



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**  
ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΝΕΡΟΥ  
ΝΕΡΟΥ ΤΥΠΟΥ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΩΝ  
ΣΩΛΗΝΩΝ

**Σπουδαστής:** Καλαϊντζάκης Χρυσοβαλάντης  
Α.Μ:4307

**Εισηγητής:** Παξινός Κοσμάς

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ Θερμά τον

**Θ Ε Ο**

για την στήριξη, την υπομονή, την καθοδήγησή  
Του και τις πολύτιμες συμβουλές που  
συνέβαλλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της  
παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου για την υπομονή και την στήριξή της σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

*«Πρώτα σε αγνοούν, μετά σε κοροϊδεύουν,  
μετά σε πολεμούν, μετά τους νικάς.»*

*Μαχάτμα Γκάντι, 1869-1948, Ινδός ηγέτης*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> Εισαγωγή.....	5
1.1 Ορισμός αντλιών Θερμότητας.....	7
1.2 Αρχή Λειτουργίας.....	7
1.2.1 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δύο περιπτώσεις: Θέρμανσης και ψύξης.....	8
1.2.2 Κύκλος για ψύξη χώρου.....	9
1.2.3 Κύκλος για θέρμανση χώρου.....	10
1.2.4 Η ιδανική αντλία θερμότητας.....	10
1.2.5 Ο βαθμός απόδοσης.....	12
1.2.6 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας.....	12
1.2.7 Οι πηγές Θερμότητας.....	16
1.2.7.1 Ο αέρας.....	16
1.2.7.2 Το νερό.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	18
2.1 Εναλλάκτες Θερμότητας.....	18
2.2 Διάκριση Εναλλακτών Θερμότητας με τον τρόπο μεταφοράς Θερμότητας .....	18
2.2.1 Εναλλάκτες άμεσης μετάδοσης.....	18
2.2.2 Εναλλάκτες έμμεσης μετάδοσης.....	19
2.2.3 Εναλλάκτες ημιάμεσης μετάδοσης.....	19
2.3 Διάκριση Εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με τον τύπο της ροής και την κατασκευαστική τους διάταξη.....	20
2.4 Εφαρμογές εναλλακτών στη βιομηχανία.....	21
3.1 Προσέγγιση Επίλυσης Κτενιαδάκη.....	24
4.1 Θερμικός Υπολογισμός Εναλλάκτη .....	31
4.2 Υπολογισμός διαμέτρων σωλήνων .....	34
4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ .....	40
5.1 ΠΙΝΑΚΕΣ .....	82
6.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	110
7.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	111

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τον θερμικό κατασκευαστικό υπολογισμό εναλλάκτη νερού νερού τύπου ομοαξονικών σωλήνων. Η σύγχρονη εξέλιξη δεν βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην εξέλιξη των υπολογιστών και της τεχνολογίας γενικότερα. Υπάρχουν και άλλοι τομείς όπου μπορούμε να βρούμε πεδίο για μελέτη και να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ένα μέρος αυτής της προσπάθειας και σκοπό έχει την μελέτη μίας σημαντικής παραμέτρου του πεδίου των ενεργειακών μηχανικών, και αυτό είναι το πεδίο των εναλλακτών θερμότητας.

Υπάρχουν σύγχρονοι αλλά και πεπαλαιωμένοι εναλλάκτες θερμότητας και επομένως σκοπός μας είναι η μελέτη των εναλλακτών θερμότητας ως ένα κομμάτι του αντικειμένου μελέτης των ενεργειακών μηχανικών. Η χρήση των εναλλακτών θερμότητας στην βιομηχανία, στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (πύργοι ψύξης) καθώς και σε άλλες διαδικασίες τους καθιστά μια σπουδαία παράμετρο για την πρόοδο που έχουμε σήμερα στο αντικείμενο του σύγχρονου μηχανικού.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τους εναλλάκτες θερμότητας καθώς και τις ιδιότητές τους και προσπαθεί να φανεί χρήσιμη στον μελλοντικό μελετητή για μια πιο εποικοδομητική μελέτη των πεδίων που παρουσιάζονται στον ενεργειακό μηχανικό. Το υπολογιστικό κομμάτι αποσκοπεί στον υπολογισμό του εναλλάκτη και στην ακολουθία των διαδικασιών προς την ζητούμενη λύση, τον υπολογισμό διατομών του εναλλάκτη καθώς και τους υπολογισμούς του πάχους των σωληνώσεων του εναλλάκτη. Ακολούθως, προσπαθούμε να βρούμε την διατομή προϊόντος για ένα από τα δύο γνωρίζοντας τα πάχη και τέλος γίνεται σχεδίαση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή του εναλλάκτη που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία όπου θα γίνει και αναλυτική απεικόνιση του εναλλάκτη γυροσκοπικά.

Η μελέτη των εναλλακτών θερμότητας είναι σημαντική μπορούμε να πούμε γιατί οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε κατασκευές όπως για παράδειγμα στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς στους πύργους ψύξης αυτών, σε

διαδικασίες επεξεργασίας λαχανικών και λαδιού όπως σε άλλες παρόμοιες, στις πολυκατοικίες στα καλοριφέρ για την θέρμανσή τους καθώς και στα αυτοκίνητα (ψυγείο αυτοκινήτου, συμπιεστής ψυγείου), ψυγείο στην οικιακή χρήση καθώς και σε άλλα πρακτικά παραδείγματα. Επομένως, η μελέτη των εναλλακτών θερμότητας βοηθάει σε αυτές τις εφαρμογές και επομένως στην καλή λειτουργία τους, στην επισκευή καθώς και στην κατασκευή νέων καλύτερων συσκευών.

Αυτή η πτυχιακή εργασία είναι σημαντική γιατί μπορούμε με αυτήν να αναλύσουμε τους εναλλάκτες θερμότητας καθώς και των συσκευών που τις έχουν ως συστατικό τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### **1.1 Ορισμός αντλιών θερμότητας**

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει την δυνατότητα εναλλαγής λειτουργίας στον κύκλο ψύξης ενός συστήματος έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή άλλο μέσο μεταφοράς θερμότητας ή ψύχους, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Ως γνωστόν, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Το σύστημα αυτό όμως, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική ροή, δηλαδή 'αντλεί' θερμότητα και για αυτό ονομάζεται έτσι. Συγκεκριμένα το καλοκαίρι αφαιρεί θερμότητα από έναν κλιματιζόμενο χώρο και την αποβάλλει στο περιβάλλον, οπότε ψύχεται ο κλιματιζόμενος χώρος, ενώ το χειμώνα αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλλει μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον θερμαίνει. Η αντλία θερμότητας είναι ένα φθηνό σύστημα θέρμανσης συγκρινόμενη με τη θέρμανση που δίνουν οι ηλεκτρικοί θερμοσυσσωρευτές, τα αερόθερμα και γενικά τα ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα.

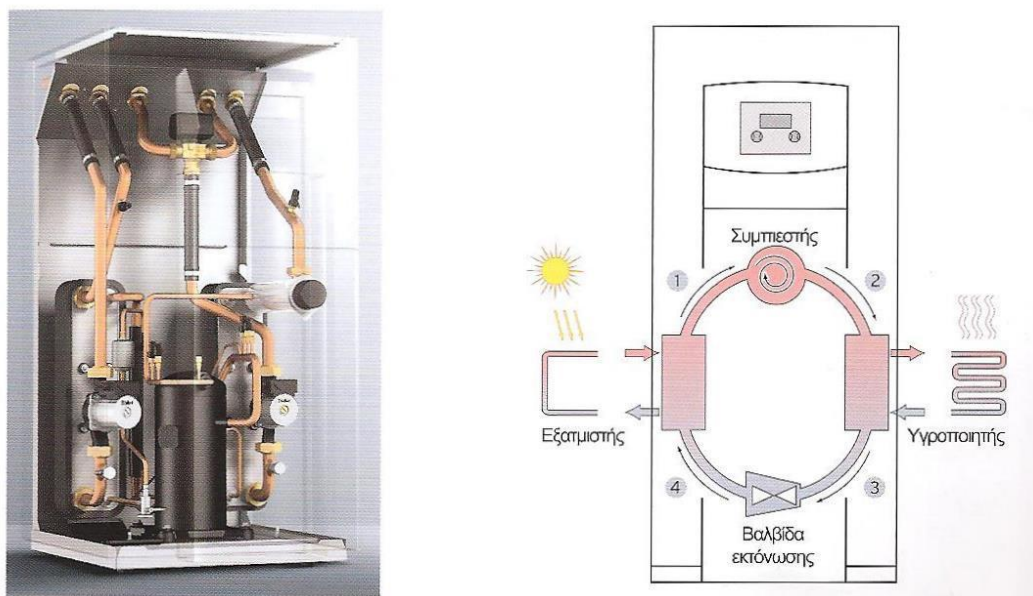
### **1.2 Αρχή Λειτουργίας**

Η αρχή λειτουργίας της είναι η ίδια που εφαρμόζεται και στα ψυγεία ή τις κλιματιστικές συσκευές. Η αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα με κατάλληλο χειρισμό να μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο A προς ένα χώρο B( ψύξη χώρου) , ή αντίστροφα από το χώρο B προς τον χώρο A (θέρμανση του χώρου A).

Τα βασικά μέρη που αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι:

1. Το τμήμα συμπιεστή-συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον
2. Το τμήμα ανεμιστήρα-ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο ή το περιβάλλον
3. Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μία τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε 'θερμαντικό' και αντίστροφα.
4. Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.

5. Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ μικρή.



Τυπική μορφή αντλίας θερμότητας

### 1.2.1 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δυο περιπτώσεις: Θέρμανσης και Ψύξης

Μια αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας ‘αντιστρέφει’ η ‘αναστρέφει’ τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ‘ ψυκτικό κύκλο’ το καλοκαίρι ή ‘θερμαντικό’ τον χειμώνα. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με τον ρόλο του ατμοποιητή .Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ τον χειμώνα ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει, και εφ’ όσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής –συμπυκνωτής από τον χώρο στο περιβάλλον, η ΑΘ με τη χρήση τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου.



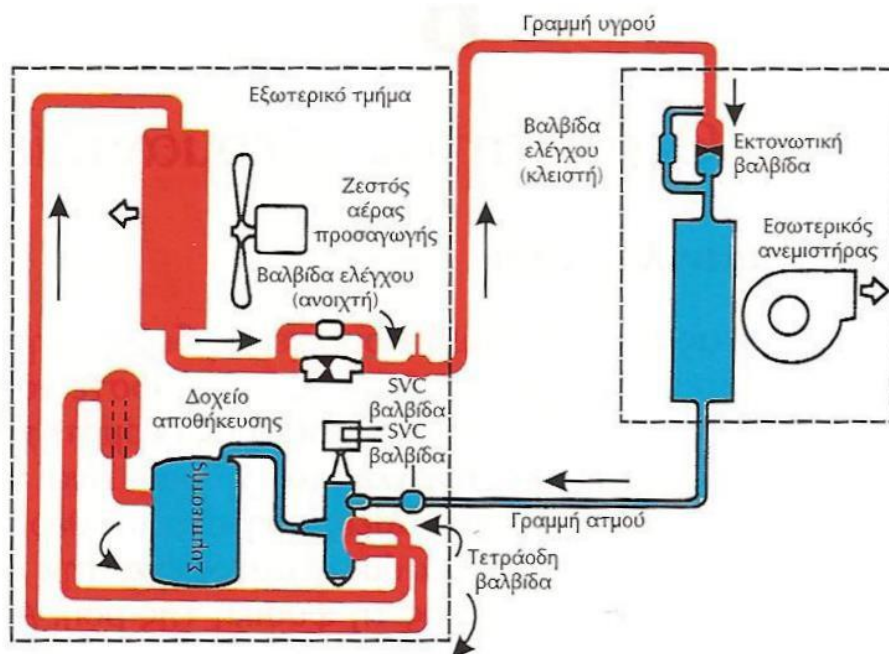
### 1.2.2 Κύκλος για ψύξη χώρου

Την μελέτη του κύκλου για ψύξη την ξεκινάμε από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή.

- Η είσοδος του ψυκτικού ρευστού στον ατμοποιητή ελέγχεται από την άεργη εκτονωτική-στραγγαλιστική διάταξη (βαλβίδα). Η διάταξη αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται σε αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο συμπιεστή.

- Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Το συμπυκνωμένο αέριο υγροποιείται.

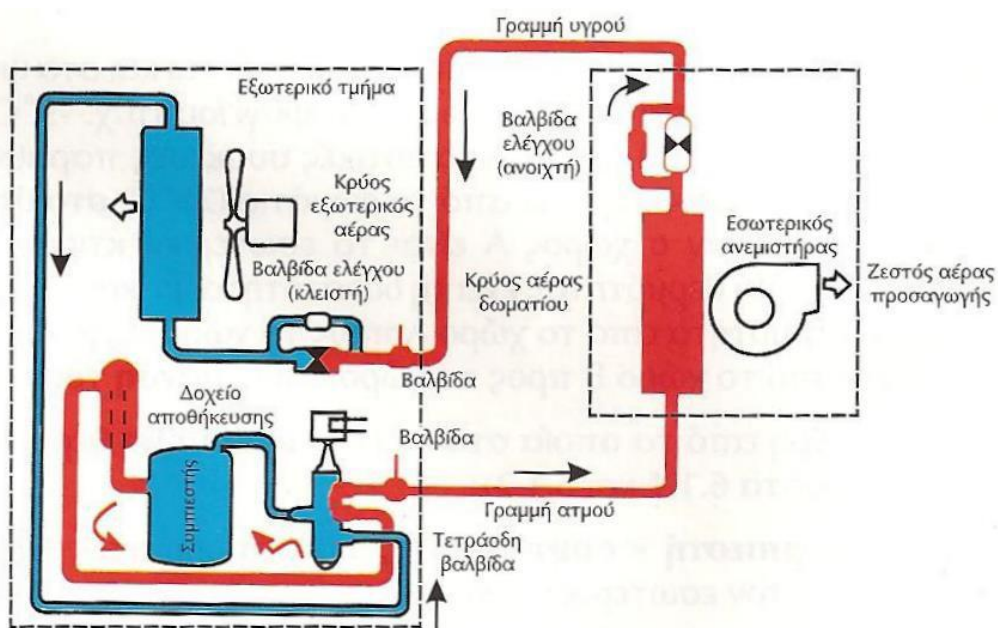
- Το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική διάταξη .



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη

### 1.2.3 Κύκλος για θέρμανση χώρου

Περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης μόνο που σε αυτή την περίπτωση το στοιχείο που εκτελούσε την ατμοποίηση εδώ εκτελεί την συμπύκνωση και το αντίστροφο. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης γίνεται με τη βοήθεια της τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό υγρό μετά την έξοδό του από τον συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου-αέρα(ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων μέσω διακόπτη.



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση

### 1.2.4 Η ιδανική Αντλία Θερμότητας

Η λειτουργία μιας Α.Θ. βασίζεται στη λειτουργία της μηχανής Carnot, που λειτουργεί όμως κατά τη φορά του ψυκτικού κύκλου. Η ποιότητα της αντλίας χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς(επίδοσης) COP (=Coefficient of Performance).

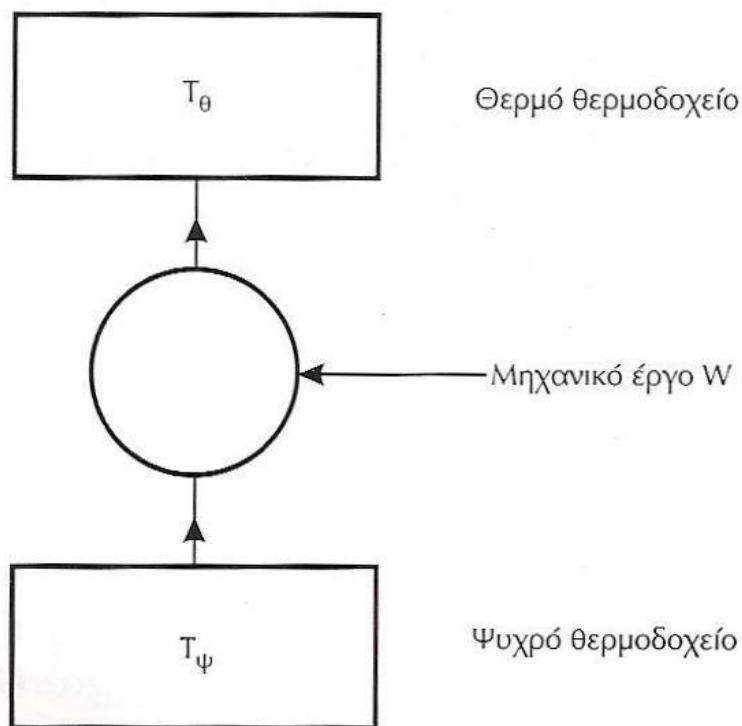
Κατά την θέρμανση ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσό θερμότητας  $Q_2$  ενώ κατά την ψύξη το  $Q_1$ . Ο ενεργειακός ισολογισμός δίνει :  $Q_2=Q_1+W$ .

Ο COP δίνεται από την σχέση:

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

Στην ιδανική περίπτωση τα ποσά θερμότητας δύναται να αντικατασταθούν από τις θερμοκρασίες( βλ. κύκλος Carnot):

$$COP = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi}$$



Κύκλος θερμαντλίας

Παρατηρήσεις:

1. Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά  $T_{\theta}-T_{\psi}$  ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία  $T_{\alpha\theta}$ .

2. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.

Οι δύο αυτές παρατηρήσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας λόγω των ειδικών κλιματολογικών συνθηκών. Έχουμε ήπιο καιρό το χειμώνα με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες περιβάλλοντος, δυνατότητα χρήσης της ηλιακής ενέργειας βοηθητικά στην αντλία θερμότητας, κατά την διάρκεια του χειμώνα και δυνατότητα σε ορισμένες περιπτώσεις της χρήσης της γεωθερμίας βοηθητικά στην ΑΘ.

### **1.2.5 Ο βαθμός απόδοσης**

Η απόδοση της αντλίας θερμότητας επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, διότι η ενθαλπία του αέρα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του, επομένως στις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα θα έχουμε μικρά ποσά θερμότητας από την μία, και από την άλλη προβλήματα σωστής λειτουργίας του συστήματος, κατά τον χειμώνα.

### **1.2.6 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας**

Η κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας μπορεί να γίνει με βάση:

- Το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο από όπου αποβάλλεται η θερμότητα.

Άρα διακρίνονται στις εξής:

Αέρα-Αέρα (A-A)

Αέρα-Νερού (A-N)

Νερού-Νερού (N-N)

Νερού- Αέρα (N-A)

Εδάφους-Αέρα (E-A)

Εδάφους- Νερού (E-N)

- Το είδος της κινητήριας μηχανής.:

A. Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές

B. Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κλπ)

Γ. Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

- Τη θέση των διάφορων μηχανισμών της:

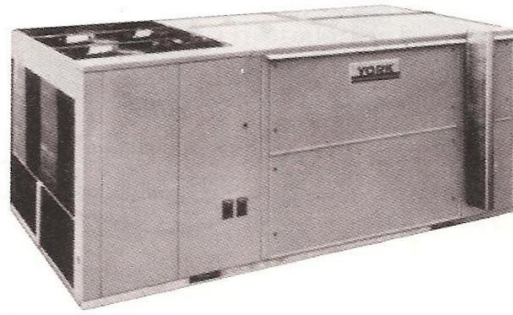
A. Ενιαίες ή αυτόνομες(Compact). Όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.

B. Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units). Ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

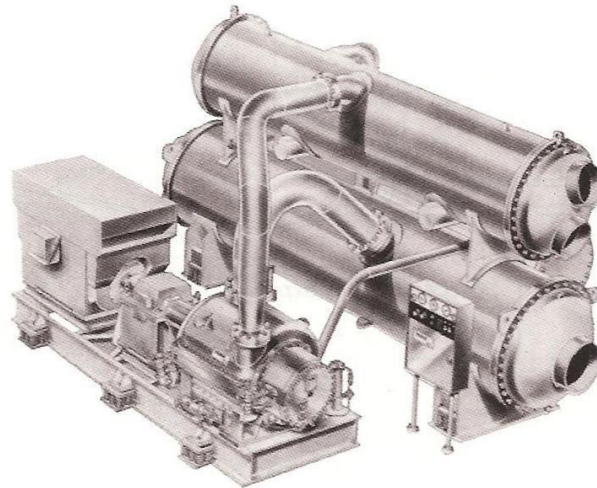
- Τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους:

A. Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.

B. Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου γίνεται με χρήση της τετράποδης βαλβίδας.

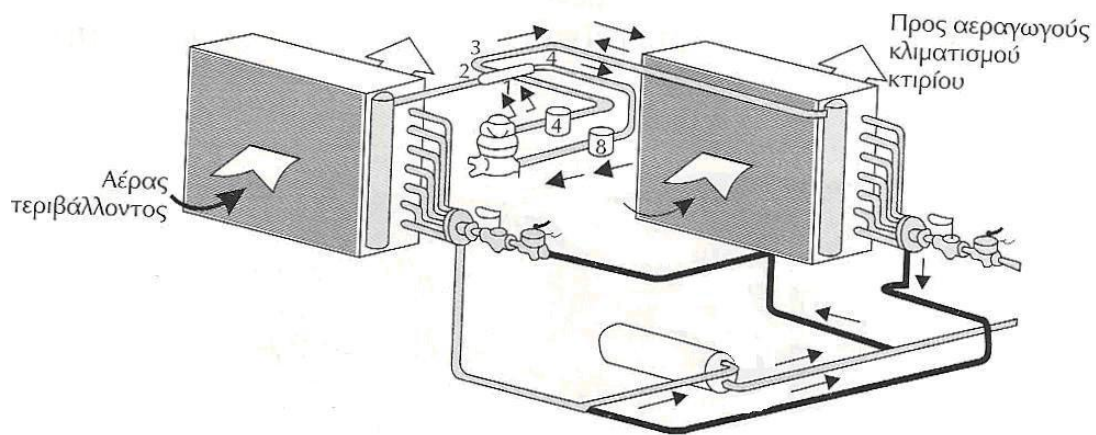


(α) Θερμαντλία αέρα-αέρα

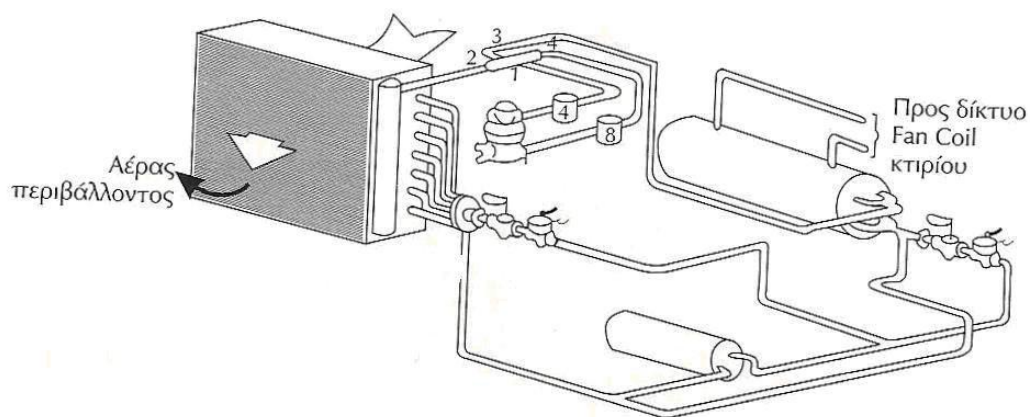


(β) Θερμαντλία νερού-νερού

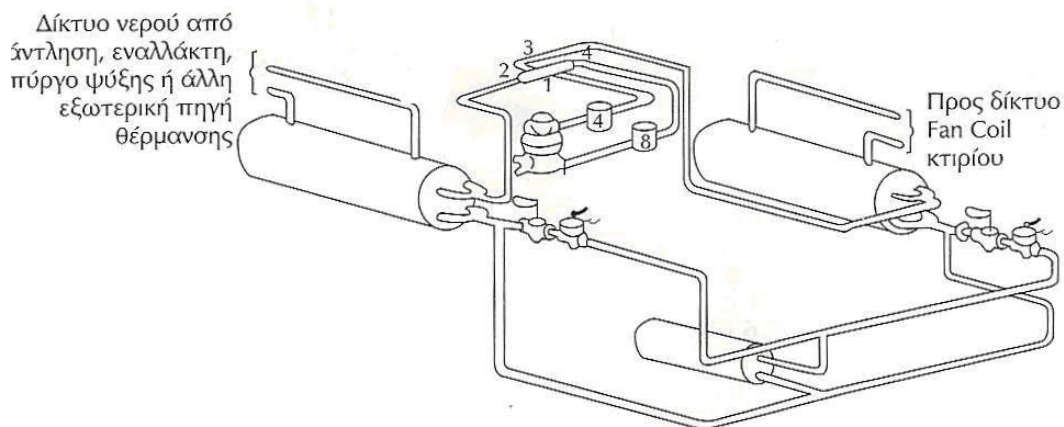
Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από διάφορα είδη αντλιών θερμότητας.



(α) Θερμαντλία αέρα-αέρα



(β) Θερμαντλία αέρα-νερού



(γ) Θερμαντλία νερού-νερού

Σχηματική απεικόνιση αντλιών θερμότητας

## **1.2.7 Οι πηγές θερμότητας**

### **1.2.7.1 Ο αέρας**

Βασικό πλεονέκτημα της πηγής αυτής είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία μέσα στην φύση, αλλά παρουσιάζεται πρόβλημα όταν η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή γιατί η θερμαντλία δεν έχει την δυνατότητα να αντλήσει θερμότητα από τον αέρα. Τότε χρησιμοποιείται εφεδρικό σύστημα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Το εφεδρικό σύστημα μπορεί να είναι ένας λέβητας πετρελαίου ή αερίου, νυχτερινή ή ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια, κλπ.

Σημαντικό πρόβλημα είναι το πάγωμα του ατμοποιητή, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από 0-2 °C οπότε επέρχεται στερεοποίηση της υγρασίας του αέρα. Όσο αυξάνει η ποσότητα του δημιουργούμενου πάγου, τόσο μειώνεται η παροχή του αέρα που διέρχεται από τον ατμοποιητή. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε αρχικά με την χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων που έλιωναν τον πάγο. Σήμερα πλέον η πιο γνωστή μέθοδος είναι η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου. Με τον τρόπο αυτό όταν απαιτείται απόψυξη, η τετράοδη βαλβίδα ενεργοποιείται και μπαίνει σε λειτουργία ο ψυκτικός κύκλος, οπότε το ζεστό αέριο οδηγείται στον ατμοποιητή και λιώνει τον πάγο. Κατά την απόψυξη ο εξωτερικός ανεμιστήρας σταματά να παρέχει κρύο αέρα, με αποτέλεσμα ο συμπιεστής να αντιμετωπίζει μόνο τα φορτία του πάγου.

### **1.2.7.2 Το νερό**

Λόγω του υψηλού κόστους χρήσης νερού από το δημόσιο δίκτυο, σε ανοιχτά κυκλώματα συχνά προτιμάται νερό από ιδιωτικές αντλήσεις. Είναι δυνατή επίσης η χρησιμοποίηση νερού λίμνης, ποταμού ή ακόμα και θάλασσας. Στην τελευταία



περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ο τρόπος υδροληψίας γιατί οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορούν να κλείσουν τις εισόδους των σωλήνων , καθώς επίσης και γιατί μπορεί να υπάρξει αναρρόφηση άμμου, η οποία προκαλεί προβλήματα φθοράς στις αντλίες και στους εναλλάκτες του συστήματος. Για να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ενδιάμεσο κλειστό κύκλωμα νερού σε θαλάσσιο εναλλάκτη θερμότητας. Ο εναλλάκτης αυτός μπορεί να είναι πλαστικός σωλήνας ο οποίος τοποθετείται στην θάλασσα και εναλλάσσει θερμότητα με το θαλασσινό νερό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Εναλλάκτες Θερμότητας

**Εναλλάκτες θερμότητας** είναι οι συσκευές στις οποίες έχουμε μεταφορά ενέργειας με τη μορφή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και διαχωρίζονται συνήθως από κάποιο στερεό τοίχωμα. Το πολύ αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες καθώς και τα οικονομικά κίνητρα που δόθηκαν από την πλειονότητα των κεντρικών κυβερνήσεων παγκοσμίως, οδήγησε αρκετές παραγωγικές εταιρείες ανεξαρτήτου μεγέθους να αναπτύξουν τεχνολογίες αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της ενέργειας. Ένα από τα μέσα που δύναται να χρησιμοποιηθούν προς την επίτευξη του παραπάνω σκοπού είναι η χρήση των συσκευών εναλλαγής θερμότητας οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογές σε σχεδόν όλους τους βιομηχανικούς τομείς όπως στη μεταλλουργική και χημική βιομηχανία. Στη συνέχεια θα γίνει μία προσπάθεια διάκρισης τους με βάση κάποια κριτήρια όπως τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας, τον τύπο της ροής και την κατασκευαστική τους διάταξη.

### 2.2 Διάκριση Εναλλακτών Θερμότητας με τον τρόπο μεταφοράς Θερμότητας.

#### 2.2.1 Εναλλάκτες άμεσης μετάδοσης

Η θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό ρευστό στο ψυχρό με άμεση επαφή ή με ανάμιξη των δύο ρευστών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του τύπου των εναλλακτών είναι οι δίσκοι εναλλαγής των στηλών απόσταξης καθώς και οι πύργοι

ψύξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### *2.2.2 Εναλλάκτες έμμεσης μετάδοσης*

Το θερμό και το ψυχρό ρευστό ρέουν ταυτόχρονα μέσα στον εναλλάκτη, ενώ ο διαχωρισμός τους γίνεται από ενδιάμεσα τοιχώματα μέσω των οποίων γίνεται η μεταφορά θερμότητας. Είναι προφανές ότι το υλικό κατασκευής των τοιχωμάτων αυτών είναι υλικό με καλή αγωγιμότητα. Οι εναλλάκτες του τύπου αυτού αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των εμπορικών εναλλακτών . Χαρακτηριστικά δείγματα εναλλακτών έμμεσης μετάδοσης αποτελούν οι ατμολέβητες, οι συμπυκνωτές όπως και τα θερμαντικά σώματα.

### *2.2.3 Εναλλάκτες ημιάμεσης μετάδοσης*

Μέσα σε αυτές τις διατάξεις η ίδια επιφάνεια θέρμανσης εκτίθεται διαδοχικά στο θερμό και στο ψυχρό ρευστό. Αρχικά απάγει θερμότητα από το ρευστό υγρό και στη συνέχεια την αποδίδει στο ψυχρό ρευστό. Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου είναι γνωστοί ως αναγεννητές. Στα τρία είδη εναλλακτών τα οποία προαναφέρθηκαν η θερμότητα μεταφερόταν από ένα ρευστό σε ένα άλλο. Υπάρχει και μία ειδική κατηγορία εναλλακτών στους οποίους ρέει μόνο ένα ρευστό , το οποίο παραλαμβάνει θερμότητα από εσωτερικές πηγές θερμότητας . Εναλλάκτες με εσωτερική πηγή είναι ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας και ο πυρηνικός αντιδραστήρας. Στην κατηγορία αυτή των εναλλακτών με μόνο ένα ρευστό ανήκουν και οι εναλλάκτες ακτινοβολίας, όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας όπου η ηλιακή ακτινοβολία παραλαμβάνεται και αποδίδεται σε ένα ρευστό – φορέα .

### 2.3 Διάκριση εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με τον τύπο της ροής και την κατασκευαστική τους διάταξη.

- Ανάλογα με τη ροή των ρευστών

Ο απλούστερος τύπος εναλλάκτη είναι αποτελούμενος από δύο ομοαξονικούς σωλήνες μέσα στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν προς την ίδια κατεύθυνση (εναλλάκτες ομορροής) ή αντίθετες διευθύνσεις (εναλλάκτες αντιρροής). Ακόμη αν οι ροές των δύο ρευστών είναι εγκάρσιες (σταυρωτή ροή) τότε οι εναλλάκτες μπορεί να είναι πτερυγιοφόρων ή μη σωλήνων πράγμα το οποίο καθορίζει αν οι ροές θα είναι μιγνυόμενες ή μη μιγνυόμενες. Κάθε ροή είναι δυνατό να αναμιγνύεται ή όχι στη διεύθυνση την εγκάρσια προς τη διεύθυνση κίνησης του ρευστού ανάλογα με το αν αυτό ρέει ή όχι μέσα σε κανάλια ή σωλήνες. Επίσης ένας πολύ διαδεδομένος τύπος εναλλακτών είναι οι εναλλάκτες δέσμης σωλήνων-κέλυφους, στους οποίους συνήθως τοποθετούνται διαφράγματα στο κέλυφος τα οποία προκαλούν διαταραχές στη ροή και την καθιστούν τυρβώδη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο συντελεστής συναγωγής του ρευστού που ρέει στο κέλυφος.

- Με βάση τη φύση των ρευστών

Όπως διαπιστώσαμε, στους περισσότερους εναλλάκτες η θερμότητα μεταφέρεται από ένα ρευστό σε ένα άλλο. Με βάση την φύση των ρευστών οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

- Αερίου-αερίου
- Αερίου-υγρού και αντίστροφα
- Υγρού-υγρού
- Συμπύκνωσης ατμού με υγρό
- Συμπύκνωσης ατμού με αέριο
- Εξάτμισης υγρού με θερμό αέριο ή υγρό

- Εξάτμισης υγρού με συμπυκνούμενο ατμό

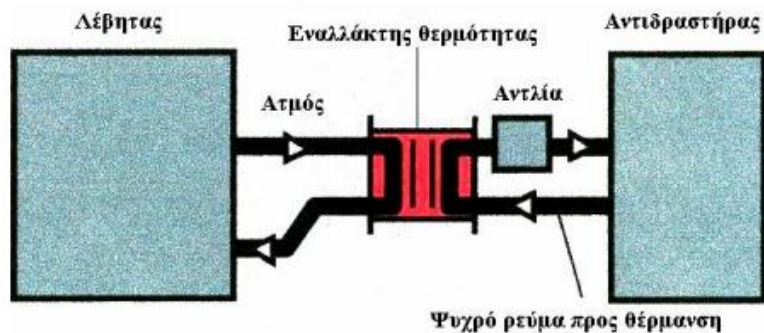
Οι εναλλάκτες αερίου-αερίου συνήθως είναι εφαρμογές στις οποίες ένα καυσαέριο θερμαίνει ένα άλλο αέριο. Η περίπτωση αυτή συναντάται στους αεριοστρόβιλους και στους ατμολέβητες. Οι εναλλάκτες υγρού-αερίου έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογής. Τυπικά παραδείγματα είναι το ψυγείο αυτοκινήτου, τα θερμαντικά σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (fan coils). Είναι προφανές ότι ο συνδυασμός των ροών και των κατασκευαστικών διατάξεων οδηγεί σε μεγάλη ποικιλία εναλλακτών . Η πλειοψηφία των εμπορικών εναλλακτών ανήκει σε έναν από τους τρεις βασικούς τύπους: ομορροής ή αντιρροής, δέσμης σωλήνων-κελύφους και σταυρωτής ροής. Οι συνδυασμοί τέλους ροής και τύπων κατασκευής είναι καθοριστικής σημασίας για τη θερμοροή που λαμβάνει χώρα στον εναλλάκτη.

