

Οδηγίες Διαγωνίσματος Φεβρουαρίου 2021 (Τελευταία Ενημέρωση 13/2/21)

(1) Το διαγώνισμα του μαθήματος θα γίνει από το σπίτι, τη Δευτέρα 15/2/21, το πρωί 9:00-12:00.

(2) Θα περιλαμβάνει 3 προβλήματα με τον εξής χρονισμό και βαρύτητα:

Πρόβλημα	Ανάρτηση	Παράδοση	Βαρύτητα
1 ^ο	9:00	10:00	30%
2 ^ο	9:45	11:00	30%
3 ^ο	10:45	12:00	40%

(3) Οι εκφωνήσεις θα αναρτώνται στη σελίδα «Υλικό» στον ιστοχώρο του μαθήματος.

Τα αποτελέσματα θα υποβάλλονται με μία αποστολή ταυτόχρονα στις παρακάτω τρεις διευθύνσεις:

maroulis@mail.ntua.gr, agmlth@hotmail.com, thexen@chemeng.ntua.gr.

(4) Το θέμα του μηνύματος υποβολής, το όνομα του επισυναπτόμενου αρχείου pdf, και το όνομα του επισυναπτόμενου αρχείου Excel να αποτελείται αποκλειστικά από τον αύξοντα αριθμό του προβλήματος, τον κωδικό και το ονοματεπώνυμο του σπουδαστή.

(5) Τα προς επίλυση προβλήματα θα είναι όμοια με αυτά των προηγούμενων ετών στις εξετάσεις φυσικής παρουσίας. Επισημαίνεται όμως ότι η διαφορά από την παραδοσιακή εξέταση με φυσική παρουσία συνίσταται στους υπολογισμούς, οι οποίοι θα γίνονται στο Excel αντί σε υπολογιστή τσέπης.

(6) Για τη διευκόλυνση της διόρθωσης τα κελιά με δεδομένα να έχουν ανοιχτό πράσινο χρώμα ενώ τα κελιά με τις εξισώσεις ανοιχτό κόκκινο.

Στα κρίσιμα κελιά θα πρέπει να έχουν αποδοθεί ονόματα που να συμφωνούν με αυτά των εξισώσεων.

(7) Το υποβαλλόμενο αρχείο pdf θα πρέπει να είναι πλήρες και αυτόνομο, χωρίς δηλαδή να απαιτείται το συνοδευτικό Excel για να γίνει κατανοητό.

Μπορεί να είναι ψηφιοποιημένο χειρόγραφο που όμως δεν θα περιλαμβάνει αναλυτικά τους υπολογισμούς αλλά μόνο τα αποτελέσματα από το επισυναπτόμενο αρχείο Excel.

Επίσης τα διαγράμματα από το επισυναπτόμενο Excel θα επανασχεδιάζονται με το χέρι έτσι ώστε το χειρόγραφο να διαβάζεται αυτόνομα.

Στην περίπτωση που τα διαγράμματα βασιστούν σε υπολογισμούς με αριθμομηχανή θα πρέπει να συνοδεύονται από τον πίνακα υπολογισμών.

Σε κάθε περίπτωση τα σχήματα θα περιέχουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, περιγραφή αξόνων, καμπυλών, χαρακτηριστικά σημεία κλπ.

(8) Το κείμενο στο υποβαλλόμενο αρχείο pdf θα πρέπει να είναι σαφές και τεκμηριωμένο,

να εξηγήει την προέλευση των εξισώσεων (πχ ισοζύγιο μάζας, εξίσωση θερμικής ροής, εξίσωση ισορροπίας κλπ), να αναφέρει τις παραδοχές, να παρουσιάζει ευκρινώς τον αλγόριθμο επίλυσης,

ενδεχομένως και την ανάλυση των βαθμών ελευθερίας, και να διατυπώνει με σαφήνεια τα αποτελέσματα.

Σε κάθε περίπτωση το περιεχόμενο δεν θα πρέπει να είναι άναρχη παράθεση εξισώσεων και αποσπασματικών υπολογισμών.

(9) Προτείνεται η επίλυση και των επιμέρους θεμάτων σειριακά.

