%20heating.htm>)

## 6.2 Σχήμα Θερμοδοχείου

Σύμφωνα με την έρευνα των (Zheng Yang, Haisheng Chen\*, Liang Wang, Yong Sheng, Yifei Wang, 2015) πάνω στην επίδραση που έχει το σχήμα του θερμοδοχείου στην διατήρηση της θερμικής ενέργειας και της θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα στο θερμοδοχείο, βλέπουμε ότι το σχήμα του θερμοδοχείου παίζει σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της θερμικής διαστρωμάτωσης. Όταν το θερμοδοχείο βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας, δηλαδή δεν χρησιμοποιήστε ζεστό νερό αλλά ούτε εισέρχεται τότε είναι που η θερμική διαστρωμάτωση παίζει μεγάλο ρόλο στην αποτελεσματικότητα διατήρησης της θερμότητας στο θερμοδοχείο. Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας έδωσαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η θερμική αποθήκευση ενέργειας καθορίζετε από την αναλογία επιφάνειας του εσωτερικού του θερμοδοχείου προς τον όγκο του. Την καλύτερη θερμική αποθήκευση ενέργειας παρουσιάζουν τα σχήματα σφαίρας και βαρελιού, ενώ τη χειρότερη παρουσιάζει ο κύλινδρος.
2. Σύμφωνα με το μοτίβο των πεδίων ταχυτήτων το σχήμα των δεξαμενών μπορεί να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Σχήματα δεξαμενών με αιχμηρές γωνίες, με ημισφαίρια, και με οριζόντιες επίπεδες επιφάνειες. Η δεξαμενή με αιχμηρές γωνίες έχει τον υψηλότερο βαθμό θερμικής διαστρωμάτωσης, ενώ η δεξαμενή με οριζόντια επίπεδη επιφάνεια έχει το χαμηλότερο. Το δοχείο με τα ημισφαίρια εμφανίζει ένα μέτριο βαθμό θερμικής διαστρωμάτωσης σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες. Το φαινόμενο αποδίδεται στους ακόλουθους λόγους. Το ρευστό στον πυθμένα της δεξαμενής νερού με τις αιχμηρές γωνίες είναι στατικό, και η απώλεια θερμότητας του ρευστού στην περιοχή αυτή προς τα περιβάλλον οδηγεί σε μια παρατεταμένη πτώση της θερμοκρασίας. Στη δεξαμενής νερού με οριζόντια επίπεδη επιφάνεια, η θερμική διαστρωμάτωση προκαλείται από την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της ροής προς το κάτω οριακό στρώμα του πλευρικού τείχους. Η ροή στο κάτω μέρος

της δεξαμενής νερού με ημισφαίρια είναι πολύ αργή . Ως εκ τούτου , η θερμική διαστρωμάτωση επάγεται από την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της ροής προς το κάτω οριακό στρώμα και κατά τη διάρκεια της αργής ροής στην περιοχή του πυθμένα.

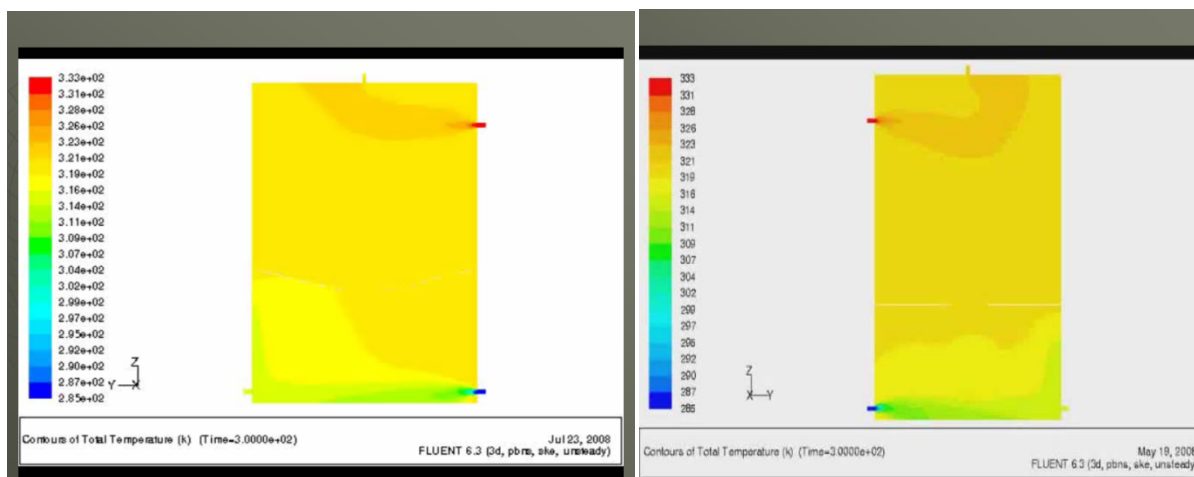


**Εικόνα 6.3** Σχήματα Δεξαμενής, (f) σφαιρικό , (g) κωνικό , (h) σχήμα Βαρέλι (Zheng Yang, Haisheng Chen\*, Liang Wang, Yong Sheng, Yifei Wang, 2015)

### 6.3 Διάφραγμα ανάκλασης (baffle plate)

Το διάφραγμα ανάκλασης μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την πρόσκρουση και να κατευθύνει το επερχόμενο ρευστό και στην συνέχεια το εύρος της ανάμιξης της αναταραχής προσαρμόζετε από αυτό.