#### **2.4 Εφαρμογές εναλλακτών στη βιομηχανία**

Στη χημική και μεταλλουργική βιομηχανία οι τυπικές εφαρμογές των εναλλακτών διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

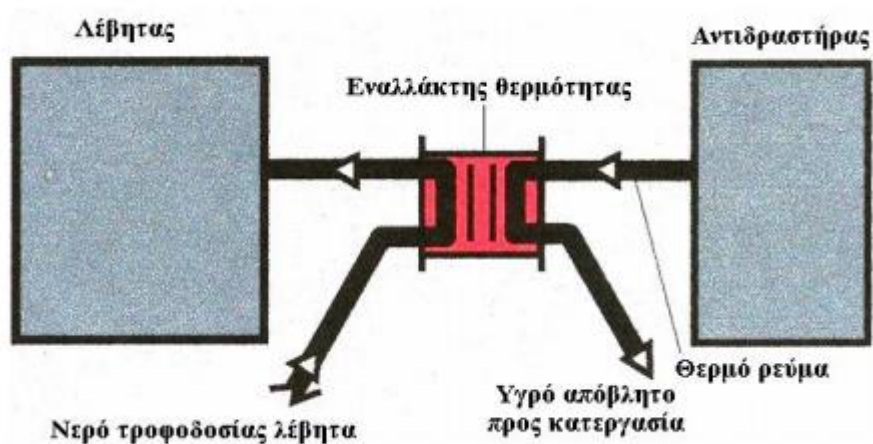
- ✓ Ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικοί τρόποι θέρμανσης (Heating)

Η θέρμανση οποιουδήποτε ρεύματος ρευστού που οδεύει σε βιομηχανικό αντιδραστήρα γίνεται συνήθως με χαμηλής πίεσης ατμό με εξαίρεση τις περιπτώσεις που απαιτείται θέρμανση σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Το ρευστό το οποίο πρέπει να εισέλθει στον αντιδραστήρα θερμαίνεται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας έως την επιθυμητή θερμοκρασία από χαμηλής πίεσης ατμό ή σε ορισμένες περιπτώσεις από άλλα θέρμανσης όπως θερμό νερό και ειδικά λάδια. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής μιας τέτοιας εφαρμογής δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



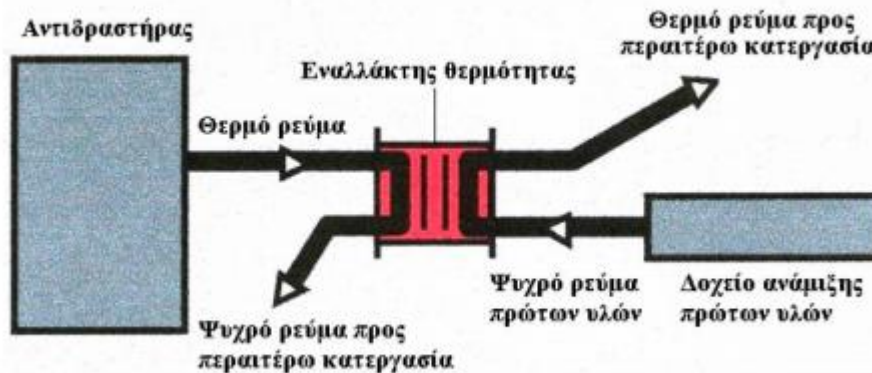
- ✓ Ανάκτηση θερμότητας από θερμά ρεύματα (Heat Recovery)

Κάθε βιομηχανική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο αριθμό θερμών ρευμάτων τα οποία πρέπει να ψυχθούν ή θερμών ρευστών αποβλήτων τα οποία πριν υποστούν κατεργασία προς απόρριψη πρέπει επίσης να ψυχθούν για να ανακτηθεί η περιεχόμενη σε αυτά ενέργεια. Ο αποτελεσματικότερος τρόπος ανάκτησης της θερμότητας, είναι μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα χρησιμοποιείται συνήθως για την προθέρμανση του νερού που τροφοδοτεί ένα λέβητα παραγωγής ατμού μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ενέργειας στο λέβητα.



✓ Αναγέννηση θερμότητας (Regenerative Heat Exchange)

Η φιλοσοφία της αναγέννησης θερμότητας είναι η ανάκτηση της ενέργειας ενός θερμού ρεύματος μίας παραγωγικής διαδικασίας που απαιτεί ψύξη για την άμεση θέρμανση ενός άλλου ψυχρού ρεύματος της ίδιας παραγωγικής διαδικασίας, το οποίο απαιτεί θέρμανση πριν την περαιτέρω κατεργασία του (παρακάτω σχήμα). Ονομάζεται *αναγέννηση θερμότητας* διότι μεταφέρει άμεσα ένα ποσό ενέργειας από ένα θερμό ρεύμα εξόδου σε ένα ψυχρό ρεύμα εισόδου της ίδιας παραγωγικής διαδικασίας.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

---

## 3.1 Προσέγγιση Επίλυσης Κτενιαδάκη.

Θα ξεκινήσουμε από την εκφώνηση της άσκησης του Κ<sup>ου</sup> Κτενιαδάκη, θα μετατρέψουμε όμως κάποιους συμβολισμούς για να μην μπερδευτούμε στη συνέχεια.

Πρώτα θα επιβεβαιώσουμε και από τη νέα σκοπιά τα εξαγόμενα του Κ<sup>ου</sup> Κτενιαδάκη.

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε το θερμικό υπολογισμό του εναλλάκτη, και συγκεκριμένα θα πραγματοποιήσουμε το Συνολικό Συντελεστή Μετάδοσης Θερμότητας, από άποψη παροχών, δηλαδή ταχυτήτων και διατομών ροής.

Στο τέλος θα υπολογίσουμε τα Κατασκευαστικά Στοιχεία του Εναλλάκτη, όπως το πάχος των τοιχωμάτων των σωλήνων, των καλυμμάτων, των περιστομιών, των φλαντζών των στεγανοποιητικών, των κοχλιών σύνδεσης καθώς και της πλάκας για τη σφράγιση και τη δοκιμή της εγκατάστασης.

Στην πορεία θα χρειαστεί να επιλέξουμε υλικά και συνθήκες, λχ πίεσης, που δεν προβλέπει η άσκηση του Κ<sup>ου</sup> Κτενιαδάκη, καθώς εκφεύγουν του σκοπού της, πλην όμως απετέλεσαν το σκοπό το δικό μου, με παρότρυνση και καθοδήγηση του εισηγητή της παρούσας πτυχιακής, ο οποίος –φυσικά- είχε την υποχρέωση, αλλά παρόλα αυτά τον ευχαριστώ.

### **Εκφώνηση άσκησης**

*Άσκηση 5.1 σελίδα 489 από το βιβλίο του Κτενιαδάκη*

Παροχή νερού 1500 kg/hr, θερμοκρασίας 25 °C, θερμαίνεται σε εναλλάκτη αντιρροής, μέχρι θερμοκρασία 67,5°C. Η θερμοκρασία γίνεται με θερμό νερό από λέβητα, θερμοκρασίας 85°C, παροχής 2000 kg/hr.

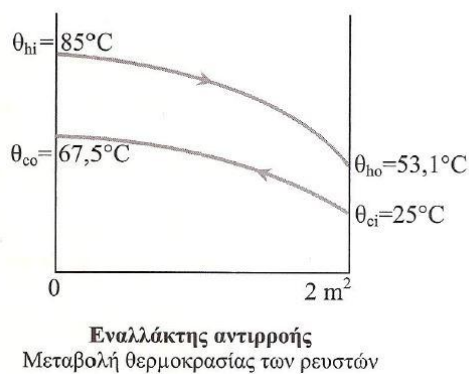
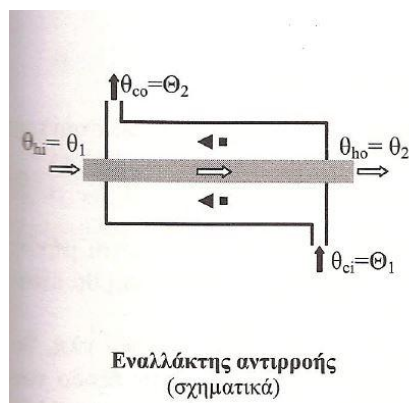


Ο εναλλάκτης έχει συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $1650 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .  
Η ειδική θερμότητα του νερού θεωρείται σταθερή και ίση με  $4,179 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}$ .

Ζητούνται :

- Η θερμοκρασία εξόδου του νερού θέρμανσης και η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη.
- Μπορούν τα παραπάνω να επιτευχθούν με σύνδεση του εναλλάκτη ώστε τα ρευστά να είναι σε ομορροή; Ναι ή όχι και γιατί;
- Έστω ότι ο εναλλάκτης συνδέεται κατά ομορροή. Με ίδιες παροχές και θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευστών, να υπολογισθούν οι θερμοκρασίες εισόδου και η απαιτούμενη θερμική ισχύς.

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.



Θερμικός υπολογισμός εναλλάκτη (από βιβλίο Κτενιαδάκη )

Δεδομένα:

- Θερμό ρευστό (h): νερό λέβητα
- Ψυχρό ρευστό (c) : νερό για θέρμανση
- $\theta_{hi} = 85^\circ\text{C}$
- $\theta_{ci} = 25^\circ\text{C}$
- $\theta_{co} = 67,5^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_h = 2000 \text{ kg/hr} = 0,5555 \text{ kg/sec}$
- $\dot{m}_c = 1500 \text{ kg/hr} = 0,4167 \text{ kg/sec}$
- $c_h = c_c = 4179 \text{ j/kg} \cdot \text{K}$

- $U = 1650 \frac{W}{m^2} \cdot K$

### Λύση

Ερώτημα Α.

Αρχικά υπολογίζουμε την συναλλασσόμενη θερμική ισχύ .

$$q = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (\theta_{co} - \theta_{co}) = 0,4167 \cdot 4179 \cdot (67,5 - 25) \Rightarrow q \approx 74000W$$

καθ' όμοιο τρόπο υπολογίζεται η θερμοκρασία εξόδου  $\theta_{ho}$

$$q = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (\theta_{hi} - \theta_{ho}) \Rightarrow \theta_{ho} = \theta_{hi} - \frac{q}{\dot{m}_c \cdot c_c} \Rightarrow \theta_{ho} = 85 - \frac{74000}{0,5555 \cdot 4179} \Rightarrow$$

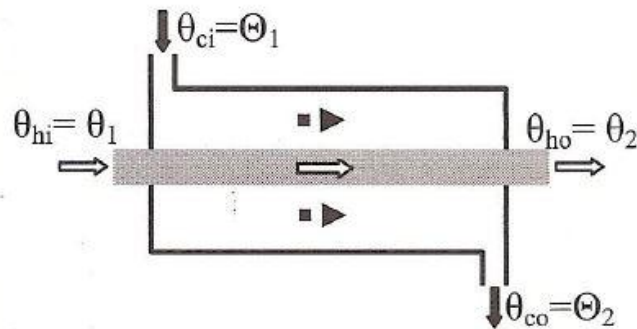
$$\theta_{ho} \approx 53,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Έπειτα πάμε και υπολογίζουμε την ΜΛΘΔ (Μέση Λογαριθμική Θερμοκρασιακή Διαφορά) για την περίπτωση τις αντιστροφής:

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_{hi} - \theta_{co}) - (\theta_{ho} - \theta_{ci})}{\ln\left(\frac{\theta_{hi} - \theta_{co}}{\theta_{ho} - \theta_{ci}}\right)} \Rightarrow \Delta\theta_m = \frac{(85 - 67,5) - (53,1 - 25)}{\ln\left(\frac{85 - 67,5}{53,1 - 25}\right)} \Rightarrow \Delta\theta_m \approx 22,4^\circ\text{C}$$

Τέλος πάμε και υπολογίζουμε την επιφάνεια συναλλαγής

$$q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m \Rightarrow A = \frac{q}{U \cdot \Delta\theta_m} \Rightarrow A \approx 2 \text{ m}^2$$

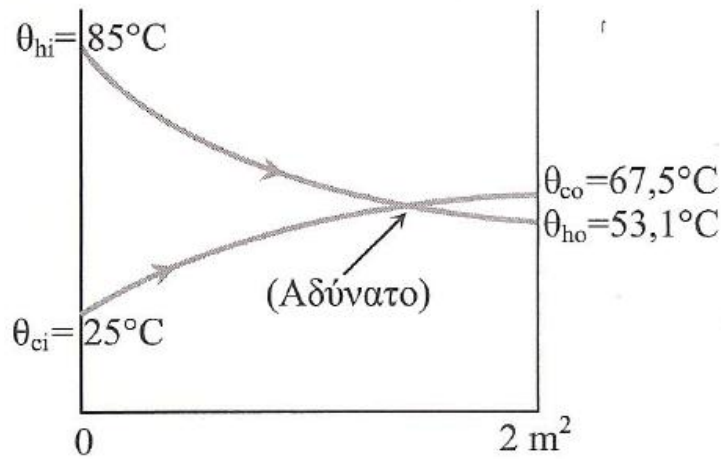


**Εναλλάκτης ομορροής  
(σχηματικά)**

Ερώτημα Β.

Πρέπει να εξετασθούν οι θερμοκρασίες κατά μήκος της επιφάνειας συναλλαγής, αφού σε εναλλάκτη ομορροής, σε κάθε θέση θα είναι  $\theta_h > \theta_c$ .

Εδώ, αν θέλουμε να πετύχουμε την ίδια συναλλασσόμενη θερμότητα κλπ, θα έχουμε πάλι  $\theta_{ho} = 53,1^\circ\text{C}$  και  $\theta_{co} = 67,5^\circ\text{C}$ . Οπότε προφανώς, στην έξοδο του εναλλάκτη θα ήταν  $\theta_h < \theta_c$ , πράγμα αδύνατο. Συνεπώς, με σύνδεση του εναλλάκτη κατά ομορροή, δεν μπορούμε να επιτύχουμε τα ίδια αποτελέσματα. Βλέπε και το παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνεται ότι θα υπάρχει "τομή θερμοκρασιών".



**Εναλλάκτης ομορροής**  
Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών –  
αδυναμία λειτουργίας

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξουμε αν εξετάσουμε την ΜΛΘΔ για ομορροή, δηλ. την  $\Delta\theta_{mo}$ . Θα βρίσκαμε ότι, για τις ίδιες θερμοκρασίες, η  $\Delta\theta_m$  δεν υπάρχει (δεν ορίζεται).

Ερώτημα Γ.

Για την λειτουργία της ομορροής, με δεδομένα τις παροχές και τις θερμοκρασίες εισόδου (μόνο) των ρευστών αλλά γνωστά τα λοιπά θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά του εναλλάκτη ( $U$  και  $A$ ), μπορούν να προκύψουν οι θερμοκρασίες εξόδου των ρευστών και η νέα συναλασσόμενη θερμική ισχύς, αν εργασθούν ως εξής:

Υπολογισμός των θερμοκρασιών εξόδου των ρευστών σε ΟΜΟΡΡΟΗ:

Για τη θερμική ισχύ του εναλλάκτη ισχύουν οι γνωστές εξισώσεις:

$$q = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (\theta_{co} - \theta_{ci}) = \dot{m}_h \cdot c_h \cdot (\theta_{hi} - \theta_{ho}) \quad (1),(2)$$

$$q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_{mo} \Rightarrow q = U \cdot A \cdot \frac{(\theta_{hi} - \theta_{ci}) - (\theta_{ho} - \theta_{co})}{\ln\left(\frac{\theta_{hi} - \theta_{ci}}{\theta_{ho} - \theta_{co}}\right)} \quad (3)$$

Οι σχέσεις (1),(2) και (3) είναι σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους  $q$ ,  $\theta_{ho}$  και  $\theta_{co}$ , εφόσον είναι γνωστά τα στοιχεία του εναλλάκτη και οι θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευστών  $\theta_{hi}$  και  $\theta_{ci}$ . Από τη λύση προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\theta_{ho} = \theta_{hi} - (\theta_{hi} - \theta_{ci}) \cdot \frac{1 - e^{-U \cdot A \cdot \left(\frac{1}{\dot{m}_h \cdot c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right)}}{1 + \frac{\dot{m}_h \cdot c_h}{\dot{m}_c \cdot c_c}} \quad (4)$$

και

$$\theta_{co} = \theta_{ci} + (\theta_{hi} - \theta_{ci}) \cdot \frac{1 - e^{-U \cdot A \cdot \left(\frac{1}{\dot{m}_h \cdot c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_c}\right)}}{1 + \frac{\dot{m}_c \cdot c_c}{\dot{m}_h \cdot c_h}} \quad (5)$$

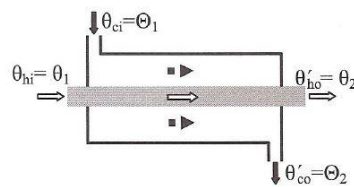
Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις, με τα δεδομένα του εναλλάκτη, βρίσκουμε αντίστοιχα τις νέες θερμοκρασίες εξόδου των ρευστών  $\theta'_{ho}$  και  $\theta'_{co}$ :

$$\theta'_{ho} = 85 - (85 - 25) \cdot \frac{1 - e^{-1650 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{0,5555 \cdot 4179} + \frac{1}{0,4167 \cdot 4179}\right)}}{1 + \frac{0,5555 \cdot 4179}{0,4167 \cdot 4179}} \Rightarrow \theta'_{ho} \approx 60,2^\circ\text{C}$$

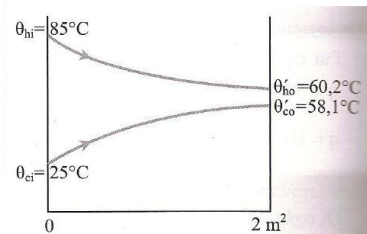
$$\theta'_{co} = 25 + (85 - 25) \cdot \frac{1 - e^{-1650 \cdot 2 \cdot \left( \frac{1}{0,5555 \cdot 4179} + \frac{1}{0,4167 \cdot 4179} \right)}}{1 + \frac{0,4167 \cdot 4179}{0,5555 \cdot 4179}} \Rightarrow \theta'_{ho} \approx 58.1^\circ\text{C}$$

Η νέα συναλλασσόμενη θερμική ισχύς  $q'$  θα είναι:

$$q' = \dot{m}_h \cdot c_h \cdot (\theta_{hi} - \theta'_{ho}) \Rightarrow q' = 0.5555 \cdot 4179 \cdot (85 - 60.2) \Rightarrow q' \approx 57600\text{W}$$



Εναλλάκτης ομορροής  
(σχηματικά)



Εναλλάκτης ομορροής  
Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

---

## 4.1 Θερμικός Υπολογισμός Εναλλάκτη

### Πρόβλημα

Παροχή νερού  $1500 \text{ kg/hr}$ , θερμοκρασίας  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , θερμαίνεται σε εναλλάκτη αντιρροής, μέχρι θερμοκρασία  $67,5^\circ\text{C}$ . Η θερμοκρασία γίνεται με θερμό νερό από λέβητα, θερμοκρασίας  $85^\circ\text{C}$ , παροχής  $2000 \text{ kg/hr}$ . Υλικό κατασκευής εναλλάκτη X10CrNiTi189. Πίεσεις για το ζεστό και για το κρύο  $2\text{bar}$  &  $11\text{bar}$ , αντίστοιχα.

### Λύση

Δεδομένα:

- Θερμό ρευστό (h): νερό λέβητα
- Ψυχρό ρευστό (c) : νερό για θέρμανση
- $\theta_{hi} = 85^\circ\text{C}$
- $\theta_{ci} = 25^\circ\text{C}$
- $\theta_{co} = 67,5^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_h = 2000 \text{ kg/hr} = 0,5555 \text{ kg/sec}$
- $\dot{m}_c = 1500 \text{ kg/hr} = 0,4167 \text{ kg/sec}$
- $U = 1650 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$  (υποθετικό)
- $u_h = u_c = 1 \text{ m/sec}$
- $P_h = 2\text{bar}$
- $P_c = 11\text{bar}$
- υλικό X10CrNiTi189

Αρχικά πάμε να βρούμε την ειδική θερμότητα του κρύου νερού από τον πίνακα, χρησιμοποιώντας μια μέση τιμή των θερμοκρασιών:

$$\theta_c = \frac{\theta_{co} + \theta_{ci}}{2} \Rightarrow \theta_c = \frac{67,5^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C}}{2} \Rightarrow \theta_c = 46,25^\circ\text{C}$$

αφού η διαφορά είναι μικρή παίρνω την τιμή  $\theta_c = 50^\circ\text{C}$

και βλέποντας ότι για πίεση 11bar η απόκλιση είναι υπερβολικά μικρή έχω :

$$c_c = 4,179 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Έπειτα, υπολογίζω την συναλλασσόμενη θερμική ισχύ :

$$q = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (\theta_{co} - \theta_{ci}) \Rightarrow$$

$$q = 0,4167 \text{ kg/sec} \cdot 4,18075 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot (67,5^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \Rightarrow q \approx 70,04 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Από τον ίδιο τύπο θα πάω να υπολογίσω και την θερμοκρασία εξόδου του ζεστού.

Υποθέτοντας τώρα, με βάση την πίεση 2bar και μια θερμοκρασία μικρότερης των 85°C,

$$c_h = 3,4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Άρα, η θερμοκρασία εξόδου θα είναι:



$$q = \dot{m}_h \cdot c_h \cdot (\theta_{hi} - \theta_{ho}) \Rightarrow \theta_{ho} = \theta_{hi} - \frac{q}{\dot{m}_h \cdot c_h}$$

$$\Rightarrow \theta_{ho} = 85^\circ\text{C} - \frac{70,04 \cdot 10^3 \text{ W}}{0,5555 \text{ kg/sec} \cdot 3,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \Rightarrow \theta_{ho} = 47,916^\circ\text{C}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ειδική θερμότητα cp υπό σταθερά πίεση του ύδατος συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας [cp σε KJ/kgK].

Πίεση bar	Θερμοκρασία σε °C														
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
1	4,217	4,182	4,181	2,032	1,979	1,974	1,988	2,011	2,037	2,068	2,099	2,132	2,200	2,270	2,341
5	4,215	4,181	4,180	4,215	4,310	2,143	2,079	2,065	2,073	2,093	2,118	2,146	2,208	2,276	2,346
10	4,212	4,179	4,179	4,214	4,308	2,431	2,215	2,141	2,121	2,126	2,141	2,164	2,219	2,283	2,352
50	4,191	4,166	4,170	4,205	4,296	4,477	4,855	3,299	2,669	2,451	2,360	2,324	2,311	2,347	2,402
100	4,165	4,151	4,158	4,194	4,281	4,450	4,791	5,703	4,042	3,078	2,726	2,569	2,445	2,429	2,465
150	4,141	4,137	4,148	4,183	4,266	4,425	4,735	5,495	8,863	4,155	3,235	2,875	2,597	2,517	2,531
200	4,117	4,123	4,137	4,173	4,252	4,402	4,685	5,332	8,103	6,327	3,959	3,257	2,767	2,610	2,598
250	4,095	4,109	4,127	4,163	4,239	4,379	4,639	5,201	7,017	13,02	5,020	3,731	2,956	2,709	2,666
300	4,073	4,097	4,117	4,153	4,226	4,358	4,598	5,091	6,451	25,71	6,624	4,317	3,161	2,814	2,736
350	4,052	4,084	4,107	4,144	4,214	4,338	4,560	4,999	6,084	11,79	8,875	5,019	3,381	2,925	2,807
400	4,032	4,073	4,098	4,135	4,202	4,319	4,525	4,919	5,820	8,784	10,89	5,807	3,612	2,040	2,878
450	4,013	4,062	4,089	4,126	4,190	4,301	4,493	4,848	5,616	7,517	10,83	6,584	3,849	3,158	2,951
500	3,994	4,051	4,081	4,117	4,179	4,284	4,463	4,786	5,451	6,814	9,483	7,200	4,086	3,278	3,024
600	3,957	4,032	4,064	4,100	4,157	4,252	4,410	4,681	5,200	6,047	7,466	7,480	4,521	3,515	3,168
700	3,920	4,014	4,049	4,084	4,137	4,222	4,362	4,595	5,014	5,621	6,440	6,913	4,857	3,736	3,309
800	3,883	3,997	4,035	4,068	4,117	4,195	4,320	4,523	4,871	5,340	5,844	6,310	5,053	3,928	3,441
900	3,844	3,982	4,022	4,054	4,099	4,169	4,282	4,462	4,757	5,135	5,465	5,854	5,104	4,082	3,562
1000	3,800	3,968	4,010	4,039	4,081	4,145	4,248	4,410	4,663	4,975	5,203	5,511	5,057	4,196	3,670

Υπολογισμός επιφάνειας συναλλαγής.

Πρώτα βρίσκω την μέση λογαριθμική διαφορά

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_{hi} - \theta_{co}) - (\theta_{ho} - \theta_{ci})}{\ln\left(\frac{\theta_{hi} - \theta_{co}}{\theta_{ho} - \theta_{ci}}\right)} \Rightarrow \Delta\theta_m = \frac{(85 - 67,5) - (47,916 - 25)}{\ln\left(\frac{85 - 67,5}{47,916 - 25}\right)} \Rightarrow \Delta\theta_m \approx 20,086^\circ\text{C}$$

άρα η μέση επιφάνεια συναλλαγής θα είναι:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m \Rightarrow A = \frac{q}{U \cdot \Delta\theta_m} \Rightarrow A = \frac{70,04 \cdot 10^3 W}{1650 \frac{W}{m^2} \cdot K \cdot 20,086^\circ C} \Rightarrow A \approx 2,11 m^2$$

## 4.2 Υπολογισμός διαμέτρων σωλήνων

Υπολογίζουμε την πυκνότητα από τον παρακάτω πίνακα για τον μέσο όρο θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του ζεστού και του κρύου αντίστοιχα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Πυκνότητα  $\rho$  ύδατος συναρτήσει της πίεσεως και της θερμοκρασίας

Πίεση bar	Θερμοκρασία σε °C								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	999,9	998,4	988,1	0,5895	0,5163	0,4603	0,4156	0,3789	0,3483
5	1000,1	998,6	988,3	958,4	916,8	2,353	2,108	1,913	1,754
10	1000,2	998,8	988,5	958,6	917,1	4,856	4,297	3,876	3,540
20	1000,7	999,2	988,9	959,0	917,7	865,0	8,972	7,969	7,217
30	1000,7	999,8	989,4	959,6	918,3	865,8	14,17	12,32	11,04
40	1001,2	1000,1	989,8	960,0	918,8	866,6	799,2	16,99	15,05
50	1001,7	1000,5	990,2	960,5	919,4	867,3	800,4	22,06	19,25
60	1002,2	1001,0	990,7	961,0	920,0	868,1	801,6	27,65	23,68
70	1002,7	1001,4	991,1	961,4	920,5	868,9	802,7	33,94	28,38
80	1003,2	1001,9	991,5	961,9	921,1	869,6	803,8	41,24	33,38
90	1003,7	1002,3	991,9	962,4	921,7	870,4	804,9	713,1	38,77
100	1004,2	1002,8	992,4	962,8	922,2	871,1	806,0	715,4	44,60
150	1004,7	1005,0	994,5	965,1	925,0	874,7	811,4	725,8	87,07
200	1007,2	1007,2	996,6	967,5	927,7	878,2	816,5	735,0	600,3
250	1009,6	1009,3	998,7	969,7	930,4	881,6	821,3	743,4	624,9
300	1012,1	1011,5	1000,7	971,9	933,0	884,9	826,0	751,0	643,4
350	1014,5	1013,6	1002,7	974,1	935,6	888,1	830,4	758,1	658,5
400	1016,9	1015,8	1004,7	976,2	938,1	891,3	834,7	764,7	671,4
450	1019,2	1017,9	1006,7	978,3	940,5	894,3	838,8	771,0	682,7
500	1021,5	1019,9	1008,7	980,5	943,0	897,3	842,8	776,9	692,9
600	1023,8	1024,0	1012,6	984,5	947,7	903,1	850,3	787,7	710,7
700	1028,4	1028,1	1016,4	988,5	952,3	908,6	857,5	797,5	725,9
800	1032,9	1032,1	1020,1	992,4	956,7	914,0	864,2	806,7	739,3
900	1041,4	1036,0	1023,8	996,3	961,1	919,2	870,6	815,2	751,5
1000	1045,5	1039,9	1027,4	1000,0	965,3	924,2	876,7	823,2	762,5

$$\theta_h = \frac{\theta_{hi} + \theta_{ho}}{2} \Rightarrow \theta_h = \frac{85^\circ C + 47,916^\circ C}{2} \Rightarrow \theta_h = 66,458^\circ C$$

$$\theta_c = \frac{\theta_{co} + \theta_{ci}}{2} \Rightarrow \theta_c = \frac{67,5^\circ C + 25^\circ C}{2} \Rightarrow \theta_c = 46,25^\circ C$$

Για πίεση  $P_h = 2\text{bar}$  και  $\theta_h = 66,458^\circ\text{C}$ , κάνοντας γραμμική παρεμβολή έχω:

	50 °C	66,458 °C	100°C
1 bar	988,1		958,4 *
2 bar	$\rho_{50}$	$\rho_h$	$\rho_{100}$
5 bar	988,3		958,4

\* η τιμή του παραπάνω πίνακα είναι όταν έχει εξατμιστεί. Οπότε βρίσκουμε από

θερμοδυναμικούς πίνακες και τον ειδικό όγκο του κορεσμένου υγρού

$$v_f = 0,0010434 \text{ m}^3/\text{kg}$$

και από εκεί την πυκνότητα

$$\rho = \frac{1}{v_f} \Rightarrow \rho = \frac{1}{0,0010434 \text{ m}^3/\text{kg}} \Rightarrow \rho = 958,4 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ για τα } P_h = 2\text{bar} \text{ και } 50^\circ\text{C}$$

$$\rho_{50} = \frac{2 \text{ bar} - 1\text{bar}}{5\text{bar} - 1\text{bar}} \cdot (988,3^\circ\text{C} - 988,1^\circ\text{C}) + 988,1^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_{50} = 988,15 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{για } P_h = 2\text{bar} \text{ και } 100^\circ\text{C} \text{ έχω : } \rho_{100} = 958,4 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{τέλος } \rho_h = \frac{66,458^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{100^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}} \cdot (\rho_{100} - \rho_{50}) + \rho_{50} \Rightarrow$$

$$\rho_h = \frac{66,458^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{100^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}} \cdot \left( 958,4 \text{ kg}/\text{m}^3 - 988,15 \text{ kg}/\text{m}^3 \right) + 988,15 \text{ kg}/\text{m}^3 \Rightarrow$$

$$\rho_h = 978.36 \text{ kg/m}^3$$

Ομοίως εργαζόμαστε και για το **κρύο**

Για πίεση  $P_c = 11\text{bar}$  και  $\theta_c = 46,25^\circ\text{C}$  κάνοντας γραμμική παρεμβολή έχω:

	20°C	46,25°C	50°C
10 bar	998,8		988,5
11bar	$\rho_{20}$	$\rho_c$	$\rho_{50}$
20bar	999,2		988,9

για τα  $P_c = 11\text{bar}$  και 20°C

$$\rho_{20} = \frac{11 \text{ bar} - 10\text{bar}}{20\text{bar} - 10\text{bar}} \cdot (999,2^\circ\text{C} - 998,8^\circ\text{C}) + 998,8^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_{20} = 998,84 \text{ kg/m}^3$$

για  $P_c = 11\text{bar}$  και 50°C έχω :

$$\rho_{50} = \frac{11 \text{ bar} - 10\text{bar}}{20\text{bar} - 10\text{bar}} \cdot (988,9^\circ\text{C} - 988,5^\circ\text{C}) + 988,5^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_{50} = 988,54 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{τέλος } \rho_c = \frac{46,25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} \cdot (\rho_{50} - \rho_{20}) + \rho_{20} \Rightarrow$$

$$\rho_c = \frac{46,25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} \cdot \left( 988,54 \text{ kg/m}^3 - 998,84 \text{ kg/m}^3 \right) + 998,84 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow$$

$$\rho_c = 989.82 \text{ kg/m}^3$$

Στην συνέχεια μετατρέπω την παροχή μάζας σε παροχή όγκου

$$\dot{V}_c = \frac{\dot{m}_c}{\rho_c} \Rightarrow \dot{V}_c = \frac{0.4167 \text{ kg/sec}}{989.82 \text{ kg/m}^3} \Rightarrow \dot{V}_c = 4,2099 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$$

και

$$\dot{V}_h = \frac{\dot{m}_h}{\rho_h} \Rightarrow \dot{V}_h = \frac{0,5555 \text{ kg/sec}}{978,36 \text{ kg/m}^3} \Rightarrow \dot{V}_h = 5,6779 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Θεωρώντας ότι στον εσωτερικό σωλήνα ρέει το θερμαινόμενο ρευστό (κρύο), η ροή είναι

ατριβής και το ρευστό ασυμπίεστο έχω:

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot u \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot u}}$$

Άρα ή εσωτερική διάμετρος του εσωτερικού σωλήνα θα είναι:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_c}{\pi \cdot u_c}} \Rightarrow d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,2099 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}}{\pi \cdot 1 \text{ m/sec}}} \Rightarrow d_i = 23.152 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

οπότε παίρνω  $d_i = 25 \text{ mm}$  (από μεταλλικές κατασκευές σελίδα 63)

και το πάχος του σωλήνα θα είναι :

$$S = \frac{d_i \cdot P_c}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot v - P_c} + c$$

όπου:

K, η χαρακτηριστική τιμή αντοχής, η οποία βρίσκεται από τον παρακάτω πίνακα με βάση με την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Εφόσον η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας είναι  $\theta_{hi} = 85^\circ\text{C}$  πηγαίνω στον πίνακα και κάνω γραμμική παρεμβολή.

Οπότε

Θερμοκρασίες	50°C	85°C	120°C
K για υλικό X10CrNiTi189	225 N/mm <sup>2</sup>	K	196 N/mm <sup>2</sup>

$$K = \frac{85^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}}{120^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}} \cdot (196 \text{ N/mm}^2 - 225 \text{ N/mm}^2) + 225 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow K = 210.5 \text{ N/mm}^2$$

s: συντελεστής ασφαλείας για λειτουργία  $s = 1.5$

v: συντελεστής εκτίμησης-εξασθένησης ραφής συγκόλλησης περίπου 0,8

c: προσαυξήσεις,  $c = c_1 + c_2 + c_3$

$$c_1 = 3\% \cdot S \text{ έστω } S = 20\text{mm} \Rightarrow c_1 = 0.6\text{mm}$$

$c_2 = 2\text{mm}$ , συνήθως  $(1 \div 3)$ , η προσαύξηση διάβρωσης και φθοράς.

$c_3 = 0$ , συνήθως η προσαύξηση ειδικών συνθηκών, π.χ. κεραμικής επίστρωσης ( $c_3 = 6\text{mm}$ ).

