

Proračun sustava za sušenje biomaterijala

Izdvajanje i pročišćavanje
biotehnoloških proizvoda

Seminar 8.

Zadatak:

Treba izabrati sustav za sušenje biomaterijala.

Izabrani sušionik treba osigurati proizvodnju od 378 t suhog materijala u jednoj godini (sušionik radi 300 dana godišnje)

Karakteristike biomaterijala:

početna vlaga materija je $X_0 = 60\%$,

konačna vlaga $X_1 = 1\%$

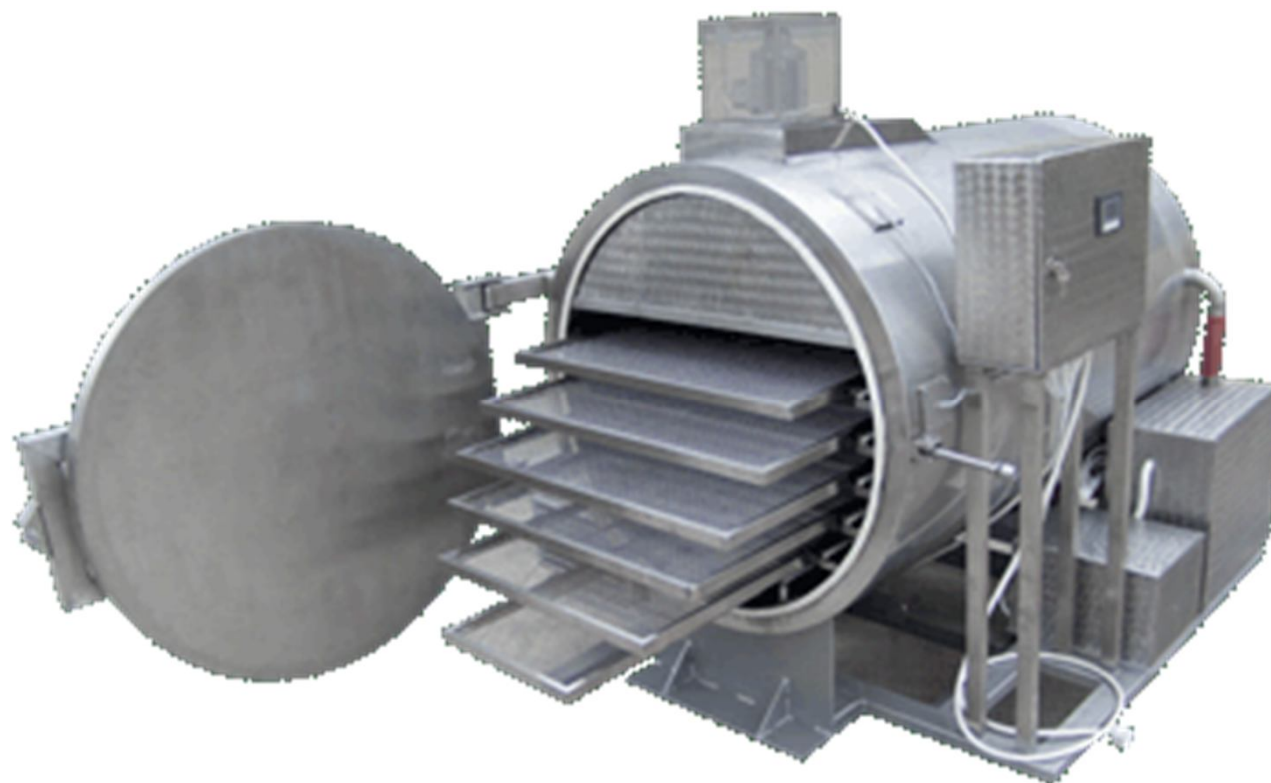
specifična masa vlažnog materijal je 1250 kg/m^3 .