Έχουν γίνει μελέτες (Necdet Altuntop, 2004) σε πολλά είδη διαφραγμάτων ανάκλασης και τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η παρουσία εμποδίων στο δοχείο προσφέρει καλύτερη θερμική διαστρωμάτωση σε σχέση με τα δοχεία χωρίς εμπόδια. Τα διαφράγματα με κενό στο κέντρο τους , φαίνετε να προσφέρουν καλύτερη διαστρωμάτωση από αυτά που έχουν το κενό κοντά στο τοίχωμα του δοχείου. Τέλος τα κωνικά διαφράγματα παρέχουν καλύτερη θερμική διαστρωμάτωση στο δοχείο από οποιοδήποτε άλλο διάφραγμα .



**Εικόνα 6.4** Η επίδραση εμποδίου στη δεξαμενή. Αριστερά χωρίς εμπόδιο και δεξιά με εμπόδιο (ALTUNTOP, 2005)

## 6.4 Εσωτερικό Υλικό Επένδυσης και Διαστρωμάτωση

Σε πρόσφατη έρευνα που πραγματοποίησαν οι (María Gasque, Pablo Gonzalez-Altozano, Daniel Maurer, Ignacio Jose Moncho-Estevé, Rosa Penelope Gutierrez-Colomer, Guillermo Palau-Salvador, Eugenio García-Marí, 2014) απέδειξαν ότι το εσωτερικό υλικό επένδυσης της δεξαμενής επηρεάζει την θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση μέσα σε αυτή. Χρησιμοποίησαν το τρισδιάστατο μοντέλο CDF (Computational Fluid Dynamics) και το αποτέλεσμα είναι ότι τα μη αγωγικά υλικά που έρχονται σε επαφή με το νερό, ευνοούν την αποθήκευση ενέργειας και την θερμική διαστρωμάτωση κατά την διάρκεια λειτουργίας του δοχείου. Παρόλα αυτά η επίδραση είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια της θερμικής φόρτισης και εξασθενεί με το χρόνο αποθήκευσης. Η επίδραση του εσωτερικού υλικού επένδυσης δεξαμενής στην ενέργεια που συσσωρεύεται στο νερό και τη στιγμή της ενέργειας (διαστρωμάτωση) ενισχύεται όταν χαμηλώνει θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα (Χάλυβας, Ατσάλι) συμβάλουν στην ανάμιξη λόγω θερμικής διάχυσης κατά μήκος του πλευρικού τοιχώματος και μέσω της αξονικών απωλειών θερμότητας μέσω του αγωγίμου μεταλλικό τοίχο.

Κατά την τοποθέτηση υλικών επένδυσης που έχουν χαμηλή ή μέση θερμική αγωγιμότητα, η απόδοση αποφόρτισης βελτιώνεται με τη μείωση της θερμικής διάχυσης και της διαρροής θερμότητας μέσω του τοιχώματος του περιβλήματος. Έτσι, η θερμική διαστρωμάτωση βελτιώνεται με τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας του τοιχώματος. Η εσωτερική επένδυση του τοιχώματος της δεξαμενής αποθήκευσης έχει μικρή επίδραση στη θερμική διαστρωμάτωση κατά τη φόρτιση και την περίοδο αναμονής της δεξαμενής. Παρόλα αυτά αυτό το φαινόμενο δεν πρέπει να παραμεληθεί αφού επιθυμούμε την μέγιστη αποθήκευση ενέργειας και καλύτερη δυνατή διαστρωμάτωση στην δεξαμενή. Έτσι λοιπόν υπάρχει χώρος για έρευνα πάνω σε νέα υλικά εσωτερικής μόνωσης για την ενεργειακή βελτίωση της δεξαμενής.

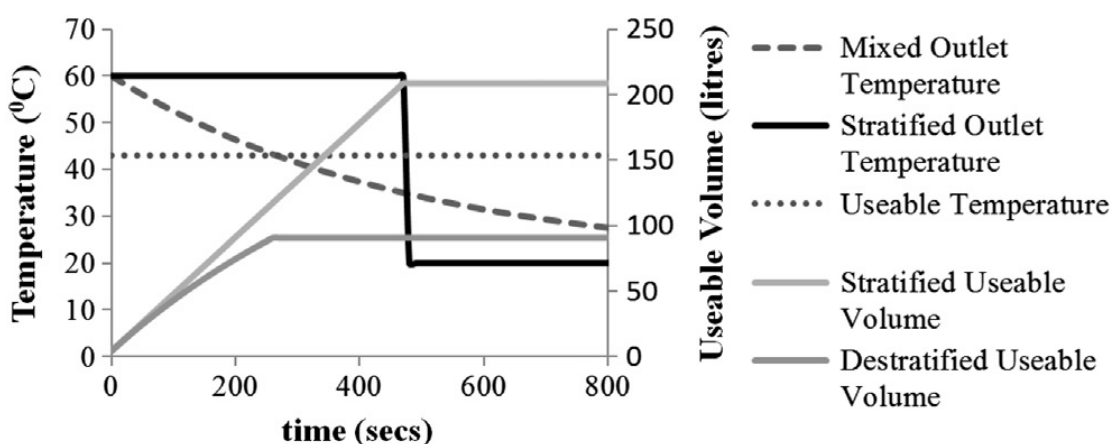


## 6.5 Υγειονομική Ποιότητα Νερού στις Δεξαμενές Αποθήκευσης ZNX

Οι σύγχρονες δεξαμενές αποθήκευσης ZNX είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να συνεισφέρουν στην δημιουργία της θερμικής διαστρωμάτωσης. Παρόλα αυτά ο θερμικός αυτός διαχωρισμός του νερού δεν αφήνει πάντα ολόκληρο το δοχείο να φτάσει σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η αύξηση θερμοκρασίας είναι απαραίτητη για την απολύμανση του δοχείου από παθογόνους οργανισμούς.