Λόγω της σχετικής βαθμολογίας δεν είναι απαραίτητη η επίλυση του συνόλου των θεμάτων για τη βαθμολόγηση με Δέκα, ή του 50% για προβιβασμό. Μια καλή στρατηγική είναι η άριστη επίλυση υποσυνόλου των προβλημάτων

αντί της αποσπασματικής, ατεκμηρίωτης και πρόχειρης επίλυσης του συνόλου.

Διευκρινίζεται ότι αναπάντητο ερώτημα βαθμολογείται με μηδέν ενώ λανθασμένη απάντηση αρνητικά.

(10) Πιθανές ασάφειες ή παρερμηνείες στην εκφώνηση του προβλήματος, καθώς και παράλειψη απαραίτητων δεδομένων θα αντιμετωπίζονται με τη διατύπωση σχετικών λογικών παραδοχών και υποθέσεων.

Κατά την διάρκεια του διαγωνίσματος δεν θα απαντώνται διευκρινιστικές ερωτήσεις.

(11) Επισημαίνεται ότι απόκλιση από τους παραπάνω διαδικαστικούς όρους

(καθυστέρηση υποβολής, πολλαπλή υποβολή, λανθασμένη ονοματολογία αρχείων κλπ)

θα συνεπάγεται αποκλεισμό από το διαγώνισμα.

(12) Σχετικά με το Excel επισημαίνεται ότι είναι στην ύλη του μαθήματος, έχει παρουσιαστεί στο μάθημα

και έχουν επιλυθεί υποδειγματικά ασκήσεις και θέματα, από τους διδάσκοντες και τους σπουδαστές.

Το Excel είναι διαθέσιμο στο σύστημα Δήλος των Ελληνικών Πανεπιστημίων.

Παρόλα αυτά η χρήση του δεν είναι υποχρεωτική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε υπολογιστικό εργαλείο (ακόμη και αριθμομηχανή) παρουσιάζοντας τους υπολογισμούς σε παράρτημα στην περίπτωση αριθμομηχανής, ή συνοποβάλλοντας το σχετικό αρχείο στην περίπτωση άλλου εργαλείου matlab, fortran κλπ.

1. Βλάβη στο Σύστημα Κενού Εξατμιστήρα σε Λειτουργία

Υφιστάμενος εξατμιστήρας αναδεδεμένου λεπτού στρώματος χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση $L_0=7\text{kg/s}$ υδατικού διαλύματος ηλεκτρικής, θερμοκρασίας $T_0=20^\circ\text{C}$ από αρχική συγκέντρωση $X_0=0.5\%$ σε τελική $X=5\%$.

Η συγκέντρωση $X=5\%$ στο τελικό προϊόν αποτελεί αυστηρή προδιαγραφή και η παραβίαση της ισοδυναμεί με αδυναμία πώλησης του προϊόντος.

Η εξάτμιση επιτυγχάνεται με κορεσμένο ατμό πίεσης $P_s=3\text{bar}$, ενώ ο εξατμιστήρας λειτουργεί σε πίεση $P=250\text{mbar}$.

Λόγω βλάβης του συστήματος κενού η πίεση λειτουργίας εξισώθηκε με την ατμοσφαιρική $P'=1\text{bar}$.

- (1) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης
- (2) Πως νομίζετε ότι θα επηρεαστεί η συγκέντρωση του προϊόντος και γιατί? Ποιοτική απάντηση.
- (3) Αν η αποκατάσταση της βλάβης είναι τεχνικά αδύνατη στο εγγύς μέλλον τότε πως νομίζετε ότι μπορείτε να αποκαταστήσετε προσωρινά τις προδιαγραφές συγκέντρωσης του προϊόντος μεταβάλλοντας τις λειτουργικές συνθήκες? Ποσοτική απάντηση.
- (4) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα θερμοκρασίας σαν συνάρτηση της ενθαλπίας στο ίδιο σχήμα και για τις δύο περιπτώσεις (αρχικές και τελικές συνθήκες λειτουργίας).
- (5) Σε τι ποσοστό αναμένετε θα μειωθούν τα ετήσια έσοδα της βιομηχανίας από την πώληση της ηλεκτρικής λόγω της βλάβης?

Ενδεικτικά δεδομένα:

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό: $a_1=11.9$, $a_2=3950$, $a_3=232$ όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε $^\circ\text{C}$.

Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού στους 0°C $\Delta H_0=2.50\text{MJ/kg}$.

Μέση ειδική θερμότητα νερού $C_{pL}=4.18\text{ kJ/kgC}$

Μέση ειδική θερμότητα υδρατμού $C_{pV}=1.88\text{ kJ/kgC}$

2. Στιγμαία Εξάτμιση Συμπυκνώματος Ατμού

(2.1) Για τον υπολογισμό της λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης/συμπύκνωσης του ατμού ΔH σε θερμοκρασία T στο βιβλίο Food Process Design (2003) προτείνονται οι εξισώσεις του παρακάτω Πίνακα Α.2.

Να σχεδιαστεί η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης/συμπύκνωσης του ατμού ΔH σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας T συγκριτικά στο ίδιο διάγραμμα.

Table A.2 Latent Heat of Vaporization of Water

Equation 1

$$\Delta H = \Delta H_o - (Cp_w - Cp_v)T$$

0–150°C

Range of application

ΔH MJ/kg

Latent heat of vaporization

T °C

Temperature

$\Delta H_o = 2.50$ MJ/kg

Latent heat of vaporization at 0°C

$Cp_w = 4.18$ kJ/kgK

Average specific heat of water

$Cp_v = 1.88$ kJ/kgK

Average specific heat of water vapor

Equation 2

$$\Delta H = \Delta H_o \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right)^{1/3}$$

$T_t < T < T_c$

Range of application

ΔH MJ/kg

Latent heat of vaporization

T °C

Temperature

$\Delta H_o = 2.50$ MJ/kg

Latent heat of vaporization at 0°C

$T_t = 0.01$ °C

Triple point temperature

$T_c = 374.14$ °C

Critical temperature

(2.2) Κορεσμένο συμπύκνωμα ατμού υψηλής πίεσης $P_3=47$ bar με παροχή $L_3=10$ t/h εκτονώνεται στη μέση πίεση $P_2=17$ bar και στη συνέχεια στη χαμηλή πίεση $P_1=7$ bar.

Να υπολογιστούν οι παραγόμενες ποσότητες ατμού μέσης V_2 και χαμηλής V_1 πίεσης.

Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής.

(2.3) Ελληνικό διυλιστήριο διαθέτει τρία επίπεδα ατμού, υψηλής πίεσης (HPS), μέσης πίεσης (MPS), και χαμηλής πίεσης (LPS).

Ο ατμός υψηλής πίεσης παράγεται σε ατμολέβητα.

Οι ατμοί μέσης και χαμηλής πίεσης παράγονται από δύο ατμοστρόβιλους χρησιμοποιώντας και οι δύο ατμό υψηλής πίεσης.

Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής.

Ενδεικτικά δεδομένα:

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό: $a_1=11.9$, $a_2=3950$, $a_3=232$ όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε °C.

3. Ξήρανση Χαρτοπολτού σε Ξηραντήρα Περιστρεφόμενου Τύμπανου

Χαρτοπολτός με παροχή $F=10\text{t/h db}$ (ξηρή βάση) ξηραίνεται στην επιφάνεια περιστρεφόμενου τύμπανου από αρχική υγρασία $X_0=1.25\text{kg/kg db}$ σε τελική $X=0.05\text{kg/kg db}$.

Στο εσωτερικό του τύμπανου καταναλώνεται κορεσμένος ατμός $P_s=17\text{bar}$ με παροχή $F_s=10\text{t/h}$.

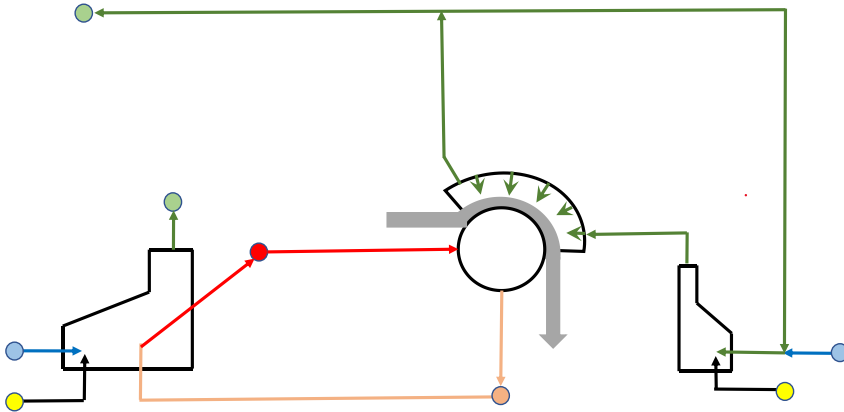
Ο ατμός παράγεται σε λέβητα φυσικού αερίου.