Π. 1

-35-Σ6

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ K ΧΑΛΥΒΩΝ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ

Αυτά πρέπει να το βεβαιωθεί

σε KPa/mm² διακρινόμενα με το 10

Είδος χάλυβα κατά DIN 17006 κ.λ.π.	Αντοχή σε έφελκυσμό N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0,2</sub> σε N/mm <sup>2</sup> <u>K<sub>20</sub></u> 50	σε διάφορες θερμοκρασίες °C				
			120	200	250	300	400
H I	343-441	225		176	166	137	98
H II	402-490	245		206	186	156	117
H III	431-519	264		225	206	176	137
H IV	461-549	274		235	215	186	147
U St 34-1 R St 34-1	333	176	166	-	-	-	-
U St 37-1 R St 37-1	362	206	186	-	-	-	-
U St 34-2R U St 37-2R	333 362	176	166	137	127	107	-
17 Mn 4	461-549	284		245	225	186	156
13 Cr Mo 44	431-549	304		274	255	235	206
X10CrNiTi 189	539-735	225	196	166	161	156	147
X10CrNiMoTi 189	539-735	230	206	186	181	176	166

↑  
αν κάποια άλλη θερμοκρασία  
επιβλεπεί παραβλεπεί από  
ημερολόγιο ΚΡΑΡΑ διαφοράς  
10(9,81)

Από τα παραπάνω έχω:

$$S = \frac{d_i \cdot P_c}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot v - P_c} + c \Rightarrow$$

$$S = \frac{25mm \cdot 11 \cdot 10^{-1} N/mm^2}{200 \cdot \frac{210,5 N/mm^2}{1,5} \cdot 0,8 - 11 \cdot 10^{-1} N/mm^2} + (0,6 + 2 + 0)mm \Rightarrow S = 2,601mm$$

τρακάρω ότι υπάρχει τυποποιημένος σωλήνας σε αυτό το πάχος, βρίσκω την εξωτερική διάμετρο  $d_o = d_i + 2 \cdot s$  και επαναλαμβάνω τα ίδια για τον δεύτερο σωλήνα και έπειτα υπολογίζω το μήκος τους εναλλάκτη  $L = \frac{2 \cdot A}{z \cdot \pi \cdot (d_o + d_i)}$

### 4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

$$\dot{m}_i = \rho \cdot \dot{V}_i = \rho \cdot u_i \cdot f = \rho \cdot u_i \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_i}{\pi \cdot \rho \cdot u_i}} \\ \dot{m}_i = \dot{m}_c = 1500 \text{ kg/hr} = 0,417 \text{ kg/sec} \\ \rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{έστω } u_i = u_c = 0,5 \text{ έως } 1 \text{ m/sec} \end{array} \right\} \Rightarrow d_i = 0,0325m = 32,5mm$$

#### Υπολογισμός πάχους σωλήνα



$$S = \frac{d_i \cdot P_c}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot v - P_c} + c$$

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

όπου:

- $c_3 = 0$
- $c_2 = 1$  έως 3
- $c_1 = 0,3\% \cdot S$
- $v \leq 1$ , περί 0,8 συντελεστής εκτίμησης ραφής
- $d_i$  η διάμετρος σε mm
- $s = 1,5$  συντελεστής ασφαλείας
- $K = 30,4 \text{ Kp/mm}^2$  από  $K = (\sigma_{\varepsilon\pi})$  για 13CrM44 και για 50C<sup>0</sup> έχω (από πίνακα παξίνου σημειώσεων με τα υλικά σελίδα 35, βλ. παρακάτω)
- $P_c = 11 \text{ bar}$  πίεση λειτουργίας

Έστω  $P_c = 2 \text{ ata} = 1 \text{ atü}$  και για  $10 \text{ ata} = 9 \text{ atü}$

$$S = \frac{32,5 \text{ mm} \cdot 1}{200 \cdot \frac{30,4 \text{ Kp/mm}^2}{1,5} \cdot 0,8 - 1} + c = 0,09 \text{ mm}$$

Π. 1

-35-Σ6

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ K ΧΑΛΥΒΩΝ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ

Από πίνακα ως το μεγαλύτερο  
0 σε Kp/mm<sup>2</sup> διακρίνοντας με το K

Είδος χάλυβα κατά DIN 17006 κ.λ.π.	Αντοχή σε εφελκυσμό N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0,2</sub> σε K <sub>20</sub> 50 N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup> σε διάφορες θερμοκρασίες °C				
			120	200	250	300	400
H I	343-441	225		176	166	137	98
H II	402-490	245		206	186	156	117
H III	431-519	264		225	206	176	137
H IV	461-549	274		235	215	186	147
U St 34-1 R St 34-1	333	176	166	-	-	-	-
U St 37-1 R St 37-1	362	206	186	-	-	-	-
U St 34-2R U St 37-2R	333 362	176	166	137	127	107	-
17 Mn 4	461-549	284		245	225	186	156
13 Cr Mo 44	431-549	304		274	255	235	206
X10CrNiTi 189	539-735	225	196	166	161	156	147
X10CrNiMoTi 189	539-735	230	206	186	181	176	166

↑  
αυ κάποια αλλαγή θερμοκρασίας  
σταθερής παραβόλη από  
100 θερμοκρασία Kp ανά διαμέτρο δια  
10(9,81)

Για ανοξειδωτό K= 23Kp/mm<sup>2</sup> => S=0,12mm

Αρα S= 5mm tubo ή 10 mm

Πάλι υπολογισμοί για ν=1

Άρα  $d_o = d_i + 2 \cdot S = 32,5 + 2 \cdot 5 = 42,5\text{mm}$

Οπότε, η μέση διάμετρος είναι  $d_m = \frac{d_o+d_i}{2} \Rightarrow d_m = \frac{42,5\text{mm}+32,5\text{mm}}{2} = 37,5\text{mm}$

Άρα το μήκος του εναλλάκτη είναι

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_m} = \frac{2\text{m}^2}{\pi \cdot 0,0375\text{m}} = 16,9\text{m} \text{ σε } 3 \text{ ή } 4 \text{ διαδρομές}$$

### Εξωτερική ροή

$$\dot{m}_o = \rho \cdot \dot{V}_h = \rho \cdot u_h \cdot f$$

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{\dot{m}_o}{\rho \cdot u_h} \\ \dot{m}_o = \dot{m}_h &= 2000 \text{ kg/hr} = 0,556 \text{ kg/sec} \\ \rho &\approx 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{έστω } u_o &= u_h = 0,5 \text{ m/sec} \end{aligned} \right\} \Rightarrow f = 0,00111\text{m}^2$$

όπου  $f = \frac{\pi \cdot (D_i^2 - d_o^2)}{4} \Rightarrow 0,00111 = 0,785 \cdot (D_i^2 - 0,0425^2) \Rightarrow$

$$\frac{0,00111}{0,785} = D_i^2 - 0,0425^2 \Rightarrow D_i = \sqrt{\frac{0,00111}{0,785} + 0,0425^2} \Rightarrow D_i = 0,0394\text{m}$$

$$= 39,4\text{mm}$$

### Υπολογισμός πάχους εξωτερικού σωλήνα

$$S = \frac{D_i \cdot P_h}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot v - P_h} + c$$

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

όπου:

- $c_3 = 0$
- $c_2 = 1$  έως 3
- $c_1 = 0,3\% \cdot S$
- $v \leq 1$ , περί 0,8 συντελεστής εκτίμησης ραφής
- $D_i$  η διάμετρος σε mm
- $s = 1,5$  συντελεστής ασφαλείας
- $K = 23\text{Kp/mm}^2$
- $P_h = 9$  πίεση λειτουργίας

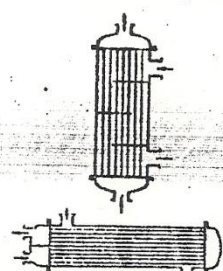
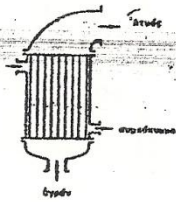
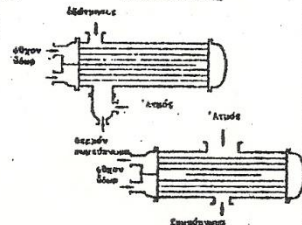
$$S = \frac{9 \cdot 53}{200 \cdot \frac{23}{1,5} \cdot 1 - 9} + c = 0,156 + c \Rightarrow S = 5\text{mm tubo}$$

$$\text{άρα } D_o = D_i + 2 \cdot S \Rightarrow D_o = 39,4\text{mm} + 2 \cdot 5\text{mm} \Rightarrow D_o = 49,4\text{mm}$$

### Επαλήθευση συντέλεστη μεταφοράς θερμότητας U

Υποθέσαμε κατά τον θερμικό υπολογισμό  $U=1650\text{W/m}^2\text{K}$

134

VDI-Wärmetlas 2. Auflage 1974	Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας εις μερικά είδη εναλλακτών θερμότητας	Cb 5
<p>3. Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας εις μερικά είδη εναλλακτών θερμότητας.</p> <p>Αί συγκεντρωθείσαι πληροφοριακά τιμὰ χρησιμεύουν διά τόν εκτιμώμενον συντελεστήν των εναλλακτών θερμότητος. Αί μικρότεροι τιμὰί λαμβάνουν διά σχετικώς δυσμενείς αναλογίας (πχ. μικρά ταχύτης ροής, υγρόν λεώδες, έλευθερά συναγωγή, ροπή εις άκαθαρσίας), αί μεγάλαι τιμὰί διά λίαν εύνοϊκάς συνθήκας (πχ. μεγάλη ταχύτης ροής, λεπτόρευστα ύγρὰ, εύνοϊκάί ποσοτικάί αναλογίαι των δύο σωμάτων μεταξύ των καθαρών έπιφανείων). Οί άναφερόμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητος δύνανται, εις είδη κς περιπτώσεις, να παραβιασθόν προς τά άνω ή προς τά κάτω διά τούτο πρέπει να χρησιμοποιήνται μέ τήν δέουσαν προσοχήν καί σκέψιν. Είς τόν έσωτερικόν δέν λαμβάνεται υπ όψιν ή αντίστασις εις τήν άγωγήν τών μονωτηρίων καί προστατευτικών σωμάτων.</p>		
ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΡΟΤΙΘΕΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	Εκτιμώμενη τιμή U, W/m²K
<p>Εναλλάκτης μετά δόσεως σωλήνων</p> 	Αέριον (=1 bar) προς αέριον (=1 bar)	5-35
	Αέριον ύψηλης πιέσεως (200...300 bar) περί τών σωλήνων	150-500
	Αέριον ύψηλης πιέσεως (200...500 bar) εντός των σωλήνων	
	Υγρόν προς αέριον (=1 bar)	15-70
	Αέριον ύψηλης πιέσεως (200...300 bar) εντός των σωλήνων	200-400
	Υγρόν περί τών σωλήνων	
<p>Εξαιρετικής</p> 	Υγρόν προς ύγρόν	150-1200
	Θερμός άτμός περί τών σωλήνων Υγρόν εις τούς σωλήνας ής εξαερωτής καί συμπυκνωτής λόε κάτω	300-1200
	Θερμός άτμός περί τών σωλήνων 1. Είς φυσικήν κυκλοφορίαν α) λεώδη ύγρὰ β) λεπτόρευστα ύγρὰ 2. Είς βεβιασμένην κυκλοφορίαν	300-900 600-1700 900-3000
<p>Συμπυκνωτής</p> 	NH <sub>3</sub> - εξαερωτής θερμαινόμενος διά άλατούχου ύδατος	200-800
	Υγρόν ύδωρ εντός των σωλήνων Οργανικός άτμός καί NH <sub>3</sub> περί τών σωλήνων	300-1200
	Συμπυκνωτής άτμου στροβίλων (καθαρός άτμός H <sub>2</sub> O, λεπτοί άοξειδωμένοι σωλήνες)	1500-4000
<p>* Η τιμή του k είναι αύξανόμενη του ποσοτού άεραίου αέριου</p>		

Αν και από τον πίνακα σελίδα 57 για εναλλαγή υγρόν προς υγρόν προτείνεται 150<U<1200

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2427} + \frac{0,005}{46,5} + \frac{1}{800} + \frac{1}{2698}} \Rightarrow U = 467 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Συντελεστές συναγωγής

$$a_i = \frac{Nu * \lambda_i}{d_i}$$

$$Nu = 0,024 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d_i}{L} \right)^{2/3} \right] \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \cdot \left( \frac{n_f}{n_w} \right)^{0,14}$$

$$a_o = \frac{Nu * \lambda_o}{d_o}$$

$$Nu = 0,022 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,3} \cdot \left( \frac{n_f}{n_w} \right)^{0,14}$$

$\lambda = 0,62 \frac{W}{mK}$  η θερμική αγωγιμότητα

$$d_i = 0,0325m$$

$$d_o = 0,0425m$$

Αριθμός Prandtl  $Pr = 5,25$

$n =$  δυναμικό ιξώδες  $n_f = n_w = 775 \cdot 10^{-6} \text{Kg/m} \cdot \text{s}$

εντός του εναλλάκτη (εσωτερικά)

$$Re_i = \frac{u_i \cdot d_i \cdot \rho}{n} \Rightarrow \frac{0,5 \cdot 0,0325 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 20968 > 2300 \text{ τυρβώδης ροή}$$

$$Nu = 0,024 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,0325}{2} \right)^{2/3} \right] \cdot 20968^{0,8} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1^{0,14} = 127$$

$$\text{αρά } a_i = \frac{127,2 \cdot 0,62}{0,0325} = 2427 \text{ W/m}^2\text{K}$$

εκτός του εναλλάκτη (εξωτερικά)

$$Re_o = \frac{u_o \cdot d_o \cdot \rho}{n} = \frac{0,5 \cdot 0,0375 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 24194 > 2300 \text{ τυρβώδη ροή επίσης}$$

$$Nu = 0,22 \cdot 24194^{0,6} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1 = 0,22 \cdot 426,8 \cdot 1,738 = 163,2$$

$$a_o = \frac{Nu \cdot \lambda_o}{d_o} = \frac{163,2 \cdot 0,62}{0,0375} = 2698 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Τελικά  $U = 467 \text{ W/m}^2\text{K}$  που είναι το καλύτερο του προσφερόμενου και καλύπτει και τις απαιτήσεις του πίνακα σελίδα 57 για εναλλαγή υγρόν προς υγρόν προτείνεται  $150 < U < 1200$ .

$$F = \frac{74009}{467 \cdot 22,4} = 7,07 \text{ m}^2$$

$$\text{Και } L = \frac{7,07}{\pi \cdot 0,035} = 64 \text{ m}$$

$$\text{Αν πάρω μικρότερη ταχύτητα } u = 0,1 \text{ m/s τότε } d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot u}} \Rightarrow d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,417 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}}{\pi \cdot 1000 \cdot 0,1}}$$

$$= 0,0729 \text{ m} = 72,9 \text{ mm} \text{ πάλι } S = 5 \text{ mm tubo}$$

$$\text{άρα } d_o = d_i + 2 \cdot S \Rightarrow d_o = 72,9 \text{ mm} + 2 \cdot 5 \text{ mm} \Rightarrow d_o = 82,9 \text{ mm}$$

$$f_o = \frac{0,556}{1000 \cdot 0,1} = 0,00556 \text{ m}^2$$

$$\text{και } f_o = \frac{\pi \cdot (D_i^2 - d_o^2)}{4} \Rightarrow 0,00556 = 0,785 \cdot (D_i^2 - 0,0494^2) \Rightarrow$$

$$\frac{0,00556}{0,785} = D_i^2 - 0,0494^2 \Rightarrow D_i = \sqrt{\frac{0,00556}{0,785} + 0,0494^2} \Rightarrow D_i = 0,0866 \text{ m} = 86,6 \text{ mm}$$

πάλι  $S = 5 \text{ mm tubo}$

**Και εντός του σωλήνα (in)**

$$Re = \frac{u \cdot d_i \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,1 \cdot 0,0729 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 9406 > 2300$$

$$Nu = 0,024 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,0729}{2} \right)^{2/3} \right] \cdot 9406^{0,8} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1^{0,14} = 69,9$$

$$a_i = \frac{69,9 \cdot 0,62}{0,0729} = 594,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**Εκτός του σωλήνα (out)**

$$Re = \frac{0,1 \cdot 0,0779 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 10052 > 2300$$

$$Nu = 0,022 \cdot 10052^{0,6} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1 = 96,4$$

$$a_o = \frac{96,4 \cdot 0,62}{0,0779} = 767 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{και } U = \frac{1}{\frac{1}{594,5} + \frac{0,005}{46,5} + \frac{1}{800} + \frac{1}{767}} \Rightarrow U = \frac{1}{0,00168 + 0,00011 + 0,00125 + 0,00130} \Rightarrow U = 230 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Και ούτω κάθε εξής

$$f = \frac{74009}{230 \cdot 22,4} = 14,4 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{14,4}{\pi \cdot 0,0779} = 58,9 \text{ m}$$

Είμαστε πολύ κοντά στο αρχικό  $L = 64 \text{ m}$  και μπορούμε να σταματήσουμε.

Αν πάρω μεγαλύτερες ταχύτητες  $u=1 \text{ m/s}$

$$\text{Τότε } d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,417 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}}{\pi \cdot 1000 \cdot 1}} = 0,023 \text{ m} = 23 \text{ mm}$$

$$\text{πάλι } S = 5 \text{ mm tubo και } f_o = \frac{0,556}{1000 \cdot 1} = 0,000556 \text{ m}^2 \text{ και}$$

$$f_o = \frac{\pi \cdot (D_i^2 - d_o^2)}{4} \Rightarrow 0,00556 = 0,785 \cdot (D_i^2 - 0,032^2) \Rightarrow$$

$$\frac{0,00556}{0,785} = D_i^2 - 0,028^2 \Rightarrow D_i = \sqrt{\frac{0,00556}{0,785} + 0,032^2} \Rightarrow D_i = 0,0852 \text{ m} = 85,2 \text{ mm}$$

και

$$\text{εντός (in) } Re = \frac{0,1 \cdot 0,023 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 29677 > 2300 \text{ άρα τυρβώδη ροή}$$

$$Nu = 0,024 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,023}{2} \right)^{2/3} \right] \cdot 29677^{0,8} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1^{0,14} = 165,9$$

$$a_i = \frac{165,9 \cdot 0,62}{0,023} = 4472 \text{ W/m}^2\text{K}$$

εκτός (out)

$$Re = \frac{1 \cdot 0,028 \cdot 1000}{775 \cdot 10^{-6}} = 36129 > 2300 \text{ άρα τυρβώδη ροή}$$

$$Nu = 0,22 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,023}{2} \right)^{2/3} \right] \cdot 36129^{0,6} \cdot 5,25^{0,3} \cdot 1^{0,14} = 207,6$$

$$\text{και } a_o = \frac{207,6 \cdot 0,62}{0,028} = 4597 \text{ W/m}^2\text{K}$$



$$\text{και } U = \frac{1}{\frac{1}{4472} + \frac{0,005}{46,5} + \frac{1}{800} + \frac{1}{4597}} = 556 \text{ W/m}^2\text{K}$$

και ακολουθου

$$f = \frac{74009}{556 \cdot 22,4} = 5,94 \text{ m}^2$$

$L = \frac{5,94}{\pi \cdot 0,028} = 67,6 \text{ m}$  που ισοδυναμει με 11 διαδρομες των 6m (παρομοια σε ολες τις περιπτωσεις)

Στον εσωτερικο σωληνα  $\theta_m = \frac{53,1+85}{2} = 69,1 \text{ C}^0$  σε ενα 1bar αρα η πυκνοτητα εντος  $\rho_i = 981,1 \text{ Kg/m}^3$

και εκτος (out)  $\rho_o = 981,7 \text{ Kg/m}^3$

ενω στα 10bar λιγο μεγαλυτερη  $\rho_i = 989,1 \text{ Kg/m}^3$

$\rho_o = 981,9 \text{ Kg/m}^3$  εμεις εχουμε υποθεσει  $\rho_i = 1000 \text{ Kg/m}^3$  (πολυ κοντα)

αντιστοιχα το λ το εχουμε υποθεσει 0,62 W/mK

για το 1bar,  $\lambda_i = 0,638 \text{ W/mK}$  εντος

και εκτος  $\lambda_o = 0,669 \text{ W/mK}$  παλι πολυ κοντα

ομως στο δυναμικο ιξωδες εχουμε υποθεσει  $\eta = 775 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$  και ειναι πολυ μικροτερο στο 1bar

$\eta_i = 602 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$  και  $\eta_o = 255 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$

τελος τον αριθμο Prandtl υποθεσαμε 5,25

αλλα ειναι και αυτος ειναι μικροτερος στο 1bar,  $Pr_i = 3,96$

και  $Pr_o = 1,37$

με βαση τις προηγουμενες διορθωσεις ας ξανα υπολογισουμε για την ταχυτητα  $u = 0,5 \text{ m/s}$

### Εντός (in)

$$Nu = 0,024 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,0325}{18,2} \right)^{2/3} \right] \cdot 6699^{0,8} \cdot 3,96^{0,3} \cdot 1^{0,14} = 133$$

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,0325 \cdot 989,1}{602 \cdot 10^{-6}} = 26699 > 2300$$

$$a_i = \frac{133 \cdot 0,638}{0,0325} = 2611 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**Και εκτός (out)**  $Re = \frac{0,5 \cdot 0,0375 \cdot 981,7}{255 \cdot 10^{-6}} = 72184 > 2300$

$$Nu = 0,22 \cdot 72184^{0,6} \cdot 1,37^{0,3} \cdot 1 = 201$$

$$a_o = \frac{201 \cdot 0,669}{0,0375} = 3586 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2611} + \frac{0,005}{46,5} + \frac{1}{800} + \frac{1}{3586}} \Rightarrow U = \frac{1}{0,00383 + 0,000108 + 0,001250 + 0,000279} \Rightarrow$$

$$U = \frac{1}{0,00202} = 495 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$f = \frac{74009}{495 \cdot 22,4} = 6,67 \text{ m}^2 \text{ και}$$

$$L = \frac{6,67}{\pi \cdot 0,035} = 60,7 \text{ m δηλαδή 10 διαδρομές /6μετρες}$$

Πίναξ 7. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ύδατος συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας λ εις 10<sup>3</sup> W/mK

Πίεσις	Θερμοκρασία εις °C													
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
1	569	604	643	24,8	28,6	33,1	38,1	43,3	48,8	54,5	60,4	66,6	79,3	92,8
10	570	604	644	681	687	35,0	39,2	44,2	49,5	55,2	61,1	67,2	80,0	93,5
50	573	608	647	684	690	668	618	52,1	54,8	59,3	64,6	70,5	83,3	97,1
100	577	612	651	688	693	672	625	545	68,3	67,4	70,7	75,7	87,9	102
150	581	616	655	691	696	676	633	559	59,0	81,8	79,7	82,5	93,2	107
200	585	620	659	695	700	681	639	571	454	106	92,7	91,5	99,4	112
250	589	623	662	698	703	685	646	582	476	154	111	103	106	118
300	592	627	666	701	706	689	652	592	496	263	141	117	114	125
350	596	630	669	704	710	693	657	601	514	351	176	134	123	131
400	599	634	672	707	713	697	662	609	529	388	215	153	132	138
450	603	637	675	710	716	701	667	616	541	415	259	176	143	146
500	606	640	678	713	720	704	671	622	552	437	307	202	154	154

Πίναξ 8. Δυναμικών ζεώδες η ύδατος συναρτήσει της πίεσης και θερμοκρασίας η εις 10<sup>6</sup> Kg/ms

Πίεσις	Θερμοκρασία εις °C													
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
1	1750,0	1000,0	544,0	-12,11	14,15	16,18	18,22	20,25	22,3	24,3	26,4	28,4	32,5	36,5
10	1750,0	1000,0	544,0	279,0	181,0	15,85	18,05	20,22	22,3	24,4	26,5	28,5	32,6	36,6
50	1750,0	1000,0	545,0	280,0	182,0	135,0	107,0	20,06	22,7	25,0	26,9	28,9	32,9	36,9
100	1750,0	1000,0	545,0	281,0	183,0	136,0	109,0	90,5	23,6	25,8	27,6	29,5	33,4	37,4
150	1740,0	1000,0	546,0	282,0	184,0	137,0	110,0	91,7	25,4	26,9	28,5	30,3	34,0	37,9
200	1740,0	999,0	546,0	283,0	185,0	138,0	111,0	93,0	73,0	28,6	29,6	31,1	34,6	38,4
250	1740,0	999,0	547,0	284,0	187,0	139,0	112,0	94,3	75,9	32,1	31,0	32,1	35,3	38,9
300	1740,0	998,0	547,0	285,0	188,0	141,0	113,0	95,5	78,5	45,7	32,0	32,7	35,7	39,2
350	1730,0	997,0	548,0	286,0	189,0	142,0	115,0	96,8	80,2	57,3	36,3	34,9	36,9	40,1
400	1730,0	997,0	548,0	287,0	190,0	143,0	116,0	98,1	82,1	62,8	41,2	36,9	37,9	40,8
450	1730,0	996,0	549,0	288,0	191,0	144,0	117,0	99,3	83,6	66,5	46,9	39,3	38,9	41,5
500	1720,0	996,0	549,0	289,0	192,0	145,0	118,0	101,0	84,8	69,3	52,1	42,2	40,1	42,3

Πίναξ 9. Κινηματικών ζεώδες η ύδατος συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας η εις 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

Πίεσις	Θερμοκρασίας εις °C													
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
1	1,75	1,00	-0,551	20,5	27,4	35,2	43,8	53,4	64,0	75,4	88,0	101,	131,	164,
10	1,75	1,00	0,550	0,291	0,197	3,26	4,20	5,22	6,30	7,48	8,75	10,1	13,1	16,4
50	1,75	1,00	0,550	0,292	0,198	0,156	0,134	0,909	1,18	1,45	1,70	2,02	2,59	3,27
100	1,74	0,998	0,549	0,292	0,198	0,156	0,135	0,126	0,529	0,681	0,821	0,967	1,28	1,63
150	1,73	0,995	0,549	0,292	0,199	0,157	0,136	0,126	0,292	0,421	0,526	0,630	0,846	1,08
200	1,72	0,992	0,548	0,293	0,199	0,157	0,136	0,127	0,122	0,285	0,376	0,459	0,629	0,811
250	1,72	0,990	0,548	0,293	0,201	0,158	0,136	0,127	0,121	0,193	0,284	0,357	0,499	0,647
300	1,72	0,987	0,547	0,293	0,202	0,159	0,137	0,127	0,122	0,128	0,215	0,284	0,408	0,535
350	1,70	0,984	0,547	0,294	0,202	0,160	0,138	0,128	0,122	0,120	0,152	0,207	0,306	0,406
400	1,70	0,981	0,545	0,294	0,203	0,160	0,139	0,128	0,122	0,120	0,137	0,182	0,271	0,361
450	1,69	0,978	0,545	0,294	0,203	0,161	0,139	0,129	0,122	0,120	0,137	0,182	0,271	0,361
500	1,68	0,977	0,544	0,295	0,204	0,162	0,140	0,130	0,122	0,120	0,130	0,164	0,245	0,327

Πίναξ 10. Αριθμός Pr συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας

Πίεση bar	Θερμοκρασία είν °C													
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
1	13,0	6,94	3,54	0,984	0,970	0,939	0,930	0,939	0,930	0,921	0,913	0,908	0,900	0,892
10	13,0	6,93	3,53	1,73	1,14	1,11	1,03	0,981	0,954	0,983	0,923	0,916	0,903	0,892
50	12,8	6,86	3,51	1,72	1,13	0,902	0,842	1,25	1,12	1,03	0,976	0,947	0,913	0,892
100	12,6	6,79	3,48	1,71	1,13	0,899	0,831	0,940	1,40	1,18	1,06	0,993	0,929	0,892
150	12,4	6,72	3,46	1,71	1,13	0,896	0,820	0,899	2,19	1,37	1,15	1,05	0,945	0,892
200	12,3	6,65	3,43	1,70	1,13	0,893	0,812	0,866	1,31	1,75	1,26	1,10	0,958	0,902
250	12,1	6,59	3,41	1,69	1,13	0,891	0,805	0,840	1,12	2,81	1,40	1,15	0,976	0,902
300	11,9	6,52	3,38	1,69	1,12	0,888	0,799	0,819	1,02	4,27	1,56	1,22	1,00	0,902
350	11,8	6,47	3,36	1,68	1,12	0,886	0,795	0,803	0,950	1,99	1,83	1,30	1,01	0,902
400	11,6	6,40	3,34	1,68	1,12	0,885	0,791	0,790	0,903	1,45	2,08	1,39	1,03	0,902
450	11,5	6,35	3,32	1,67	1,12	0,884	0,788	0,779	0,867	1,22	1,90	1,46	1,05	0,902
500	11,4	6,30	3,31	1,67	1,12	0,883	0,786	0,771	0,832	1,10	1,64	1,50	1,07	0,902

Πίναξ 11. Συντελεστής θερμοκίνης διαχυτότητας ύδατος συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας  $\alpha$  είν  $10^{-6} m^2/s$

Πίεση bar	Θερμοκρασία είν °C													
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
1	0,135	0,144	0,156	20,8	28,2	36,7	46,1	56,9	68,8	81,9	96,2	111	146	184
10	0,135	0,144	0,156	0,168	0,173	2,94	4,08	5,32	6,60	7,61	9,46	11,0	14,5	18,4
50	0,137	0,146	0,157	0,170	0,175	0,173	0,159	0,721	1,05	1,41	1,74	2,13	2,83	3,63
100	0,138	0,147	0,158	0,171	0,175	0,174	0,162	0,134	0,378	0,577	0,775	0,974	1,38	1,83
150	0,140	0,148	0,159	0,171	0,176	0,175	0,166	0,140	0,133	0,307	0,457	0,600	0,895	1,28
200	0,140	0,149	0,160	0,172	0,176	0,176	0,167	0,147	0,093	0,163	0,298	0,417	0,657	0,892
250	0,142	0,150	0,161	0,173	0,178	0,177	0,169	0,151	0,108	0,069	0,203	0,310	0,511	0,719
300	0,145	0,151	0,162	0,173	0,180	0,179	0,171	0,155	0,120	0,030	0,138	0,233	0,408	0,583
350	0,145	0,152	0,163	0,175	0,180	0,181	0,174	0,159	0,128	0,061	0,098	0,186	0,348	0,513
400	0,147	0,153	0,163	0,175	0,181	0,181	0,178	0,162	0,135	0,083	0,073	0,149	0,297	0,443
450	0,147	0,154	0,164	0,176	0,181	0,182	0,178	0,166	0,141	0,098	0,072	0,125	0,258	0,403
500	0,147	0,155	0,164	0,177	0,182	0,183	0,178	0,169	-0,147	0,109	0,079	0,109	0,229	0,379

Πίναξ 12. Πυκνότης διά υπόλυκτον ύδαρ, είν πίεσιν  $p = 1 \text{ bar}$

$\theta$  είν °C  $\rho$  είν  $kg/m^3$

$\theta$	0	-5	-10	-15	-20
$\rho$	999,8	999,2 <sub>6</sub>	998,1 <sub>1</sub>	996,2 <sub>5</sub>	993,4 <sub>6</sub>

Πίναξ 13. Συντελεστής θερμοκίνης άγωγιμότητος  $\lambda$  είν υπόλυκτον ύδαρ, είν πίεσιν  $p = 1 \text{ bar}$ ,  $\theta$  είν °C,  $\lambda$  είν  $10^{-3} W/mK$

$\theta$	0	-10	-20	-30	-40
$\lambda$	569	552	533	515	496

Βιβλιογραφία:

- [1] Grigull, U., u. J. Bach: Die Oberflächenspannung und verwandte Zustandsgrößen des Wassers. Brennstoff-Wärme-Kraft 18 (1966) S. 73/75.
- [2] Grigull, U., P. Mayinger, u. J. Bach: Viskosität, Wärmeleitfähigkeit und Prandtzahl von Wasser und Wasserdampf. Wärme- und Stoffübertragung 1 (1968) S. 15/34. (Hier werden die Gleichungen angegeben, die für elektronische Rechenmaschinen geeignet sind).
- [3] Grigull, U., J. Bach, u. M. Reimann: Die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf nach der „1968 IFC-Formulation“ Private Mitteilung.

Thermodynamic Properties	Thermodynamic Properties of Elements in kg/m³ (Table 7)															
Chemical Formula	Molar Weight	Density (kg/m³)														
		-200	-180	-160	Sublimation			-10	0	20	50	100	150	200		
					-140	-120	-100									
He																
Ar	39.948	187	180													
Kr	83.80															
Xe	131.29															
H <sub>2</sub>	2.016															
N <sub>2</sub>	28.013															
O <sub>2</sub>	31.999															
F <sub>2</sub>	37.996															
Cl <sub>2</sub>	70.906															
Br <sub>2</sub>	159.808															
I <sub>2</sub>	253.808															
HF	20.01															
HCl	36.461															
HBr	80.912															
HI	127.912															
H <sub>2</sub> O	18.015															
H <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	34.014															
NH <sub>3</sub>	17.031															
N <sub>2</sub> O	44.013															
NO	30.006															
NO <sub>2</sub>	46.005															
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	92.010															
CO	28.010															
CO <sub>2</sub>	44.010															
CS <sub>2</sub>	76.130															
SO <sub>2</sub>	64.064															
SO <sub>3</sub>	80.064															
SiO <sub>2</sub>	60.084															
SF <sub>6</sub>	146.060															

\*) εἰς 195 °C, \*) εἰς 194 °C, \*) εἰς 192 °C, \*) εἰς 190 °C, \*) εἰς 146 °C, \*) εἰς 141.3 °C, \*) εἰς 116 °C, \*) εἰς 79 °C,  
 \*) εἰς 76.8 °C, \*) εἰς 97.7 °C, \*) εἰς 25 °C

DE 16 VDI-Mitteilung 2, Auflage 1971  
 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υγρών ελε-η / π.κ.  
 (Οι έντονως γραμμένοι αριθμοί λαχθούν διὰ τὴν στρωτὴν φάσιν)

Υλικόν	Τύπος	Θερμοκρασία εἰς °C															
		-200	-180	-160	-140	-120	-100	-80	0	20	40	60	80	100	120	140	160
ΕΡΕΜΕΙΑ																	
Ήλιον	He																
Νεόν	Ne																
Αργόν	Ar																
Κρυπτόν	Kr	0,116	0,094	0,067	0,077	0,062	0,074	0,064	0,061	0,057	0,052						
Ξεόν	Xe																
Ήδρω	H <sub>2</sub> O	0,141	0,114	0,081	0,070												
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0,147	0,121											0,129	0,127		
Αιθέριο	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>													0,135	0,101		
Προπάνιο	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>													0,131	0,101		
Βουτάνιο	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>																
Πεντάνιο	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>																
Εξάνιο	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>																
Ανθρακικό οξύ	CO <sub>2</sub>																
Νιτρώδες οξύ	HNO <sub>3</sub>																
Αερίον Νάτριο	Na																
Αερίον Κάλιο	K																
Αερίον Ραβδίο	Ra																
Αερίον Βαμπίριο	Ba																
Αερίον Στρώντιο	St																
Αερίον Μανγάνιο	Mn																
Αερίον Νικέλιο	Ni																
Αερίον Νικώλιο	Nd																
Αερίον Σμόλιο	Sm																
Αερίον Ευρόπιο	Eu																
Αερίον Γκάλιο	Ga																
Αερίον Γερμάνιο	Ge																
Αερίον Αρσενικό	As																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																
Αερίον Σελήνιο	Se																
Αερίον Βρῦλλιο	Br																

1) εἰς 4,4°C, 2) εἰς 12°C, 3) εἰς 18°C



Thermodynamic Properties of Gases at 1 atm (101.325 kPa)		Density of Gases in kg/m <sup>3</sup> at 1 atm (101.325 kPa)												D <sub>0</sub> 7			
Chemical Formula	Greek Name	Temperature (°C)												Reference			
		-200	-180	-160	-140	-120	-100	-80	0	20	40	60	80		100	150	200
He	Ήλιο																
Ne	Νέοιο																
Ar	Άργον																
Kr	Κρυπτόν																
Xe	Ξενονάιο																
H <sub>2</sub>	Υδρογόνο																
N <sub>2</sub>	Άζωτο																
O <sub>2</sub>	Οξυγόνο																
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα																
CH <sub>4</sub>	Μεθάνιο																
Cl <sub>2</sub>	Χλωρίδιο																
Br <sub>2</sub>	Βρωμίδιο																
I <sub>2</sub>	Ιωδίδιο																
HF	Υδροφθορικό οξύ																
HCl	Υδροχλωρικό οξύ																
HBr	Υδροβρωμικό οξύ																
HJ	Υδροϊωδικό οξύ																
H <sub>2</sub> O	Νερό																
H <sub>2</sub> O <sup>l</sup>	Νερό (υγρό)																
H <sub>2</sub> O <sup>v</sup>	Νερό (αεριοποιημένο)																
H <sub>2</sub> O <sup>s</sup>	Νερό (σπυρματισμένο)																
H <sub>2</sub> O <sup>g</sup>	Νερό (αεριοποιημένο)																
NO	Νιτρώδιο																
NO <sub>2</sub>	Νιτρικό οξύ																
NO <sub>2</sub> <sup>l</sup>	Νιτρικό οξύ (υγρό)																
NO <sub>2</sub> <sup>v</sup>	Νιτρικό οξύ (αεριοποιημένο)																
NO <sub>2</sub> <sup>s</sup>	Νιτρικό οξύ (σπυρματισμένο)																
NO <sub>2</sub> <sup>g</sup>	Νιτρικό οξύ (αεριοποιημένο)																
N <sub>2</sub> O	Νιτρώξιο																
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ακetylene																
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Εθylene																
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Προpane																
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Βουtane																
CO	Μonoxide																
CO <sub>2</sub>	Dioxide																
SO <sub>2</sub>	Sulfur dioxide																
SO <sub>3</sub>	Sulfur trioxide																
SO <sub>3</sub> <sup>l</sup>	Sulfur trioxide (liquid)																
SO <sub>3</sub> <sup>v</sup>	Sulfur trioxide (vapor)																
SO <sub>3</sub> <sup>s</sup>	Sulfur trioxide (solid)																
SO <sub>3</sub> <sup>g</sup>	Sulfur trioxide (gas)																
SiF <sub>4</sub>	Silicon tetrafluoride																
CF <sub>4</sub>	Carbon tetrafluoride																
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Difluoromethane																
CHF <sub>3</sub>	Trifluoromethane																
CF <sub>3</sub> Br	Bromotrifluoromethane																
CF <sub>3</sub> I	Iodo-trifluoromethane																
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Dichloromethane																
CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	Dibromomethane																
CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	Diiodomethane																
CCl <sub>4</sub>	Carbon tetrachloride																
CH <sub>2</sub> Br	Bromomethane																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																
CH <sub>3</sub> Cl	Methyl chloride																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																
CH <sub>3</sub> Cl	Methyl chloride																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																
CH <sub>3</sub> Cl	Methyl chloride																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																
CH <sub>3</sub> Cl	Methyl chloride																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																
CH <sub>3</sub> Cl	Methyl chloride																
CH <sub>3</sub> Br	Methyl bromide																
CH <sub>3</sub> I	Methyl iodide																

1) α'είς - 195 °C; 2) β'είς - 194 °C; 3) γ'είς - 192 °C; 4) δ'είς - 190 °C; 5) ε'είς - 146 °C; 6) ζ'είς - 141,3 °C; 7) η'είς - 116 °C; 8) θ'είς - 79 °C; 9) ι'είς - 76,8 °C; 10) κ'είς - 37,7 °C; 11) λ'είς 25 °C



Table with columns: ΥΛΙΚΟΥ (Material), Τύπος (Type), and temperature points (-200, -180, -160, -140, -120, -100, -80, 0, 20, 50, 100, 150). Rows include elements like He, Ne, Ar, Kr, Xe, and various hydrocarbons and organohalogen compounds such as HF, HCl, HBr, HI, HCN, H2O, NH3, NO, CO, CH4, etc.