Čimbenici mjerodavni za izbor tipa sušionika

- Stanje biomaterijala-pasta
- Kapljevina koju treba odjeliti-voda
- Maksimalna dopuštena temperatura materijala na sušenju- $100\text{ }^{\circ}\text{C}<$
- Količina vlage u materijalu nakon sušenja-1% računato na ukupnu masu
- Vrijeme sušenja-polagano sušenje nije dopušteno
- Miješanje- otežano zbog lijepljenja materijala za miješalo
- Biomaterijal osjetljiv na oksidaciju
- Kapacitet proizvodnje 1,25 t/dan

Na osnovi faktora mjerodavnih za izbor tipa sušionika

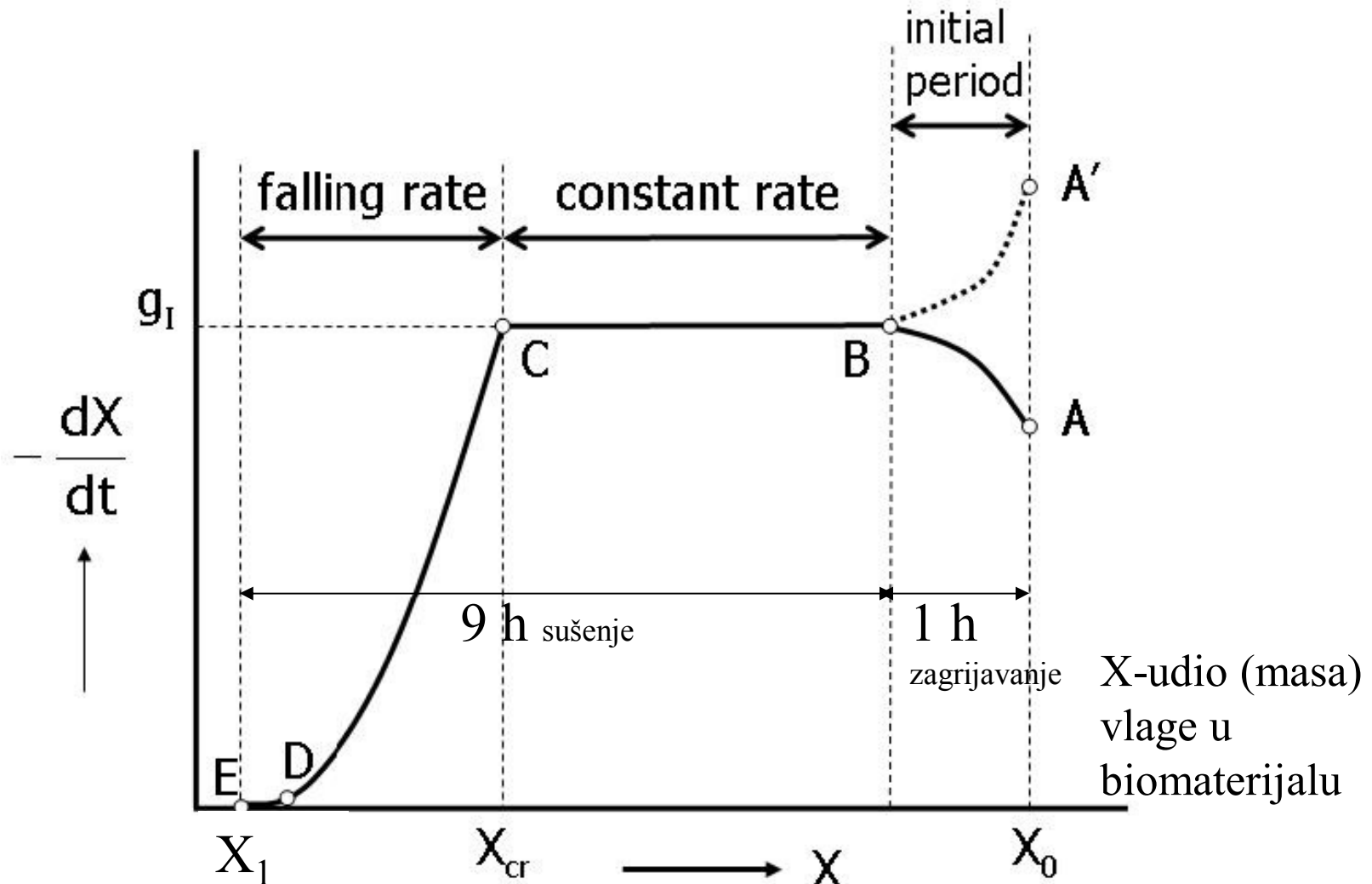
Izabiremo vakuum-sušionik.



