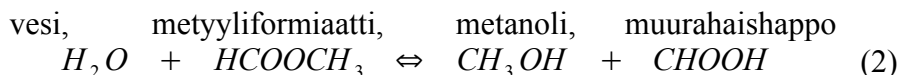
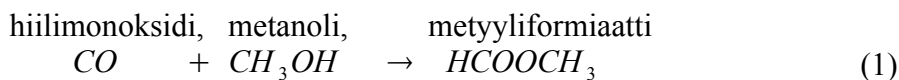
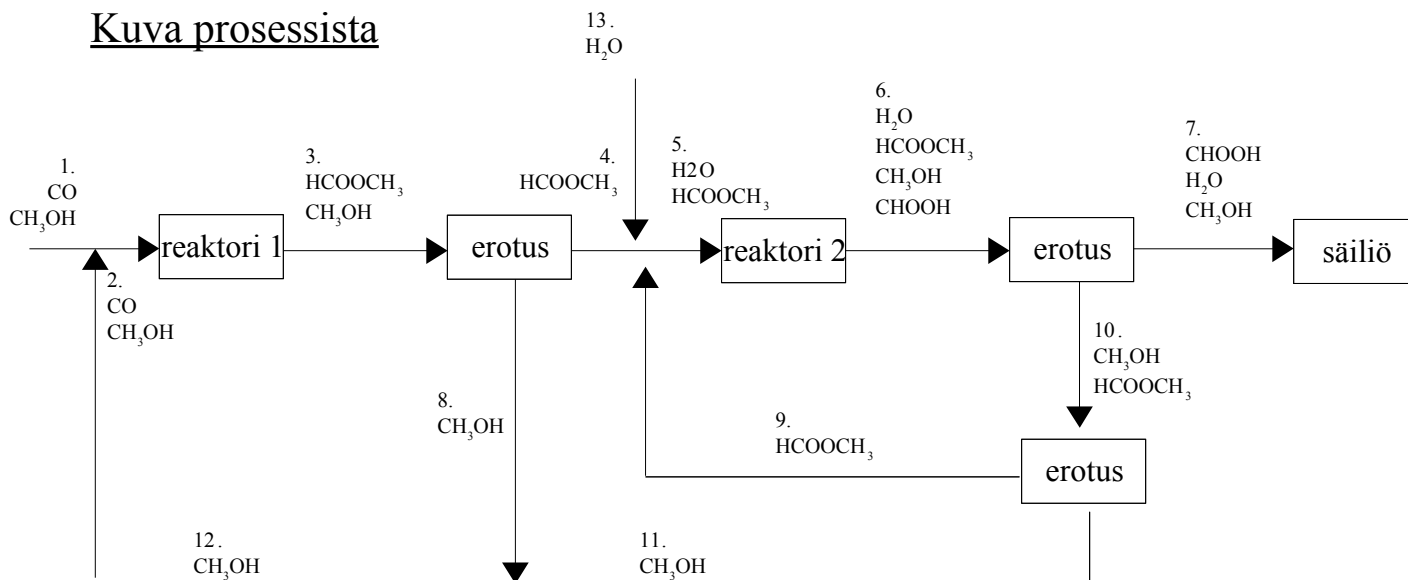


Tuotteet ja reaktiot:



Kuva prosessista



Oletukset

- Muurahaishappoa (CHOOH) valmistetaan 6,6 tonnia/h (100%), eli säiliöön menevässä virrassa 7 on muurahaishappoa 6,6 tonnia tunnissa.
- Metyyliformiaatin (HCOOCH₃) konversio muurahaishapoksi 52 %
- Metanolia syötetään 19 mol-% ylimäärä reaktoriin 1
- Varastosäiliön liuos sisältää muurahaishappo 58 mol-% ja metanoli 0,8 mol-%, loput vettä

Tuoresyöttöjen suuruuksia ja kaikkia virran komponentteja laskettaessa kuvitellaan tasealue jokaisen prosessilaitteen ympärille ja virtojen risteyskohtiin. Reaktioyhtälöiden 1,2 ja 3 perusteella nähdään, että jokaista tuotettua moolimäärää kohti tarvitaan tasan yksi mooli lähtöaineita.

