

EEN-E3003, Industrial drying and evaporation processes

Exam, April 7, 2017

Questions in Finnish on pages 3-4

You can answer the questions either in English or in Finnish

PROBLEM 1

Dry solid contents of a solution increases from 4% to 12% in a mechanical recompression evaporator (MVR). The feed of solution into the evaporator is 21000kg/h and its inlet temperature is 80°C. The outlet temperature of the concentrate is 90°C and the outlet temperature of the condensate is 100°C.

- A) How much water is evaporated in the evaporator?
- B) What is the electricity consumption of the compressor? You can ignore boiling point elevation of the solution.
- C) A condensate pump is used to remove condensate from a condensate tank. Is the pump situated above or below the tank? Justify your answer.

PROBLEM 2

A CHP plant produces 6 MW electricity and 30 MW process heat. Total efficiency of the plant is 0.87. The plant combusts both bark and coal. The moisture content of bark is 60 % w.b. and the lower heating value of the dry bark is 18.9 MJ/kg_{ds}. The lower heating value of coal is 24 MJ/kg and its mass flow rate into the boiler is 0.2 kg/s. The plant abandons the use of coal by drying bark before the boiler in a dryer which uses waste heat as a heat source.

- A) What must the final moisture content of the bark be that the plant can quit the use of coal?
- B) Temperature of the drying air before the heating is 15°C and relative humidity 60%. Temperature of the drying air after the dryer is 35°C and absolute humidity 0.025 kg/kg_{da}. What is the air temperature of the drying air before the dryer (i.e. after the heating), when there are no heat losses in the dryer? Total pressure is 100 kPa.

PROBLEM 3

Boards are dried in a drying kiln. When the drying begins, the moisture content of the boards is $1.6 \text{ kg/kg}_{\text{ds}}$ and temperature 18°C . Temperature of the drying air is 100°C , relative humidity 1.6% and total pressure 100 kPa. The average heat transfer coefficient for the boards is $6.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. The evaporation surface of a board is 0.23 m^2 and volume 0.00125 m^3 . Density of dry board is $300 \text{ kg}_{\text{ds}}/\text{m}^3$.

- A) What is the evaporation rate just in the beginning of drying? You can assume that Lewis number is 1.
- B) What is the critical moisture content of the board (kg/kg_{ds}), when the mass of board decreases 4 g during the initial heating period and the constant drying rate period lasts 1780 seconds?

PROBLEM 4

Answer briefly the following questions:

- A) What does a sorption isotherm describe?
- B) What is bounded water and how do its thermodynamic properties differ from unbounded (or free) water?
- C) Draw a flow sheet of a multi stage drying process. What benefits multi stage drying may have compared to a single stage drying?
- D) Wood particles are dried in a superheated steam dryer. The temperature of the superheated steam is 180°C and the pressure in the dryer is 3 bar (abs.). What is the surface temperature of particles in the period of constant drying rate?
- E) What is the operational principle of an indirect dryer?

$$\begin{array}{l}
 \text{In} \\
 M_1 \\
 P
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{Out} \\
 M_2 \\
 M_3
 \end{array}
 \quad
 \eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{G}} = \frac{P+G}{\dot{q}} = 41 \text{ MW}$$

TEHTÄVÄ 1

$$\dot{q} = m q \quad m = \frac{\dot{q}}{q}$$

$$C: 4,8 \text{ MW} \rightarrow 36,2 \text{ buoni}$$

Liuos, jonka kuiva-aineepitoisuus on 4 %:a, väkevöidään termokompressorihaihduttimessa (MVR) 12 %:iin. Lioksen syöttö haihduttimeen on 21000 kg/h ja syöttölämpötila 80°C. Konsentraatti poistuu haihdutimesta lämpötilassa 90°C ja kondensaatti vastaavasti lämpötilassa 100°C.

- A) Kuinka paljon vettä haihduttimessa haihdutetaan?
- B) Mikä on kompressorin sähkökulutus? Liuoksen kiehumispisteen nousua ei tarvitse huomioida.
- C) Lauhdepumppua käytetään lauhteen poistoon lauhdesäiliöstä. Tuleeko pumpun sijaita säiliön ylä- vai alapuolella? Perustele vastauksesi.