Θερμικός Κατασκευαστικός Υπολογισμός Εναλλάκτη Νερού - Νερού Τύπου Ομοαξονικών Σωλήνων Χρυσοβαλάντης Καλαϊντζάκης





VDI-Wärmeatlas  
2. Auflage 1974

Σταθερά ύδατος

Db 1

Κρίσιμα δεδομένα:  $p_c = 221,20 \text{ bar}$ ;  $t_c = 347,15^\circ\text{C}$ ;  $T_c = 647,30\text{K}$ ;  $\rho_c = 315 \text{ kg/m}^3$ ;  
Μοριακή μάζα:  $M = 18,016 \text{ kg/kmol}$

Πίναξ 1. Σταθερά ύδατος εως πίεσιν  $p = 1 \text{ bar}$

$\theta$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ kJ/kgK	$\beta$ 10 <sup>-3</sup> /K	$\lambda$ 10 <sup>-3</sup> W/mK	$\eta$ 10 <sup>-4</sup> kg/ms	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$\alpha$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	Pr
0	999,8	4,217	-0,0852	569	1750	1,75	0,135	13,0
10	999,8	4,192	+0,0823	587	1300	1,30	0,140	9,28
20	998,4	4,182	0,2067	604	1000	1,00	0,144	6,94
30	995,8	4,178	0,3056	618	797	0,500	0,148	5,39
40	992,3	4,179	0,3890	632	651	0,656	0,153	4,30
50	988,1	4,181	0,4623	643	544	0,551	0,156	3,54
60	983,2	4,185	0,5288	654	463	0,471	0,159	2,96
70	977,7	4,190	0,5900	662	400	0,409	0,162	2,53
80	971,6	4,196	0,6473	670	351	0,361	0,164	2,20
90	965,2	4,205	0,7018	676	311	0,322	0,166	1,94

$\theta$  Θερμοκρ. Κελσίου  
 $\rho$  Πυκνότης  
 $c_p$  Είδ. Θερμότης υπό σταθεράν πίεσιν  
 $\beta$  Συντ. κατ' όγκον διαστ.  
 $\lambda$  Συντ. θερμ. άγωγιμότη.  
 $\eta$  Δυναμικόν ιξώδες  
 $\nu$  Κινηματικόν ιξώδες  
 $\alpha$  Συντ. θερμ. διαχύτ.  
Pr αριθμός Prandtl

Πίναξ 2. Πυκνότης  $\rho$  ύδατος συναρτήσει τής πιέσεως  $p$  και τής θερμοκρασίας

πίεσιν bar	Θερμοκρασία εως °C								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	999,9	998,4	988,1	958,4	916,8	865,0	814,1	771,1	735,0
5	1000,1	998,6	988,3	958,6	917,1	865,8	814,7	771,3	735,0
10	1000,2	998,8	988,5	958,8	917,3	866,0	814,9	771,5	735,0
20	1000,7	999,2	988,9	959,0	917,7	866,4	815,3	771,9	735,0
30	1001,2	999,8	989,4	959,6	918,3	866,8	815,7	772,3	735,0
40	1001,7	1000,1	989,8	960,0	918,8	867,2	816,1	772,7	735,0
50	1002,2	1000,5	990,2	960,5	919,4	867,6	816,5	773,1	735,0
60	1002,7	1001,0	990,7	961,0	920,0	868,0	816,9	773,5	735,0
70	1003,2	1001,4	991,1	961,5	920,5	868,4	817,3	773,9	735,0
80	1003,7	1001,9	991,5	962,0	921,0	868,8	817,7	774,3	735,0
90	1004,2	1002,3	991,9	962,5	921,5	869,2	818,1	774,7	735,0
100	1004,7	1002,8	992,4	963,0	922,0	869,6	818,5	775,1	735,0
150	1007,2	1005,0	994,5	967,5	927,7	878,2	821,3	779,9	735,0
200	1009,6	1007,2	996,6	969,7	930,4	881,6	823,3	783,4	735,0
250	1012,1	1009,3	998,7	971,9	933,0	884,9	825,3	786,9	735,0
300	1014,5	1011,5	1000,7	974,1	935,6	888,1	827,3	790,4	735,0
350	1016,9	1013,6	1002,7	976,2	938,1	891,3	829,3	793,9	735,0
400	1019,2	1015,8	1004,7	978,3	940,5	894,5	831,3	797,4	735,0
450	1021,5	1017,9	1006,7	980,5	943,0	897,7	833,3	800,9	735,0
500	1023,8	1019,9	1008,7	982,5	945,7	900,9	835,3	804,4	735,0
600	1028,4	1024,0	1012,6	988,5	952,3	908,6	841,3	814,4	735,0
700	1032,9	1028,1	1016,4	992,4	956,7	914,0	847,3	824,4	735,0
800	1037,2	1032,1	1020,1	996,3	961,1	919,2	853,3	834,4	735,0
900	1041,4	1036,0	1023,8	1000,0	965,3	924,2	859,3	844,4	735,0
1000	1045,5	1039,9	1027,4						

Πίναξ 3. Πυκνότης  $\rho$  ύδατος συναρτήσει τής θερμοκρασίας

πίεσιν bar	Θερμοκρασία εως °C					
	400	450	500	600	700	800
1	0,3223	0,2999	0,2804	0,2483	0,2227	0,2019
5	1,620	1,505	1,406	1,244	1,115	1,010
10	3,262	3,027	2,824	2,493	2,233	2,023
20	6,615	6,117	5,694	5,011	4,480	4,053
30	10,06	9,274	8,611	7,554	6,741	6,092
40	13,62	12,50	11,57	10,12	9,016	8,138
50	17,30	15,80	14,59	12,71	11,30	10,19
60	21,10	19,19	17,66	15,33	13,60	12,25
70	25,05	22,65	20,79	17,98	15,92	14,32
80	29,14	26,21	23,97	20,65	18,25	16,40
90	33,41	29,87	27,21	23,35	20,60	18,48
100	37,87	33,62	30,52	26,08	22,96	20,57
150	63,87	54,20	48,09	40,17	34,97	31,15
200	100,5	78,71	67,69	55,05	47,36	41,92
250	166,4	109,0	89,86	70,78	60,12	52,87
300	256,4	148,6	115,2	87,44	73,27	64,00
350	374,6	201,8	144,4	105,0	86,79	75,30
400	523,4	270,6	178,1	123,7	100,6	86,76
450	704,3	343,0	216,0	143,3	114,9	98,37
500	927,3	402,0	257,0	163,8	129,5	110,1
600	1311,6	479,4	338,7	207,0	159,4	133,9
700	1767,4	528,1	406,1	251,7	190,2	158,0
800	2316,6	563,2	457,0	295,8	221,2	182,2
900	2976,6	590,6	496,4	337,1	251,9	206,3
1000	3762,3	613,2	528,0	374,6	281,9	230,1

\*) Η  $\delta$  Db έπεξεργάσθη υπό το  
Dr.-Ing. K. Schwier, Herdecke

Πίναξ 3. Συντελεστής συμπίεστίτητος  $Z = pV/RT$  συναρτίσει πίεσσιος & θερμοκρασίαι

πίεσσιος bar	θερμοκρασία είς °C								
	1	20	50	100	150	200	250	300	350
1	0,000793	0,000740	0,000679	0,9851	0,9917	0,9949	0,9966	0,9976	0,9982
5	0,003966	0,003701	0,003393	0,003030	0,002793	0,9731	0,9824	0,9878	0,9913
10	0,007930	0,007401	0,006784	0,006058	0,005584	0,9431	0,9639	0,9752	0,9823
50	0,03957	0,03694	0,03386	0,03023	0,02785	0,02662	0,02387	0,02187	0,02011
100	0,07893	0,07371	0,06757	0,06031	0,05552	0,05303	0,05138	0,049285	0,04796
150	0,1181	0,1103	0,1011	0,09025	0,08304	0,07853	0,07657	0,07414	0,07290
200	0,1571	0,1468	0,1346	0,1201	0,1104	0,1053	0,1015	0,1029	0,1158
250	0,1959	0,1831	0,1679	0,1497	0,1376	0,1299	0,1261	0,1271	0,1391
300	0,2346	0,2192	0,2010	0,1792	0,1647	0,1553	0,1504	0,1510	0,1621
350	0,2730	0,2552	0,2340	0,2087	0,1916	0,1805	0,1746	0,1745	0,1848
400	0,3113	0,2911	0,2669	0,2379	0,2183	0,2055	0,1985	0,1977	0,2072
450	0,3494	0,3268	0,2997	0,2671	0,2450	0,2304	0,2222	0,2207	0,2292
500	0,3874	0,3623	0,3324	0,2961	0,2715	0,2552	0,2457	0,2433	0,2509
600	0,4628	0,4331	0,3973	0,3539	0,3242	0,3043	0,2923	0,2880	0,2936
700	0,5376	0,5032	0,4618	0,4112	0,3764	0,3528	0,3381	0,3318	0,3353
800	0,6118	0,5729	0,5258	0,4681	0,4282	0,4008	0,3834	0,3749	0,3762
900	0,6855	0,6421	0,5894	0,5246	0,4795	0,4484	0,4282	0,4174	0,4164
1000	0,7587	0,7108	0,6526	0,5806	0,5305	0,4955	0,4724	0,4593	0,4560

πίεσσιος bar	θερμοκρασία είς °C					
	400	450	500	600	700	800
1	0,9987	0,9990	0,9992	0,9995	0,9997	0,9998
5	0,9934	0,9950	0,9961	0,9976	0,9985	0,9990
10	0,9868	0,9900	0,9922	0,9952	0,9970	0,9981
50	0,9302	0,9479	0,9602	0,9758	0,9849	0,9905
100	0,8500	0,8911	0,9183	0,9513	0,9698	0,9812
150	0,7559	0,8292	0,8742	0,9265	0,9550	0,9722
200	0,6407	0,7614	0,8280	0,9016	0,9403	0,9633
250	0,4836	0,6868	0,7797	0,8765	0,9258	0,9547
300	0,2710	0,6050	0,7297	0,8515	0,9117	0,9464
350	0,2374	0,5195	0,6790	0,8267	0,8980	0,9385
400	0,2460	0,4429	0,6294	0,8025	0,8847	0,9309
450	0,2613	0,3931	0,5839	0,7793	0,8719	0,9236
500	0,2788	0,3726	0,5452	0,7574	0,8598	0,9168
600	0,3158	0,3750	0,4964	0,7191	0,8378	0,9046
700	0,3535	0,3971	0,4831	0,6900	0,8195	0,8944
800	0,3910	0,4256	0,4905	0,6712	0,8053	0,8864
900	0,4282	0,4566	0,5081	0,6625	0,7954	0,8807
1000	0,4649	0,4886	0,5307	0,6624	0,7897	0,8773

Πίναξ 4. Είδική θερμότης σρ όπό σταθεράν πίεσιν του ύδατος συναρτίσει πίεσσιος & θερμοκρασίαι σρ είς KJ/kgK

πίεσσιος bar	θερμοκρασία είς °C														
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
1	4,217	4,182	4,181	2,032	1,979	1,974	1,988	2,011	2,037	2,068	2,099	2,132	2,200	2,270	2,341
5	4,215	4,181	4,180	4,215	4,310	2,143	2,079	2,065	2,073	2,093	2,118	2,146	2,208	2,276	2,346
10	4,212	4,179	4,179	4,214	4,308	2,431	2,215	2,141	2,121	2,126	2,141	2,164	2,219	2,283	2,352
50	4,191	4,166	4,170	4,205	4,296	4,477	4,855	3,299	2,669	2,451	2,360	2,324	2,311	2,347	2,402
100	4,165	4,151	4,158	4,194	4,281	4,450	4,791	5,703	4,042	3,078	2,726	2,569	2,445	2,429	2,465
150	4,141	4,137	4,148	4,183	4,266	4,425	4,735	5,495	8,863	4,155	3,235	2,875	2,597	2,517	2,531
200	4,117	4,123	4,137	4,173	4,252	4,402	4,685	5,332	8,103	6,327	3,959	3,257	2,767	2,610	2,598
250	4,095	4,109	4,127	4,163	4,239	4,379	4,639	5,201	7,017	13,02	5,020	3,731	2,956	2,709	2,666
300	4,073	4,097	4,117	4,153	4,226	4,358	4,598	5,091	6,451	25,71	6,624	4,317	3,161	2,814	2,736
350	4,052	4,084	4,107	4,144	4,214	4,338	4,560	4,999	6,084	11,79	8,875	5,019	3,381	2,925	2,807
400	4,032	4,073	4,098	4,135	4,202	4,319	4,525	4,919	5,820	8,784	10,89	5,807	3,612	3,040	2,951
450	4,013	4,062	4,089	4,126	4,190	4,301	4,493	4,848	5,616	7,517	10,83	6,584	3,849	3,158	2,951
500	3,994	4,051	4,081	4,117	4,179	4,284	4,463	4,786	5,451	6,814	9,483	7,200	4,086	3,278	3,024
600	3,957	4,032	4,064	4,100	4,157	4,252	4,410	4,681	5,200	6,047	7,466	7,480	4,521	3,515	3,168
700	3,920	4,014	4,049	4,084	4,137	4,222	4,362	4,595	5,014	5,621	6,440	6,913	4,857	3,736	3,309
800	3,883	3,997	4,035	4,068	4,117	4,195	4,320	4,523	4,871	5,340	5,844	6,310	5,053	3,928	3,441
900	3,844	3,982	4,022	4,054	4,099	4,169	4,282	4,462	4,757	5,135	5,465	5,854	5,104	4,082	3,562
1000	3,800	3,968	4,010	4,039	4,081	4,145	4,248	4,410	4,663	4,975	5,203	5,511	5,057	4,196	3,670

Πίναξ 5. Συντελεστής κατ'όγκον διαστολής  $\beta = 1/\nu(\partial\nu/\partial T)_p$  του ύδατος συναρτήσει πιέσεως και θερμοκρασίας  
 $\beta$  εις  $10^{-3}/K$

πίεση bar	Θερμοκρασία εις °C								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	-0,0852	0,2067	0,4623	2,879	2,451	2,159	1,937	1,761	1,615
5	-0,0838	0,2072	0,4622	0,7539	1,024	2,372	2,051	1,829	1,660
10	-0,0820	0,2079	0,4620	0,7530	1,022	2,728	2,218	1,922	1,718
50	-0,0678	0,2133	0,4605	0,7455	1,007	1,347	1,936	3,211	2,364
100	-0,0499	0,2201	0,4589	0,7366	0,9902	1,312	1,848	3,189	4,079
150	-0,0320	0,2272	0,4574	0,7281	0,9740	1,281	1,772	2,883	10,82
200	-0,0142	0,2343	0,4562	0,7200	0,9587	1,251	1,704	2,648	6,923
250	+0,0033	0,2416	0,4551	0,7122	0,9442	1,224	1,643	2,460	5,162
300	0,0205	0,2489	0,4542	0,7047	0,9303	1,198	1,589	2,306	4,276
350	0,0373	0,2562	0,4534	0,6975	0,9172	1,175	1,539	2,176	3,718
400	0,0535	0,2636	0,4528	0,6907	0,9046	1,152	1,494	2,065	3,324
450	0,0690	0,2709	0,4523	0,6841	0,8926	1,131	1,453	1,968	3,027
500	0,0836	0,2782	0,4520	0,6777	0,8811	1,111	1,415	1,884	2,791
600	0,1100	0,2926	0,4517	0,6657	0,8596	1,075	1,348	1,742	2,439
700	0,1317	0,3065	0,4518	0,6545	0,8397	1,042	1,290	1,626	2,186
800	0,1475	0,3196	0,4523	0,6441	0,8213	1,012	1,238	1,530	1,994
900	0,1565	0,3317	0,4530	0,6343	0,8042	0,9844	1,193	1,448	1,843
1000	0,1576	0,3426	0,4540	0,6252	0,7882	0,9594	1,152	1,377	1,720

πίεση bar	Θερμοκρασία εις °C					
	400	450	500	600	700	800
1	1,493	1,388	1,218	1,147	1,029	0,9327
5	1,523	1,409	1,313	1,157	1,035	0,9363
10	1,562	1,437	1,333	1,168	1,042	0,9408
50	1,947	1,690	1,510	1,264	1,100	0,9771
100	2,703	2,118	1,782	1,397	1,175	1,023
150	4,062	2,724	2,126	1,546	1,254	1,070
200	7,005	3,613	2,559	1,712	1,338	1,118
250	17,08	4,972	3,109	1,897	1,425	1,167
300	37,71	7,112	3,799	2,098	1,515	1,215
350	13,05	10,18	4,635	2,315	1,608	1,264
400	7,989	12,79	5,563	2,541	1,702	1,312
450	5,955	12,16	6,438	2,770	1,796	1,359
500	4,863	9,668	7,053	2,991	1,889	1,406
600	3,702	6,214	6,897	3,365	2,062	1,493
700	3,077	4,563	5,678	3,593	2,208	1,571
800	2,674	3,648	4,592	3,637	2,314	1,637
900	2,385	3,082	3,821	3,507	2,375	1,687
1000	2,164	2,699	3,269	3,280	2,392	1,723



2) Υπολογισμός Καλυμμάτων:

α) Το κάτω κάλυμμα (χωρίς άνοιγμα):

$$S = \frac{p \cdot D_o \cdot \beta}{400 \frac{K}{S}} + C$$

$v=1$  (άνευ ραφής, κοίλη ανετη στην πρέσα)

$\beta = f\left(\frac{d_i}{D_o}, \frac{S-C_1-C_2}{D_o}\right)$  από διάγραμμα 3,  $d_i=0$  (όχι οπή). Το  $S=20\text{mm}$ , προεκτίμηση-όσο και το προηγούμενο πάχος, με try-and-error πάλι,  $\beta = f(0, 0,005) = 3,3$  και

$S \approx 23,8\text{mm}$  και τυποποιούμε στα  $25\text{mm}$ .

β) Το κάτω κάλυμμα, ομοίως, αλλά με  $d_o = 500\text{mm}$ . Οπότε προεκτιμάμε το πάχος  $S=20\text{mm}$  (και το  $S$  των σωλήνων). Υπολογίζουμε:

$$\frac{d_i}{D_o} = \frac{460}{500} = 0,92 \quad \left. \begin{array}{l} \frac{S-C_1-C_2}{D_o} = \frac{20-0,9-2}{500} = 0,005 \\ \text{Νέο } \rightarrow \frac{30-0,9-2}{500} = 0,008 \end{array} \right\} \beta = 3,8 \text{ και } S = 27 \Rightarrow 30\text{mm}$$

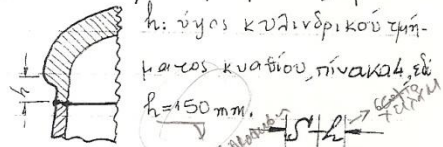
Θα πρότεινα τα  $30\text{mm}$  για λόγους ασφαλείας

Παρατηρήσεις:

- Θα μπορούσε να γίνει όλο το δοχείο με τηνίδια λαμαρίνα ( $30\text{mm}$ ). Αυτό ίσως είναι σπατάλη, αλλά η αγορά μιας 2ης λαμαρίνας ( $20-25\text{mm}$  ίσως είναι μεγαλύτερο έξοδο.

- Θα μπορούσα να κατασκευάσω από τη μικρότερη διατομή, αλλά τότε θα υπολογίσω ενισχύσεις (μπαλώματα) για τις 2 οπές (παρακάτω)

- Τέλος, θα μπορούσα να έχω και τα 2 πάχη λαμαρίνας, προσέχοντας τη συγκόλληση, που ούτως ή άλλως πρέπει να γίνει επί κυλινδρικής και όχι σφαιρικής επιφάνειας.

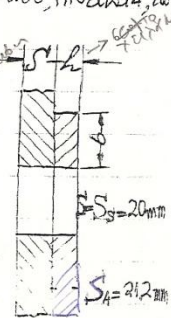


3) Υπολογισμός ενισχύσεων οπών (να γίνει πάντα):

α) Επί των πλευρικού-κυλινδρικού τμήματος:

εννοητικό ύψος  $S_A = S + h$ ,  $S_A = \frac{D_o \cdot p}{200 \frac{K}{S} v + p} + C$ , έστω  $S_A = 30\text{mm}$  από το διάγραμμα 5:  $d_i = d_o - 2S = 460\text{mm}$  και  $D_i = D_o - 2S = 3160\text{mm}$

$$v_A = f\left(\frac{d_i}{D_i}, \frac{S_A - C_1 - C_2}{D_i}\right) = f\left(0,55; 0,633\right) = 0,687$$





άρα  $h = S_A - S = 21,2 - 20 = 1,2 \text{ mm}$  → τυποποίηση  $h = 5 \text{ mm}$ , αλλά επειδή τα  $5 \text{ mm}$  δεν συγκολλούνται,  $h = 10 \text{ mm}$  →  $S_A = 30 \text{ mm}$ .

Το πλάτος του δέικου ενίσχυσης  $b = \sqrt{(D_i + S_A - C_1 - C_2)(S_A - C_1 - C_2)} = 314 \text{ mm}$ , άρα η διάμετρος του  $2b + d_o = 2 \times 314 + 500 = 1114 \text{ mm}$ . Πρέπει να γίνουν και 2 έλεγχοι:

1ος - η παραπάνω χορδή  $2b + d_o < 0,6 D_o \Rightarrow 1114 < 0,6 \times 3600 = 2160$

2ος -  $b > 3 S_A : 314 > 3 \times 30 = 90 \text{ OK}$

β) Οπή επί του σφαιρικού καλύμματος:

$S_A = \frac{D_o \cdot P \cdot B}{400 \frac{\text{K}}{\text{S}} V_A} + C$ , όπου το  $V_A$  ομοίως ανωτέρω, αλλά από το διάγραμμα β, όπου  $D_i = 2 D_i$  (Köpper)

→  $v = f(1,31, 0,635) = 0,763 \rightarrow S_A = 27,8 + 2,9 = 71,20 \text{ mm}$   
 $b = 3,3$  (χωρίς οπές & ενίσχυση) →  $= 30,7$  → τυποποίηση  $S_A = 35 \text{ mm}$  →  $h = 10 \text{ mm}$

4) Υπολογισμός των τοιχωμάτων των περιστομιών (και των 2):

$S = \frac{d_o \cdot P}{200 \frac{\text{K}}{\text{S}} V + P} + C$ ,  $v = 0,8$ ,  $C = 2 + 0,3$  (για  $S = 10 \text{ mm}$ ),  $d_o = 500 \text{ mm}$   
 $p = 10 \text{ at}$ ,  $k = 21 \text{ K/mm}^2$ ,  $s = 1,5$ , τελικά:

$S = 2,2 + 2,3 = 4,5$  → τυποποιά  $S = 5 \text{ mm}$  και για να μπορεί να συγκολληθεί  $S = 10 \text{ mm}$ .

Υπολογισμός Πλακών, που κλείνουν τα περιστόμια, προκειμένου να δοκιμασθεί το δοχείο, σε πίεση 30% περισσότερη από την ονομαστική πίεση λειτουργίας.

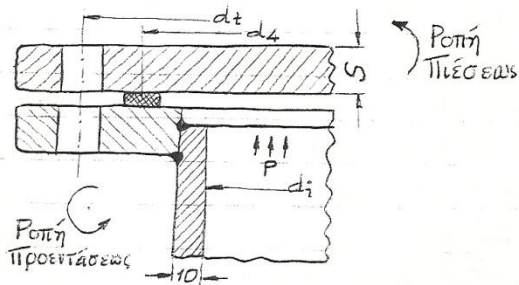
Επίπεδο κάλυμμα συνδεδεμένο μετά ροπής (B5):

$S = C_1 \cdot d_4 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot S}{100k}} + C_2$

Πρώτα εκλέγουμε φλάντζα από πίνακα 7 (DIN 10.76 φλάντζων), για  $d_o = 500 \text{ mm}$  και  $p = 10 \text{ at}$ ,  $d_t = 620 \text{ mm}$ ,  $d_4 = 585 \text{ mm}$  ( $d_4: \text{BASF} \equiv d_p$ ). **5 € 7 45**

$C_1 = f\left(\frac{d_t}{d_4}, \delta\right)$  από διάγραμμα 8

$\delta = 1 + 4 \frac{k_1 \cdot S_D}{d_4}$ ,  $S_D = 1,2$  συνήθως,  $k_1$  από πίνακα 9 η χαρακτηριστική τιμή σφιγγοτότητας = 6 για κατάσταση λειτουργίας και οβάλ δακτύλιο, οπότε  $\delta = 1,05$ .



και  $C_1 = f(1,08, 1,05) = 0,47$ . Ο  $s = 1,1$  για συνθήκες δοκιμασίας (δηλαδή 30% περισσότερη πίεση και κανονική θερμοκρασία  $\approx 20^\circ\text{C}$ )  
 $C_2 = 2\text{mm}$ ,  $K = 21 \text{ Kr/mm}^2$  και  $S = 25,3 \rightarrow$  τυποποίηση  $S = 30\text{mm}$ .

5) Υπολογισμός των κοχλίων σύνδεσης:

$n = 20$  κοχλίες της ανωτέρω φλάντζας (πρέπει πάνω από 10 και σίγουρα πάνω από 4), M24,  $d_1 = 26\text{mm}$ , πίνακας 7. σελ 40

Θα γίνουν 2 υπολογισμοί της διαμέτρου κορμού (ή ελαστικού κοχλίου)  $d_s$ , όπου  $d_s \leq 0,9 d_k$ , με  $d_k$  η διάμετρος άκαμπτου κοχλίου, εδώ M24 (mm), που πρέπει να επιβεβαιωθεί. Θα βρούμε τη δυσμενέστερη κατάσταση από ένα υπολογισμό σε κατάσταση λειτουργίας και ένα εκτός, δηλαδή μόνο για την προένταση προς στεγανοποίηση, κατάσταση που ενδεικνύεται αποφορτίζεται.

α) Κατάσταση λειτουργίας:  $d_s = z \sqrt{\frac{P_{SB}}{K \cdot \eta}} + C_s$ , όπου  $K = 21 \frac{\text{Kr}}{\text{mm}^2}$  η προσαύξηση  $C_s$  ( $1 \leq C_s \leq 3$ ) =  $\frac{65 - \eta}{15}$ ,  $z = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot \varphi}}$  με την ποιότητα επιφάνειας  $\varphi = 1$  (ή 0,75) και τον συντελεστή ασφαλείας  $s = 1,5$  (για λειτουργία).  
 Οπότε  $z = 1,38$  και  $C_s = 3\text{mm}$ . Η δύναμη στο σύνολο των κοχλίων, εν λειτουργία, μαζί με την προένταση, είναι:  $P_{SB} = \frac{P}{100} \left( \frac{\pi d_1^2}{4} + 3,8 d_1 \cdot K_1 \right) - [K_p]$   
 $d_1 = 585\text{mm}$ ,  $K_1 = 6\text{mm}$  από πίνακα 9 - πάλι για οβάλ δακτύλιο. Οπότε βγαίνει:  $P_{SB} = 28,2 \times 10^3 \text{ Kr}$  και  $d_s = 14,3\text{mm}$  διαμέτρος κορμού

β) Εκτός λειτουργίας, υπό την επίδραση της ροής σύνδεσης:  
 $d_s = z \sqrt{\frac{P_{S0}}{K_{20} \cdot \eta}}$ , όπου  $K_{20} = 31 \text{ Kr/mm}^2$  από πίνακα 1,  $z = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot \varphi}}$  με το  $\varphi = 1$  πάλι, αλλά τον  $s = 1,1$ . Η δύναμη στους κοχλίες, εκτός λειτουργίας είναι  $P_{S0} (= P_{D0}) = \pi \cdot d_1 \cdot k_0 \cdot K_D - [K_p]$ , όπου  $d_1 = 585\text{mm}$  και οι χαρακτηριστικές τιμές του δακτυλίου στεγανώσεως, η  $k_0 = 2\text{mm}$  για οβάλ και αέρια ή ατμούς ενώ η αντίσταση παραμόρφωσης  $K_D = 45 \text{ Kr/mm}^2$  (minimum) από τον πίνακα 10 για 13 CrMo44. Τελικά  $P_{S0} = 165,3 \times 10^3 \text{ Kr}$  και  $d_s = 19,3\text{mm}$ . Αυτή είναι μεγαλύτερη της  $d_s = 14,3$ . Άρα  $d_k = \frac{d_s}{0,9} = \frac{19,3}{0,9} = 21,44$  τυποποίηση M24.

Έλεγχος στεγανότητας των δακτυλίων στους  $400^\circ\text{C}$ . Πρέπει  $P_{D0} > P_{D0}$   
 $P_{D0} = \pi \cdot d_1 \cdot k_0 \cdot K_{D0} - [K_p]$ , όπου ήδη γνωστά η  $d_1 = 585\text{mm}$ , η  $k_0 = 2\text{mm}$ , ενώ η  $K_{D0} = 330 \text{ N} = 33 \text{ Kr}$  από τον πίνακα 10 για 13 CrMo44 και  $400^\circ\text{C}$ . Τελικά  $P_{D0} = 12,2 \cdot 10^3 \text{ Kr} > P_{SB}$ .

6) Υπολογισμός της φλάντζας: (βασικά του πάχους της  $h_F$ )

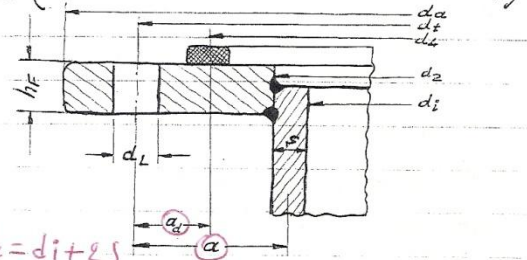
έχουμε ήδη επιλέξει τα βασικά γεωμετρικά της στοιχεία: (πιν. 7)

$d_i = 500 \text{ mm}$      $d_4 = 585 \text{ mm}$

$d_2 = 520 \text{ mm}$      $d_t = 620 \text{ mm}$

$d_a = 670$  (ή  $d_a = d_t + 2d_L = 674 \text{ mm}$ )

$d_L = 28 \text{ mm}$      $s = 10 \text{ mm}$



$d_e = d_i + e_s$

πάχος  $h_F = \sqrt{\frac{1,42 W - A}{b}}$  [mm], όπου  $W$  η ρητή αντιστάσεως [mm<sup>3</sup>]

$A = (d_i + s) \cdot s^2 = 51000 \text{ mm}^3$  και  $b$  το ενεργό πάχος φλάντζας.

$b = d_a - d_2 - 2 \cdot d_L$ , όπου η ελαττωμένη διάμετρος οπής κοιλία  $d_L = v \cdot d_L$  ενώ ο συντελεστής ελάττωσης  $v$  από το διάγραμμα 11. Εδώ  $v = 0,5 \Rightarrow d_L = 13,5 \text{ mm}$  και  $b = 123 \text{ mm}$ . Για την  $W$  θα γίνουν τρεις υπολογισμοί για τη μέγιστη:

α) για την πίεση λειτουργίας, β) για την πίεση δοκιμής  $1,3 \times p$  και γ) για την προένταση πριν την έναρξη της λειτουργίας (φάση συναρμολότητας)

α)  $W_a = \frac{p_{SB} \cdot S}{K} \cdot a$ , β)  $W_B = \frac{p_{SB} \cdot S'}{K_{20}} \cdot a$ , γ)  $W_g = \frac{p_{50} \cdot S'}{K_{20}} \cdot a_d$  όπου ήδη έχουμε τα  $S = 1,5$ ,  $S' = 1,1$ ,  $K = 21$ ,  $K_{20} = 31$ . Επίσης από εκήμα:

$a = \frac{d_t - d_i - s}{2} = 55 \text{ mm}$  και  $a_d = \frac{d_t - d_4}{2} = 17,5 \text{ mm}$ . Έχουμε ήδη βρει

και τα  $p_{SB} = 28,2 \times 10^3 \text{ kPa}$ ,  $p_{50} = 165,3 \times 10^3 \text{ kPa}$ . Τέλος  $p'_{SB} = 1,3 p_{SB} = 36,7 \times 10^3 \text{ kPa}$ .

Αντικαθιστώντας έχω  $W_a = 110 \times 10^3 \text{ mm}^3$ ,  $W_B = 71,3 \times 10^3$  και  $W_g = 102,6 \times 10^3 \text{ mm}^3$ .

