

CHEM-A1120 - Virtaustekniikka ja lämmönsiirto  
Välikoe 2 (VK2) , 6.4.2020 kl 9-14, Mellanprov 2 (VK2)

- Välikokeen teoriaosuuus on kokeen ensimmäinen tunti (1 h)
- VK1:n lisänä suorittaville on molemmille teoriaosuuksille (VK2 ja VK1) aikaa yhteensä 1.5 h
- Teoriaosa palautetaan Microsoft Word® (.doc/.docx) tai Adobe® PDF muodossa se on tyyppiltään suorasanainen essee kuten lukion ainekirjoitus.
- Teoriaosuuus päättyy MyCourses -järjestelmässä automaattisesti ja opiskelijan on pidettävä itsensä huolta, että ehtii ajoissa palauttamaan välikokeen teoriaosionsa oikeaan MyCourses palautuslaatikkoon.
- MyCourses osiosta **Välikoe** löytyvät tehtävät **Tehtävät VK2 ja Tehtävät VK2 ja VK1 yhdessä**, Turnitin palautuslaatikot **VK2 Teoria, VK2 ja VK1 Teoria, Lisääika Teoria**.
- Sinulla on pääsy vain ilmoittautumisesi mukaisiin alueisiin
- Kokeen laskuosa on kokeen loppuaika ja päättyy automaattisesti MyCourses -järjestelmässä, opiskelijan on pidettävä itse huolta, että ehtii ajoissa palauttamaan välikokeen teoriaosionsa oikeaan MyCourses palautuslaatikkoon.
- Kaavaeditorin käyttö vastauksissa on suotavaa mutta on sallittua kuvata siistit käsinkirjoitetut laskut (kaavat, kaavaan sijoitukset, yksiköt, tms) ja liittää ne vastaukseen, mutta vastaajan on huolehdittava siitä, että jälki on selkeää ja luettavaa ja tiedostot eivät paisu järjettömän suuraksi.
- Palauta laskuosuuus yhtenä (1) failina Microsoft Word® (.doc/.docx) tai Adobe® PDF
- Laskuosuuden palautuslaatikot **Laskut VK2** sulkeutuu kl 14.00, **Laskut VK2 & lisääika** sulkeutuu kl 15, **Laskut VK2 ja VK1** (VK1 ja VK2 yhdessä suorittavat) sulkeutuu kl 17.00
- Laskuosan saa aloittaa teoriakokeelle varattuna aikana
- Kaikkiin tehtäviin vastataan

Svenska

- Mellanprovets teoridel är första timmen (1h) av provet.
- För dem som skriver Mellanprov 1 vid sidan om Mellanprov 2 har tid 1.5 h tillsammans
- Teoridelen återlämnas med Microsoft Word® (.doc/.docx) eller Adobe® PDF format.
- Teoridelen är essä, som en uppsatsskrivning i skolan.
- Teoridelen slutar automatiskt och studenten måste själv se till att teoridelen återlämnas i tid till den rätta återlämnings låda.
- Sinulla on pääsy vain ilmoittautumisesi mukaisiin alueisiin
- I MyCourses del **Välikoe** finns frågorna **Tehtävät VK2 ja Tehtävät VK2 ja VK1 yhdessä**, Turnitin återlämnings lådor **VK2 Teoria, VK2 ja VK1 Teoria, Lisääika Teoria**.
- Du har tillträde bara till områden du har anmält dig
- Provets räkningar, som är tidsmässigt provets sluttid, slutar automatiskt i MyCourses, studenten måste själv se till att räkningarna återlämnas i tid till den rätta återlämnings låda.
- Att använda en ekvations editor är önskvärt men det är tillåtet att fotografera snygga handskrivna räkningar (ekvationer, enheter etc.) och sammanbinda dem till ditt svar. Men du måste ta hand om att svaret är snyggt, lätt att läsa och att filerna inte blir alt för stora
- Lämna in räkningarna som en (1) fil Microsoft Word® (.doc/.docx) eller Adobe® PDF
- Räkningarnas återlämnings lådor är **Laskut VK2** stängs kl 14.00, **Laskut VK2 & lisääika** stängs kl 15, **Laskut VK2 ja VK1** (VK1 ja VK2 tillsammans) stängs kl 17.00
- Du kan börja på med räkningarna redan under teoridelen
- Svara på alla frågor