Συγκεκριμένα η λεγιονέλλα είναι ο βασικότερος κίνδυνος σε μία δεξαμενή ZNX. Η λεγιονέλλα ευημερεί και πολλαπλασιάζεται σε θερμοκρασίες 25-45°C και απολυμαίνεται σε θερμοκρασίες άνω των 50°C. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε (Anon, 2012) στην Ευρώπη έχουν αυξηθεί τα κρούσματα λεγιονέλλας από 100 το 1990 σε 900 το 2007.

Σύμφωνα με τη έρευνα των (P.Armstrong , D.Ager, I.Thompson , M.McCulloch, 2014) οι σύγχρονες δεξαμενές ZNX και ιδιαίτερα οι ηλεκτρικές μπορεί να κρατάνε υψηλές θερμοκρασίες άνω των 60°C αλλά το 1/3 η λιγότερο της δεξαμενής μένει για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε μικρότερες θερμοκρασίες και δεν αποστειρώνετε εξαιτίας της θέσης του θερμαντικού στοιχείου. Επίσης στην ίδια έρευνα αναφέρετε μείωση μέχρι και 19% του χρησιμοποιήσιμου ZNX μέσα στην δεξαμενή. Αυτό οδηγεί σε αύξηση κατά 11% της ενέργειας που καταναλώνετε διά μέσου των απωλειών θερμότητας κατά την αδράνεια της δεξαμενής



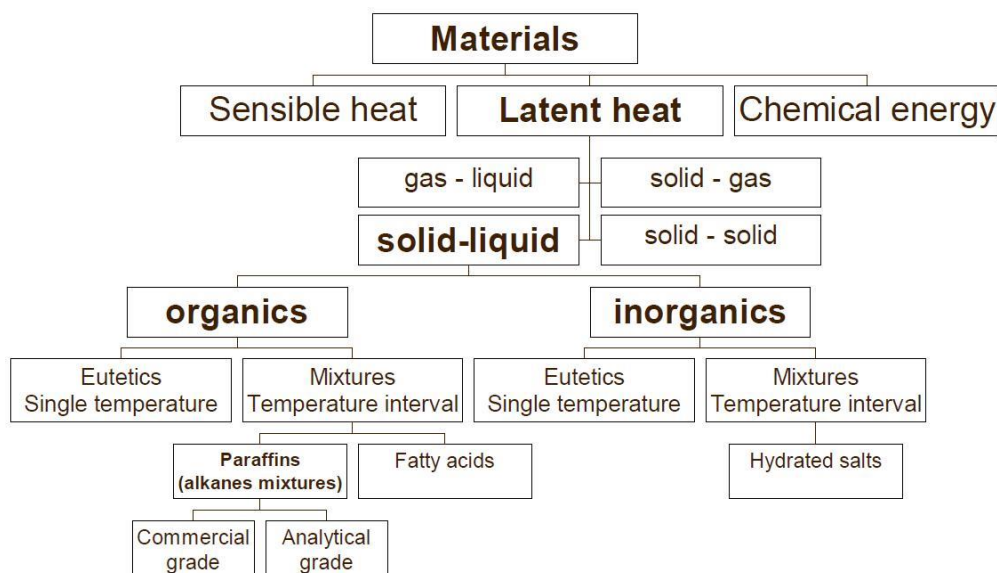
**Εικόνα 6.5** Σύγκριση ενός μη διαστρωματοποιημένου ( fully mixed) και ενός διαστρωματοποιημένου δοχείου με όγκο 120L και ρυθμό ροής 15l/min, με θερμοκρασία χρήσης 43°C με αρχική θερμοκρασία 60°C και τελική 20°C (Σχήμα από έρευνα των (P.Armstrong , D.Ager, I.Thompson , M.McCulloch, 2014))

## 6.6 Υλικά αλλαγής φάσης(PCM) και Θερμοδοχεία

### 6.6.1 Γενικά για τα Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM)

Η θερμική αποθήκευση μέσω των PCMs(Phase Changing Materials) είναι ικανή να αποθηκεύσει και απελευθερώσει μεγάλα ποσά ενέργειας. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην ιδιότητα αλλαγής της φάσης των υλικών στο να κρατάνε και να απελευθερώνουν την ενέργεια. Χρειάζεται ενέργεια για να πραγματοποιήσουμε διαδικασίες όπως τήξη, στερεοποίηση ή εξάτμιση. Η ενέργεια απορροφάτε η απελευθερώνετε όταν το υλικό αλλάζει από στερεά σε υγρή μορφή η αντίστροφα. Έτσι τα υλικά αλλαγής φάσης είναι προβλέψιμα στην αλλαγή της φάσης τους με την εισαγωγή ενός συγκεκριμένου ποσού ενέργειας και την απελευθέρωση αυτής της ενέργειας κάποια άλλη στιγμή.