Slika 1. Vakuum-sušionik

Proračun vakuum sušionika

- mora se zasnivati na kinetici procesa sušenja biomaterijala (mjeriti u laboratoriju)



Slika 2. Grafički prikaz brzine sušenja.

Izračun kapaciteta sušionika

Sušenje traje 9 h

Vrijeme za postizanje ustaljenog stanja (zagrijavanja, inicijalni period) je 1 h

Vrijeme punjenja i pražnjenja traje 1 h

Ukupno vrijeme trajanja jednog perioda je 11h stoga je dnevno moguće izvršiti 2 ciklusa sušenja.

Prema tome kapacitete sušionika po jednoj šarži je :

$$378000 \text{ kg} / 300 \cdot 2 = 630 \text{ kg (suhog materijala)}$$

(radi se 300 dana godišnje)

Izračun broja okvira za sušenje biomaterijala

Debljina sloja biomaterijala je 40 mm

Dimenzije okvira za sušenje (pravokutnog oblika) su 0,37 (širina) × 1,2 (dužina) × 0,055 (visina) m jedan okvir može primiti:

$$0,04 \cdot \underbrace{0,37 \cdot 1,2}_{\text{Volumen sloja}} \cdot \underbrace{1250}_{\text{Gustoća}} = 22,2 \text{ kg biomaterijala s početnom vlagom 60\%}$$

Volumen sloja *Gustoća*

Potreban broj okvira u sušioniku je:

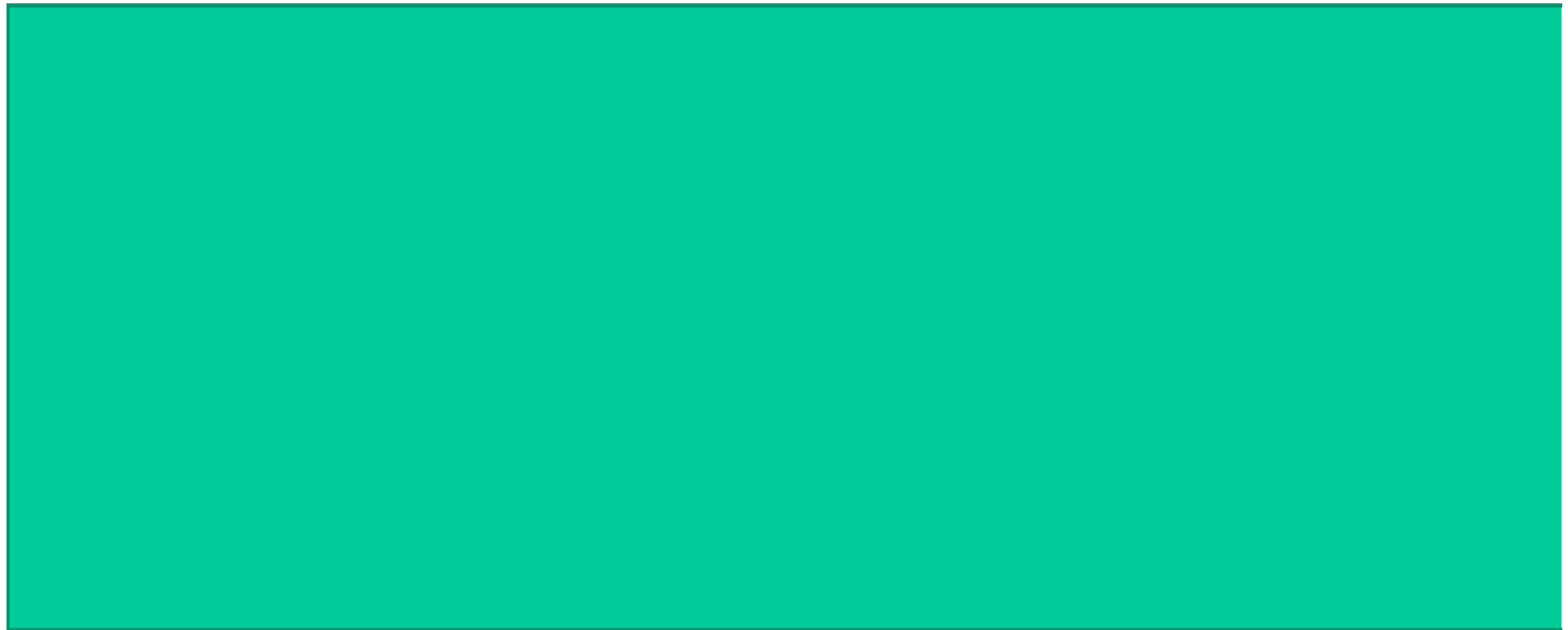
$$630 / 22,2 \cdot 0,4 = 71 \text{ komad}$$