## **Teoria/Theori**

### **T1 8p**

Työskentelet aamusta lähtien maaliskuun lopussa työpöytäsi ääressä ikkunan edessä. Ikkunan alla on valurautapatteri, jota lämmittää lämmitysvesi. Vettä patteriverkossa kierrättää talon pannuhuoneessa oleva pumppu. Seinä on paksu tiilistä muurattu sekä ulko- että sisäseinässä on rappaus. Seinä on hieman viileä patterin vieressä. Ikkuna on kolmikerroksinen, kerrosten välissä on argonia. Ikkunanpuitteessa on ilmanottoventtiili. Olet joskus kokeillut sitä sormella ja todennut vienon ilmavirran virtaavan sisään. Kello kahdentoinsta aikaan aurinko on kiertänyt etelään ja tulee näkyviin ikkunasta ja sinulle tulee kuuma.

Kirjoita yllä olevasta kuvauksesta essee, jossa kuvaat kurssilla opituilla ilmiöillä, fysiikalla ja käsitleillä lämmön siirtymisen huoneeseen ja huoneesta pois ylös kuvausmukaisessa tilanteessa. Selitä lyhyesti (avaa) käytetyt termit (n. 4 kpl). Kirjoita tiiviisti, suuri määrä tekstiä ei osoita suurempaa osaamista.

### **T1 8p Svenska**

Du har arbetat sedan morgonen vid ditt skrivbord framför ditt fönster. Det är slutet av mars. Under fönstret är en radiator (värmebatteri) av gjutjärn som värmes med vatten. I ledningsnätet cirkuleras vattnet med en pump. Väggen är ganska tjock av murat tegel med ett lager av rappning både ute och inne. Väggen är sval bredvid radiatorn (värmebatteri). Fönstret har tre glas lager, mellan lagren finns det argon. I fönsterbågen finns det en luftintagnings ventil. Du har någon gång känt med ditt finger och konstaterat att en liten ström av sval luft strömmar in. Klockan tolv har solen vänt sig till söder och börjat skina in i ditt rum. Det blir varmt för dig.

Skriv en essä av beskrivningen ovan. Beskriv vad som händer med fenomen, fysik och begrep du har lärt dig på kursen om hur varme transporteras in och ut från rummet. Förklara kort termerna du använder (ungefär 4 stycken). Skriv kompakt text, mycket text visar inte bättre kunnande.

## **Laskut/Räkningar**

### **L1. (6p)**

150 m<sup>3</sup> bioreaktorissa tuotetaan biomassaa. Prosesin hapenkulutus O<sub>2</sub> on 1,5 kg/(m<sup>3</sup> h). Prosesin bioreaktio on eksoterminen ja sen lämmöntuotanto on kulutettua O<sub>2</sub> moolia kohti 460 kJ/mol. Reaktorin sekoituksesta bioreaktoriin aiheutuu lämpövirta 1,0 kW/m<sup>3</sup>. Reaktorin vaipassa kiertää 10 °C:sta jäähdystsvettä 60 m<sup>3</sup>/h. Oletetaan, että systeemi toimii tasapainotilassa ja kaikki syntynyt lämpö siirtyy jäähdystsveteen. Laske jäähdystsveden poistumislämpötila. Hapen (O<sub>2</sub>) M= 32 g/mol, jäähdystsveden Cp= 4,19 kJ/kg°C, tiheys 1000 kg/m<sup>3</sup>.