Υπάρχουν πολλοί τύποι Υλικών Αλλαγής Φάσης .Οι κύριες κατηγορίες είναι τα οργανικά και τα ανόργανα PCMs. Τα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις τεχνικές εφαρμογές είναι οι παραφίνες (οργανικές) ,ένυδρα άλατα (ανόργανες) και λιπαρά οξέα (οργανικά). Υπάρχουν πολλές κατηγορίες που φαίνονται στον Πίνακα 6.6



Πίνακας 6.6 Κατηγορίες Υλικών Αλλαγής Φάσης

### 6.6.2 PCM στα Δοχεία Αποθήκευσης ZNX

Ο κύριος ρόλος των ξενοδοχείων όπως αναφέραμε είναι να αποθηκεύουν ενέργεια και να την απελευθερώνουν στο σύστημα οπουδήποτε στιγμή. Για αυτό τον λόγο τα θερμοδοχεία πρέπει να κρατάνε σταθερή θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα και να είναι διαθέσιμη ακόμα και στην περίοδο εκτός αιχμής. Η εισαγωγή υλικών αλλαγής φάσης στα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού μπορεί να λύσει αυτό το πρόβλημα, και αυτό λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειας των PCMs η οποία διατηρεί τη θερμοκρασία του νερού από το να πέφτει. Το αρνητικό των υλικών αλλαγής φάσης είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητά τους. Έτσι λοιπόν η χρήση υλικών αλλαγής φάσης διασφαλίζει ότι το νερό στο δοχείο αποθήκευσης ζεσταίνεται κατά τη διάρκεια της

περιόδου εκτός αιχμής του δικτύου και θερμότητα αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί τις περιόδους αιχμής.

Η εφαρμογή PCMs(Phase Changing Materials) στα θερμοδοχεία δεν είναι τόσο απλή και πρέπει να ληφθούν πολλοί παράμετροι όπως : το είδος του υλικού αλλαγής φάσης, το δοχείο που θα βρίσκεται μέσα το υλικό αλλαγής φάσης, το ποσό PCM που θα χρησιμοποιηθεί , η τοποθεσία του μέσα στο δοχείο και ο ρυθμός εισόδου εξόδου νερού από το δοχείο. Παρόλα αυτά είναι μία νέα τεχνολογία και δεν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες ακόμα για την τελειοποίηση της.

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η θερμική διαστρωμάτωση είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες ενός ενεργειακά αποδοτικού δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού. Έχοντας αυτό υπόψη τα υλικά αλλαγής φάσεις πρέπει να ενσωματωθούν έτσι ώστε διατηρούν η ακόμα και να βελτιώνουν τη θερμική διαστρωμάτωση του δοχείου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

### 7.1 Γενικά για την ενεργειακή επισήμανση

Η ενεργειακή σήμανση καθιερώθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την έκδοση της οδηγίας 92/75/22.09.92 και σε Εθνικό επίπεδο με την έκδοση του Προεδρικού Διατάγματος 180/1994, το οποίο έθεσε το γενικό νομοθετικό πλαίσιο για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης στις οικιακές συσκευές. Στη συνέχεια, εκδόθηκε μια σειρά Κοινών Υπουργικών Αποφάσεων για την εφαρμογή της ενεργειακής σήμανσης σε διάφορες κατηγορίες οικιακών συσκευών

#### Σκοπός της ενεργειακής επισήμανσης.

Σχεδιάστηκε για να παρέχει στους καταναλωτές ακριβείς, αναγνωρίσιμες και συγκρίσιμες πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας, τις επιδόσεις άλλα και ουσιώδη χαρακτηριστικά των προϊόντων οικιακής χρήσης. λ

- Να επηρεάσει τις επιλογές του κοινού υπέρ των λιγότερο ενεργοβόρων συσκευών
- Να οδηγήσει τους κατασκευαστές να λάβουν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας
- Η ετικέτα είναι ενιαία για όλα τα προϊόντα μιας κατηγορίας. Αυτό επιτρέπει στους καταναλωτές να συγκρίνουν εύκολα τα χαρακτηριστικά των συσκευών (π.χ. η κατανάλωση ενέργειας, η κατανάλωση νερού, η χωρητικότητα).
- Για τους προμηθευτές αλλά και για τους εμπόρους η ενεργειακή σήμανση αποτελεί σημαντικό εργαλείο διαφήμισης προκειμένου να προωθήσουν στους πελάτες τους ενεργειακά αποδοτικά προϊόντα.

### 7.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία Ecodesign (ERP)

Ένας νέος Ευρωπαϊκός Κανονισμός σχετικός με τη θέρμανση και το ζεστό νερό χρήσης ήρθε το 2015. Σκοπός του είναι η ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και η ελαχιστοποίηση των ρυπογόνων εκπομπών. Παρακάτω αναφέρονται διευκρινήσεις σχετικά με τον κανονισμό αυτόν καθώς και επισημάνσεις που βοηθούν τόσο τον εγκαταστάτη όσο και τον τελικό καταναλωτή στην αναγνώριση του κατά πόσο ένα προϊόν είναι συμβατό με τις νέες απαιτήσεις.

#### Ecodesign

- 813/2013 που αναφέρεται σε προδιαγραφές θερμαντήρων χώρου και θερμαντήρων συνδυασμένης λειτουργίας
- 814/2013 που αναφέρεται σε προδιαγραφές θερμαντήρων νερού και δοχείων ζεστού νερού χρήσης

#### Ενεργειακής σήμανσης (Energy Labelling)

- 811/2013 που εφαρμόζεται σε θερμαντήρες χώρου, θερμαντήρες συνδυασμένης λειτουργίας, πακέτα θερμαντήρων χώρου, ελεγκτές θερμοκρασίας και ηλιακά
- 812/2013 που εφαρμόζεται σε θερμαντήρες νερού, δοχεία ζεστού νερού χρήσης και πακέτα θερμαντήρων νερού και ηλιακών

Οι παραπάνω ευρωπαϊκές οδηγίες αποτελούν υποχρεωτική ευρωπαϊκή νομοθεσία και εφαρμόζονται ξεχωριστά και ταυτόχρονα στις 30 χώρες του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX).