Izračunatom broju okvira s navedenim dimenzijama odgovara vakuum sušionik iz kataloga procesne opreme:

-pravokutnog oblika

-broj polica 72

-masa bez polica 11000 kg



Materijalna bilanca:

Masa vode koju treba ispariti u jednom pogonskom periodu (prema zadanim sadržajima vlage):

$$w = G_{poč} \left(1 - \frac{100 - X_0}{100 - X_1}\right)$$

$$w = 1600 \left(1 - \frac{100 - 60}{100 - 1}\right) = 954 \text{ kg}$$

Masa osušenog biomaterijala:

$$G_{suh} = G_{mok} - w = 1600 - 954 = 646 \text{ kg}$$

Oblik krivulje sušenja ukazuje na odvijanje procesa sušenja u dvije faze (fazu konstantne brzine sušenja i fazu opadajuće brzine sušenja) stoga i cjelokupni proračun treba podijeliti u dva dijela.

Kritična vlažnost je 48% (iz krivulje brzine sušenja)

Dakle materijalnu bilancu možemo postaviti odvojeno za prvu i drugu fazu

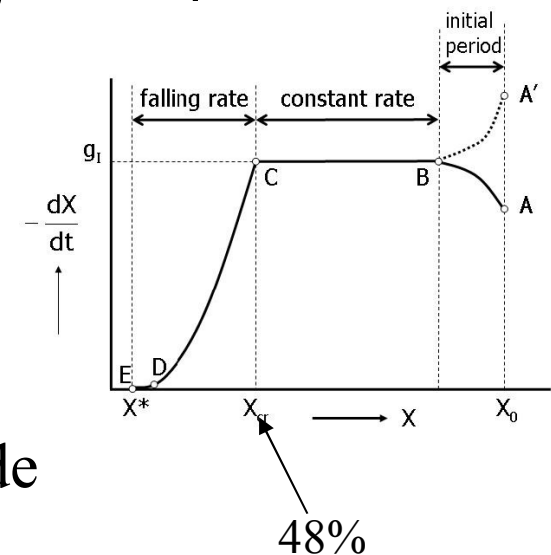
Prva faza:

$$w_1 = 1600 \left(1 - \frac{100 - 60}{100 - 48} \right) = 368 \text{ kg}$$

tj. u prvoj fazi sušenja mora se odjeliti 368 kg vode

Druga faza:

$$w_2 = w - w_1 = 954 - 368 = 586 \text{ kg}$$



Toplinska bilanca:

Utrošak topline sušionika tijekom procesa sušenja dobiva se iz
jednadžbe: $Q = m c \Delta t$

$$Q = W \cdot r$$

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t [kcal / h]$$

K - koeficijent prolaza topline s bridova sušionika na okolni zrak

A - površina

Δt - temperaturna razlika

Potrebno izračunati utrošak topline po satu Q za svaku fazu zasebno.