Εξωτερικά του τύμπανου και εντός του καλύμματος μέσω ακροφυσίων εκτοξεύονται καυσαέρια με παροχή $F_g=120\text{t/h db}$, θερμοκρασία $T_0=470^\circ\text{C}$ και υγρασία $Y_0=0.30\text{kg/kg db}$.

Το μεγαλύτερο μέρος (3/4) των καυσαερίων επανακυκλοφορεί

ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται με παροχή $F_r=30\text{kg/h db}$, θερμοκρασία $T=350^\circ\text{C}$ και υγρασία $Y=0.40\text{kg/kg db}$.

Τα καυσαέρια παράγονται σε καυστήρα φυσικού αερίου.



3.1 Ισοζύγια Μάζας

(α) Να επαληθεύσετε το ισοζύγιο νερού στην ξήρανση.

Για το κύκλωμα των καυσαερίων της ξήρανσης πως σας φαίνεται η ιδέα:

(β) Να μην απορρίπτονται καυσαέρια αλλά να ανακυκλοφορούν στο σύνολο τους?

(γ) Να μην εισάγεται φρέσκος αέρας?

(δ) Να συμβαίνουν ταυτόχρονα τα (β) και (γ)?

3.2 Ισοζύγιο Ενέργειας

Να υπολογιστεί:

(α) Η απαιτούμενη θερμότητα για την απομάκρυνση της υγρασίας από το χαρτί,

(β) Η θερμότητα που προσφέρει ο ατμός στην ξήρανση,

(γ) Η θερμότητα που προσφέρουν τα καυσαέρια στην ξήρανση,

(δ) Να σχολιάσετε το ισοζύγιο των παραπάνω.

3.3 Ανάκτηση Θερμότητας από τα καυσαέρια

Σχεδιάζεται η ανάκτηση θερμότητας από τα απορριπτόμενα καυσαέρια προς παραγωγή ατμού.

(α) Να υπολογιστεί η ποσότητα του ατμού 17 bar που μπορεί να παραχθεί και να προστεθεί στο δίκτυο του ατμού αν τα επιστρεφόμενα συμπυκνώματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι στους 140°C .

(β) Να υπολογιστεί το μέγεθος του απαιτούμενου εναλλάκτη υποθέτοντας λογικές τιμές των επιφανειακών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας.

(γ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής.

(δ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει της ενθαλπίας.

3.4 Οικονομική αξιολόγηση της ιδέας παραγωγής ατμού από τα καυσαέρια.

(α) Να διατυπώσετε τις εξισώσεις που περιγράφουν ένα κριτήριο οικονομικής αξιολόγησης.

(β) Να προσδιορίσετε τα απαιτούμενα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα για την εφαρμογή του παραπάνω κριτηρίου.

(γ) Να υποθέσετε λογικές τιμές για τα παραπάνω δεδομένα (β), να υπολογίσετε την τιμή του κριτηρίου (α) και να αποφανθείτε για την ελκυστικότητα του εγχειρήματος.

Ενδεικτικά δεδομένα:

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό: $a_1=11.9$, $a_2=3950$, $a_3=232$ όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε $^\circ\text{C}$.

Μέση ειδική θερμότητα ξηρού αέρα $C_{PA}=1.04\text{ kJ/kgC}$.