Η **Ecodesign** θεσπίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης καθώς και τις μέγιστες εκπομπές NOx και θορύβου (μόνο για αντλίες θερμότητας) των νέων προϊόντων που εισέρχονται στην αγορά. Στόχος της είναι η σταδιακή κατάργηση των λιγότερο ενεργειακά αποδοτικών προϊόντων και η εκπλήρωση του πρωτοκόλλου του Κιότο ή το 20 20 20 (20% περισσότερη ενεργειακή εξοικονόμηση, 20% λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>, 20% της καταναλισκόμενης ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ) έως το 2020.

Η **Energy Labelling** θέτει ως υποχρεωτική την ενεργειακή σήμανση των προϊόντων. Παρέχει έτσι στους καταναλωτές τα πραγματικά και πιστοποιημένα συγκριτικά στοιχεία σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση και απόδοση των νέων προϊόντων. Σκοπός της είναι η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράζουν προϊόντα υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Τα προϊόντα που υπόκεινται στις παραπάνω οδηγίες είναι οι λέβητες πετρελαίου ή αερίου έως 400 kW, οι αντλίες θερμότητας αερίου ή ηλεκτρικές, οι θερμοαντλίες νερού, τα δοχεία ζεστού νερού χρήσης και τα ηλιακά. Μελλοντικά θα ενταχθούν και οι λέβητες στερεών καυσίμων.

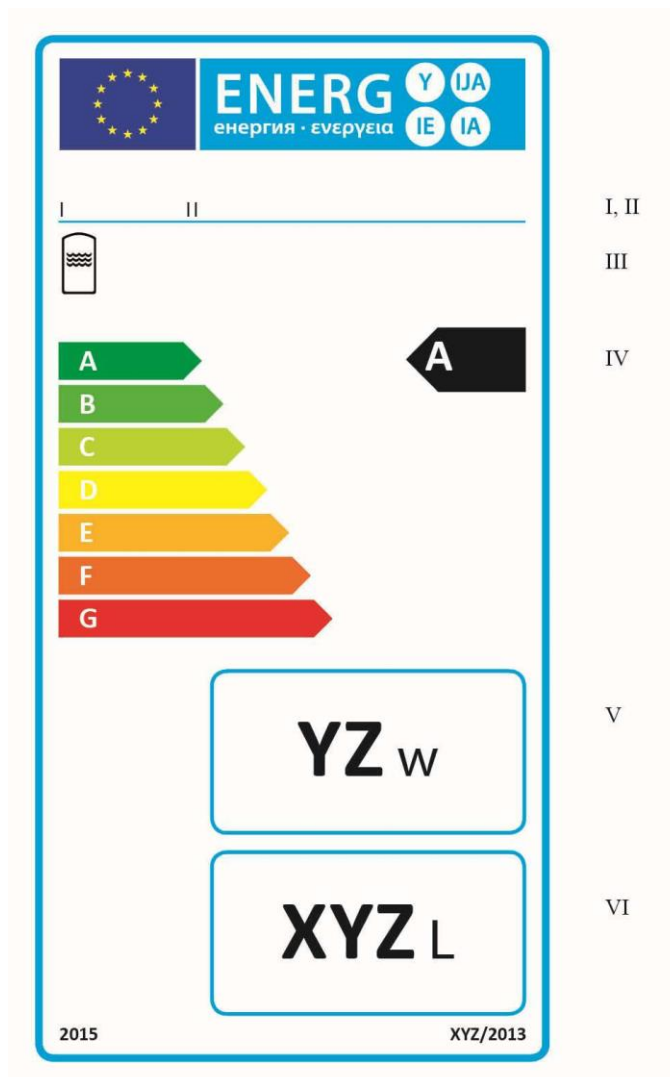
### 7.3 Δεξαμενές Αποθήκευσης Ζεστού νερού και ERP

Οι οδηγίες ενεργειακής επισήμανσης και Ecodesign αναφέρονται στα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού (δοχεία αδρανείας, δοχεία ηλιακών ..) και όχι στα boilers θέρμανσης νερού.

Για να δώσουμε ενεργειακή επισήμανση σε μία δεξαμενή πρέπει να μετρήσουμε τον όγκο της **V**, και τις πάγιες απώλειες **S** (W). Οι πάγιες απώλειες είναι αυτές που θα μας δώσουν την ενεργειακή κλάση της δεξαμενής. Όσο πιο μικρές είναι τόσο αυξάνετε η ενεργειακή κλάση, με μέγιστη το A+.

Energy efficiency class	Standing loss $S$ in Watts, with storage volume $V$ in litres
A+	$S < 5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4}$
A	$5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4} \leq S < 8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4}$
B	$8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4} \leq S < 12 + 5,93 \cdot V^{0,4}$
C	$12 + 5,93 \cdot V^{0,4} \leq S < 16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4}$
D	$16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 21 + 10,33 \cdot V^{0,4}$
E	$21 + 10,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 26 + 13,66 \cdot V^{0,4}$
F	$26 + 13,66 \cdot V^{0,4} \leq S < 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$
G	$S > 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$

**Πίνακας 7.1** Ενεργειακή κλάση δεξαμενών (**REGULATION, 2013**)



**Εικόνα 7.2** Ετικέτα ενεργειακής κλάσης δεξαμενής (από (REGULATION, 2013))

Στην ενεργειακή ετικέτα θα πρέπει να αναγράφονται οι παρακάτω πληροφορίες:

- I. Το όνομα του προμηθευτή η το σήμα της μάρκας το
- II. Αναγνωριστικό μοντέλου από τον προμηθευτή
- III. Η λειτουργία αποθήκευσης νερού
- IV. Η τάξη ενεργειακής απόδοσης. η αιχμή του βέλους που περιέχει την τάξη ενεργειακής απόδοσης της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού πρέπει να τοποθετείται στο ίδιο ύψος με τον επικεφαλής της οικείας τάξης ενεργειακής απόδοσης .
- V. Η μόνιμη απώλεια σε W , στρογγυλοποιημένη στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό.
- VI. Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού σε λίτρα , στρογγυλοποιημένη στον πλησιέστερο ακέραιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την εργασία αναλύσαμε τα τις δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού καθώς και το ενδιαφέρον φαινόμενο της διαστρωμάτωσης. Σαν βιβλιογραφική έρευνα δεν αποδείχτηκε κάτι καινούριο. Με την συγκέντρωση όμως βιβλιογραφικού υλικού πάνω στο φαινόμενο της θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα σε ένα θερμοδοχείο καθώς και η ανάλυση των δεξαμενών αποθήκευσης Z.N.X. μας οδήγησαν στην απόδοση ενός συμπεράσματος.