Da bi se izračunao utrošak topline potrebno je izračunati trajanje pojedinih faza procesa sušenja (τ_1, τ_2).

Trajanje sušenja u prvoj fazi (τ_1) može se izračunati na osnovi podataka o kritičnoj vlažnosti i brzini sušenja u prvoj fazi.

U prvoj fazi se ispari iz 100 g materijala sljedeća masa vode:

$$\left(1 - \frac{40}{52}\right)100 = 23g$$

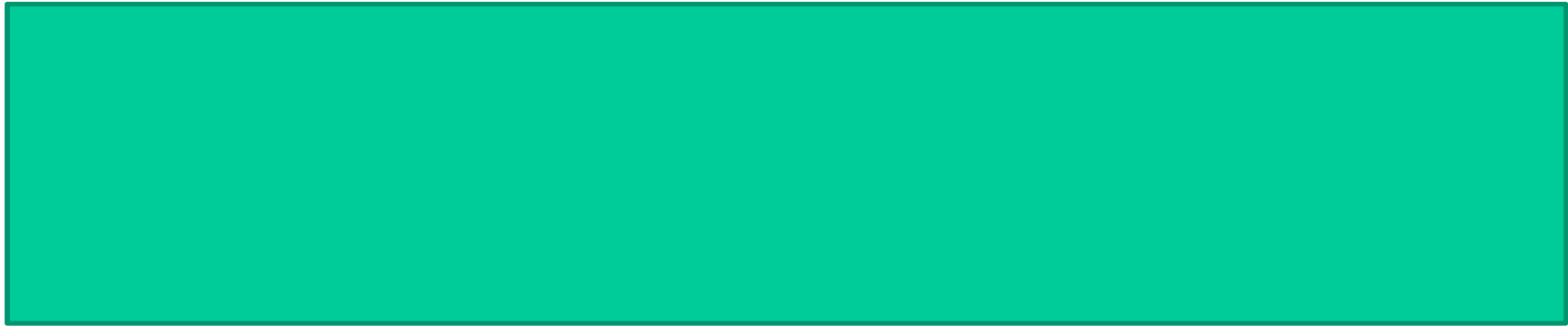
Iz krivulje brzine sušenja (slika 2.) brzina sušenja je u prvoj fazi 0,768 g/cm² h. To odgovara:

Ako je sloj materijala debljine 4 cm, 100 g materijala ima površinu:

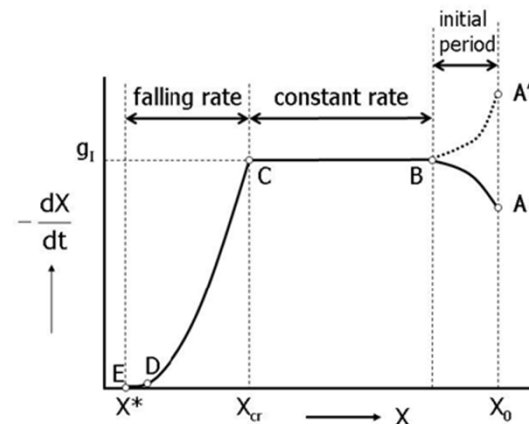
$$\frac{100}{1,25 \cdot 4} = 20cm^2 \quad 1,25\text{- specifična masa vlažnog biomaterijala [g/cm³]}$$

Stoga je:

$$\tau_1 = \frac{23g}{0,768 \frac{g}{cm^2 h} 20cm^2} = 1,5h$$



- vrijeme zagrijavanja 1,0h
- vrijeme trajanja prve faze 1,5 h
- vrijeme trajanja druge faze 7,5 h