Massavirtojen sijasta voidaan siis laskea moolivirroilla. Käytetään laskuissa merkintätapaa:

n virran numero, komponentti (moolivirta merkitään kirjoittamisen helpottamiseksi ilman yläpistettä)

Virrat komponentteittain

Lasketaan ensiksi tuotteiden moolimassat taulukkokirjan avulla

hiilimonoksidi	$M(\text{CO}) = (12,01+16) \text{ g/mol}$	28,01 g/mol
metanoli	$M(\text{CH}_3\text{OH}) = (12,01+4*1,008+16) \text{ g/mol}$	32,042 g/mol
metyyliformiaatti	$M(\text{HCOOCH}_3) = (4*1,008+2*12,01+2*16) \text{ g/mol}$	60,052 g/mol
vesi	$M(\text{H}_2\text{O}) = (2*1,008+16) \text{ g/mol}$	18,016 g/mol
muurahaishappo	$M(\text{CHOOH}) = (12,01+1,008+2*16) \text{ g/mol}$	46,026 g/mol

Jos (100%) muurahaishappoa halutaan valmistaa 6600 kg/h, niin

$$n_{6, \text{CHOOH}} = m/M = (6\,600\,000 \text{ g})/(46,02 \text{ g/mol}) = 143\,397,21 \text{ mol} = n_{7, \text{CHOOH}}$$

Varastosäiliön liuos sisältää 58 mol-% muurahaishappoa, yhteensä säiliössä on siis ainetta:

$$n * 0,58 = 143\,397,21 \text{ mol}$$

$$n = (143\,397,21 \text{ mol})/0,58 = 247\,236,57 \text{ mol}$$

Lähtötietojen mukaan tämä varastosäiliössä oleva liuos sisältää myös 0,8 mol-% metanolia,

$$n_{7, \text{CH}_3\text{OH}} = 247\,236,57 \text{ mol} * 0,008 = 1977,89 \text{ mol}$$

Loput varastosäiliön liuoksesta on siis vettä:

$$n_{7, \text{H}_2\text{O}} = 247\,236,57 \text{ mol} - 1977,89 \text{ mol} - 143\,397,21 \text{ mol} = 101\,861,47 \text{ mol}$$

Nyt voidaan laskea virtoja taaksepäin.

$$n_{7, \text{H}_2\text{O}} = n_{6, \text{H}_2\text{O}} = 101\,861,49 \text{ mol}$$

Metyyliformiaatin konversio muurahaishapoksi on 52 mol-%. Metyyliformiaattia on siis muuttunut muurahaishapoksi 52 %.

$$n_{5, \text{HCOOCH}_3} * 0,52 = n_{6, \text{CHOOH}}$$

$$n_{5, \text{HCOOCH}_3} * 0,52 = 143\,397,21 \text{ mol}$$

$$n_{5, \text{HCOOCH}_3} = 275\,763,86 \text{ mol}$$

Metyyliformiaattia on siis jäljellä 48 mol-%.

$$n_{6, \text{HCOOCH}_3} = 0,48 * n_{5, \text{HCOOCH}_3}$$

$$n_{6, \text{HCOOCH}_3} = 0,48 * 275\,763,86 \text{ mol} = 132\,366,65 \text{ mol}$$

$$n_{10, \text{HCOOCH}_3} = n_{6, \text{HCOOCH}_3} = n_{9, \text{HCOOCH}_3} = 132\,366,65 \text{ mol}$$

$$n_{5, \text{HCOOCH}_3} - n_{9, \text{HCOOCH}_3} = n_{4, \text{HCOOCH}_3}$$

$$n_{4, \text{HCOOCH}_3} = (275\,763,86 - 132\,366,65) \text{ mol} = 143\,397,21 \text{ mol}$$

$$n_{3, \text{HCOOCH}_3} = n_{4, \text{HCOOCH}_3} = 143\,397,21 \text{ mol}$$

Reaktioyhtälö 2 kertoo, että veden kulutus on sama kuin metyyliformiaatin. Vettä kuluu siis yhtä paljon kuin metyyliformiaattia on reaktori 2:ssa kulunut.