Η ρητή αντιστάσεως  $W_a$  δίνει τη μεγαλύτερη καταπόνηση για τη φλάντζα. Αντικαθιστώ και έχω  $h_F = 30 \text{ mm}$ .

Επιλέγω την μεγαλύτερη  $W_a$

Π. 1

-35-Σ6

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ K ΧΑΛΥΒΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΣΩΣ

Αυτά πρέπει να το βρεστούμε  
σε ΚΡ/mm² σύμφωνα με το 10

Είδος χάλυβα κατά DIN 17006 κ.λ.π.	Αντοχή σε εφελκυσμό N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0,2</sub> σε K <sub>20</sub> 50	N/mm <sup>2</sup> σε διάφορες θερμοκρασίες °C				
			120	200	250	300	400
H I	343-441	225		176	166	137	98
H II	402-490	245		206	186	156	117
H III	481-519	264		225	206	176	137
H IV	461-549	274		235	215	186	147
U St 34-1 R St 34-1	333	176	166	-	-	-	-
U St 37-1 R St 37-1	362	206	186	-	-	-	-
U St 34-2R U St 37-2R	333 362	176	166	137	127	107	-
17 Mn 4	461-549	284		245	225	186	156
13 Cr Mo 44	431-549	304		274	255	235	206
X10CrNiTi 189	539-735	225	196	166	161	156	147
X10CrNiMoTi 189	539-735	230	206	186	181	176	166

↑  
αν κάποια άλλη θερμοκρασία  
επιβλεπεί παραβλεπεί από  
ηΡα θερμοκρασία διαφορά για  
10(9,81)

επιπέδο > επιπεδωμένες ...

6. Χαρακτηριστική τιμή άντοχης. K

6.1. Οι χαρακτηριστικές τιμές άντοχης K πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με όσα καθορίζονται στα AD-Merkblätter της σειράς K ανάλογα με την θερμοκρασία υπολογισμού.

6.2. Στην περιοχή έρπουσας παίρνουμε την χαμηλότερη από τις παρακάτω τιμές:
- μέση τάση έφελκυσμού 100.000 N/mm² (χρονικό όριο άντοχης σε συνεχή στατική φόρτιση)
- έγγυμμένη ελάχιστη τάση διαρροής ή 0,2 % ή 1% του όριου διαστολής.

6.3. Για όλικά χωρίς έγγυμμένη τάση διαρροής ή όρια διαστολής, πρέπει να λαμβάνεται σαν χαρακτηριστική τιμή άντοχης ή έγγυμμένη ελάχιστη τάση έφελκυσμού στην θερμοκρασία υπολογισμού. Σ'αύτην την περίπτωση εφαρμόζονται οι συντελεστές ασφαλείας του πίνακα 3.

6.4. Σε συνδέσεις όπου το όλικο συγκολλησιμώ είναι διαφορετικό από τα συνδέσιμα όλικά, παίρνουμε για τον υπολογισμό την χαρακτηριστική τιμή άντοχης του συγκολλητικού μόνο όταν αυτή είναι χαμηλότερη από την τιμή άντοχης των συνδεομένων όλικών.

6.5. Για συγκολλήσεις δομικών στοιχείων, οι όλοιτες ύφισταται ελέγχη παραπάνω στην περιοχή έρπουσας, και όταν δεν υπάρχουν τιμές άντοχης έρπουσας της συγκολλήσεως, ο υπολογισμός πρέπει να γίνεται με μία χαρακτηριστική τιμή άντοχης ή όλοτα θα είναι κατά 20% χαμηλότερη από αυτή του βασικού όλικού των δομικών στοιχείων.

6.6. Υψηλότερες χαρακτηριστικές τιμές άντοχης, οι όποιες μπορούν να έπιτευχθούν με διαδικασία "ψυχρής σταθεροποίησης" μπορούν μόνο τότε να παρθούν υπό όψη στην υπολογιστική όταν ήδη υπάρχουν στην έτοιμη κατασκευή και άφου έχει παρθη και η γνώμη ενός ειδικού.

7. Συντελεστής ασφαλείας. S

Οι συντελεστές ασφαλείας θα λαμβάνονται από τους πίνακες 2 και 3, έφ'δσον τα άλλα AD-Merkblätter δεν καθορίζουν άλλους συντελεστές ασφαλείας. Για όλικά που δεν αναφέρονται στα AD-Merkblätter οι συντελεστές ασφαλείας καθορίζονται από γνωση της Υπηρεσίας Έλέγχου.

8. Ποσοστό της έπιτροπέμενης υπολογιστικής τάσεως σε συνδέσεις.

8.1. Το ποσοστό της έπιτροπέμενης υπολογιστικής τάσεως σε συνδέσεις με συγκόλληση, δίνεται στους τύπους υπολογισμών με την συντελεστή ν. Ο συντελεστής αυτός είναι το ποσο-

- 4) Σε έπιχειρήσεις περιπτώσεις άντι της τάσεως έφελκυσμού 100.000N/mm² μπορούν να ληφθούν άλλα χρονικά όρια.
5) Εάν το όριο διαρροής δεν είναι χαρακτηριστικό, τότε κατά DIN 10245 πρέπει να ληφθη το 0,2% του όριου ή αυτώλης.

στα το όλο προκύπτει με διαίρεση των έπιτροπέμενων χαρακτηριστικών τιμών άντοχης, όπως δύνονται από συνοπτικό πίνακα 1 του AD-Merkblatt HPO, με το 100. Για όλικά, που δεν αναφέρονται στη συμφωνία No 1.2 του AD-Merkblatt HPO, και έφ'δσον δεν έχουν καθοριστη άλλες τιμές, τότε παίρνουμε την τιμή ...
εξωλιθικά τοιχώματα γ=0,8 πλάτα

8.2. Για σκληρό κόλλημα μπορούν να πάρουμε νε0,8 για τον υπολογισμό, έφ'δσον κατά την διαδικασία έλέγχου δεν προκύπτει χαμηλότερη τιμή.

Επίσης 2. Συντελεστής ασφαλείας έναντιών της τάσεως διαρροής του όριου 0,2 ή 1% κατ' του χρονικού όριου άντοχης από συνεχή στατική φόρτιση.

Table with 3 columns: Όλικο κατασκευής, Συντελεστής ασφαλείας S στην θερμοκρασία υπολογισμού, Συντελεστής ασφαλείας S' στη θερμοκρασία δοκιμασίας. Rows include 1. Κόλλημα έξελείσεως και σφηνολαγήσεως, 2. Χυτοκόλλημα, 3. Χυτοσίδηρος με σφαιρικό γραφίτη κατά DIN 1693, 3.1. GGG-70, 3.2. GGG-60, 3.3. GGG-50, 3.4. GGG-40, 3.5. GGG-40.3, 3.6. GGG-35.3, 4. Αλουμίνιο και κράματα αυτού-Όλικά ζυμωτά.

Επίσης 3. Συντελεστής ασφαλείας έναντιών της έφελκυστικής τάσεως.

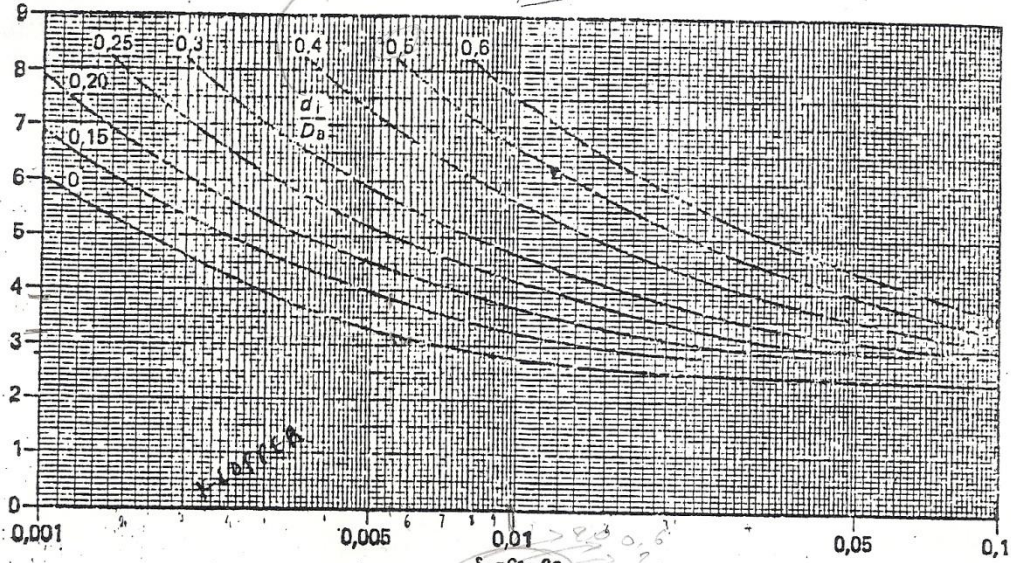
Table with 3 columns: Όλικο κατασκευής, Συντελεστής ασφαλείας S στην θερμοκρασία υπολογισμού, Συντελεστής ασφαλείας S' στη θερμοκρασία δοκιμασίας. Rows include 1. Χυτοσίδηρος κατά DIN 1691, 1.1. Μη άναυρωθείς, 1.2. Άναυρωθείς ή με έπιμελώση με μιλ με έπιμελώση με μιλ, 2. Χαλκός κράματα αυτού συμπεριλαμβανομένου κατ' του μικρότερου έξελείσεως ή χυτο, 2.1. Σε άσχετο χωρίς ραφές ή με συγκόλληση, 2.2. Σε άσχετο με κόλληση.

8.3. Άειρημένες συνδέσεις με μολικό κόλλημα δε έπιτρέπονται. Έπιτρέπονται μόνο περιφερειακές ραφές έπιχειρήσεως σε χαλκό.

0.3

εἰς

Χωρ

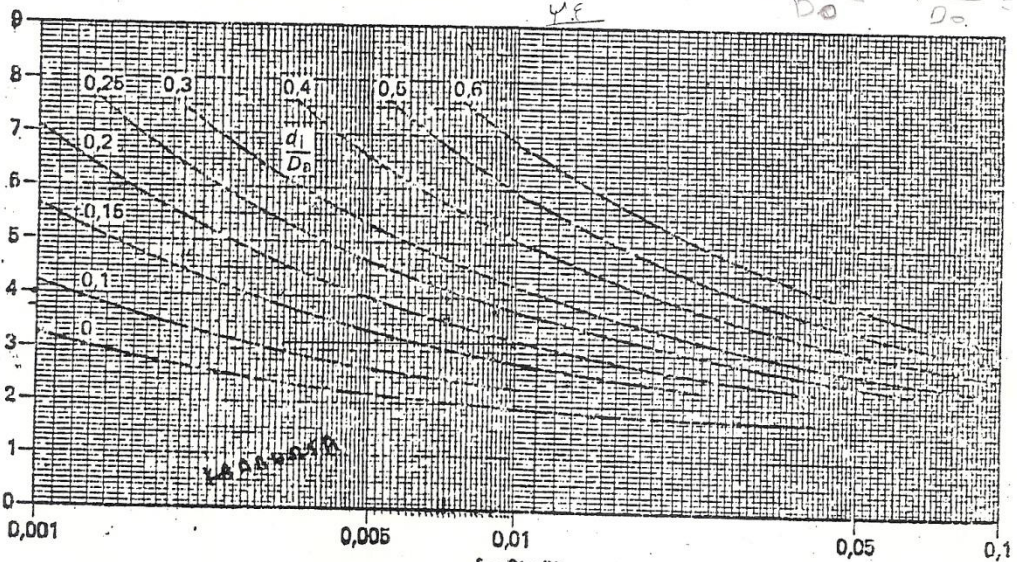


Id 3. Berechnungsbeiwerte  $\beta$  für gewässigte Böden in Klöpperform

Συντελεστής  $\beta$  για κλαβίματα κλάρπη

Εἰκόνη 3

$$\frac{20 - 2 \cdot 0.6}{D_0} = \frac{17.4}{D_0}$$



Id 4. Berechnungsbeiwerte  $\beta$  für gewässigte Böden in Kolbbogenform

Συντελεστής  $\beta$  για κλαβίματα κολβόματι

Εἰκ. 4

Π. 4

Φ λ α ν τ ζ ε ς

Διαστάσεις συνδέσεων για σωληνώσεις

Έκδοση 1

DIN 2501 Bl. 1 σύντηξη φεβρ. 1972

Flansche, Anschlüsse für Rohrleitungen  
Flanges, mating dimensions

Διαστάσεις σε mm

1. Διαστάσεις συνδέσεως  
Διαστάσεις συνδέσεως μιας φλάντζας είναι:  
ή εξωτερική διάμετρος  $d_a$   
ή διάμετρος κύκλου όρων  $d_e$   
ή διάμετρος έπιφανείας έπαφής στεγανοποίησεως  $d_i$

Πληθος και διάμετρος των κοχλιών  
ή διάμετρος όπης κοχλία  $d_L$

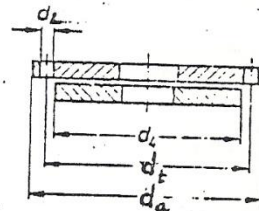
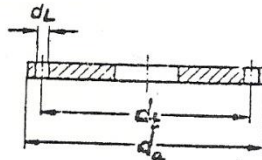
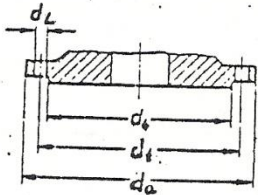
Τά άκόλουθα σχήματα δέν περιλαμβάνουν όλα τά εζή φλαντζών· χρησιμεύουν μόνο στην έπεξήγηση των διαστάσεων.

Διαστάσεις συνδέσεως

Σταθερές φλάντζες με κωνικό λαιμό με πατούρα στεγανοποίησεως

Σταθερές λείες φλάντζες χωρίς πατούρα στεγανοποίησεως

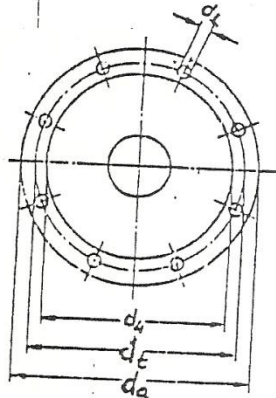
Έλευθερες φλάντζες με λεία φλάντζα χωρίς όπες ή φλάντζα χωρίς όπες προκατεργασμένη για συγκόλληση.



Περιγραφή μιας φλαντζωτής συνδέσεως ονομαστικής διαμέτρου 250 για ονομαστική πίεση 10 σε σχέδια κατ' έγραφο κατασκευής.

Φλαντζωτή σύνδεση 250 ND 10 DIN 2501

2. Διάταξη των όρων κοχλιών



Κάθε φλάντζα περιλαμβάνει ένα άριθμό όρων κοχλιών διατετα άνα το 4. Οι όπες των κοχλιών πρέπει για σωληνώσεις

καθ' εξαρτήματα να διαταχθούν έτσι ώστε να κεντράται συμμετρικά προς τους δύο κύριους άξονες και να μην σ' αυτούς καμμία όψη.  
 Ειδική έκδοση τυποποιήσεων για σωλήνες, συνδέσεις σωλήνων και σωληνώσεις στην γερμανική έκδοση τυποποιήσεων DNA.

Φ λ ν τ ρ ε ς Διαστάσεις συνδέσεων για σωληνώσεις.												
3. Κοφές τβν έπιφανείων στεγανοποιήσεως												
	Χαρακτηριστικά στοιχεία χεβα	Διαστάσεις για		Χρησιμοποιήσιμη για όνομαστική πίεση								
		κατεργασία της έπιφάνειας έπαφής της στεγανοποιήσεως όδες DIN	στεγανοποίηση όδες DIN	1	10	25	40	64	100	160	250	320
Άετα έπιφάνεια έπαφής στεγανοποιήσεως	C	2526	2690	X	X	X	X					
	D		2698					X	X	X	X	X
	E	2526	2697 2698					X	X	X	X	
Προεξοχή και άβλακα	F N	2512	2691		X	X	X	X	X			
Προεξοχή και έσοχή	V13 R13	2513	2692	X	X	X	X	X				
Προεξοχή με τάρνευτή άβλακα άνακουγίσεως	V14 R14	2514	2693		X	X	X					
Κωνική διαμόρφωση για μεμβρανοειδή στεγανοποίηση.	M	2695	2695					X	X	X	X	X
Κωνική έσωτερική τάρνευση για φακοειδή στεγανοποίηση	L	2696	2696					X	X	X	X	X



Αυστασσευ Φλανσσε Αηαυσε  
Flansche

Ανσλυσσεαυε φυρ Ροηρλελυττυν

Werknorm  
12 - 02  
Seite 3

Nennweite	Nenndruck I						Nenndruck 10						Nenndruck 25 2)					
	D	d <sub>4</sub>	k	Schrauben An-zahl	Schrauben Gewinde	d <sub>2</sub>	D	d <sub>4</sub>	k	Schrauben An-zahl	Schrauben Gewinde	d <sub>2</sub>	D	d <sub>4</sub>	k	Schrauben An-zahl	Schrauben Gewinde	d <sub>2</sub>
6	-	-	-	-	-	-	75	32	50	4	M 10	11	75	32	50	4	M 10	11
8	-	-	-	-	-	-	80	38	55	4	M 10	11	80	38	55	4	M 10	11
10	-	-	-	-	-	-	90	40	60	4	M 12	14	90	40	60	4	M 12	14
15	-	-	-	-	-	-	95	45	65	4	M 12	14	95	45	65	4	M 12	14
20	-	-	-	-	-	-	105	58	75	4	M 12	14	105	58	75	4	M 12	14
25	-	-	-	-	-	-	115	68	85	4	M 12	14	115	68	85	4	M 12	14
32	-	-	-	-	-	-	140	78	100	4	M 16	18	140	78	100	4	M 16	18
40	-	-	-	-	-	-	150	88	110	4	M 16	18	150	88	110	4	M 16	18
50	-	-	-	-	-	-	165	102	125	4	M 16	18	165	102	125	4	M 16	18
65	-	-	-	-	-	-	185	122	145	4	M 16	18	185	122	145	8	M 16	18
80	-	-	-	-	-	-	200	138	160	8	M 16	18	200	138	160	8	M 16	18
100	-	-	-	-	-	-	220	158	180	8	M 16	18	235	162	190	8	M 20	22
125	-	-	-	-	-	-	250	188	210	8	M 16	18	270	188	220	8	M 24	26
150	-	-	-	-	-	-	285	212	240	8	M 20	22	300	218	250	8	M 24	26
200	-	-	-	-	-	-	340	268	295	8	M 20	22	360	278	310	12	M 24	26
250	-	-	-	-	-	-	395	320	350	12	M 20	22	425	335	370	12	M 27	30
300	-	-	-	-	-	-	445	370	400	12	M 20	22	485	395	430	16	M 27	30
350	-	-	-	-	-	-	505	430	460	16	M 20	22	555	450	490	16	M 30	33
400	-	-	-	-	-	-	565	482	515	16	M 24	26	620	505	550	16	M 33	36
1) (450)	-	-	-	-	-	-	615	532	565	20	M 24	26	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	670	585	620	20	M 24	26	730	615	660	20	M 33	36
600	755	670	705	20	M 24	26	780	685	725	20	M 27	30	845	720	770	20	M 36	39
700	860	775	810	24	M 24	26	895	800	840	24	M 27	30	960	820	875	24	M 39	42
800	975	880	920	24	M 27	30	1015	905	950	24	M 30	33	1085	930	990	24	M 45	48
900	1075	980	1020	24	M 27	30	1115	1005	1050	28	M 30	33	1185	1030	1090	28	M 45	48
1000	1175	1080	1120	28	M 27	30	1230	1110	1160	28	M 33	36	1320	1140	1210	28	M 52	56
1200	1375	1280	1320	32	M 27	30	1455	1330	1380	32	M 36	39	1530	1350	1420	32	M 52	56
1400	1575	1480	1520	36	M 27	30	1675	1535	1590	36	M 39	42	1755	1560	1640	36	M 56	62
1600	1790	1690	1730	40	M 27	30	1915	1760	1820	40	M 45	48	1975	1780	1860	40	M 56	62
1800	1990	1890	1930	44	M 27	30	2115	1960	2020	44	M 45	48	2195	1985	2070	44	M 64	70
2000	2150	2030	2130	48	M 27	30	2325	2170	2230	48	M 45	48	2425	2210	2300	48	M 64	70

1) MW 450 nicht für Rohrleitungen

2) Für Grauguß gelten die Anschlußmaße nur bis MW 500.

Eingeklammerte Nennweiten möglichst vermeiden.

In den z.z. bestehenden Normen über gußeiserne Druckrohre und Formstücke mit Flanschen sind für einige Nennweiten der Nenndrücke 10 bis 40 die Außendurchmesser D, Dichtleistendurchmesser d<sub>4</sub> und Schraubenlochdurchmesser d<sub>2</sub> festgelegt, die von den Angaben dieser Tabellen geringfügig abweichen. Diese Abweichungen beeinträchtigen nicht die Austauschbarkeit solcher Flansche mit Flanschen mit Anschlußmaßen nach dieser Norm.

Druckstufen nach Werknorm 12 - 01

**Φ λ δ ν τ ζ ε ε**  
Διαστάσεις συνδέσεως για σωληνώσεις

**mm**

Όνομα στικές διάμε τροι	Όνομαστική πίεση 40 <sup>2)</sup>						Όνομαστική πίεση 64 <sup>2)</sup>						Όνομαστική πίεση 100 <sup>2)</sup>					
	d <sub>B</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>t</sub>	κοχλίες ἀριθ- μός	σπει- ρωμα	d <sub>L</sub>	d <sub>B</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>t</sub>	κοχλίες ἀριθ- μός	σπει- ρωμα	d <sub>L</sub>	d <sub>B</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>t</sub>	κοχλίες ἀριθ- μός	σπει- ρωμα	d <sub>L</sub>
6	75	32	50	4	M 10	11												
8	80	30	55	4	M 10	11												
10	90	40	60	4	M 12	14												
15	95	45	65	4	M 12	14	100	40	70	4	M 12	14	100	40	70	4	M 12	14
20	105	58	75	4	M 12	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	115	68	85	4	M 12	14	140	68	100	4	M 16	18	140	68	100	4	M 16	18
32	140	70	100	4	M 16	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	150	80	110	4	M 16	18	170	88	125	4	M 20	22	170	88	125	4	M 20	22
50	165	102	125	4	M 16	18	180	102	125	4	M 20	22	195	102	145	4	M 24	26
65	185	122	145	5	M 16	18	205	122	160	8	M 20	22	220	122	170	8	M 24	26
80	200	138	160	5	M 16	18	215	138	170	8	M 20	22	230	138	180	8	M 24	26
100	235	162	190	5	M 20	22	250	162	200	8	M 24	26	265	162	210	8	M 27	30
125	270	188	220	5	M 24	26	295	188	240	8	M 27	30	315	188	250	8	M 30	33
150	300	218	250	5	M 24	26	345	218	280	8	M 30	33	355	218	290	12	M 30	33
(175)	350	260	295	12	M 27	30	375	260	310	12	M 30	33	385	260	320	12	M 30	33
200	375	285	320	12	M 27	30	415	285	345	12	M 33	36	430	285	360	12	M 33	36
250	450	345	385	12	M 30	33	470	345	400	12	M 33	36	505	345	430	12	M 36	39
300	515	410	450	16	M 30	33	530	410	460	16	M 33	36	585	410	500	16	M 39	42
350	580	465	510	16	M 33	36	600	465	525	16	M 36	39	655	465	560	16	M 45	48
400	660	535	585	16	M 36	39	670	535	585	16	M 39	42	715	535	620	16	M 45	48
1) (450)	685	560	610	20	M 36	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	755	615	670	20	M 39	42	800	615	705	20	M 45	48	870	615	760	20	M 52	56
600	890	735	795	20	M 45	48	930	735	820	20	M 52	56	990	735	875	20	M 56	62
700	995	840	900	24	M 45	48	1045	840	935	24	M 52	56	1145	840	1020	24	M 64	70
800	1140	960	1030	24	M 52	56	1165	960	1050	24	M 56	62					M	
900	1250	1070	1140	28	M 52	56	1285	1070	1170	28	M 56	62					M	
1000	1360	1180	1250	28	M 52	56	1415	1180	1290	28	M 64	70					M	
1200	1575	1380	1460	32	M 56	62	1665	1380	1530	32	M 72	78					M	
1400	1795	1600	1680	36	M 56	62												
1600	2025	1815	1900	40	M 64	70												
	Όνομαστική πίεση 160						Όνομαστική πίεση 200						Όνομαστική πίεση 320					
10	100	40	70	4	M 12	14	125	40	85	4	M 16	18	125	40	85	4	M 16	18
15	105	45	75	4	M 12	14	130	45	90	4	M 16	18	130	45	90	4	M 16	18
25	140	68	100	4	M 16	18	150	68	105	4	M 20	22	160	68	115		M 20	22
40	170	88	125	4	M 20	22	185	88	135	4	M 24	26	195	88	145	4	M 24	26
50	195	102	145	4	M 24	26	200	102	150	8	M 24	26	210	102	160	8	M 24	26
65	220	122	170	8	M 24	26	230	122	180	8	M 24	26	255	122	200	8	M 27	30
80	230	138	180	8	M 24	26	255	138	200	8	M 27	30	275	138	220	8	M 27	30
100	265	162	210	8	M 27	30	300	162	235	8	M 30	33	335	162	265	8	M 33	36
125	315	188	250	8	M 30	33	340	188	275	12	M 30	33	380	188	310	12	M 33	36
150	355	218	290	12	M 30	33	390	218	320	12	M 33	36	425	218	350	12	M 36	39
(175)	390	260	320	12	M 33	36	430	260	355	12	M 36	39	485	260	400	12	M 39	42
200	430	285	360	12	M 33	36	485	285	400	12	M 39	42	525	285	440	16	M 39	42
250	515	345	430	12	M 39	42	505	345	490	16	M 45	48	640	345	540	16	M 48	52
300	585	410	500	16	M 39	42	690	410	590	16	M 48	52					M	

1) Η DN 450 δεν ισχύει για σωληνώσεις  
 2) Για φασεδοχρωστούχο υλικό οι διαστάσεις αυτές έως μόνοι μέχρι DN 450 για PN 40, μέχρι DN 150 για PN 64 και μέ. 20  
 PN 65 για DN 100.  
 3) Όνομαστικές τιμές είναι έντονα παρανεύμενα να αποκρούμε τα αυτά τα στοιχεία

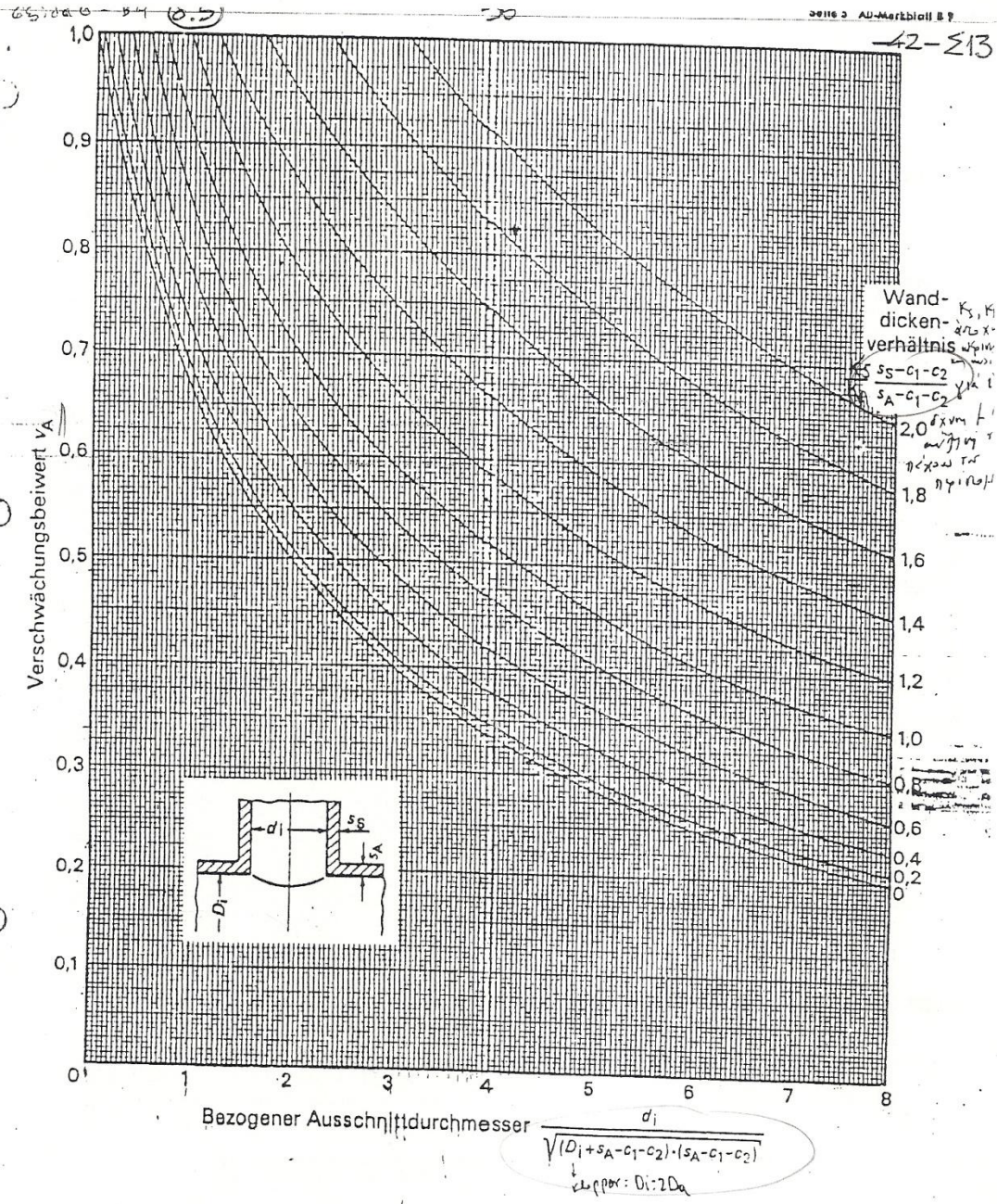


Bild 7. Verschwächungsbeiwerte  $v_A$  für Ausschnitte und senkrechte Abzweige in zylindrischen und kegelförmigen Grundkörpern

1. Συντελεστής εξασθένισης  $v_A$  για ανοίγματα σε κυλινδρικό περίβλημα

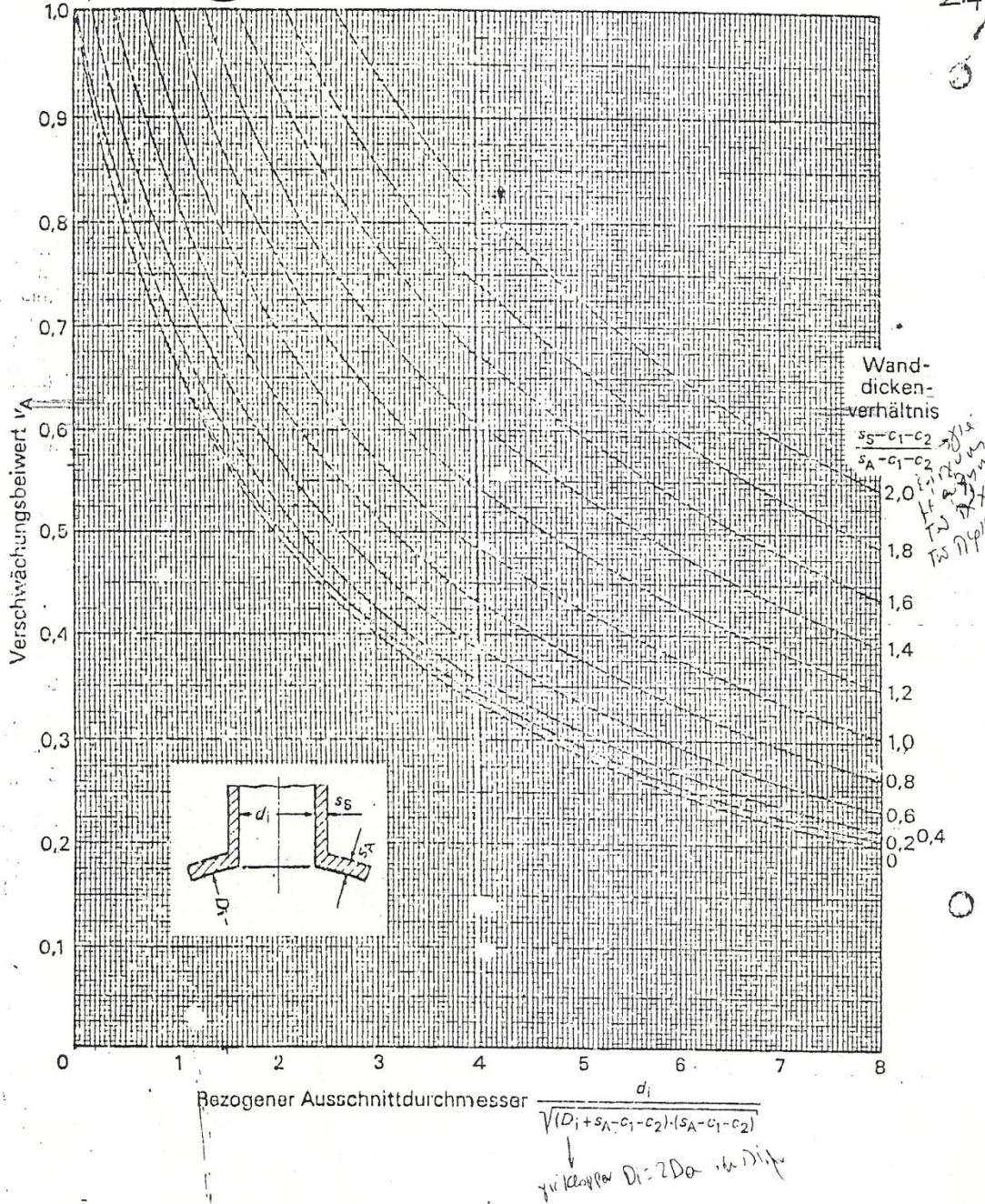


Bild 8. Verschwächungsbeiwert  $v_A$  für Ausschnitte und senkrechte Abzweige in kugelförmigen Grundkörpern

Συμπερασματικά εξαγωγές  $v_A$  για κυλινδρικά σε κλίμακα  
 1:1000

Τα AD-Merkblätter συντάσσονται από τους εξη παρακάτω αναφερόμενους συνδέσμους οι οποίοι συνεργάζονται στην "Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter" AD. Τα AD-Merkblätter είναι "κανόνες τεχνικής" στο πνεύμα του κανονισμού "Unfallverhütungsvorschrift Druckbehälter (VGB17) του Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaft e.V. Το AD-Merkblatt G-1 καθορίζει την συγκρότηση και εφαρμογή των AD-Merkblätter καθώς και την καθοδήγηση των τεχνικών διαδικασιών.