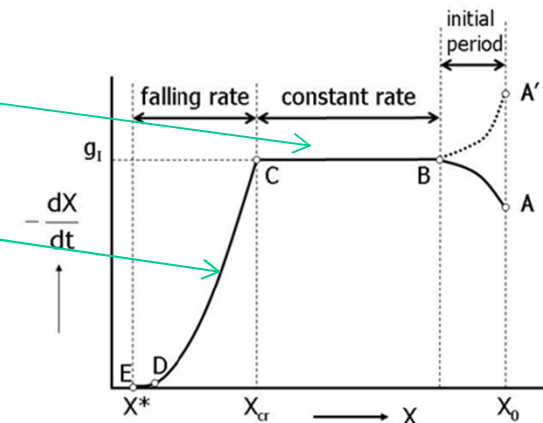
Nakon što su izračunata vremena trajanja pojedinih faza procesa sušenja postavljaju se toplinske bilance za svaku fazu zasebno

1. Utrošak topline za zagrijavanje

- Utroška topline za grijanje sušionika (uređaja)
- Utrošak topline za zagrijavanje materijala
- Utrošak topline za zagrijavanje izolacije

2. Utrošak topline za sušenje

- faza konstantne brzine sušenja i
- faza opadajuće brzine sušenja



Poznate su sljedeće vrijednosti:

-temperatura materijala na ulazu u sušionik 54°C

-Temperatura pare za zagrijavanje 110°C

-Tlak pare 1,5 atm

-Temperatura okolnog zraka 15°C

-Ostvareni vakuum tijekom procesa sušenja 0,15 atm

1. Utrošak topline za zagrijavanje

Utroška topline za grijanje sušionika (uređaja) (Q_{ured})

Količina topline izračunava se iz formule:

$$Q_{ured} = m_{ured} \cdot c_{ured} (t_{ured} - t_{okol})$$

Masa sušionika približno je 11000 kg. Debljina lima okvira za sušenje je 0.8 mm, svaki će okvir težiti oko 3 kg;

Dakle ukupna težina zajedno s okvirima je 11220kg.

Sušionik se mora zagrijati na 60°C;

$$t_{okol} = 15^{\circ}\text{C}$$

Specifična toplota ljevanog željeza $c = 0,115\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$

Slijedi:

$$Q_{ured} = 11220 \cdot 0,115 (60 - 15) = 58000 \text{ kcal}$$

Utrošak topline za zagrijavanje materijala (Q_{mat})

$$Q_{mat} = m_{mat} \cdot c_{mat} (t_{mat} - t_{okol})$$

Određeno je:

$$m_{mat} = 1600 \text{ kg}; t_{mat} = 54 \text{ }^\circ\text{C}; t_{okol} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Specifična toplina biomaterijala može se izračunati iz elementarne analize materijala, ako se suši biomas kvasca ($\text{C}_{9,09}\text{H}_{16,54}\text{O}_{4,97}\text{N}$)

Atomske specifične topline elemenata:

$$\text{C}=1,8; \text{H}=2,3; \text{O}=4,0; \text{N}=6,2 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$c = \frac{n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot c_3 + \dots}{M}$$

$$c = \frac{1,8 \cdot 9,09 + 2,3 \cdot 16,54 + 4,0 \cdot 4,97 + 1 \cdot 6,2}{219,5} = \frac{80,484}{218,5} = 0,368 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$$

Stoga je:

$$c_{mat} = 0,40 \cdot 0,368 + 0,6 \cdot 1 = 0,747$$

Slijedi:

$$Q_{mat} = 1600 \cdot 0,747 (54 - 15) = 46612 \text{ kcal}$$

Utrošak topline za zagrijavanje izolacije (Q_{izo})

Sušionik je uzoliran slojem azbesta i kremene zemlje debljine 65 mm;

Masa izolacije je $m_{izo} = 885$ kg

Specifična toplina izolacije je $c_{izo} = 0,22$ kcal/kg °C

Srednja temperatura izolacije je $t_{izo} = 43$ °C

Slijedi:

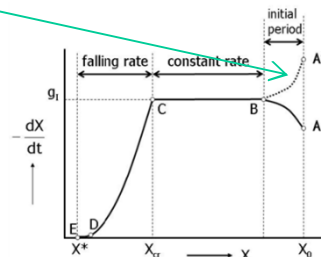
$$Q_{izo} = 885 \cdot 0,22 (43 - 15) = 5450 \text{ kcal}$$