TEHTÄVÄ 2

CHP

Vastapainevoimalaitos tuottaa 6 MW:a sähköä ja 30 MW:a lämpöä. Voimalaitoksen kokonaishyötyuhde on 0,87, ja kattilassa poltetaan rinnakkain kuorta sekä hiiltä. Kuoren kosteus on 60 %:a kokonaismassaa kohti laskettuna ja kuiva-aineen alempi lämpöarvo on 18,9 MJ/kg_{ka}. Hiilen massavirta kattilaan on 0,2 kg/s ja alempi lämpöarvo 24 MJ/kg. Hiilen poltosta luovutaan rakentamalla voimalaitoksen yhteyteen sekundäärilämmöillä toimiva kuorikuivuri.

- A) Mihin loppukosteuteen kuori on kuivattava, jotta hiilen käytöstä voidaan luopua?

- tarkista kosteaa ilman entalpijan kaavalla relative hum.
- B) Kuivausilman lämpötila ennen lämmitystä on 15°C ja suhteellinen kosteus 60 %. Kuivurin jälkeen kuivausilman lämpötila on 35°C ja absoluuttinen kosteus 0,025 kg/kg_{ki}. Mikä on kuivausilman lämpötila ennen kuivuria (ts. lämmityksen jälkeen), kun kuivuri oletetaan täysin lämpöhäviötömäksi? Kokonaispaine on 100 kPa.

0,00123 MPa

1 bar 100 kPa

$$0,017 \cdot 100 \text{ kPa} \\ 1,7 \text{ kPa}$$

ja kpa
tarkas
lämmitys

1. m_{kuori} alkutilanteessa $\rightarrow \bar{\Phi}_{kuori}$ alkutilanteessa

$\rightarrow \bar{\Phi}_c + \bar{\Phi}_{kuori}$ alkutilanteessa

eli tämä määrä yksin tavalla

$$\left(\frac{m_c - Q + \alpha Q}{n \cdot \dot{q}_c} \right) \cdot \dot{q}_c$$

$$\bar{\Phi} = m_{kuori} q \quad \text{lasse } w_i q$$

lassesta q arvoista $w_i u$.

$$\left(\frac{Q + \alpha Q - m_c}{n \cdot \dot{q}_c} \right) \cdot \dot{q}_c$$

$$m_k = q_k$$

$$= 233$$

TEHTÄVÄ 3

Puulevyjä kuivataan eräperiaatteella toimivassa kuivaamossa. Puulevyjen alkukosteus on $1,6 \text{ kg/kg}_{\text{ka}}$ ja lämpötila kuivauksen alussa 18°C . Kuivausilman lämpötila on 100°C , suhteellinen kosteus $1,6\%$ ja kokonaispaine 100 kPa . Kuivausolosuheteita vastaan lämmönsiirtokertoimen arvo on $6,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Puulevyn haihdutuspinta-ala $0,23 \text{ m}^2$, tilavuus $0,00125 \text{ m}^3$ ja kuiva-aineen tiheys $300 \text{ kg}/\text{m}^3$

- A) Mikä on puulevyn haihtumisnopeus (kg/s) kuivauksen alussa, kun Lewisin luku on 1 ? $L_e = 1$
- B) Mikä on puulevyn kriittinen kosteussuhde ($\text{kg}/\text{kg}_{\text{ka}}$), kun alkulämpenemisen aikana levyn massa pienenee 4 g ja vakiokuivumisvaihe kestää 1780 sekuntia ?

TEHTÄVÄ 4

Vastaa seuraaviin kysymyksiin lyhyesti:

- A) Mikä on sorptioisotermi? *adsorptive/desorptive → sorption*
- B) Mitä on sidottu vesi ja miten se eroaa termodynamiilta ominaisuuksiltaan ns. vapaasta vedestä?
- C) Piirrä prosessikaavio monivaiheesta kuivausprosessista. Mitä mahdollisia etuja monivaiheella kuivausprosessilla voidaan saavuttaa yksivaiheeseen kuivausprosessiin verrattuna?
- D) Puupartikkeleita kuivataan kuivurissa, joka käyttää kuivauskaasuna tulistettua höyryä. Höyryn lämpötila on 180°C ja paine 3 bar (abs.) . Mikä on partikkelienv pintalämpötila vakiokuivumisvaiheessa?
- E) Mikä on epäsuoran kuivurin toimintaperiaate?

$$3 \text{ bar} = 300 \text{ kPa}$$
$$= 0,3 \text{ MPa}$$

$$\chi = 0,02500 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$
$$D = 24,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$
$$W = 2458,8 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$