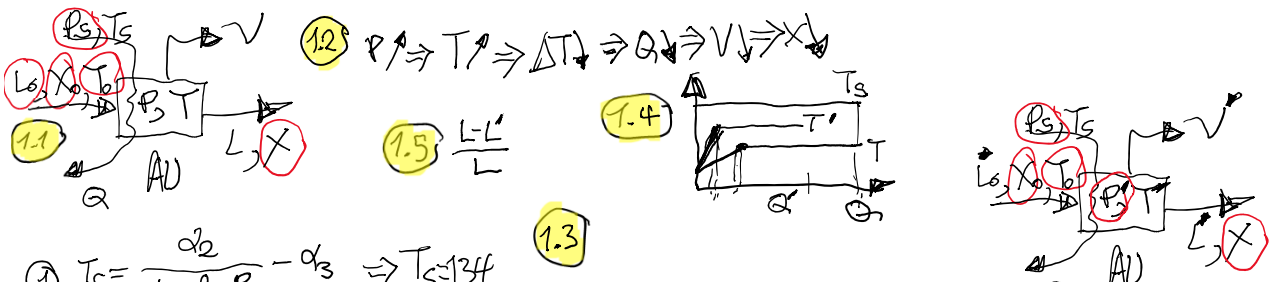
Μέση ειδική θερμότητα υδρατμού $C_{PV}=1.88\text{ kJ/kgC}$

Μέση ειδική θερμότητα νερού $C_{PL}=4.18\text{ kJ/kgC}$

Μέση ειδική θερμότητα ξηρού χαρτιού $C_{PS}=2.00\text{ kJ/kgC}$

Λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσης νερού στους 0°C $\Delta H_0=2.50\text{ MJ/kg}$.

Κρίσιμη θερμοκρασία νερού 374°C



① $T_s = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \ln P_s} - \alpha_3 \Rightarrow T_s = 134$

② $T = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \ln P} - \alpha_3 \Rightarrow T = 65$

③ $L_o X_o = L X \Rightarrow L = 0,70$

④ $L_o = L + V \Rightarrow V = 6,30$

⑤ $Q = L_o C_{pL} (T - T_o) + V [\Delta H_o - (C_{pL} - C_{pV}) T] \Rightarrow Q = 16,1 \text{ kW}$

⑥ $Q = AU(T_s - T) \Rightarrow AU = 236 \text{ kW/K}$

1.3

⑦ $L_o X_o = L X \Rightarrow L = L_o \frac{X_o}{X} \Rightarrow L =$

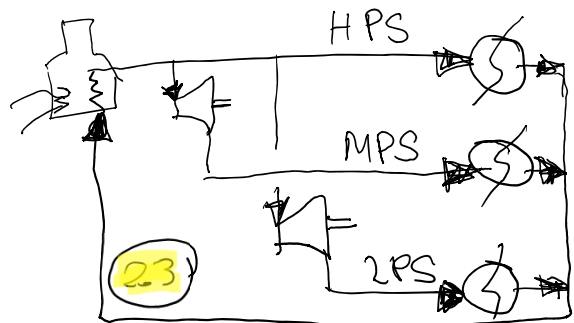
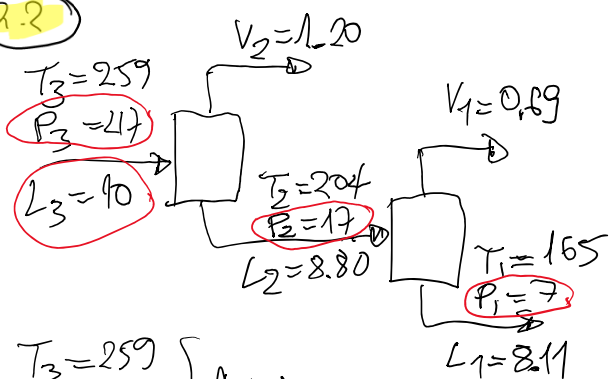
⑧ $L_o = L + V \Rightarrow V = L_o (1 - \frac{X_o}{X}) \Rightarrow V =$

⑨ $Q = AU(T_s - T) \Rightarrow Q = 7,97 \text{ kW}$

⑩ $Q = L_o C_{pL} (T - T_o) + V [\Delta H_o - (C_{pL} - C_{pV}) T]$

⑪ $Q = L_o [C_{pL} (T - T_o) + (1 - \frac{X_o}{X}) (\Delta H_o - (C_{pL} - C_{pV}) T)] \Rightarrow L_o = 3,35$