Αναλύσαμε τις δεξαμενές αποθήκευσης Z.N.X. από τις κατηγορίες που χωρίζονται και πώς χρησιμοποιούνται , μέχρι την κατασκευή τους( μόνωση, υλικό δοχείου , εσωτερική επικάλυψη). Με την εισαγωγή νέων τρόπων θέρμανσης καθώς και με την ανάγκη στροφής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η ενεργειακή αποθήκευση είναι πιο σημαντική από ποτέ. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις απαιτούν μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας , και υψηλή αποδοτικότητα . Έτσι λοιπόν η τεχνολογία και η έρευνα γύρω από τις δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού αυξάνετε. Επομένως τώρα , αλλά πολύ περισσότερο στο μέλλον η δεξαμενή A.Z.N.X. δεν θα είναι απλώς μία δεξαμενή αλλά ένα πολύ καλά μελετημένο δοχείο που επηρεάζει άμεσα την αποδοτικότητα του συστήματος θέρμανσης ψύξης που είναι εγκατεστημένο.

Μεγαλύτερη έμφαση στην παρούσα εργασία δόθηκε στο φαινόμενο της θερμικής διαστρωμάτωσης που λαμβάνει χώρα μέσα στην δεξαμενή αποθήκευσης Z.N.X.. Μέσα από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα πολλών ερευνητών πάνω στο φαινόμενο αυτό οδηγηθήκαμε στο ότι η θερμική Διαστρωμάτωση :

- Βελτιώνει αποτελεσματικά την εξέργεια και την χρηστικότητα όλου του συστήματος παραγωγής Z.N.X. , ιδιαίτερα των ηλιακών συστημάτων.
- Μπορούμε να αποθηκεύουμε Z.N.X. για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να είναι άμεσα διαθέσιμο όλες τις ώρες.
- Έχουμε μικρότερες θερμικές απώλειες από την δεξαμενή.
- Επιτρέπει στη θερμική ενέργεια να διατηρείται σε υψηλά ενεργειακά επίπεδα.
- Επιτρέπει στο σύστημα να ξεκινήσει την λειτουργία του άμεσα.
- Χρήση μικρότερων δεξαμενών
- Μείωση απωλειών θερμότητας από την δεξαμενή
- Μέγιστη αξιοποίηση των ηλιακών συλλεκτών
- Μικρότερο ποσοστό αλάτων στην δεξαμενή και τις σωληνώσεις

Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική διαστρωμάτωση.

- Γεωμετρική δομή
- Τοποθέτηση/ ταχύτητα εισόδου και εξόδου , κρύου και ζεστού νερού αντίστοιχα.
- Εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες δεξαμενής



- Θερμική απώλεια δεξαμενής
- Συνθήκες λειτουργίας δεξαμενής

Παρόλο τις εκτενείς έρευνες πάνω στο φαινόμενο τις θερμικής διαστρωμάτωσης και ενεργειακής αποθήκευσης σε δεξαμενές Ζ.Ν.Χ. παραμένει πολύς χώρος για περαιτέρω έρευνες. Δεν έχει καθοριστεί ακόμα ένας βέλτιστος τρόπος μέτρησης της θερμικής διαστρωμάτωσης αφού τα μοντέλα έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Επίσης ακόμα πραγματοποιούνται μελέτες πάνω στην βελτιστοποίηση της γεωμετρικής δομής και υλικού κατασκευής των δεξαμενών για μέγιστη διατήρηση της θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα σε αυτές.