Dobivamo:

$$Q_{zagr} = Q_{ured} + Q_{mat} + Q_{izol} = 58000 + 46612 + 5450 = \mathbf{110062 \text{ kcal}}$$

Zagrijavanje traje 1 h stoga je utrošak topline za zagrijavanje

$$\frac{110062}{1,0} = 110062 \text{ kcal / h}$$

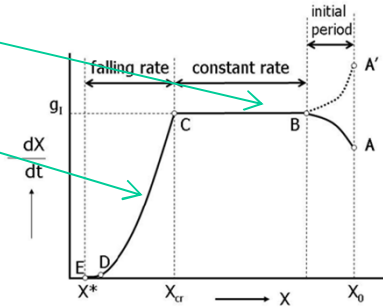


2. Utrošak topline za sušenje

1. U prvoj fazi (konstantna brzina sušenja) (Q_1)

2. U drugoj fazi (faza opadajuće brzine sušenja) (Q_2)

$$Q_{suš} = Q_1 + Q_2$$



1. Izračunavanje utroška topline u prvoj fazi procesa sušenja (Q_1)

$$Q_1 = Q_{isp} + Q_{gub}$$

a) Utrošak topline za isparavanje vode (Q_{isp})

b) Utrošak topline za pokriće gubitaka (Q_{gub})

a) Utrošak topline za isparavanje vode (Q_{isp})

Iz materijalne bilance izračunato je da se tijekom prve faze koja traje 1,5 h ispari 368 kg vode.

Slijedi:

$$W = \frac{368}{1,5} = 245 \text{ kg / h}$$

Toplina isparavanja pri tlaku 0,15 atm i temperaturi 54 °C je:

$r = 566 \text{ kcal/kg}$ (tablični podatak)

Stoga je utrošak topline:

$$Q_{isp} = W \cdot r = 245 \cdot 566 = \mathbf{138600} \text{ kcal/h}$$

b) Utrošak topline za pokriće gubitaka (Q_{gub})

Toplina potrebna za pokriće gubitaka izračunava se prema jednadžbi:

$$Q_{gub} = K \cdot A_{vanjski} \cdot \Delta t$$

Pri čemu je:

K - koeficijent prolaza topline s bridova sušionika na okolni zrak

$A_{vanjski}$ - vanjska površina sušionika (30 m²)

Δt - temperaturna razlika između unutrašnjosti sušionika i okolnog zraka

Da bi izračunali koeficijent prolaza topline potrebno je poznavati:

-Koeficijent prelaza topline kondezirajućih para iz smjese para-plin

$$\alpha_1 = 300 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

-Debljinu stijenke sušionice

$$\delta_1 = 0,025 \text{ m}$$

-Toplinsku vodljivost ljevanog željeza

$$\lambda_1 = 35 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$$

-debljinu izolacije

$$\delta_2 = 0,065 \text{ m}$$

-Toplinsku vodljivost izolacije

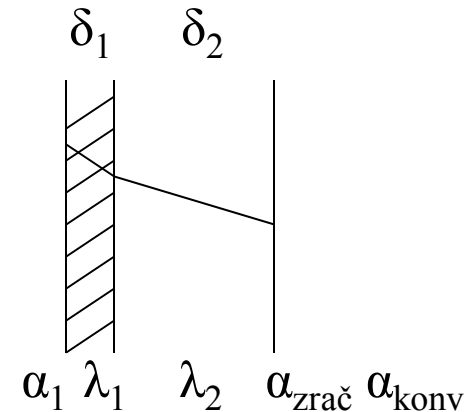
$$\lambda_2 = 0,19 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$$

-koeficijent zračenja

$$\alpha_{\text{zrač}} = 4,68 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

-koeficijent konvekcije

$$\alpha_{\text{konv}} = 3,69 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$