$$n_{5, \text{H}_2\text{O}} = n_{6, \text{H}_2\text{O}} + (n_{5, \text{HCOOCH}_3} - n_{6, \text{HCOOCH}_3}) = 101\,861,49 \text{ mol} + (275\,763,86 - 132\,366,65) \text{ mol} = 245\,258,7 \text{ mol}$$

Veden tuoresyöttö on siis sama. $n_{13, H_2O} = n_{5, H_2O} = 245\,258,7 \text{ mol}$

Reaktioyhtälön 2 mukaan metanolin kulutus on yhtä suuri kuin metyyliformiaatin. Metanolia syntyy siis yhtä paljon, kuin metyyliformiaattia on kulunut reaktorissa 2.

$$n_{6, CH_3OH} = n_{5, HCOOCH_3} - n_{6, HCOOCH_3} = 275\,763,86 \text{ mol} - 132\,366,65 \text{ mol} = 143\,397,21 \text{ mol}$$

$$n_{10, CH_3OH} = n_{6, CH_3OH} - n_{7, CH_3OH} = (143\,397,21 - 1977,89) \text{ mol} = 141\,419,32 \text{ mol}$$

$$n_{11, CH_3OH} = n_{10, CH_3OH} = 141\,419,32 \text{ mol}$$

Reaktioyhtälön 1 mukaan 1 mooliin metyyliformiaattia tarvitaan 1 mooli hiilimonoksidia, eli

$$n_{2, CO} = n_{3, HCOOCH_3} = 143\,397,21 \text{ mol ja } n_{1, CO} = n_{2, CO} = 143\,397,21 \text{ mol}$$

Metanolia syötetään 19 mol-% ylimäärä reaktoriin 1, eli ylimäärä hiilimonoksidiin nähden:

$$n_{2, CH_3OH} = 1,19 * n_{2, CO} = 1,19 * 143\,397,21 \text{ mol} = 170\,642,68 \text{ mol}$$

Virrassa kolme metanolia on siis jäljellä vain ylimäärä, eli $0,19 *$ alkuperäinen metanolin määrä:

$$n_{3, CH_3OH} = 0,19 * n_{2, CO} = 0,19 * 143\,397,21 \text{ mol} = 27\,245,47 \text{ mol}$$

$$n_{8, CH_3OH} = n_{3, CH_3OH} = 27\,245,47 \text{ mol}$$

$$n_{12, CH_3OH} = n_{8, CH_3OH} + n_{11, CH_3OH} = (27\,245,47 + 141\,419,32) \text{ mol} = 168\,664,79 \text{ mol}$$

$$n_{1, CH_3OH} = n_{2, CH_3OH} - n_{12, CH_3OH} = (170\,642,68 - 168\,644,79) \text{ mol} = 1977,89 \text{ mol}$$

$$n_{1, CH_3OH} = n_{7, CH_3OH} = 1977,89 \text{ mol}$$

B) Virrat komponenteittain taulukoituna (kmol/h)

Virra	CO	CH ₃ OH	HCOOCH ₃	H ₂ O	CHOOH
1	143,4	1,98			
2	143,4	170,6			
3		27,2	143,4		
4			143,4		
5			275,8	245,3	
6		143,4	132,4	101,9	143,4
7		1,98		101,9	143,4
8		27,2			
9			132,4		
10		141,4	132,4		
11		141,4			
12		168,6			
13				245,3	

A) Tuoresyöttöjen suuruudet (kg/h)

Hiilimonoksi (CO) = $143\,397,21 \text{ mol/h} * 28,01 \text{ g/mol} \approx 4016,6 \text{ kg/h}$

Vesi (H₂O) = $245\,258,7 \text{ mol} * 18,016 \text{ g/mol} \approx 4418,6 \text{ kg/h}$

Metanoli (CH₃OH) = $1977,89 \text{ mol} * 32,042 \text{ g/mol} \approx 63,4 \text{ kg/h}$