2.2



$T_3 = 259$
 $T_2 = 204$
 $T_1 = 165$ } Antoine

$\Delta H_3 = 1689$
 $\Delta H_2 = 1924$
 $\Delta H_1 = 2060$ } $\Delta H_o \left(\frac{T_c - T_i}{T_c} \right)^{1/3}$

$L_3 C_{pL} (T_3 - T_2) = \underline{V_2} \Delta H_2$

$L_2 C_{pL} (T_2 - T_1) = \underline{V_1} \Delta H_1$

$L_3 = \underline{L_2} + V_2$

$L_2 = \underline{L_1} + V_1$



2.1

$$3.1) \quad W = F(X_0 - X) = 12 \text{ t/h} \\ \text{a) } W = F_0(\psi - \psi_0) = 12 \text{ t/h} \quad \left. \begin{array}{l} \text{b) } \\ \text{c) } \end{array} \right\} \text{ok}$$

β) 3 είδη: εξωτερική, φέρουσα, φέρουσα αέρα) χωρίς φάσμα = αδιάθετο

γ) Αν δεν υπάρχει καμία θερμότητα αντιστάσεων κλειστών για την εξίσωση των αερίων

δ) όπως το (γ). Επιπλέον θερμότητα αντιστάσεων αερίων

$$3.2) \quad \text{a) } Q = W \Delta H_{T_b} = 7.51 \text{ MW}, T_b = 100^\circ\text{C}, \Delta H_T = \Delta H_0 \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right)^{1/3}$$

$$\text{b) } Q_s = F_s \Delta H_{T_s} = 5.34 \text{ MW}$$

$$\text{c) } Q_a = F_a (C_{pa} + \psi_0 C_{pv}) (T_0 - T) = 6.26 \text{ MW}$$

$$\text{d) } Q_h = F (C_{ps} + X_0 C_{pw}) (T_b - T_a) = 1.61 \text{ MW}, T_b = 100^\circ\text{C}, T_a = 20^\circ\text{C}$$

$$Q_L = Q + Q_a - Q - Q_h = 2.48 \text{ MW}$$

$$3.3) \quad (1) T_i = T_s + \Delta T_{\min}, \Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$$

$$(2) Q_{sg} = F_g C_{pg} (T - T_i), C_{pg} = C_{pa} + \psi C_{pv}$$

$$(3) Q_{sg} = F_{sg} \Delta H_s, \Delta H_s = \Delta H_0 \left(\frac{T_c - T_s}{T_c} \right)^{1/3}$$

$$(4) Q_c = F_s C_{pw} (T_s - T_c)$$

$$(5) Q_c = F_g C_{pg} (T_i - T_r)$$

$$(6) \frac{1}{V_s} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_g}, h_e = 5, h_g = 0.25$$

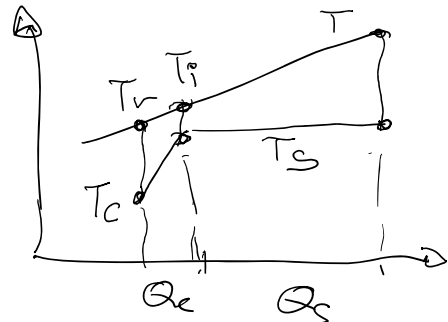
$$(7) \frac{1}{V_c} = \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_g}, h_w = 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$(8) \Delta T_s = \Delta T_L (T - T_s, T_i - T_s)$$

$$(9) \Delta T_c = \Delta T_L (T_i - T_s, T_r - T_c)$$

$$(10) A_s = \frac{Q_s}{V_s \Delta T_s}$$

$$(11) A_c = \frac{Q_c}{V_c \Delta T_c}$$



$$3.4) \quad C_s = \frac{C_g}{m_b} \rightarrow C_{sg} = \frac{Q A^m}{N Q_{gs} t_y}$$

$$C_1 = 1 \text{ k€}/\text{m}^2, m_b = 0.90$$

$$m = 0.67$$

$$N = 10 \text{ y}$$

$$t_y = 8000 \text{ h/y}$$

$$C_g = 25 \text{ €}/\text{MWh} \left. \begin{array}{l} C_s = 27.8 \text{ €}/\text{MWh} \\ C_{sg} = 0.57 \text{ €}/\text{MWh} \end{array} \right\} \Rightarrow$$