Stoga je

koeficijent prolaza topline s bridova sušionika na okolni zrak (K)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,025}{35} + \frac{0,065}{0,19} + \frac{1}{4,68 + 3,69}} = 2,17 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$$

$$Q_{gub} = K \cdot F_{vanjski} \cdot \Delta t = 2,17 \cdot 30 \cdot (54 - 15) = 2540 \text{ kcal/h}$$

Utrošak topline u prvoj fazi procesa sušenja:

$$Q_1 = Q_{isp} + Q_{gub} = 138600 + 2540 = \mathbf{141140 \text{ kcal/h}}$$

2. Izračunavanje srednjeg utroška topline u drugoj fazi procesa sušenja (Q_2)

Utrošak topline u drugoj fazi sušenja izračunava se an isti način kao u prvoj fazi:

$$Q_2 = Q_{isp} + Q_{gub}$$

Iz materijalne bilance izračunato je da se tijekom druge faze koja traje 7,5 h ispari 586 kg vode.

Slijedi:

$$W = \frac{586}{7,5} = 78,2 \text{ kg / h}$$

Toplina isparavanja pri tlaku 0,15 atm je $r = 566 \text{ kcal/kg}$

Stoga je utrošak topline:

$$Q_{isp} = W \cdot r = 78,2 \cdot 566 = 44300 \text{ kcal/h}$$

Već prije su izračunati gubici topline ($Q_{gub} = 2540 \text{ kcal/h}$)

Prema tome u drugoj fazi sušenja utrošeno je:

$$Q_2 = Q_{isp} + Q_{gub} = 44300 + 2540 = 46840 \text{ kcal/h}$$

Iz dosada izračunatog slijedi da je utrošak topline po satu maksimalan u prvoj fazi sušenja biomase kvasca tj

$$Q_{maks} = 141140 \text{ kcal/h}$$

Iz toplinske bilance ukupni utrošak topline je:

$$Q_{zagr} = Q_{ured} + Q_{mat} + Q_{izol} = 58000 + 46612 + 5450 = \mathbf{110062kcal}$$

$$Q_{suše} = Q_1 + Q_2 + Q_{izol} = 138600 \cdot 1,5 + 44300 \cdot 7,5 = \mathbf{540000kcal}$$

$$Q_{zagr} + Q_{suše} = \mathbf{110062 + 540000 = 650062kcal}$$

Potrebna masa zasićene vodene pare (tlak=1,5 atm, temp.=110 °C) za grijanje tijekom jednog pogonskog perioda je

$$\frac{650056kcal}{533kcal/kg} = 1219kg$$

Toplina isparavanja vodene pare pri 110 °C je 533 kcal/kg (tablični podatak)

Gubitak topline kondenzata:

$$1219 \text{ kg} \cdot 110 \text{ kcal/kg} = \mathbf{134157 \text{ kcal}}$$

Entalpija kondenzata vodene pare pri 110 °C je 110 kcal/kg (tablični podatak)

$$Q_{ukupno} = \mathbf{650062kcal + 134157 \text{ kcal} = 784219 \text{ kcal}}$$

U jednom pogonskom periodu ispari se 954 kg vode, stoga je specifični utrošak topline na isparavanje vode:

$$d = \frac{1219}{954} = 1,27 \text{ kg pare / kg isparene vode}$$

Srednji utrošak pare po satu je:

$$D = \frac{1219}{10} = 122 \text{ kg / h}$$

Maksimalni utrošak pare u prvoj fazi sušenja je:

$$D_{\max} = \frac{141140 \text{ kcal / h}}{533 \text{ kcal / kg}} = 266 \text{ kg / h}$$

Cjevovod za dovod pare za grijanje mora biti projektiran za protok od 266 kg/h.

Na osnovi toplinske bilance izračunavamo efikasnost procesa sušenja:

$$E = \frac{(Q_{suše} + Q_{ugrijvode})100}{Q_{ukup}} = \frac{[540000 + 954 \cdot 1(54 - 15)]100}{784219} = 73\%$$