Kohta C

Muodostetaan tilavuusvirran muutokselle yhtälö ulosvirtauksen kaavan avulla. Ulosvirtaus noudattaa kaavaa kh , jossa h on nestepinnan korkeus metreissä ja k on tietty poistokerroin (tehtävässä $0,072 \text{ m}^2/\text{s}$). Kuvitellaan, että tilavuuden muutos on siis negatiivista.

$$\frac{dV}{dt} = -kh$$

Jotta separoituva differentiaaliyhtälö voidaan ratkaista, tilavuusvirran muutos pitää lausua siten, että yhtälössä olevan korkeus-termi korvataan tilavuudella. Nestepinnan korkeus pitää siis lausua tilavuuden avulla, käyttäen muunnosta:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow h = \frac{V}{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow h = \frac{V}{\pi * \frac{D^2}{4}} \rightarrow h = \frac{4V}{\pi * D^2} \rightarrow 0,06017 * V \text{ (metriä)}$$

Tilavuusvirran muutosta kuvaa nyt siis yhtälö:

$$\frac{dV}{dt} = -0,0072 * 0,06017 V \rightarrow \frac{dV}{dt} = -0,004332 V$$

Lasketaan integroimisrajat:

Alaraja: lopputilavuus = alkuperäinen tilavuus * täyttöaste = $110 \text{ m}^3 * 0,83 = 91,3 \text{ m}^3 = V_1$

Yläraja: lähtötilavuus = alkuperäinen tilavuus * täyttöaste = $110 \text{ m}^3 * 0,12 = 13,2 \text{ m}^3 = V_2$

Integroitava yhtälö on nyt muotoa:

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -0,004332 \int_0^t dt \quad , \text{ josta integroimalla saadaan:}$$

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = -0,004332 t \rightarrow \ln \left(\frac{13,2}{91,3} \right) = -0,004332 t \rightarrow -1,93393 = -0,004332 t$$

$t \approx 446,4 \text{ sekuntia}$

Tyhjennys kestää siis noin 7 minuuttia ja 30 sekuntia.

Kohta D

Säiliöön syötetään nyt samanaikaisesti uutta liuosta $30 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Tilavuuden pieneneminen kuvitellaan edelleenkin negatiiviseksi ja integroimisrajat ovat samat kuin kohdassa C. Lasku on siis muuten aivan samanlainen, mutta siihen on vain lisätty mukaan sisääntulovirta, josta käytän merkintää in -termi.

Tilavuusvirran muutosta kuvaa nyt yhtälö:

$$\frac{dV}{dt} = -out + in \rightarrow \frac{dV}{dt} = -kh\left(\frac{m^3}{s}\right) + 0,03\left(\frac{m^3}{s}\right) \rightarrow \frac{dV}{dt} = -0,004332 V\left(\frac{m^3}{s}\right) + 0,03\left(\frac{m^3}{s}\right)$$
$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{dt} = \int_0^t (-0,004332 V + 0,03) \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{-0,004332 V + 0,03} = \int_0^t dt$$

Kerrotaan ylempi yhtälö termillä $-0,004332$, jotta voidaan käyttää kaavaa $\int \frac{f'}{f} dx = \ln|f| + C$

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{-0,004332 V + 0,03} = \int_0^t dt \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} \frac{-0,004332}{-0,004332 V + 0,03} = -0,004332 \int_0^t dt \rightarrow$$

$-0,004332 t = \ln|-0,004332 V_2 + 0,03| - (\ln|-0,004332 V_1 + 0,03|)$, sijoitetaan integroimisrajat

$$-0,004332 t = \ln|-0,004332 * 13,2 + 0,03| - (\ln|-0,004332 * 91,3 + 0,03|)$$
$$-0,004332 t = \ln|-0,0272| - \ln|-0,3655|$$

$$-0,004332 t = -3,6 - (-1) \rightarrow t = \frac{2,6}{0,004332} \rightarrow t \approx 600,2 \text{ sekuntia}$$

Tyhjennys kestää siis noin 10 minuuttia. Tyhjennykseen kulunut aika kasvoi siis vain noin reilut kaksi minuuttia.