## Βιβλιογραφία

- A. Castell, M. Medrano, C. Solé, L.F. Cabeza. 2010.** *Dimensionless numbers used to characterize stratification in water tanks for discharging at low flow rates.* s.l. : GREA Innovació concurrent, Universitat de Lleida, Pere de Cabrera s/n, 25001 Lleida, Spain, 2010.
- Abdoly, M.A., Rapp. 1982..** *Theoretical and experimental studies of stratified thermocline storage of hot water.* s.l. : Energy Conversion and Management 22, 275–285., 1982.
- Alizadeh.** *An experimental and numerical study of thermal stratification in a horizontal cylindrical solar storage.* s.l. : Solar Energy, 66 (6) (1999), pp. 409–421.A.
- Al-Najem, El-Refae. 1997.** *A numerical study for the prediction of turbulent mixing factor in thermal storage tanks.* s.l. : Therm Eng 17(12):1173–81., 1997.
- ALTUNTOP, Prof. Dr. Necdet. 2005.** *The effect of obstacle geometry and position on thermal stratification in solar energy hot water storage tanks.* KAYSERİ, TURKEY : Erciyes University, Department Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, , 2005.
- Anon. 2012.** *European Legionnaires Disease Surveillance Network Operating Procedures.* s.l. : European Centre for Disease Prevention and Control, 2012.
- Armstrong, D. Ager, I. Thompson, M. McCulloch. 2014.** *Improving the energy storage capability of hot water tanks through wall material specification.* Oxfordshire OX5 1PF, UK : Department of Engineering Science, Begbroke Science Park, 2014.
- Baur J.M., S.A. Klein, W.A. Beckman. . 1993.** *Simulation of water tanks with mantle heat exchangers.* s.l. : Proceedings of ASES annual conference, Solar 93 (1993), pp. 286–291., 1993.
- Brecht Baeten, Thomas Confrey , Sébastien Pecceu, Frederik Rogiers, Lieve Helsen. 2016.** *A validated model for mixing and buoyancy in stratified hot water storage tanks for use in building energy simulations.* (Brecht Baeten)KU Leuven, Technology Campus Diepenbeek, Agoralaan Building B, box 8, B-3590 Diepenbeek, Belgium//(Thomas Confrey, Sébastien Pecceu)Cenaero, Rue des Frères Wright 29, B-6041 Gosselies, Belgium// : s.n., 2016. (Frederik Rogiers)KU Leuven, Division Applied Mechanics and Energy Conversion, Department of Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300, box 2421, B-3001 Leuven, Belgium//(Lieve Helsen)EnergyVille, Thor Park, B-3600 Waterschei, Belgium.
- Chan. 1983.** *A Numerical Study of transient mixed convection flows in a thermal storage tank.* A.M.C., Smereka, P.S., Giusti, D. : Journal of Solar Energy Engineering, 1983. 105, 246–253..
- Cònsul R., I. Rodríguez, C.D. Pérez-Segarra, M. Soria. . 2004.** *Virtual prototyping of storage tanks by means of three-dimensional CFD and heat transfer numerical simulations.* . s.l. : Solar Energy, 77 (2004), pp. 179–191. , 2004.
- Cynthia A. Cruickshank, Stephen J. Harrison. 2010.** *Heat loss characteristics for a typical solar domestic hot water storage.* Ontario, K7L 3N6, Canada : Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen’s University, Kingston, , 2010.
- Dan Nchelatebe Nkwetta, Pierre-Edouard Vouillamoz , Fariborz Haghghat ,Mohamed El-Mankibi , Alain Moreau , Ahmed Daoud. 2014.** *Impact of phase change materials types and positioning on hot water tank thermal performance: Using measured water demand profile.* s.l. :

Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montréal, QC H3G 1M8, Canada/Département du Génie-Civil et Bâtiment, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, F-69120 Vaulx-en-Velin, France/Laboratoire des technologies, 2014.

**Di Sabatino, S., Buccolieri, R., Leo, L.S., Pappacogli, G. 2014.** *On thermal stratification in real street canyons with trees: Consequences for local air quality.* s.l. : HARMO 2014 - 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Mo, 2014.

**Fontana, D., Spena, A. (1982)** . *Thermal storage device with temperature stratification for solar air heating systems.* s.l. : Alternative Energy Sources: Proceedings of the Miami International Conference on Alternative Energy, (1982) .

**Fraser K.F., G.T. Hollands, A.P. Brunger. 55 (1995).** *An empirical model for natural convection heat exchangers in SDHW.* . s.l. : Solar Energy, pp. 75–84., 55 (1995).

**Furbo. 1993.** *Optimum design of small DHW, low flow solar systems.* s.l. : Proceedings of ISES solar world congress, Budapest, Hungary (1993)., 1993.

**Ghaddar N.K. (1994).** *Stratified storage tank influence on performance of solar water heating system tested in Beirut.* s.l. : Renew Energy, 4 (8) 911–925, (1994).

**IEA. 2008.** *Promoting Energy Efficiency Investments e Case Studies in the Residential Sector.* Paris : ISBN 978-92-64-04214-8, 2008.

**Kenjo L., Inard C., Caccavelli D. (2007).** *Experimental and numerical study of thermal stratification in a mantle tank of a solar domestic hot water system.* s.l. : ApplThermEng, 27, 1986–1995, (2007).

**Knudsen S., Furbo S. (2004).** *Thermal stratification in vertical mantle heat exchangers with application to solar domestic hot-water systems.* . s.l. : Appl Energy, 78, 257–272., (2004).

**Krane, R.J.,. 1987.** *A second law analysis of the optimum design and operation of thermal energy storage systems.* s.l. : International Journal of Heat Mass Transfer 30, 43–57., 1987.

**L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout. 2008.** *A review on buildings energy consumption information.* s.l. : Energy Build. 40 (3)394e398., 2008.

**Lavan Z., Thompson J. (1977)** . *Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks.* s.l. : Solar Energy, 19 (5) 519–524, (1977) .

**Lee, K., Xue, G., Jiang, Z., Chen, Q. . (2011)** . *Thermal stratification in building interior zones with Under-Floor Air-Distribution systems . .* s.l. : Proceedings of 2006 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2006 - Nuclear Engineeri, (2011) .

**María Gasque, Pablo Gonzalez-Altozano, Daniel Maurer, Ignacio Jose Moncho-Esteve, Rosa Penelope Gutierrez-Colomer, Guillermo Palau-Salvador, Eugenio García-Marí. 2014.** *Study of the influence of inner lining material on thermal stratification in a hot water storage tank.* s.l. : Dept. Física Aplicada, Universitat Politecnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain, 2014.

**Michel Y. Haller, Cynthia A. Cruickshank , Wolfgang Streicher , Stephen J. Harrison ,Elsa Andersen, Simon Furbo. 2009.** *Methods to determine stratification efficiency of thermal energy storage processes – Review and theoretical comparison.* s.l. : Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology Arizona/Mechanical and Materials Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada/Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Brovej denmark , 2009.

**Mitchell, Swartz. (1996).** *Relative impact of thermal stratification of the air surrounding a calorimeter.* s.l. : Journal of New Energy, 1 (2) , pp. 141-143., (1996).