- Fachverband Dampfboiler-Behälter-und Rohrleitungsbau e.V.(FDBR), Düsseldorf
- Verband der Chemischen Industrie e.V.(VCI), Frankfurt/Main
- Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDhE), Düsseldorf
- Verein Deutscher Maschinenbau-Angefallter e.V., (VDMA), Fachgemeinschaft Apparatbau, Frankfurt/Main
- VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerkbetreiber e.V., Essen
- Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdUUV), Essen

Τα AD-Merkblätter ενημερώνονται συνεχώς από τους συνδέσμους στην πρόοδο της τεχνικής. Γι'αυτό την λόγο οποιαδήποτε νέα άσκούνται στον εκδότη:

Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Postfach 1790, 4300 Essen 1.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Πεδίο Ισχύος   | 6. Έξασθένηση από ανοίγματα  |
| 2. Γενικά   | 7. Προσαυξήσεις              |
| 3. Σύμβολα και μονάδες  | 8. Υπολογισμός               |
| 4. Συντελεστής ασφαλείας                                      | 9. Ελάχιστο πάχος τοιχώματος |
| 5. Ποσοστό της επιτρεπόμενης υπολογιστικής τάσης σε φυλάξεις. | 10. Βιβλιογραφία             |

1) Πεδίο Ισχύος.

γ) καλύματα ήμισφαιρικά

Οι κανόνες υπολογισμού αυτού του AD-Merkblatt ισχύουν για θολωτά καλύματα, είδη 1, τύπου Klöpper, κελυφωτά ή ήμισφαιρικά που υπόκεινται σε εσωτερική ή εξωτερική υπερπίεση και που οι διαστάσεις τους εκκλινώνουν τις παρακάτω προϋποθέσεις<sup>1)</sup>:

$$\frac{D_a}{D_i} \leq 1,2 \quad (8)$$

α) καλύματα τύπου Klöpper

- $R \leq D_a$  (1)
- $r \leq 0,1 D_a$  (2)
- $h_1 \leq 0,1935 D_a - 0,455 s_w$  (3)
- $0,001 \leq \frac{s_w - c_1 - c_2}{D_a} \leq 0,1$  (4)

2. Γενικά

- 2.1. Αυτό το AD-Merkblatt μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συνδυασμό με το AD-Merkblatt B 0. Για την θερμοκρασία υπολογισμού και την χαρακτηριστική τιμή άστοχης, δες AD-Merkblatt B 0.
- 2.2. Το ύψος του κυλινδρικού μέρους είναι στην περίπτωση:
  - α) καλύματος τύπου Klöpper  $h_1 \geq 3,5 s_w$  (9)
  - β) θολωτού καλύματος  $h_1 \geq 3,0 s_w$  (10)
 εν τούτοις δεν πρέπει να υπερβαίνει τα ακόλουθα μέτρα:

β) καλύματα κελυφωτά

- $R = 0,8 D_a$  (5)
- $r = 0,154 D_a$  (6)
- $h_1 \leq 0,295 D_a - 0,635 s_w$  (7)
- $0,001 \leq \frac{s_w - c_1 - c_2}{D_a} \leq 0,1$  (4)

πάχος τοιχώματος	Ύψος του κυλινδρικού μέρους
Έως 50mm	150mm
πάνω από 50mm "	80mm
" 80mm "	100mm
" 100mm "	120mm
" 120mm "	75mm
" 120mm "	50mm

1) Προς το παρόν, αυτό το AD-Merkblatt μόνον δίνει τους συντελεστές υπολογισμού β για θολωτά καλύματα τύπου κελυφωτά (DIN 2801) έως 28014. Αν μεταβούμε τιμές για καλύματα άλλου τύπου, μπορεί να συμπεριληφθούν όμοια.

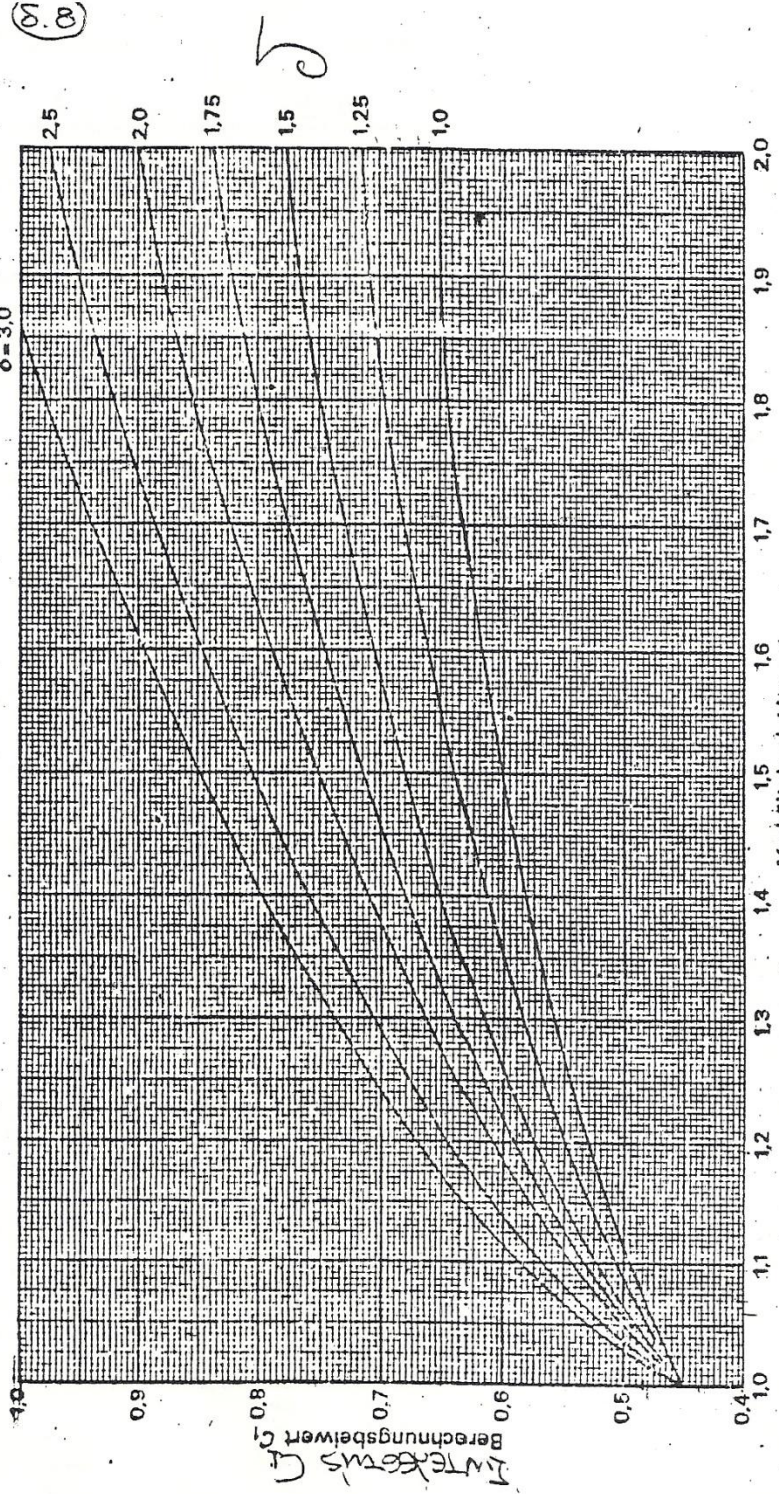


Bild 5. Berechnungsbeiwert  $C_1$  von Platten mit zusätzlichem gleichsinnigem Randmoment

Συμπλέξεις  $C_1$  για δίσκους και καλύματα κυκλικά χωρίς αντίστροφο και με πρόσδεση περιφερειακή ραφή της ίδιας διαμέτρου με την εσωτερική μέση.

Π.9

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικές τιμές στεγανότητας.

83

ΠΙΝΑΚΑΣ Ε-46-Σ17

Είδος στεγανο-κλιτήρας	Τύπος στεγανο-κλιτήρας	Όνομασία	Υλικό	Χαρακτηριστικές τιμές στεγανοποίησης 1)							
				Γιδ. ύψος			Γιδ. βάθος & ύψος 2)				
				Επιτοίχιος (mm)		Κατ.	Επιτοίχιος 2)		Κατ.		
				κ <sub>0</sub> mm	κ <sub>0</sub> κ <sub>D</sub> N/mm	Λεπ.τ. κ <sub>1</sub> mm	κ <sub>0</sub> mm	κ <sub>0</sub> κ <sub>D</sub> N/mm	Λεπ.τ. κ <sub>1</sub> mm		
Μυλακό φιλμά		Ελαστική τσιτ DIN 2690 έως DIN 2692	Χαριτωλό έμποτισμένο	—	20b <sub>D</sub>	b <sub>D</sub>	—	—	—	—	
		Ελαστικό PIFE 3)	—	—	b <sub>D</sub>	0,5b <sub>D</sub>	—	2b <sub>D</sub>	—	0,5b <sub>D</sub>	
		Ιε	—	—	—	20b <sub>D</sub>	1,1b <sub>D</sub>	—	2b <sub>D</sub>	—	1,2b <sub>D</sub>
		Ιε-PIFE πανό.	—	—	—	15b <sub>D</sub>	b <sub>D</sub>	—	20b <sub>D</sub>	—	1,3b <sub>D</sub>
		Αλκυβας	—	—	—	12b <sub>D</sub>	0,8b <sub>D</sub>	—	12b <sub>D</sub>	—	0,8b <sub>D</sub>
Μυλακό φιλμά με επι-κάλυψη μετάλλου		Αλκυβας	Αλκυβας	—	15b <sub>D</sub>	b <sub>D</sub>	—	5b <sub>D</sub>	—	1,3b <sub>D</sub>	
		Αλ	Αλ	—	10b <sub>D</sub>	0,6b <sub>D</sub>	—	3b <sub>D</sub>	—	0,7b <sub>D</sub>	
		Cu, Mn	Cu, Mn	—	9b <sub>D</sub>	0,6b <sub>D</sub>	—	3b <sub>D</sub>	—	0,7b <sub>D</sub>	
		Μαλακός γυψός	Μαλακός γυψός	—	10b <sub>D</sub>	0,6b <sub>D</sub>	—	4b <sub>D</sub>	—	1b <sub>D</sub>	
		Αλ	Αλ	—	10b <sub>D</sub>	b <sub>D</sub>	—	5b <sub>D</sub>	—	1,4b <sub>D</sub>	
Μεταλλικός		Μεταλλική έπικεδη	—	0,8b <sub>D</sub>	—	b <sub>D</sub> +5	b <sub>D</sub>	—	b <sub>D</sub> +5		
		Μεταλλική ρυμβοειδής	—	0,8	—	5	1	—	5		
		Όριζ.	—	1,6	—	6	2	—	6		
		Στρογγυλή	—	1,2	—	6	1,5	—	6		
		Κυκλικό εκτυλιγμένο	—	1,6	—	6	2	—	6		
		Κωνοειδής κατά DIN 2696	—	1,6	—	6	2	—	6		
		Κιωνοειδής κατά DIN 2696	—	0,4/χ	—	9+0,2χ	0,5/χ	—	9+0,2χ		
		Μεμβρανοειδής κατά DIN 2695	—	0	—	0	0	—	0		
		Δακτύλιος-0 1)	—	0	—	0	0	—	0		

1) Ίσχυουν γιd και περιγραφές, λεπτομέρειες & σχήματα, βλ. παράρτημα 2.  
 2) Αν δεν μπορεί να δοθεί το κ<sub>0</sub> δίνεται το γινόμενο κ<sub>0</sub>κ<sub>D</sub>  
 3) Παλιεπιρροή του υλικού  
 4) Προβλεπείται θερμότητα ποιότητας  
 5) Οι συνθήκες κλιματικών κριτηρίων να δίνονται και η σχέση των μηχανομαχικών φ1/φ2

5.1.5 Rectangular and other bolted flange connections with full-face gasket

The bolt load should be determined to formulae (10) through (13). The values for  $e$ ,  $f$ ,  $A_0$  and  $U_0$  are referred to the bolt hole centres and  $b_0$  to table 1 is equal to half the effective width of the gasket. Formula (6) may be applied accordingly.

6.2 Determination of bolt diameter

The required root diameter  $d_k$  for rigid bolts resp. shank diameter  $d_s$  for neckeddown bolts of a bolted flange connection with  $n$  bolts is the greatest of the following

$$d_k \text{ resp. } d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} + c_s \tag{14}$$

for the service condition

$$d_k \text{ resp. } d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SP}}{K_{20} \cdot n}} \tag{15}$$

for the testing condition

$$d_k \text{ resp. } d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} \tag{16}$$

for the bolting-up condition

$$\text{with } Z \text{ to table 3 resp. } Z = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot \varphi}} \tag{17}$$

For neckeddown bolts with bore  $d_b$  is to be replaced by  $\sqrt{d_b^2 - d^2}$  in formulae (14) through (16) where  $d$  is the bore diameter.

7. Allowances

For rigid bolts in the service condition the design allowance to formula (14) is

$$c_s = 3 \text{ mm, if } Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} \leq 20 \text{ mm} \tag{18}$$

resp.

$$c_s = 1 \text{ mm, if } Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} \geq 50 \text{ mm} \tag{19}$$

Intermediate values are to be interpolated linearly according to

$$c_s = \frac{65 - Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}}}{15}$$

For neckeddown bolts  $c_s = 0$ . Deviating from AD-Merkblatt B 0 further allowances are not required.

8. Minimum permissible bolt diameter

Generally bolts smaller than M10 or equivalent root diameter are not permissible. For special applications (e.g. bolts for fittings) smaller bolts may be used, however, not smaller than M6 or equivalent diameter.

9. Literatur

- [1] Trutnovsky, K.: Dichtungen; Werkstattbuch Nr. 92. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- [2] Schwaigerer, S.: Festigkeitsberechnung von Bauelementen des Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbaues. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1970).
- [3] Schwaigerer, S.: Die Berechnung der Flanschverbindungen im Behälter- und Rohrleitungsbaue. VDI-Z. 96 (1954) Nr.7.

Table 2 Deformation resistance  $K_D$  and  $K_{D\phi}$  of metallic gasket materials

Gasket material (material)	$K_D$ N/mm <sup>2</sup>	$K_{D\phi}$ in N/mm <sup>2</sup>				
		100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
soft aluminium	100	40	20	(5)	—	—
copper	200	180	130	100	(42)	—
soft iron	350	310	260	210	170	(80)
steel St 35	400	380	330	280	190	(120)
alloy steel- 13 CrMo 44	450	450	420	390	330	280
austenitic steel	500	480	450	420	390	350

Intermediate values are to be interpolated.

Table 3 Safety factor S, auxiliary factors Z and  $\varphi$

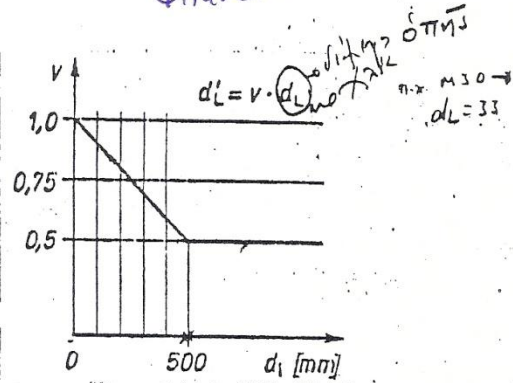
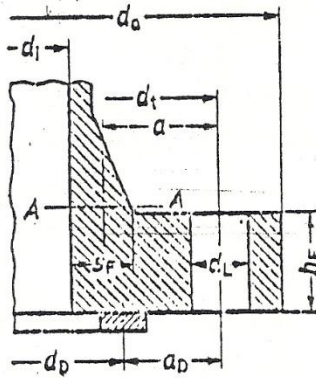
Condition and quality factor	Materials having a yield point and where the safety factor refers to the yield point resp. $\sigma_y/100\,000$		Materials having no yield point and where the safety factor refers to the tensile strength
	Neckeddown bolts, e.g. to DIN 2510	Bolts to e.g. DIN 2509 or DIN 931	
Service condition <i>Service condition</i>	$S = 1,5$	$S = 1,8$	$S = 5,0$
For $\varphi = 0,75$ $\varphi = 1,00$	$Z = 1,6$ $Z = 1,38$	$Z = 1,75$ $Z = 1,51$	$Z = 2,91$ $Z = 2,52$
Bolting-up and test condition	$S = 1,1$	$S = 1,3$	$S = 3,0$
For $\varphi = 0,75$ $\varphi = 1,00$	$Z = 1,37$ $Z = 1,18$	$Z = 1,49$ $Z = 1,29$	$Z = 2,26$ $Z = 1,95$

*επιφάνεια επαφής*



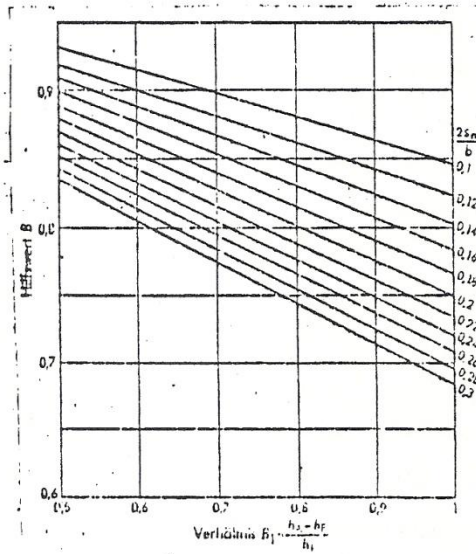
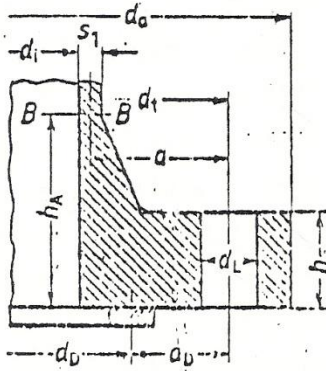
Σ.Μ

Φλάντζα



Είκ. 1. Φλάντζα προκατεργασμένη για συγκόλληση με κεντρικό λαγμό (τομή Α-Α)

Είκ. 3. Έλαττωμένη διάμετρος όπης καχλίας d<sub>i</sub>



Είκ. 2. Φλάντζα προκατεργασμένη για συγκόλληση με κεντρικό λαγμό (τομή Β-Β)

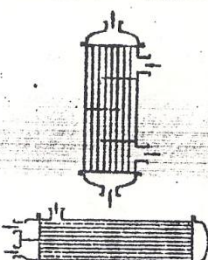
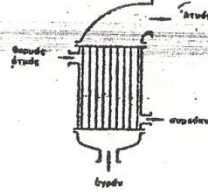
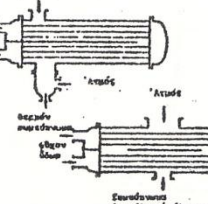
Είκ. 4. Βοηθητικές τιμές Β σύμφωνα με τον τύπο (10)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## 5.1 ΠΙΝΑΚΕΣ

-57-E9

134

VOI-Wärmeatlas 2. Aufl. 1974	'Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας εἰς μερικά εἴδη ἐναλλακτῶν θερμότητας	Cb 5
<p>3. 'Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας εἰς μερικά εἴδη ἐναλλακτῶν θερμότητας.</p> <p>Αἱ συγκεντρωθεῖσαι πληροφορικαί τιμαὶ χρησιμεύουν διὰ τῶν ἐκτιμώμενων συντελεστῶν τῶν ἐναλλακτῶν θερμότητας. Αἱ μικρότεροι τιμαὶ ἰσχύουν διὰ σχετικῶς δυσμενεῖς ἀναλογίας (πχ. μικρὰ ταχύτητος ροῆς, ὑγρὸν ἕξωδες, ἐλευθέρη συναγωγή, ροπή εἰς ἀκαθοσίαν), αἱ μεγαλύτεροι τιμαὶ διὰ ἴσων εὐνοϊκῶν συνθηκῶν (πχ. μεγάλη ταχύτητος ροῆς, λεπτόρευστα ὑγρά, εὐνοϊκαὶ ποσοτικαὶ ἀναλογαί τῶν δύο σωμάτων μεταξύ τῶν μαθηρῶν ἐπιφανειῶν). Οἱ ἀναφερόμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας δύνανται, εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις, νὰ παραβιασθῶν κρὸς τὰ ἄνω ἢ κρὸς τὰ κάτω διὰ τοῦτο πρέπει νὰ χρησιμοποιοῦνται μετὰ τὴν δέουσαν προσοχὴν καὶ σκέψιν. Εἰς τὰ ἐσωτερικῶν δὲν λαμβάνεται ἢ κ' ὄφιν ἢ ἀνεξέταστος εἰς τὴν ἀγωγήν τῶν μονωτικῶν καὶ προστατευτικῶν σπατάλων.</p>		
Εἶδος κατασκευῆς	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	Συντελεστὴς τιμῆς $k$ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
<p>Ἐναλλάκτης μετὰ δόξης σωλήνων</p> 	<p>Ἀέριου (=1 bar) κρὸς ἄεριον (=1 bar)</p> <p>Ἀέριον ὑψηλῆς πίεσεως (200...300 bar) κρὸς ἄεριον ὑψηλῆς πίεσεως (200...300 bar) ἐντός</p> <p>Ἰσὺ κρὸς ἄεριον (=1 bar)</p> <p>Ἀέριον ὑψηλῆς πίεσεως (200...300 bar) ἐντός τῶν σωλήνων</p> <p>Ἰσὺ κρὸς τῶν σωλήνων</p> <p>Ἰσὺ κρὸς ὑγρὸν</p> <p>Θερμὸς ἀτμὸς κρὸς τῶν σωλήνων</p> <p>Ἰσὺ εἰς τοὺς σωλήνας</p> <p>ἢς ἐξαερωτῆς καὶ συμπυκνωτῆς ὕδατος</p>	<p>5-35</p> <p>150-500</p> <p>18-70</p> <p>200-400</p> <p>150-1200</p> <p>300-1200</p>
<p>Ἐξαερωτῆς</p> 	<p>Θερμὸς ἀτμὸς κρὸς τῶν σωλήνων</p> <p>1. Εἰς φυσικὴν πυκνοφορίαν</p> <p>α) ἱζώδη ὑγρά</p> <p>β) λεπτόρευστα ὑγρά</p> <p>2. Εἰς βεβιασμένην πυκνοφορίαν</p> <p>NH<sub>3</sub>-ἐξαερωτῆς θερμαινόμενος διὰ ἁλατοῦχο ὕδατος</p>	<p>300-900</p> <p>600-1700</p> <p>900-3000</p> <p>200-800</p>
<p>Συμπυκνωτῆς</p> 	<p>Ἰσὺ κρὸς ὕδατος ἐντός τῶν σωλήνων</p> <p>Ὁργανικὸς ἀτμὸς καὶ NH<sub>3</sub> κρὸς τῶν σωλήνων</p> <p>Συμπυκνωτῆς ἀτμὸς στεροβόλων (καθαρὸς ἀτμὸς H<sub>2</sub>O, λεπτοὶ ὄρειοὶ ἀτμοὶ σωλήνων)</p> <p>* Ἡ τιμὴ τοῦ <math>k</math> εἶναι αὐξανόμενου τοῦ ποσοτοῦ ἀεραίου ἀέριου</p>	<p>300-1200</p> <p>1500-4000</p>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ K ΧΑΛΥΒΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ

Είδος χάλυβα κατά DIN 17006 κ.λ.π.	Αντοχή σε εφελκυσμό N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0,2</sub> σε Kg/mm <sup>2</sup> 50	N/mm <sup>2</sup> σε διάφορες θερμοκρασίες °C				
			120	200	250	300	400
H I	343 - 441	225		176	166	137	98
H II	402 - 490	245		206	186	156	117
H III	431 - 519	264		225	206	176	137
H IV	461 - 549	274		235	215	186	147
U St 34-1 R St 34-1	333	176	166	—	—	—	—
U St 37-1 R St 37-1	362	206	186	—	—	—	—
U St 34-2R U St 37-2R	333 362	176	166	137	127	107	—
17 Mn 4	461 - 549	284		245	225	186	156
13 Cr Mo 44	431 - 549	304		274	255	235	206
X10CrNiTi 189	539 - 735	225	196	166	161	156	147
X10CrNiTi 189	539 - 735	230	206	186	181	176	166

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σταθερές ύδατος σε πίεση ρ=1bar

θ °C	ρ Kg/m <sup>3</sup>	c <sub>p</sub> kJ/kgK	β 10 <sup>-3</sup> /K	λ 10 <sup>-3</sup> W/mK	η 10 <sup>-6</sup> kg/ms	ν 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	α 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	Pr -
0	999,8	4,217	-0,0852	569	1750	1,75	0,135	13,0
10	999,8	4,192	+0,0823	587	1300	1,30	0,140	9,28
20	998,4	4,182	0,2067	604	1000	1,00	0,144	6,94
30	995,8	4,178	0,3056	618	797	0,800	0,148	5,39
40	992,3	4,179	0,3890	632	651	0,656	0,153	4,30
50	988,1	4,181	0,4623	643	544	0,551	0,156	3,54
60	983,2	4,185	0,5288	654	463	0,471	0,159	2,96
70	977,7	4,190	0,5900	662	400	0,409	0,162	2,53
80	971,6	4,196	0,6473	670	351	0,361	0,164	2,20
90	965,2	4,205	0,7018	676	311	0,322	0,166	1,94

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Πυκνότητα ρ ύδατος συναρτήσει της πίεσως και της θερμοκρασίας

Πίεση bar	Θερμοκρασία σε °C								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	999,9	998,4	988,1	0,5895	0,5163	0,4603	0,4156	0,3789	0,3483
5	1000,1	998,6	988,3	958,4	916,8	2,353	2,108	1,913	1,754
10	1000,2	998,8	988,5	958,6	917,1	4,856	4,297	3,876	3,540
20	1000,7	999,2	988,9	959,0	917,7	865,0	8,972	7,969	7,217
30	1000,7	999,8	989,4	959,6	918,3	865,8	14,17	12,32	11,04
40	1001,2	1000,1	989,8	960,0	918,8	866,6	799,2	16,99	15,05
50	1001,7	1000,5	990,2	960,5	919,4	867,3	800,4	22,06	19,25
60	1002,2	1001,0	990,7	961,0	920,0	868,1	801,6	27,65	23,68
70	1002,7	1001,4	991,1	961,4	920,5	868,9	802,7	33,94	28,38
80	1003,2	1001,9	991,5	961,9	921,1	869,6	803,8	41,24	33,38
90	1003,7	1002,3	991,9	962,4	921,7	870,4	804,9	713,1	38,77
100	1004,2	1002,8	992,4	962,8	922,2	871,1	806,0	715,4	44,60
150	1004,7	1005,0	994,5	965,1	925,0	874,7	811,4	725,8	87,07
200	1007,2	1007,2	996,6	967,5	927,7	878,2	816,5	735,0	600,3
250	1009,6	1009,3	998,7	969,7	930,4	881,6	821,3	743,4	624,9
300	1012,1	1011,5	1000,7	971,9	933,0	884,9	826,0	751,0	643,4
350	1014,5	1013,6	1002,7	974,1	935,6	888,1	830,4	758,1	658,5
400	1016,9	1015,8	1004,7	976,2	938,1	891,3	834,7	764,7	671,4
450	1019,2	1017,9	1006,7	978,3	940,5	894,3	838,8	771,0	682,7
500	1021,5	1019,9	1008,7	980,5	943,0	897,3	842,8	776,9	692,9
600	1023,8	1024,0	1012,6	984,5	947,7	903,1	850,3	787,7	710,7
700	1028,4	1028,1	1016,4	988,5	952,3	908,6	857,5	797,5	725,9
800	1032,9	1032,1	1020,1	992,4	956,7	914,0	864,2	806,7	739,3
900	1041,4	1036,0	1023,8	996,3	961,1	919,2	870,6	815,2	751,5
1000	1045,5	1039,9	1027,4	1000,0	965,3	924,2	876,7	823,2	762,5

Κρίσιμα δεδομένα:  $p_c = 221,20 \text{ bar}$ ;  $\theta_c = 347,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_c = 647,30 \text{ K}$   $\rho_c = 315 \text{ kg/m}^3$ ;  
Μοριακή μάζα:  $M = 18,016 \text{ kg/kmol}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σταθερές ύδατος σε πίεση  $p = 1 \text{ bar}$

$\theta$ $^\circ\text{C}$	$\rho$ $\text{Kg/m}^3$	$c_p$ $\text{kJ/kgK}$	$\beta$ $10^{-3}/\text{K}$	$\lambda$ $10^{-3} \text{ W/mK}$	$\eta$ $10^{-6} \text{ kg/ms}$	$\nu$ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Pr -
0	999,8	4,217	-0,0852	569	1750	1,75	0,135	13,0
10	999,8	4,192	+0,0823	587	1300	1,30	0,140	9,28
20	998,4	4,182	0,2067	604	1000	1,00	0,144	6,94
30	995,8	4,178	0,3056	618	797	0,800	0,148	5,39
40	992,3	4,179	0,3890	632	651	0,656	0,153	4,30
50	988,1	4,181	0,4623	643	544	0,551	0,156	3,54
60	983,2	4,185	0,5288	654	463	0,471	0,159	2,96
70	977,7	4,190	0,5900	662	400	0,409	0,162	2,53
80	971,6	4,196	0,6473	670	351	0,361	0,164	2,20
90	965,2	4,205	0,7018	676	311	0,322	0,166	1,94

$\theta$  Θερμοκρασία Κελσίου  
 $\rho$  Πυκνότητα  
 $c_p$  Ειδ. Θερμότητα υπό σταθερά πίεση  
 $\beta$  Συντ. κατ' όγκο διάστ.  
 $\lambda$  Συντ. θερμ. αγωγιμότη.  
 $\eta$  Δυναμικό ιξώδες  
 $\nu$  Κινηματικό ιξώδες  
 $\alpha$  Συντ. θερμ. Διαχυτ.  
Pr αριθμός Prandtl

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Πυκνότητα  $\rho$  ύδατος συναρτήσει της πίεσεως και της θερμοκρασίας

Πίεση bar	Θερμοκρασία σε $^\circ\text{C}$								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	999,9	998,4	988,1	0,5895	0,5163	0,4603	0,4156	0,3789	0,3483
5	1000,1	998,6	988,3	958,4	916,8	2,353	2,108	1,913	1,754
10	1000,2	998,8	988,5	958,6	917,1	4,856	4,297	3,876	3,540
20	1000,7	999,2	988,9	959,0	917,7	865,0	8,972	7,969	7,217
30	1000,7	999,8	989,4	959,6	918,3	865,8	14,17	12,32	11,04
40	1001,2	1000,1	989,8	960,0	918,8	866,6	799,2	16,99	15,05
50	1001,7	1000,5	990,2	960,5	919,4	867,3	800,4	22,06	19,25
60	1002,2	1001,0	990,7	961,0	920,0	868,1	801,6	27,65	23,68
70	1002,7	1001,4	991,1	961,4	920,5	868,9	802,7	33,94	28,38
80	1003,2	1001,9	991,5	961,9	921,1	869,6	803,8	41,24	33,38
90	1003,7	1002,3	991,9	962,4	921,7	870,4	804,9	713,1	38,77
100	1004,2	1002,8	992,4	962,8	922,2	871,1	806,0	715,4	44,60
150	1004,7	1005,0	994,5	965,1	925,0	874,7	811,4	725,8	87,07
200	1007,2	1007,2	996,6	967,5	927,7	878,2	816,5	735,0	600,3
250	1009,6	1009,3	998,7	969,7	930,4	881,6	821,3	743,4	624,9
300	1012,1	1011,5	1000,7	971,9	933,0	884,9	826,0	751,0	643,4
350	1014,5	1013,6	1002,7	974,1	935,6	888,1	830,4	758,1	658,5
400	1016,9	1015,8	1004,7	976,2	938,1	891,3	834,7	764,7	671,4
450	1019,2	1017,9	1006,7	978,3	940,5	894,3	838,8	771,0	682,7
500	1021,5	1019,9	1008,7	980,5	943,0	897,3	842,8	776,9	692,9
600	1023,8	1024,0	1012,6	984,5	947,7	903,1	850,3	787,7	710,7
700	1028,4	1028,1	1016,4	988,5	952,3	908,6	857,5	797,5	725,9
800	1032,9	1032,1	1020,1	992,4	956,7	914,0	864,2	806,7	739,3
900	1041,4	1036,0	1023,8	996,3	961,1	919,2	870,6	815,2	751,5
1000	1045,5	1039,9	1027,4	1000,0	965,3	924,2	876,7	823,2	762,5

3) Ο Υπολογισμός της αναγκαίας επιφάνειας εναλλαχής θερμότητας, προϋποθέτει: 1ον την επιλογή του τύπου του εναλλάκτη και 2ον την επιβεβαίωση του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας  $K$ , με τη μέθοδο try and error.

1ον: Για εναλλάκτη τύπου "Δέσμης σωλήνων",  $F = z \cdot L \cdot \pi \cdot \frac{d_o + d_i}{2}$  (στη συνήθη, όπου  $z$  ο αριθμός σωλήνων,  $L$  το μήκος εκάστου (m),  $d_o$  η εξωτερική και  $d_i$  η εσωτερική των διαμέτρος (m)).

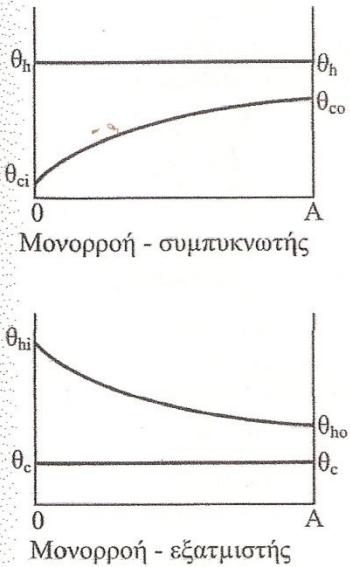
2ον: Από  $\dot{q} = k \cdot F \cdot \Delta T_m \Rightarrow F = \frac{\dot{q}}{k \cdot \Delta T_m} \rightarrow [m^2]$ . Από Wärmetafel, για εναλλάκτη οργανικό υγρό/νερό  $k = 150 \div 1200 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Έστω  $k = 400$ , οπότε  $F = \frac{3900 \cdot 10^3}{400 \cdot 29,3} = 332 \text{ m}^2$ . Επειδή πρέπει  $L < 8 \text{ m}$ , άρα από τη  $Werkstoff$  75303, επιλέγω εναλλάκτη με  $D_o = 1.200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$ , με πάχος περιβλήματος  $S_m = 12 \text{ mm}$  (όχι ανοξείδωτος ο  $St - 35$ ) και τέλος σωλήνες  $z = 1048$ , με  $d_o = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$  και πάχος  $S = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$ . Άρα  $d_i = d_o - 2 \cdot S = 0,021 \text{ m}$  και από 1ο τύπο για το  $F \Rightarrow L = \frac{332}{1048 \cdot \pi \cdot 0,023} = 4,38 \text{ m}$ , οπότε τυποποιώ από το  $Werkstoff$  Pa 1 του Wärmetafel  $L = 5 \text{ m}$ , αφού το 4,50 δεν ενδείκνυται.

Επαλήθευση του  $K$ , με trial error, αλλά και στην ουσία κατασκευαστικήπραγματοποίηση του, μέσω υπολογισμού και σχεδιασμού διατομής και ταχύτητας, και για τα δυο ρευστά. Επίσης, εξ' αυτών, μπορούν να υπολογιστούν και οι εσωτερικές διατομές των περιστομιών (δες άσκηση Δοχείων Πίεσης). Και στις δυο περιπτώσεις ξεκινάμε από μια ρεαλιστική εκτίμηση ταχύτητας, περίπου  $1 \text{ m/sec}$  για υγρά και  $10 \text{ m/sec}$  για αέρια.

As παρεμβάλλουμε τον υπολογισμό των περιστομιών: αν  $\dot{m}$  η παροχή μάζας,  $\rho$  η πυκνότητα,  $\dot{V}$  η παροχή όγκου,  $v$  η ταχύτητα και  $f$  η διατομή, τότε η εσωτερική διάμετρος των περιστομιών  $d_i$  βρίσκεται από τη χρήση των απλών τύπων: ( $\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$ ,  $\dot{V} = v \cdot f$  και  $f = \frac{\pi d_i^2}{4}$  τότε  $d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot v}}$ ).