- Nasr A., G.L. Morrison, M. Behnia. 1997.** *Computational study of flow and heat transfer characteristics of annular and vertical cavities.* s.l. : Proceedings of 2nd CASCAM'97 , 1997.
- Necdet Altuntop, Mevlut Arslan , Veysel Ozceyhan , Mehmet Kanoglu. 2004.** *Effect of obstacles on thermal stratification in hot water storage tanks.* Turkey : Department of Mechanical Engineering, Erciyes University,38039 Kayser/Department of Mechanical Engineering, University of Gaziantep, 27310 Gaziantep, Turkey, 2004.
- Nelson, J.E.B., Balakrishnan, A.R., Murthy, S.S.,. 1999.** *Experiments on stratified chilled water tanks.* s.l. : International Journal of Refrigeration 22, 216–234., 1999.
- Norman, T.L., Park, H.-S., Revankar, S.T., Ishii, M., Kelly, J.M. (2006) .** *Thermal stratification and mixing in an open water pool by submerged mixtures of steam and air.* s.l. : Source of the Document Proceedings of 2006 ASME International Mechanical Engineering Cong, (2006) .
- P.Armstrong , D.Ager, I.Thompson , M.McCulloch. 2014.** *Domestic hot water storage :Balancing thermal and sanitary performance.* Oxfordshire,UnitedKingdom : OxfordUniversity, 2014.
- Panthalookaran, V., Heidemann, W., Mu" ller-Steinhagen. 2007.** *A new method of characterization for stratified thermal energy stores.* s.l. : Solar Energy 81, 1043–1054., 2007.
- Parent M.G., H. Van Der Meer, K.G.T. Hollands.** *Natural convection heat exchangers in solar water heating systems: theory and experiment. .* s.l. : Solar Energy, 45 (1990), pp. 43–52.
- REGULATION, COMMISSION DELEGATED. 2013.** *supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to the energy labelling of water heaters, hot water storage tanks and packages of water heater and solar device.* Brussels : EUROPEAN COMISION, 2013.
- Rosen, M.A. 1992.** *Appropriate thermodynamic performance measures for closed systems for thermal energy storage.* s.l. : Transactions of the ASEM. Journal of Solar Energy Engineering 114, 100–105, 1992.
- ROSEN, MARC A. 2000.** *THE EXERGY OF STRATIFIED THERMAL ENERGY STORAGE.* 350 Victoria Street, Toronto,Ontario, M5B 2K3, Canada : Department of Mechanical Engineering, Ryerson Polytechnic University, 2000.
- Sagara K, Okumiya M. 1985.** *Estimation model of the performance of water thermal storage tank.* s.l. : Proceedings of the international symposium on thermal application of solar energy,, 1985. p. 313–8..
- Shah L.J., S. Furbo. 75 (2003).** *Entrance effects in solar storage tanks. .* s.l. : Solar Energy, pp. 337–348. , 75 (2003).
- Spur R, Fiala D, Nevrala D, Probert D.** *Influence of the domestic hot-water daily draw-off profile on the performance of a hot-water store.* s.l. : Appl Energy 2006;83:733–49.
- V. O'Brien, Dr M. Smyth, M. Anderson.** *A comparative performance analysis of Copper and Stainless Steel indirect hot water storage cylinders and their heat exchangers including a description of the common materials used.* s.l. : Centre for Sustainable Technologies, School of the Built Environment, University of Ulster, Shore Road, Newtownabbey, Co. Antrim, BT37 0QB.
- Van Berkel J., Rindt C.C.M. (2002).** *Thermo-cline dynamics in a thermally stratified store.* s.l. : Int J Heat Mass Transfer, 45, 343–356, (2002).

- ViskantaR., BehniaM., KaralisA. (1977).** *Interferometer observations of the temperature structure in water cooled or heated from above.* s.l. : Adv Water Resour, 1 (2) 57–69, (1977).
- Y.M. Han, R.Z. Wang\*, Y.J. Dai. 2008.** *Thermal stratification within the water tank.* Shanghai 200240, China : Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, 2008.
- Zheng Yang, Haisheng Chen\*, Liang Wang, Yong Sheng, Yifei Wang. 2015.** *Comparative study of the influences of different water tank shapes on thermal energy storage capacity and thermal stratification.* Beijing 100190, China : Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences,, 2015.
- Zurigat, Y.H., Ghajar, A.J. 2002.** *Chapter 6: heat transfer and stratification in sensible heat storage.* . s.l. : In: Dincer, I., Rosen, M. (Eds.) *Thermal Energy Storage – Systems and Applications.* John Wiley & Sons, New York, pp. 264–270., 2002.
- Αλεξής, Γιωργος Κ.** *Η Τεχνολογία της Ψύξης.* Αθήνα : ΑΘ. Σταμούλης.
- Νίκας, Παναγιωτης Κωνσταντινος. 2008.** *Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Τόμος 1ος.* Αθήνα : LEEDER ENTERPRISES LTD, 2008.

#### Links

- <http://exergia.gr/wp-content/uploads/materials-domestic-water.pdf>
- [http://www.mech.hku.hk/bse/MEBS6000/mebs6000\\_1011\\_02\\_hot\\_water\\_supply.pdf](http://www.mech.hku.hk/bse/MEBS6000/mebs6000_1011_02_hot_water_supply.pdf)
- [http://www.copperindustries.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/Copper-v-stainless-steel-report\\_final.pdf](http://www.copperindustries.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/Copper-v-stainless-steel-report_final.pdf)
- ‘<http://www.araner.com/blog/stratified-thermal-energy-storage-tanks/>