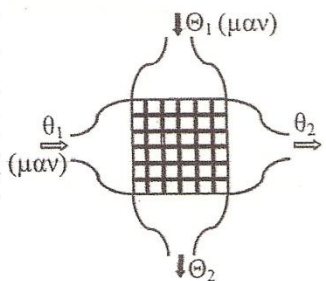
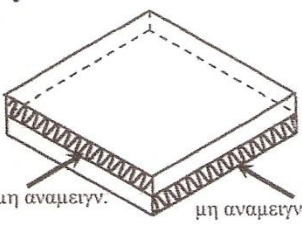
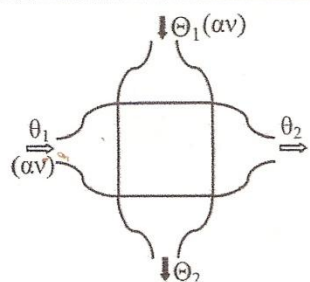
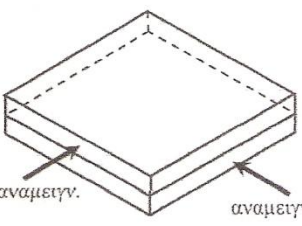
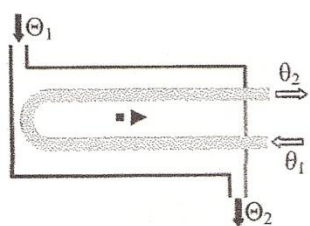
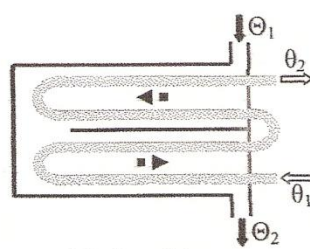
Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας:  $K = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a} + \frac{1}{a_o}}$ , όπου  $\frac{1}{a} = \frac{S}{\lambda} + H = \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{800}$ , (fouling factor για νερό ποταμού, τοίχιμα-πουρέ) και οι συντελεστές συναγωγής  $a_i$  και  $a_o$ . Μέσα στους σωλήνες θα μπει το πιο ακάθαρτο ρευστό, όπου οι ειδικές βούρτσες απομακρύνουν εύκολα το πουρέ εν προκειμένω το νερό του ποταμού.

Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής του νερού  $a_i = \frac{Nu \cdot \lambda_i}{d_i}$ , όπου  $Nu_o$  αριθμός Nusselt (αδιάστατος)  $Nu = 0,024 [1 + (\frac{d_i}{L})^{0,4}]^{0,75} Re^{0,6} Pr^{0,3} (\frac{\eta_F}{\eta_w})^{0,14}$ , για τυρβώδη ροή

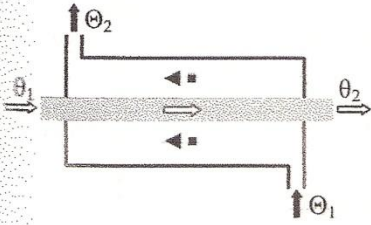
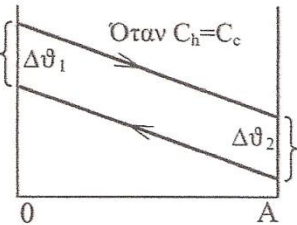
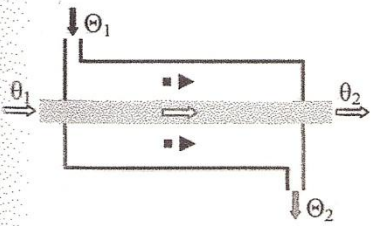
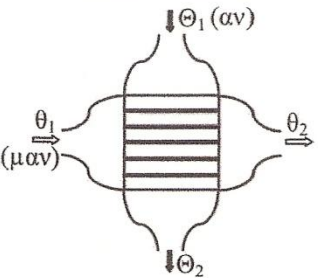
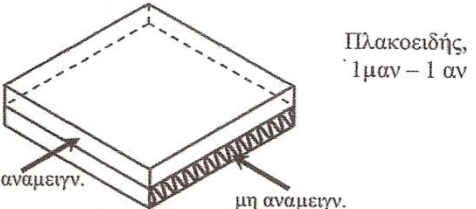
Σχήμα	Χρήση / Συνθήκες εφαρμογής / Παρατηρήσεις
 <p>The figure contains two graphs. The top graph, titled 'Μονορροή - συμπυκνωτής' (Counterflow - condenser), shows a temperature profile where the hot fluid (top line) is constant at <math>\theta_h</math> and the cold fluid (bottom line) starts at <math>\theta_{ci}</math> at position 0 and increases to <math>\theta_{co}</math> at position A. The bottom graph, titled 'Μονορροή - εξατμιστής' (Counterflow - evaporator), shows a temperature profile where the hot fluid (top line) starts at <math>\theta_{hi}</math> at position 0 and decreases to <math>\theta_{ho}</math> at position A, while the cold fluid (bottom line) is constant at <math>\theta_c</math>.</p>	<p>– Οι σχέσεις για τους εναλλάκτες μονορροής ισχύουν μόνο για την επιφάνεια A, στην οποία πράγματι επικρατεί σταθερή θερμοκρασία του ενός ρευστού.</p> <p>Οπότε, γι' αυτή την επιφάνεια, ισχύει η εσωτερική εξίσωση του εναλλάκτη: <math>q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m</math></p>

	Τύπος / Σχέση	Αρ.σχ.
Εναλλάκτες μονορροής	- Όταν το ένα ρευστό έχει: $\dot{m}_c c_c = C = C_{\max} \rightarrow \infty$ οπότε $C^* = C_{\min}/C_{\max} = 0$	
	- Για όλους τους εναλλάκτες μονορροής ισχύει: $\varepsilon = 1 - \exp(-NTU)$	{5-36}
	$NTU = -\ln(1-\varepsilon)$	{5-37}
	Σχέση $\varepsilon$ -NTU: Σε όλα τα Διαγράμματα 5-E..., για $C^*=0$ (ανεξαρτήτως διάταξης ροής).	
	- Ένας εναλλάκτης μονορροής μπορεί να λειτουργεί:	
	• Ως συμπυκνωτής: Όταν $\dot{m}_h c_h = C_h = C_{\max} \rightarrow \infty$ Συμπύκνωση ατμών υπό σταθερή θερμοκρασία $\theta_h$ Ή το θερμό ρευστό με άπειρη παροχή σε σταθερή $\theta_h$	
	Δηλαδή: $\theta_{hi} = \theta_{ho} = \theta_h$ , οπότε: $\Delta\theta_m = \frac{\theta_{co} - \theta_{ci}}{\ln\left(\frac{\theta_h - \theta_{ci}}{\theta_h - \theta_{co}}\right)}$	{5-38}
	και $q = \dot{m}_c c_c (\theta_{co} - \theta_{ci}) = \dot{m}_h r_h$ όπου $r_h$ : Λανθ. θερμότητα συμπύκνωσης ατμών (J/kg)	{5-39}
	• Ως εξατμιστής: Όταν $\dot{m}_c c_c = C_c = C_{\max} \rightarrow \infty$ Εξάτμιση υγρού υπό σταθερή θερμοκρασία $\theta_c$ Ή το ψυχρό ρευστό με άπειρη παροχή σε σταθερή $\theta_c$	
	Δηλαδή: $\theta_{ci} = \theta_{co} = \theta_c$ , οπότε: $\Delta\theta_m = \frac{\theta_{hi} - \theta_{ho}}{\ln\left(\frac{\theta_{hi} - \theta_c}{\theta_{ho} - \theta_c}\right)}$	{5-40}
Και $q = \dot{m}_h c_h (\theta_{hi} - \theta_{ho}) = \dot{m}_c r_c$ όπου $r_c$ : Λανθ. θερμότητα εξάτμισης (J/kg)	{5-41}	

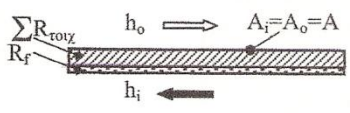
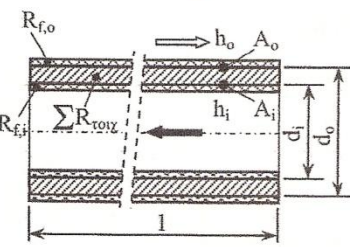
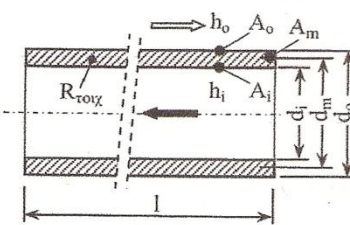


Σχήμα	Χρήση / Συνθήκες εφαρμογής / Παρατηρήσεις
	 <p>Πλακοειδής, 1 μαν – 1 μαν</p>
	 <p>Πλακοειδής, 1 αν – 1 αν</p>
 <p>1 διελ. κελύφους - 2 διελ. στους σωλήνες (E1-2)</p>	<p>Για να μη συμβαίνει «τομή – αντιστροφή θερμοκρασιών», σε εναλλάκτες κελύφους – σωλήνων μικτής διάταξης ροής (E1-2) πρέπει να ισχύει:</p> $P < P_{\max} = \frac{1}{1+R}$
 <p>2 διελ. κελύφους - 4 διελ. στους σωλήνες (E2-4)</p>	

	Τύπος / Σχέση	Αρ.σχ.
Εναλλάκτης απλής σταυρωτής ροής με τα δύο ρευστά μη αναμειγνύμενα	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>C_{\min} = C_{\mu\alpha\nu}</math> και <math>C_{\max} = C_{\mu\alpha\nu}</math></li> </ul> $\varepsilon = 1 - \exp\left[\frac{NTU^{0,22}}{C^*} \cdot (\exp(-NTU^{0,78} \cdot C^*) - 1)\right]$ (προσεγγιστική, με ακρίβεια $\pm 1\%$ για $1 \leq NTU \leq 6$ ) F: Διάγραμμα 5-F5 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E5	{5-30}
Εναλλάκτης απλής σταυρωτής ροής με τα δύο ρευστά αναμειγνύμενα	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>C_{\min} = C_{\alpha\nu}</math> και <math>C_{\max} = C_{\alpha\nu}</math></li> </ul> $\varepsilon = \left[ \frac{1}{1 - \exp(-NTU)} + \frac{C^*}{1 - \exp(-NTU \cdot C^*)} - \frac{1}{NTU} \right]^{-1}$ F: Διάγραμμα 5-F6 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E6	{5-31}
Εναλλάκτης κελύφους - σωλήνων με: 1 διελ. κελύφους και 2,4, ... διελ. στους σωλήνες	$\varepsilon = \frac{2}{\left[ 1 + C^* + (1 + C^{*2})^{0,5} \cdot \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C^{*2})^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C^{*2})^{0,5}]} \right]}$ $NTU = \frac{1}{(1 + C^{*2})^{0,5}} \ln \left[ \frac{2 - \varepsilon(1 + C^* - (1 + C^{*2})^{0,5})}{2 - \varepsilon(1 + C^* + (1 + C^{*2})^{0,5})} \right]$ F: Διάγραμμα 5-F7 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E7	{5-32}
Εναλλάκτης κελύφους - σωλήνων με: n διελ. κελύφους - 2n, 4n, ... διελ. στους σωλήνες	$\varepsilon = \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \cdot \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C^* \right]^{-1} \text{ με}$ $\varepsilon_1 = \frac{2}{\left[ 1 + C^* + (1 + C^{*2})^{0,5} \cdot \frac{1 + \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]} \right]}$ F: Διάγραμμα 5-F8 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E8	{5-33}
Εναλλάκτης κελύφους - σωλήνων με: n διελ. κελύφους - 2n, 4n, ... διελ. στους σωλήνες	$\varepsilon = \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \cdot \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C^* \right]^{-1} \text{ με}$ $\varepsilon_1 = \frac{2}{\left[ 1 + C^* + (1 + C^{*2})^{0,5} \cdot \frac{1 + \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]} \right]}$ F: Διάγραμμα 5-F8 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E8	{5-34}
Εναλλάκτης κελύφους - σωλήνων με: n διελ. κελύφους - 2n, 4n, ... διελ. στους σωλήνες	$\varepsilon = \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \cdot \left[ \left( \frac{1 - \varepsilon_1 C^*}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C^* \right]^{-1} \text{ με}$ $\varepsilon_1 = \frac{2}{\left[ 1 + C^* + (1 + C^{*2})^{0,5} \cdot \frac{1 + \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU/n(1 + C^{*2})^{0,5}]} \right]}$ F: Διάγραμμα 5-F8 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E8	{5-35}

Σχήμα	Χρήση / Συνθήκες εφαρμογής / Παρατηρήσεις
	<p>– Σε εναλλάκτες αντιροής που λειτουργούν με <math>C_h = C_c</math>, θα είναι: <math>\Delta\theta_{m,a} = \Delta\theta_1 = \Delta\theta_2</math>.</p> 
	
	

	Τύπος / Σχέση	Αρ.σχ.
Εναλλάκτης αντιρροής	$\Delta\theta_{lm,a} = \frac{(\theta_{hi} - \theta_{co}) - (\theta_{ho} - \theta_{ci})}{\ln \frac{\theta_{hi} - \theta_{co}}{\theta_{ho} - \theta_{ci}}} = \Delta\theta_{m,a}$	{5-18}
	$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C^*)]}{1 - C^* \exp[-NTU(1 - C^*)]} && \text{για } C^* \neq 1 \\ \varepsilon &= \frac{NTU}{1 + NTU} && \text{για } C^* = 1 \end{aligned} \right.$	{5-19}
	$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad \text{για } C^* = 1$	{5-20}
	$\left\{ \begin{aligned} NTU &= \frac{1}{C^* - 1} \ln \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C^* - 1} \right) && \text{για } C^* \neq 1 \\ NTU &= \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} && \text{για } C^* = 1 \end{aligned} \right.$	{5-21}
	$NTU = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad \text{για } C^* = 1$	{5-22}
Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E1		
Εναλλάκτης ομορροής	$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_{hi} - \theta_{ho}) - (\theta_{co} - \theta_{ci})}{\ln \frac{\theta_{hi} - \theta_{ho}}{\theta_{co} - \theta_{ci}}}$	{5-23}
	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C^*)]}{1 + C^*}$	{5-24}
	$NTU = \frac{1}{1 + C^*} \ln \left( \frac{1}{1 - \varepsilon(1 + C^*)} \right)$	{5-25}
F: Διάγραμμα 5-F2 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E2		
Εναλλάκτης απλής σταυρωτής ροής με το ένα ρευστό μη αναμειγνύμενο και το άλλο αναμειγνύμενο	$\bullet \text{ Αν } C_{min} = C_{\mu\alpha\nu} \text{ και } C_{max} = C_{\alpha\nu}$ $\varepsilon = \frac{1 - \exp\{-C^*[1 - \exp(-NTU)]\}}{C^*}$	{5-26}
	$NTU = -\ln \left[ 1 + \frac{\ln(1 - \varepsilon C^*)}{C^*} \right]$	{5-27}
	F: Διάγραμμα 5-F3+4 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E3	
	$\bullet \text{ Αν } C_{min} = C_{\alpha\nu} \text{ και } C_{max} = C_{\mu\alpha\nu}$ $\varepsilon = 1 - \exp \left[ -\frac{1 - \exp(-C^* \cdot NTU)}{C^*} \right]$	{5-28}
	$NTU = -\frac{1}{C^*} \ln [C^* \ln(1 - \varepsilon) + 1]$	{5-29}
F: Διάγραμμα 5-F3+4 Σχέση $\varepsilon$ -NTU- $C^*$ : Διάγραμμα 5-E4		

Σχήμα	Χρήση / Συνθήκες εφαρμογής / Παρατηρήσεις
 <p data-bbox="446 672 670 739">Επίπεδη επιφάνεια εναλλάκτη - τομή</p>	
 <p data-bbox="367 1052 718 1120">Επιφάνεια σωλήνα εναλλάκτη - κατά μήκος τομή</p>	<p data-bbox="758 940 1324 1041">- Ένας σωλήνας μπορεί να θεωρηθεί λεπτότοιχος όταν: <math>\frac{d_o}{d_i} &lt; 1,15</math>.</p>
 <p data-bbox="367 1411 718 1478">Επιφάνεια καθαρού σωλήνα εναλλάκτη - κατά μήκος τομή</p>	

	Τύπος / Σχέση	Αρ.σχ.
Υπολογισμοί για τον U ή U <sub>m</sub> εναλλάκτη (για επιφάνειες χωρίς πτερύγια)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο U αναφέρεται πάντα σε σχέση και εξάρτηση με την επιφάνεια συναλλαγής της θερμότητας.</li> <li>Αν αναφέρεται στην εσωτ. επιφάνεια A<sub>i</sub>, είναι ο U<sub>i</sub></li> <li>Αν αναφέρεται στην εξωτ. επιφάνεια A<sub>o</sub>, είναι ο U<sub>o</sub></li> <li>Αν αναφέρεται σε "μέση" επιφάνεια A<sub>m</sub>, είναι ο U<sub>m</sub></li> </ul> Σε κάθε περίπτωση όμως: U <sub>i</sub> A <sub>i</sub> = U <sub>o</sub> A <sub>o</sub> = U <sub>m</sub> A <sub>m</sub>	{5-12}
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Λόγω επικαθίσεων ακαθαρσιών, αλάτων κλπ, είναι πιθανόν να υπάρχει πρόσθετη θερμική αντίσταση R<sub>f</sub> (m<sup>2</sup>K/W), ο παράγοντας ρύπανσης (fouling factor).</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Για <u>επίπεδη επιφάνεια</u> συναλλαγής, όπου A<sub>i</sub>=A<sub>o</sub> U είναι ο συντ. θερμοπερατότητας του τοιχώματος:</li> </ul> $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_m} = \frac{1}{h_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_f + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_o}$	{5-13}
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Για <u>κυλινδρική επιφάνεια</u> συναλλαγής (γενικά):</li> </ul> $\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{\pi d_i \ell \cdot h_i} + \frac{R_{f,i}}{\pi d_i \ell} + \frac{1}{2\lambda_1 \pi \ell} \ln \frac{d_2}{d_1} + \dots$ $\dots + \frac{1}{2\lambda_n \pi \ell} \ln \frac{d_o}{d_{n-1}} + \frac{R_{f,o}}{\pi d_o \ell} + \frac{1}{\pi d_o \ell \cdot h_o}$	{5-14}
	όπου $\ell$ το μήκος του σωλήνα και R <sub>f,i</sub> και R <sub>f,o</sub> οι συντ. ρύπανσης στην εσωτ. & εξωτ. επιφάνεια αντίστοιχα.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Για <u>επιφάνεια καθαρού σωλήνα</u> (μιας στρώσης <math>\lambda</math>), η A<sub>m</sub>=<math>\pi d_m \ell</math> προσδιορίζεται από μια μέση διάμετρο:</li> </ul> $d_m = \frac{d_o - d_i}{\ln \frac{d_o}{d_i}} \quad \text{ή αν είναι λεπτότοιχος} \quad d_m = \frac{d_o + d_i}{2}$	{5-15}
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Τότε: <math>\frac{1}{U_m A_m} = \frac{1}{\pi d_i \ell \cdot h_i} + \frac{1}{2\lambda \pi \ell} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{\pi d_o \ell \cdot h_o} \Rightarrow</math></li> </ul> $\Rightarrow \frac{1}{U_m} = d_m \left( \frac{1}{d_i h_i} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{d_o h_o} \right)$	{5-16}
<ul style="list-style-type: none"> <li>ή και: <math>U_m = \frac{1}{\frac{d_m}{d_i h_i} + \frac{d_o - d_i}{2\lambda} + \frac{d_m}{d_o h_o}}</math></li> </ul>	{5-16a}	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Αν ο σωλήνας (ή μια πλάκα) είναι λεπτότοιχος και με <math>\lambda \gg</math> (μεταλλικός), τότε: <math>\frac{1}{U_m} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}</math></li> </ul>	{5-17}	

Λεπτότοιχος θεωρείται αν  $\frac{d_o}{d_i} < 1,15$

ΤΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_{hi} - \theta_{co}) - (\theta_{ho} - \theta_{ci})}{\ln \frac{(\theta_{hi} - \theta_{co})}{(\theta_{ho} - \theta_{ci})}}$$

Σχήμα	Χρήση / Συνθήκες εφαρμογής / Παρατηρήσεις
	<p><b>ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ - ΣΥΜΒΟΛΩΝ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- min: Αφορά το ρευστό με τη μικρότερη (ασθενέστερη) θερμοχωρητική παροχή <math>C_{min}</math></li> <li>- max: Αφορά το ρευστό με τη μεγαλύτερη (ισχυρότερη) θερμοχωρητική παροχή <math>C_{max}</math></li> <li>- 1 ή i: Αφορά την κατάσταση εισόδου των ρευστών</li> <li>- 2 ή o: Αφορά την κατάσταση εξόδου των ρευστών</li> <li>- t: Αφορά το ρευστό των σωλήνων</li> <li>- s: Αφορά το ρευστό του κελύφους</li> <li>- <math>\theta</math> (ως σύμβολο): Θερμοκρασίες του ρευστού των σωλήνων</li> <li>- <math>\Theta</math> (ως σύμβολο): Θερμοκρασίες του ρευστού του κελύφους</li> <li>- αν: Ρευστό αναμειγνυόμενης ροής</li> <li>- μαν: Ρευστό μη αναμειγνυόμενης ροής</li> </ul> <p><b>ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ και ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Συνθήκες λειτουργίας μόνιμες (όσον αφορά παροχές μάζας και θερμοκρασίες των ρευστών).</li> <li>- Οι ειδικές θερμότητες (<math>c_p</math>) των ρευστών σταθερές.</li> <li>- Η εξωτερική επιφάνεια (κέλυφος) του εναλλάκτη πλήρως θερμομονωμένη, δηλ. οποιαδήποτε συναλλαγή θερμότητας γίνεται μόνο μεταξύ των ρευστών.</li> <li>- Ο ολικός - μέσος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη <math>U</math> ή <math>U_m</math>, είναι σταθερός, σε όλη την επιφάνεια συναλλαγής.</li> <li>- Οι σχέσεις εφαρμόζονται ανεξάρτητα αν στο κέλυφος ρέει το θερμό ή το ψυχρό ρευστό (και, αντίστοιχα, στους σωλήνες το ψυχρό ή το θερμό ρευστό).</li> <li>- Η μέθοδος της ΜΛΘΔ είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό-επιλογή του μεγέθους του εναλλάκτη (για ορισμένες θερμοκρασίες εισόδου-εξόδου και με γνωστές τις παροχές μάζας).</li> <li>- Η μέθοδος αποτελεσματικότητας εναλλάκτη (<math>\epsilon - NTU</math>) είναι εύχρηστη για τον προσδιορισμό της θερμικής ισχύος και των θερμοκρασιών εξόδου ενός συγκεκριμένου εναλλάκτη (τύπος και μέγεθος) με γνωστές τις θερμοκρασίες εισόδου.</li> </ul>
	<p><b>αντιρροής</b></p> <p><b>ομορροής</b></p> <p><b>Συνθήκες</b></p>

## Κεφ. 5

## ΕΝΑΛΛΑΚ

	Τύπος / Σχέση	Αρ.σχ.
<b>Γενικοί ορισμοί και βασικές σχέσεις</b>	$q$ : Θερμική ισχύς εναλλάκτη-συναλλασσόμενη (W) $U$ ή $U_m$ : Ολικός-μέσος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη ( $W/m^2K$ ) $A$ ή $A_m$ : Συνολική-μέση επιφάνεια συναλλαγής ( $m^2$ ) $C = \dot{m}c$ : Θερμοχωρητική παροχή ρευστού ( $W/K$ ) ή Ρυθμός θερμοχωρητικότητας { Μέση Λογαριθμική Θερμοκρασιακή Διαφορά ή ΜΛΘΔ (γενική μορφή): $\Delta\theta_{lm} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$ (K)	{5-01}
	όπου: $\Delta\theta_1$ η θερμοκρασιακή διαφορά στην αρχή του εναλλάκτη (δηλ. της επιφάνειας συναλλαγής) και $\Delta\theta_2$ η θερμοκρασιακή διαφορά στο τέλος του εναλλάκτη (δηλ. της επιφάνειας συναλλαγής)	
	- <u>Εξωτερική εξίσωση εναλλάκτη</u> : $q = \dot{m}_h c_h (\theta_{hi} - \theta_{ho}) = \dot{m}_c c_c (\theta_{co} - \theta_{ci})$	{5-02}
	- <u>Εσωτερική εξίσωση εναλλάκτη</u> : $q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m$	{5-03}
	με $\Delta\theta_m$ κατάλληλη θερμοκρασιακή διαφορά	
	• $C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}}$ : Θερμοχωρητικός λόγος	{5-04}
	• $R = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_2 - \theta_1}$ : Θερμοκρασιακός λόγος παροχών	{5-05}
	• $P = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1 - \theta_1}$ : Θερμοκρασιακός λόγος απόδοσης	{5-06}
	• $NTU = \frac{UA}{C_{min}}$ : Πλήθος μονάδων μεταφοράς	{5-07}
	• $\epsilon$ : Αποτελεσματικότητα εναλλάκτη $\epsilon = \frac{q}{q_{id}} = \frac{q}{C_{min}(\theta_{hi} - \theta_{ci})} = \frac{q}{C_{min} \theta_1 - \theta_1 }$	{5-08}
	Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:	
	$\begin{cases} R = C^*, & \text{αν } C_1 = C_{min} \\ R = 1/C^*, & \text{αν } C_1 = C_{max} \end{cases}$	{5-09}
	$\begin{cases} P = \epsilon, & \text{αν } C_1 = C_{min} \\ P = \epsilon C^*, & \text{αν } C_1 = C_{max} \end{cases}$	{5-10}
	• $F$ : Διορθωτικός συντελεστής για εύρεση της $\Delta\theta_m$ (εξαρτάται από $P, R, NTU$ , διάταξη ροής)	
	• Για όλους τους εναλλάκτες: $\Delta\theta_m = F \cdot \Delta\theta_{ma}$ όπου $\Delta\theta_{ma} = \eta$ ΜΛΘΔ της καθαρής αντιρροής	{5-11}



ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ/ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ (ISO - EN - ΕΛΟΤ)		ΑΓΓΛΟΣΑΞΟΝΙΚΟΣ (Συνήθης)		ΜΟΝΑ- ΔΑ
ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	
$\epsilon$	Συντελεστής ολικής εκπομπής	$\epsilon$	Ολική ικανότητα εκπομπής	–
$\epsilon_f$	Αποτελεσματικότητα πτερυγίου	$\epsilon_f$	Αποτελεσματικότητα πτερυγίου	–
$\epsilon$	Αποτελεσματικότητα εναλλάκτη	$\epsilon$	Αποτελεσματικότητα εναλλάκτη	–
$\theta$	Θερμοκρασία (γενικά)	T	Θερμοκρασία (γενικά)	°C
$\theta_s$	Θερμοκρασία επιφάνειας	$T_s$	Θερμοκρασία επιφάνειας	°C ή K
$\theta_{\text{our}}$	Θερμοκρασία ουρανού	$T_{\text{sky}}$	Θερμοκρασία ουρανού	°C ή K
$\theta_o$ ή $\theta_\infty$	Θερμοκρασία ρευστού (στη μάζα του)	$T_\infty$ ή $T_0$	Θερμοκρασία ρευστού (στη μάζα του)	°C ή K
$\lambda$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	k	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	W/mK
$\lambda$	Μήκος κύματος	$\lambda$	Μήκος κύματος	m
$\nu$	Κινηματικό ιξώδες	$\nu$	Κινηματικό ιξώδες	m <sup>2</sup> /s
$\nu$	Συχνότητα	f	Συχνότητα	Hz(=s <sup>-1</sup> )
$\rho$	Πυκνότητα	$\rho$	Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>
$\rho$	Συντελεστής ανάκλασης (ακτινοβολίας)	$\rho$	Ανακλαστικότητα (σε ακτινοβολία)	–
$\tau$	Συντελ. διαπερατότητας (ακτινοβολίας)	$\tau$	Διαπερατότητα (ως προς ακτινοβολία)	–

(\*) ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΟΙ (Ελληνικοί / Γερμανικοί)

ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑ- ΔΑ
F	Εμβαδόν	m <sup>2</sup>
F <sub>c</sub>	Εμβαδόν διατομής	m <sup>2</sup>
W <sub>1</sub> , W <sub>2</sub>	Θερμοχωρητική παροχή ρευστού (= m <sub>1</sub> c <sub>1</sub> ή m <sub>2</sub> c <sub>2</sub> )	W/K
$\Phi_{ij}$	Συντελεστής θέας ή γεωμετρικός συντελεστής	–
a	Συντελεστής θερμικής μετάβασης ή μεταβίβασης θερμότητας	W/m <sup>2</sup> K
a <sub>c</sub>	Συντελ. μεταβίβασης θερμότητας με (καθαρή) συναγωγή	W/m <sup>2</sup> K
a <sub>r</sub>	Συντελ. μεταβίβασης θερμότητας με ακτινοβολία	W/m <sup>2</sup> K

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ/ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ (ISO - EN - ΕΛΟΤ)		ΑΓΓΛΟΣΑΞΟΝΙΚΟΣ (Συνήθης)		ΜΟΝΑ- ΔΑ
ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	
P	Ισχύς (μηχανική ή ηλεκτρική)	P	Ισχύς (μηχανική ή ηλεκτρική)	W
p	Πίεση	p	Πίεση	Pa
Q	Θερμική ενέργεια	E	Ενέργεια (γενικά)	J
q ή Φ	Θερμική ισχύς ή θερμοροή	q	Θερμική ισχύς ή θερμοροή ή ρυθμός μεταφοράς θερμότητας	W
q/ℓ ή q <sub>l</sub>	Θερμοροή ανά μονάδα μήκους	q/ℓ ή q'	Θερμοροή ανά μονάδα μήκους	W/m
q/A ή q <sub>A</sub>	Πυκνότητα θερμοροής	q/A ή q''	Θερμοροή ανά μονάδα επιφάνειας ή πυκνότητα θερμοροής	W/m <sup>2</sup>
ḡ ή q'''	Ειδική θερμοϊσχύς (ανά μονάδα όγκου)	ḡ ή q'''	Εκλύομενη (από πηγές) θερμοροή ανά μονάδα όγκου	W/m <sup>3</sup>
R	Συντελεστής θερμικής αντίστασης	R	Συντελεστής θερμικής αντίστασης	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>t</sub>	Θερμική αντίσταση	R <sub>t</sub>	Θερμική αντίσταση	K/W
r	Ακτίνα	r	Ακτίνα	m
r <sub>cr</sub>	Κρίσιμη ακτίνα μόνωσης	r <sub>cr</sub>	Κρίσιμη ακτίνα μόνωσης	m
r <sub>h</sub> (r <sub>c</sub> )	Λανθάνουσα θερμότητα συμπίκνωσης (εξάτμισης)	h <sub>fg</sub>	Λανθάνουσα θερμότητα συμπίκνωσης (εξάτμισης)	J/kg
t	Χρόνος	t	Χρόνος	s
T	Απόλυτη Θερμοκρασία	T	Απόλυτη Θερμοκρασία	K
U	Συντελεστής θερμοπερατότητας	U	Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	W/m <sup>2</sup> K
Ḃ	Παροχή όγκου	Ḃ	Παροχή όγκου	m <sup>3</sup> /s
V ή v	Ταχύτητα	V ή u	Ταχύτητα	m/s
V	Όγκος	V	Όγκος	m <sup>3</sup>
α	Συντελεστής απορρόφησης (ακτινοβολίας)	α	Απορροφητικότητα (σε ακτινοβολία)	–
α <sub>s</sub>	Συντελεστής απορρόφησης (ως προς ηλιακή ακτινοβολία)	α <sub>s</sub>	Απορροφητικότητα (ως προς ηλιακή ακτινοβολία)	–
δ ή d ή s	Πάχος	t ή L	Πάχος	m

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ/ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ (ISO - EN - ΕΛΟΤ)		ΑΓΓΛΟΣΑΞΟΝΙΚΟΣ (Συνήθης)		ΜΟΝΑ- ΔΑ
ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	
$E_{\text{eff}}$ ή B	Δρώσα ακτινοβολία ή Δρώσα ακτινοβολούμε- νη πυκνότητα θερμορροής	J	Ολική ακτινοβολός ισχύς ή ακτινοβολήση (radiosity)	$\text{W/m}^2$
F	Δύναμη	F	Δύναμη	N
$F_{ij}$	Συντελεστής θέας (*) ή (μέσος) γεωμετρικός συντελεστής	$F_{i-j}$	Παράγοντας διαμόρφωσης ή γωνιακός παράγοντας ή παράγοντας όψεως	-
F	Συντελ. διόρθωσης της ΜΛΘΔ (εναλλάκτες)	F	Συντελ. διόρθωσης της ΜΛΘΔ (εναλλάκτες)	-
g	Επιτάχυνση της βαρύτητας	g	Επιτάχυνση της βαρύτητας	$\text{m/s}^2$
$G_i$	Προσπίπτουσα με ακτινο- βολία πυκνότητα θερμορροής	$G_i$	Ολική προσπίπτουσα ισχύς ακτινοβολίας (irradiation)	$\text{W/m}^2$
h	(Επιφανειακός) Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (*)	h	Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	$\text{W/m}^2\text{K}$
$h_c$	Συντελ. μεταφοράς θερμό- τητας με (καθαρή) συναγωγή (*)	$h_c$	Συντελ. μεταφοράς θερμό- τητας με (καθαρή) συναγωγή	$\text{W/m}^2\text{K}$
$h_r$	Συντελ. μεταφοράς θερμό- τητας με ακτινοβολία (*)	$h_r$	Συντελ. μεταφοράς θερμό- τητας με ακτινοβολία	$\text{W/m}^2\text{K}$
I	Ένταση ηλ. ρεύματος	I	Ένταση ηλ. ρεύματος	A
$K_o$	Συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας εναλλάκτη	$U_m$ (ή $U_o$ ή $U_i$ )	Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εναλλάκτη	$\text{W/m}^2\text{K}$
$\ell, L$	Μήκος	$\ell, L$	Μήκος	m
m	Μάζα	m	Μάζα	kg
m	Χαρακτηριστικό μέγεθος πτερυγίου	m	Χαρακτηριστική παράμετρος πτερυγίου	$\text{m}^{-1}$
$\dot{m}$	Παροχή μάζας	$\dot{m}$	Παροχή μάζας	kg/s
NTU	Πλήθος μονάδων μετα- φοράς (σε εναλλάκτες)	NTU	Πλήθος μονάδων μετα- φοράς (σε εναλλάκτες)	-
$\eta_f$	Αποδοτικότητα πτερυγίου	$\eta_f$	Αποδοτικότητα πτερυγίου	-
n	Δυναμικό ιξώδες	$\mu$	Δυναμικό ιξώδες	$\text{kg/m}\cdot\text{s}$
P	Περίμετρος	P	Περίμετρος	m

**ΟΡΟΛΟΓΙΑ και ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ – ΜΟΝΑΔΩΝ**  
για διάφορα μεγέθη στη ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

- Για τα περισσότερα μεγέθη ακολουθείται ακριβώς η ορολογία και τα σύμβολα του ΕΛΟΤ, εφόσον υπάρχουν.
- Για μερικά μεγέθη υιοθετήθηκε λίγο τροποποιημένη ορολογία που, κατά τη γνώμη του συγγραφέα, είναι ακριβέστερη ή χρησιμοποιείται ευρύτατα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στην ελληνική νομοθεσία [όπως π.χ. «συντελεστής θερμοπερατότητας» και όχι «θερμική διαπερατότητα»].
- Για ορισμένα μεγέθη κρίθηκε σκόπιμη μία διαφορετική, αλλά ακριβέστερη, απόδοση [όπως π.χ. «εμβαδόν» (area) και όχι «επιφάνεια»].
- Για τα σημειούμενα με (\*), βλ. στο τέλος μερικούς παλαιότερους συμβολισμούς.

♦ **ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ**

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ/ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ (ISO - EN - ΕΛΟΤ)		ΑΓΓΛΟΣΑΞΟΝΙΚΟΣ (Συνήθης)		ΜΟΝΑ- ΔΑ
ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΥΜ- ΒΟΛΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	
A	Εμβαδόν (*)	A	Εμβαδόν	m <sup>2</sup>
A <sub>c</sub>	Εμβαδόν διατομής (*)	A <sub>c</sub>	Εμβαδόν διατομής	m <sup>2</sup>
C	Θερμοχωρητική παροχή ρευστού (= ḡc) (*)	C <sub>h</sub> , C <sub>c</sub>	Ρυθμός θερμο- χωρητικότητας (= ḡc)	W/K
c	Ειδική θερμότητα	c	Ειδική θερμότητα	J/kg·K
c <sub>p</sub>	Ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση	c <sub>p</sub>	Ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση	J/kg·K
c <sub>v</sub>	Ειδική θερμότητα σταθερού όγκου	c <sub>v</sub>	Ειδική θερμότητα σταθερού όγκου	J/kg·K
d, D	Διάμετρος	d, D	Διάμετρος	m
d <sub>cr</sub>	Κρίσιμη διάμετρος μόνωσης	d <sub>cr</sub>	Κρίσιμη διάμετρος μόνωσης	m
d <sub>h</sub> , D <sub>h</sub>	Υδραυλική διάμετρος	d <sub>h</sub> , D <sub>h</sub>	Υδραυλική διάμετρος	m
E	Ολική εκπεμπόμενη ισχύς (ακτινοβολίας)	E	Ολική ισχύς εκπομπής ακτινοβολίας	W/m <sup>2</sup>
E <sub>b</sub> , E <sub>o</sub>	Ολική εκπεμπόμενη ισχύς μαύρου σώματος	E <sub>b</sub>	Ολική ισχύς εκπομπής ακτινοβολίας μαύρου σώματος	W/m <sup>2</sup>

## ΑΣΚΗΣΗ 5-1

Παροχή νερού 1500 kg/h, θερμοκρασίας 25°C, θερμαίνεται σε εναλλάκτη αντιρροής, μέχρι θερμοκρασία 67,5°C. Η θέρμανση γίνεται με θερμό νερό από λέβητα, θερμοκρασίας 85°C, παροχής 2000 kg/h.

Ο εναλλάκτης έχει συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας 1650 W/m<sup>2</sup>K.

Η ειδική θερμότητα του νερού θεωρείται σταθερή και ίση με 4,179 kJ/kg·K.

Ζητούνται:

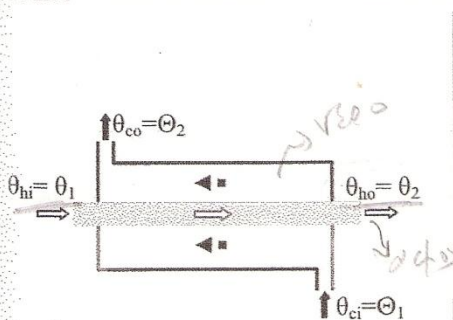
Α. Η θερμοκρασία εξόδου του νερού θέρμανσης και η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη.

Β. Μπορούν τα παραπάνω να επιτευχθούν με σύνδεση του εναλλάκτη ώστε τα ρευστά να είναι σε ομορροή; Ναι ή όχι και γιατί.

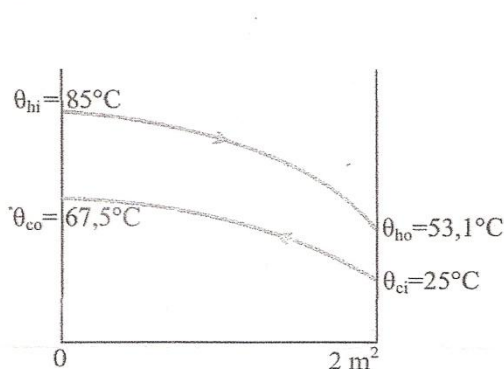
Γ. Έστω ότι ο εναλλάκτης συνδέεται κατά ομορροή. Με ίδιες τις παροχές και θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευστών, να υπολογισθούν οι θερμοκρασίες εξόδου και η συναλλασσόμενη θερμική ισχύς.

Σχολιάσετε τα αποτελέσματα.

## ΛΥΣΗ



Εναλλάκτης αντιρροής  
(σχηματικά)

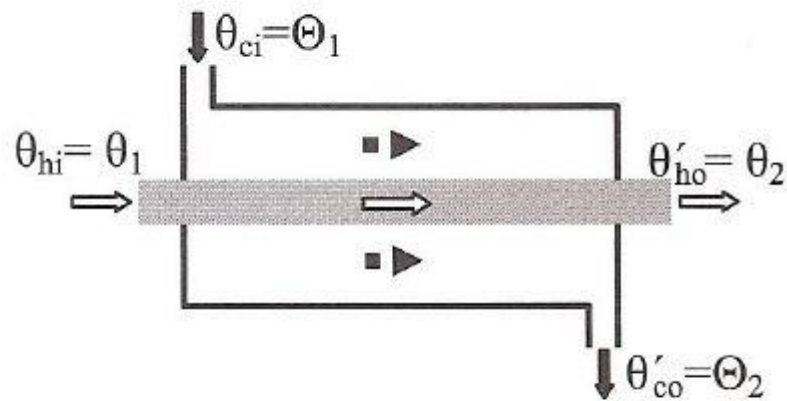


Εναλλάκτης αντιρροής  
Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών

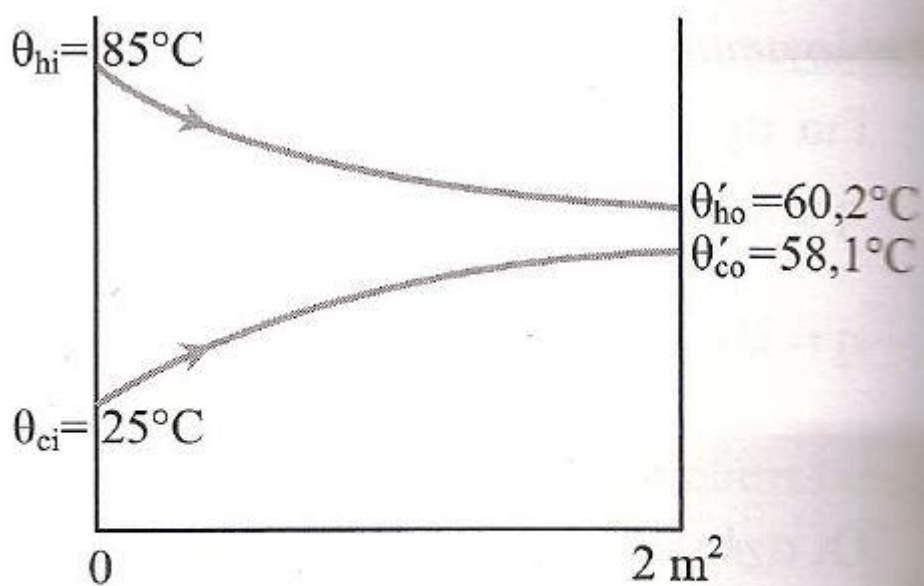
**Α. Κατευθύνσεις λύσης:** Πρόκειται για περίπτωση εναλλάκτη με γνωστά: τον συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $U$ , τις παροχές καθώς και τις (τρεις) θερμοκρασίες λειτουργίας. Οπότε μπορεί να βρεθεί εύκολα η συναλλασσόμενη θερμική ισχύς και η τέταρτη θερμοκρασία. Κατόπιν, από την εσωτερική εξίσωση του εναλλάκτη, υπολογίζεται εύκολα και η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής.

Τα δεδομένα γι' αυτόν τον εναλλάκτη είναι: (Βλ. και σχήμα)

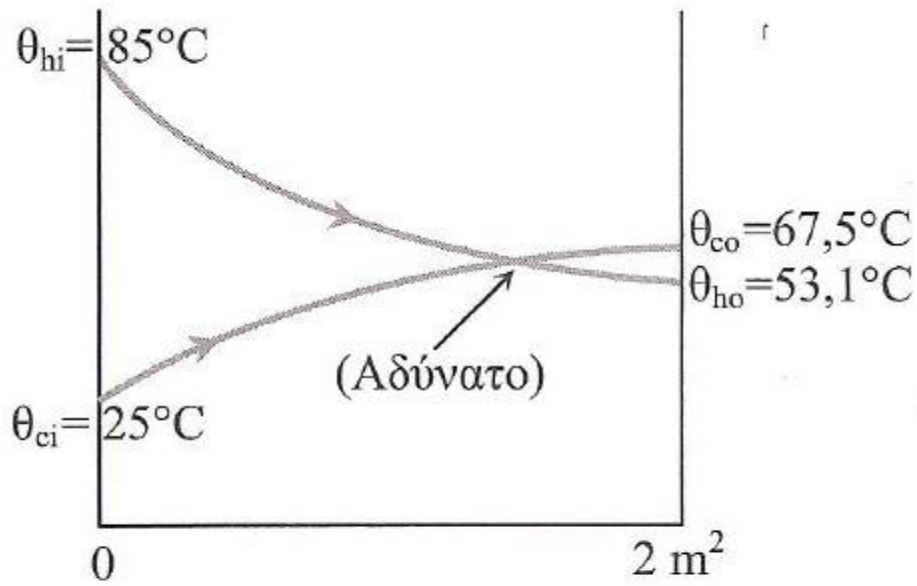
- Θερμό ρευστό (h): Νερό λέβητα
- Ψυχρό ρευστό (c): Νερό για θέρμανση
- $\theta_{hi} = 85^\circ\text{C}$
- $\theta_{ci} = 25^\circ\text{C}$
- $\theta_{ci} = 67,5^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_h = 2000 \text{ kg/h} = 0,5555 \text{ kg/s}$
- $\dot{m}_c = 1500 \text{ kg/h} = 0,4167 \text{ kg/s}$
- $c_h = c_c = 4179 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- $U = 1650 \text{ W/m}^2\text{K}$



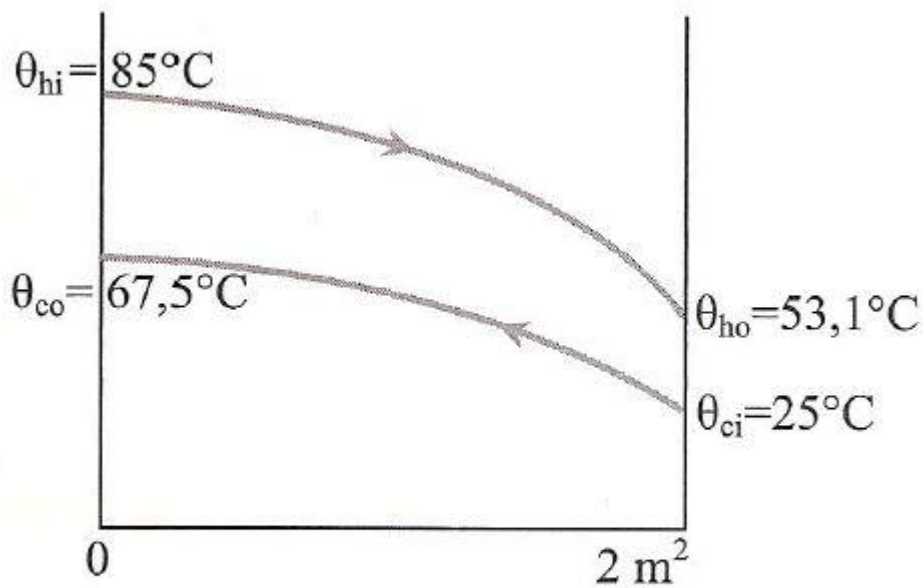
Εναλλάκτης ομορροής  
(σχηματικά)



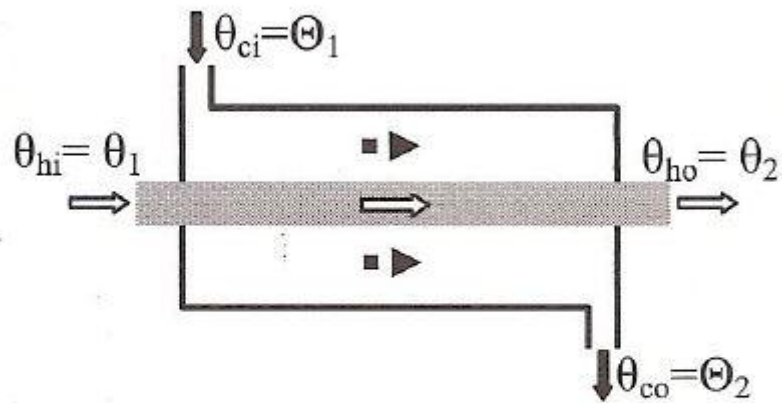
Εναλλάκτης ομορροής  
Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών



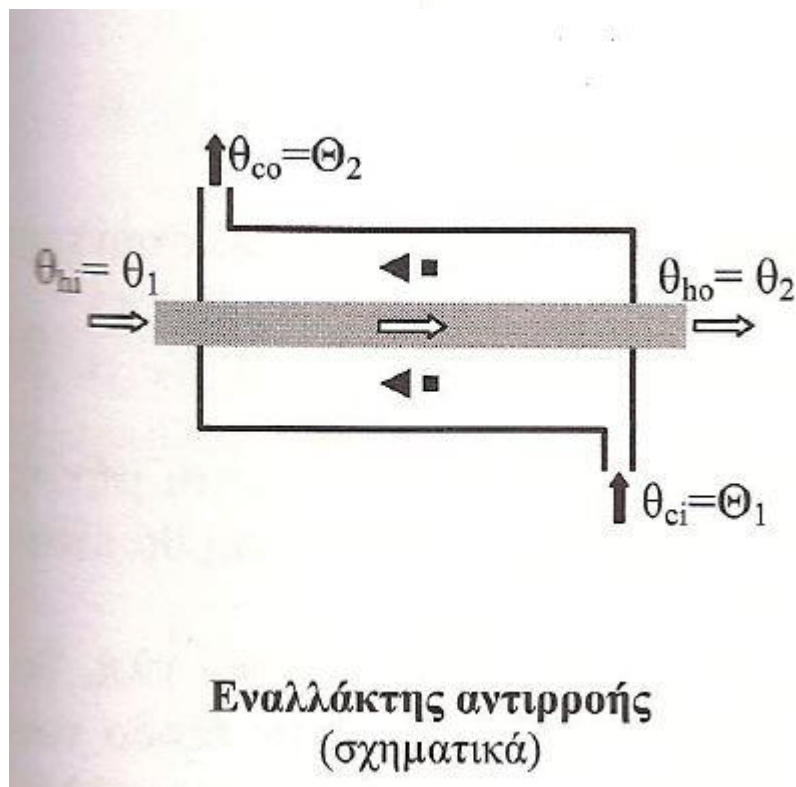
**Εναλλάκτης ομορροής**  
 Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών –  
 αδυναμία λειτουργίας



**Εναλλάκτης αντιρροής**  
 Μεταβολή θερμοκρασίας των ρευστών



Εναλλάκτης ομορροής  
(σχηματικά)



Εναλλάκτης αντιρροής  
(σχηματικά)



**ΑΣΚΗΣΗ 5-1**



Παροχή νερού 1500 kg/h, θερμοκρασίας 25°C, θερμαίνεται σε εναλλάκτη αντιρροής, μέχρι θερμοκρασία 67,5°C. Η θέρμανση γίνεται με θερμό νερό από λέβητα, θερμοκρασίας 85°C, παροχής 2000 kg/h.

Ο εναλλάκτης έχει συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας 1650 W/m²K. Η ειδική θερμότητα του νερού θεωρείται σταθερή και ίση με 4,179 kJ/kg·K. Ζητούνται:

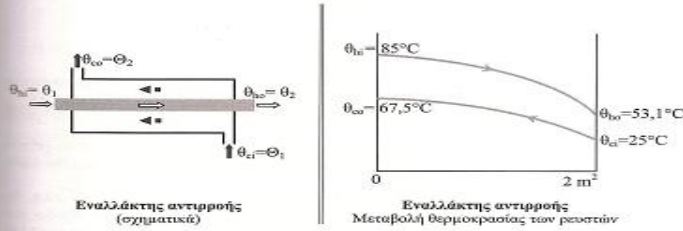
**A.** Η θερμοκρασία εξόδου του νερού θέρμανσης και η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη.

**B.** Μπορούν τα παραπάνω να επιτευχθούν με σύνδεση του εναλλάκτη ώστε τα ρευστά να είναι σε ομορροή; Ναι ή όχι και γιατί.

**Γ.** Έστω ότι ο εναλλάκτης συνδέεται κατά ομορροή. Με ίδιες τις παροχές και θερμοκρασίες εισόδου των δύο ρευστών, να υπολογισθούν οι θερμοκρασίες εξόδου και η συναλλασσόμενη θερμική ισχύς.

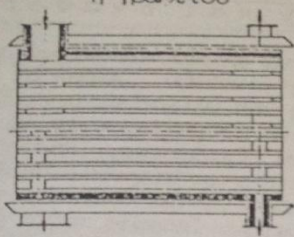
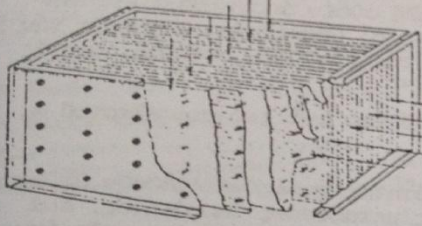
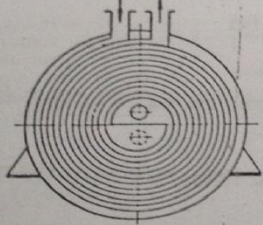
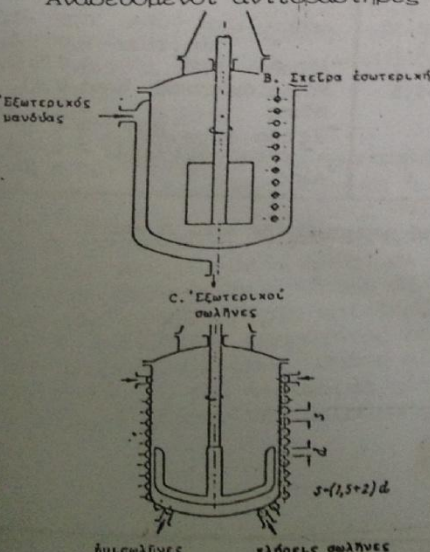
Σχολιάσετε τα αποτελέσματα.

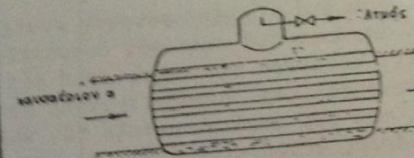
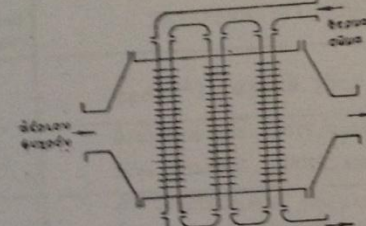
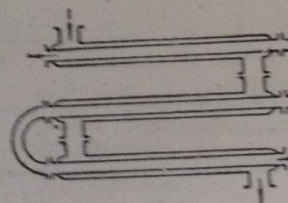
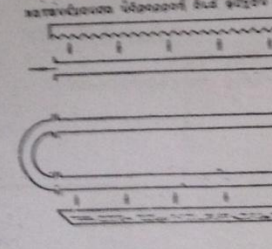
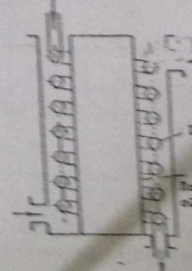
**ΛΥΣΗ**



**A. Κατευθύνσεις λύσης:** Πρόκειται για περίπτωση εναλλάκτη με γνωστά: τον συνολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $U$ , τις παροχές καθώς και τις (τρεις) θερμοκρασίες λειτουργίας. Οπότε μπορεί να βρεθεί εύκολα η συναλλασσόμενη θερμική ισχύς και η τέταρτη θερμοκρασία. Κατόπιν, από την εσωτερική εξίσωση του εναλλάκτη, υπολογίζεται εύκολα και η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής.

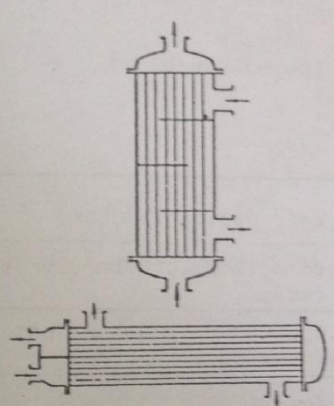
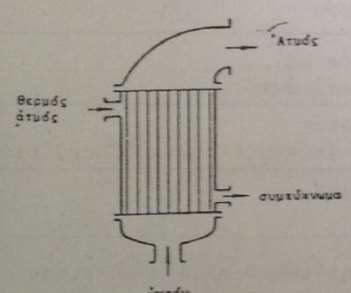
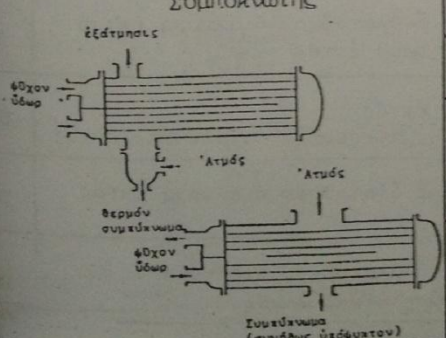
- Τα δεδομένα γι' αυτόν τον εναλλάκτη είναι: (Βλ. και σχήμα)
- Θερμό ρευστό (h): Νερό λέβητα
  - Ψυχρό ρευστό (c): Νερό για θέρμανση
  - $\theta_{h_i} = 85^\circ\text{C}$
  - $\theta_{c_i} = 25^\circ\text{C}$
  - $\theta_{h_o} = 67,5^\circ\text{C}$
  - $\dot{m}_h = 2000 \text{ kg/h} = 0,5555 \text{ kg/s}$
  - $\dot{m}_c = 1500 \text{ kg/h} = 0,4167 \text{ kg/s}$
  - $c_h = c_c = 4179 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
  - $U = 1650 \text{ W/m}^2\text{K}$

VDI-Wärmeatlas 2. Auflage 1974	Επιλεγμένοι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας εώς μερικά είδη εναλλακτών θερμότητας	Cb 7
ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	Επιλεγμένη τιμή του $k$ , $W/m^2 K$
<p>Εναλλάκτης πλάκων εκ χάλυβος ή γρασίτου</p> 	<p>Αέριον προς H<sub>2</sub>O</p> <p>Υγρόν προς H<sub>2</sub>O</p>	<p>20- 60</p> <p>350-1200</p>
<p>Εναλλάκτης τύπου θήκης</p> 	<p>Αέριον προς αέριον (= 1 bar)</p> <p>Αέριον προς υγρόν</p>	<p>[Yellowed area]</p>
<p>Εναλλάκτης τύπου σπείρας</p> 	<p>Υγρόν προς υγρόν</p> <p>Συμπυκνούμενος ατμός προς υγρόν</p>	<p>700-2500</p> <p>900-3500</p>
<p>Αναδευόμενοι αντιδραστήρες</p>  <p>A. Εξωτερικός μαγδύας</p> <p>B. Σπειρα έσωτερική</p> <p>C. Εξωτερικοί σωλήνες</p> <p>ήλιοσωλήνες</p> <p>ελάφεις σωλήνες</p> <p><math>s = (1,5+2) d</math></p>	<p>A. Εξωτερικός μαγδύας Συμπυκνούμενος ατμός εκτός Υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>700-1700</p> <p>Συμπυκνόμενος ατμός εκτός ζέον υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>150- 350</p> <p>Ψυχρόν H<sub>2</sub>O ή άλατοϋχον διάλυμα εκτός Υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>B. Σπειρα έσωτερική Συμπυκνόμενος ατμός εις τήν σπειραν. Υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>700-2500</p> <p>Συμπυκνόμενος ατμός εις τήν σπειραν ζέον υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>1200-3500</p> <p>Ψυχρόν H<sub>2</sub>O ή άλατοϋχον διάλυμα εις τήν σπειραν, υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>500-1200</p> <p>C. Εξωτερικοί σωλήνες εις τόν μαγδύαν συγκολλημένοι Συμπυκνόμενος ατμός εις θερμά κανάλια Υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>500-1700</p> <p>Συμπυκνόμενος ατμός εις θερμά κανάλια ζέον υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>700-2300</p> <p>Ψυχρόν H<sub>2</sub>O ή άλατοϋχον διάλυμα εις ψυχρά κανάλια, υγρόν εις τό δοχετόν</p> <p>350- 900</p>	<p>500-1500</p> <p>700-1700</p> <p>150- 350</p> <p>700-2500</p> <p>1200-3500</p> <p>500-1200</p> <p>500-1700</p> <p>700-2300</p> <p>350- 900</p>

Εβ 6	Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταμερικά είδη εναλλακτών θερμότητας	Εκτιμώμενη τιμή του $k$ , $W/m^2K$
ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	
<p>Βραστήρ</p> 	<p>Θερμά αέρια διά των σωλήνων ζέον ύδωρ περίε των σωλήνων</p>	<p>15- 50</p>
<p>Θερμαντήρ αερίων</p> 	<p>H<sub>2</sub>O άτμοί ή θερμόν ύδωρ μέσω των σωλήνων Αέριον περίε των σωλήνων α) έλευθέρα ροή (θερμαίνον σώμα) β) βεβιασμένη ροή</p>	<p>5- 1 12- 5</p>
<p>Εναλλάκτης διπλού σωλήνος</p> 	<p>Αέριον (=1 bar) πρός αέριον (=1 bar) Αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar)έντός Αέριον (=1 bar) έκτός Αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar)πρός αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar) Αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar)έντός ύγρόν έκτός Υγρόν πρός ύγρόν</p>	<p>10- 5 20- 5 150- 5 200- 6 300-14</p>
<p>Συμπυκνωτής καταιονισμού</p> 	<p>Ψυχρόν ύδωρ έκτός Αέριον (= 1 bar) έντός Ψυχρόν ύδωρ έκτός Αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar)έντός Ψυχρόν ύδωρ έκτός Υγρόν έντός Συμπυκνωτής ραντισμοϋ πχ.διά ψυκτικά μέσα Ψυχρόν ύδωρ έκτός Συμπυκνούμενος άτμος έντός</p>	<p>20- 5 150- 5 300- 5 300-12</p>
<p>Ψύκτης σπείρας</p> 	<p>Ψυχρόν ύδωρ ή άλατοϋχον διάλυμα έκτός Αέριον (= 1 bar) έντός Ψυχρόν ύδωρ έκτός Αέριον ύψηλής πιέσεως(200...300bar)έντός Ψυχρόν ύδωρ ή άλατοϋχον διάλυμα έκτός Υγρόν έντός Ψυχρόν ύδωρ ή άλατοϋχον διάλυμα έ Συμπυκνούμενος άτμος έντός</p>	<p>20- 5 150- 5 200- 5 350-</p>

3. Εκτιμώμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας εις μερικά είδη εναλλακτών θερμότητας.

Αι συγκεντρωθεύσαι πληροφοριακά τιμαί χρησιμεύουν διά τόν εκτιμώμενον συντελεστήν τών εναλλακτών θερμότητας. Αι μικρότεροι τιμαί ίσχύουν διά σχετικώς δυσμενεύς αναλογίας (πχ. μικρά ταχύτης ροής, ύγρον ίξωδες, έλευθέρα συναγωγή, ροπή εις άκαθαρούς), αι μεγάλαι τιμαί διά λίαν εύνοϊκάς συνθήκας (πχ. μεγάλη ταχύτης ροής, λεπτόρευστα ύγρά, εύνοϊκά ποσοτικά αναλογία τών δύο σωμάτων μεταξύ τών καθαρών επιφανειών). Οί αναφερόμενοι συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας δύνανται, εις ειδικάς περιπτώσεις, νά παραβιασθούσι τός τά άνω ή τός κάτω διά τοϋτο πρέπει νά χρησιμοποιοϋνται μέ τήν δέουσαν προσοχήν καί σκέψιν. Είς τό έσωτερικόν δέν λαμβάνεται υπ' όφιν ή αντίστασις εις τήν άγωγήν τών μονωτικών καί προστατευτικών σωμάτων.

ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ	Εκτιμώμενη τιμή του $k$ , $W/m^2 K$
<p>Έναλλάκτης μετά δέσης σωλήνων</p> 	Αέριον (=1 bar) πρὸς αέριον (=1 bar)	5- 35
	Αέριον ύψηλῆς πιέσεως (200...300bar) πέραξ τών σωλήνων	150- 500
	Αέριον ύψηλῆς πιέσεως (200...500bar) έντός τών σωλήνων	15- 70
	Υγρόν πρὸς αέριον (=1 bar)	200- 400
	Αέριον ύψηλῆς πιέσεως (200...300 bar) έντός τών σωλήνων	150-1200
	Υγρόν πέραξ τών σωλήνων	300-1200
	Υγρόν πρὸς ύγρόν	ὡς έξαερωτής καί συμπυκνωτής ίδε κάτωτω
<p>Έξαερωτής</p> 	<p>Θερμός άτμός πέραξ τών σωλήνων</p> <p>1. Είς φυσικήν κυκλοφορίαν</p> <p>α) ίξωδη ύγρά</p> <p>β) λεπτόρευστα ύγρά</p> <p>2. Είς βεβιασμένην κυκλοφορίαν</p>	<p>300- 900</p> <p>600-1700</p> <p>900-3000</p>
	NH <sub>3</sub> - έξαερωτής θερμαινόμενος διά άλατούχου ύδατος	200- 800
<p>Συμπυκνωτής</p> 	Ψυχρόν ύδωρ έντός τών σωλήνων	300-1200
	Οργανικοί άτμοί καί NH <sub>3</sub> πέραξ τών σωλήνων	1500-4000
	Συμπυκνωτής άτμοϋ στροβύλων (καθαρός άτμός H <sub>2</sub> O, λεπτοί όρειχάλκινοι σωλήνες)	
	Η τιμή του $k$ πύπτει αύξανόμενου του ποσοτού άδρανους αέριου	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ειδική θερμότητα  $c_p$  υπό σταθερά πίεση του ύδατος συναρτήσει πίεσης και θερμοκρασίας [cp σε KJ/kgK].

Πίεση bar	Θερμοκρασία σε °C														
	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
1	4,217	4,182	4,181	2,032	1,979	1,974	1,988	2,011	2,037	2,068	2,099	2,132	2,200	2,270	2,341
5	4,215	4,181	4,180	4,215	4,310	2,143	2,079	2,065	2,073	2,093	2,118	2,146	2,208	2,276	2,346
10	4,212	4,179	4,179	4,214	4,308	2,431	2,215	2,141	2,121	2,126	2,141	2,164	2,219	2,283	2,352
50	4,191	4,166	4,170	4,205	4,296	4,477	4,855	3,299	2,669	2,451	2,360	2,324	2,311	2,347	2,402
100	4,165	4,151	4,158	4,194	4,281	4,450	4,791	5,703	4,042	3,078	2,726	2,569	2,445	2,429	2,465
150	4,141	4,137	4,148	4,183	4,266	4,425	4,735	5,495	8,863	4,155	3,235	2,875	2,597	2,517	2,531
200	4,117	4,123	4,137	4,173	4,252	4,402	4,685	5,332	8,103	6,327	3,959	3,257	2,767	2,610	2,598
250	4,095	4,109	4,127	4,163	4,239	4,379	4,639	5,201	7,017	13,02	5,020	3,731	2,956	2,709	2,666
300	4,073	4,097	4,117	4,153	4,226	4,358	4,598	5,091	6,451	25,71	6,624	4,317	3,161	2,814	2,736
350	4,052	4,084	4,107	4,144	4,214	4,338	4,560	4,999	6,084	11,79	8,875	5,019	3,381	2,925	2,807
400	4,032	4,073	4,098	4,135	4,202	4,319	4,525	4,919	5,820	8,784	10,89	5,807	3,612	2,040	2,878
450	4,013	4,062	4,089	4,126	4,190	4,301	4,493	4,848	5,616	7,517	10,83	6,584	3,849	3,158	2,951
500	3,994	4,051	4,081	4,117	4,179	4,284	4,463	4,786	5,451	6,814	9,483	7,200	4,086	3,278	3,024
600	3,957	4,032	4,064	4,100	4,157	4,252	4,410	4,681	5,200	6,047	7,466	7,480	4,521	3,515	3,168
700	3,920	4,014	4,049	4,084	4,137	4,222	4,362	4,595	5,014	5,621	6,440	6,913	4,857	3,736	3,309
800	3,883	3,997	4,035	4,068	4,117	4,195	4,320	4,523	4,871	5,340	5,844	6,310	5,053	3,928	3,441
900	3,844	3,982	4,022	4,054	4,099	4,169	4,282	4,462	4,757	5,135	5,465	5,854	5,104	4,082	3,562
1000	3,800	3,968	4,010	4,039	4,081	4,145	4,248	4,410	4,663	4,975	5,203	5,511	5,057	4,196	3,670

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

---

## 6.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- $\theta_{hi}$  θερμοκρασία εισόδου ζεστού ρευστού
- $\theta_{ci}$  θερμοκρασία εισόδου κρύου ρευστού
- $\theta_{co}$  θερμοκρασία εξόδου κρύου ρευστού
- $\dot{m}_h$  παροχή μάζας ζεστού ρευστού
- $\dot{m}_c$  παροχή μάζας κρύου ρευστού
- $c_h, c_c$  ειδική θερμότητα ζεστού και κρύου ρευστού αντίστοιχα
- $U$  συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- $q$  μεταφερόμενη θερμότητα
- $\Delta\theta_m$  Μέση Θερμοκρασιακή Λογαριθμική Διαφορά
- $A$  μέση επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας
- $P_h$  πίεση λειτουργίας στο ζεστό ρευστό
- $P_c$  πίεση λειτουργίας στο κρύο ρευστό
- $\rho$  πυκνότητα
- $\dot{V}$  Παροχή όγκου
- $d_i$  εσωτερική διάμετρος (μικρού ) σωλήνα
- $d_o$  εξωτερική διάμετρος (μικρού ) σωλήνα
- $S$  πάχος τοιχώματος
- $K$  η χαρακτηριστική τιμή αντοχής υλικού
- $L$  μήκος σωλήνα
- $z$  αριθμός σωλήνων
- $f$  διατομή αγωγού (σωλήνα)
- $u$  ταχύτητα ρευστού
- $\alpha_i$  συντελεστής εσωτερικής συναγωγής
- $d$  πάχος τοιχώματος
- $\lambda$  συντελεστής θερμικής αγωγής
- $\alpha_o$  συντελεστής εξωτερικής συναγωγής
- $Nu$  αριθμός Nusselt
- $Re$  αριθμός Reynolds
- $Pr$  Αριθμός Prandtl
- $n$  = δυναμικό ιξώδες

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

---

## 7.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κτενιαδάκη Μιχαήλ, **τίτλος:** Μετάδοση Θερμότητας
2. Warm atlas.
3. Σημειώσεις κατά τις παραδόσεις του Μαθήματος "Ατμοστρόβιλοι – Ατμολέβητες", Παξινού Κοσμά, Ηράκλειο 2012 .