### **L1. (6p)**

Biomassa produceras i en 150 m<sup>3</sup> bioreaktor. Syreförbrukningen (O<sub>2</sub>) av processen är 1,5 kg / (m<sup>3</sup> h). Bioreaktionen i processen är exotermisk och dess värmeproduktion är 460 kJ/mol (per förbrukad O<sub>2</sub> mol). Värmeflödet till reaktorn från blandning är 1,0 kW/m<sup>3</sup>. Till reaktorns mantel matas kylvattnen 60 m<sup>3</sup>/h, vattnets temperatur 10 °C. Det antas att systemet är i steady state och all den varme som genereras överförs till kylvattnet. Beräkna kylvattnets temperatur i utflödet. Syre (O<sub>2</sub>) M = 32 g / mol, kylvattnet Cp = 4,19 kJ/(kg / °C), densitet 1000 kg / m<sup>3</sup>.

**L2. (6p)**

Prosessiliuosta lämmitetään kylläisellä höyryllä (1-2) -lämmönsiirtimessä, jossa prosessiliuos on putkipuolella ja höyry vaippapuolella. Prosessilioksen virtaama on  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ . Siirtimessä virtaus menee kerralla 50 putken läpi. Putkien ulkohalkaisija 25 mm ja seinämän paksuus 2 mm. Prosessilioksen syöttölämpötila on  $30^\circ\text{C}$  ja ulosmenolämpötila  $70^\circ\text{C}$ . Höyryn paine on 1.5 bar ja höyrystä käytetään vain lauhtumislämpö eli poistuva lauhde on kylläistä nestettä. Vaippapuolen lämmönsiirtokerroin on  $8000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

- a) Laske kuinka paljon höyryä tarvitaan 1p
- b) Laske kokonaislämmönlämpäisykerroin 3 p
- c) Laske tarvittava lämmönsiirtopinta-ala 2p

$$\text{Prosessilioksen keskimääriäisiä ainearvoja: } \bar{\rho} = 640 \text{ kg/m}^3, \quad \bar{\eta} = 0.70 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(ms)}, \\ \bar{c}_p = 0.880 \text{ kJ/(kg K)}, \quad \bar{\lambda} = 0.185 \text{ W/(m K)}$$

Veden ainearvoja: Kylläinen höyry 1,5 bar,  $T= 111^\circ\text{C}$ , höyrystymislämpö 2227 kJ/kg

Putkimateriaali on terästä ja lämmönjohtavuus  $45 \text{ W}/(\text{m K})$

Putkipuolen lämmönsiirtokerroin lasketaan

$$\overline{Nu} = 0.023 \overline{Re}^{0.8} \overline{Pr}^{0.33}$$

**L2. (6p)**

Processvätska värms med mättad ånga i en (1-2) -värmeväxlare, process vätskan strömmar i rören, ångan strömmar på mantel sidan. Strömmingen av process vätskan är  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ . I värmeväxlaren strömmningen strömmar på en gång i 50 rör. Yttre diametern av rören är 25 mm och tjockheten av rörets vägg är 2 mm. Inmatnings temperaturen av process vätskan är  $30^\circ\text{C}$  och utsrömningens temperatur är  $70^\circ\text{C}$ . Trycket av ångan är 1,5 bar, vi antar att bara förångningsvärmen tas till bruk i processen dvs. att ut från mantel sidan strömmar mättad vatten. Värmeöverföringskoefficienten på mantelsidan är  $8000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

- a) Hur mycket ånga behövs 1p
- b) Beräkna den totala värmeöverföringskoefficienten (kokonaislämmönlämpäisykerroin). 3p
- c) Bestäm värmeväxlarens yta 2p

$$\text{Fysikaliska egenskaper av processvätskan: } \bar{\rho} = 640 \text{ kg/m}^3, \quad \bar{\eta} = 0.70 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(ms)} \square \\ \bar{c}_p = 0.880 \text{ kJ/(kg K)}, \quad \bar{\lambda} = 0.185 \text{ W/(m K)}$$

Fysikaliska egenskaper av vatten: mättad ånga 1,5 bar,  $T= 111^\circ\text{C}$ , förångningsvärme 2227 kJ/kg

Rörmaterialet är stål med en värmceledningsförmåga av  $45 \text{ W}/(\text{m K})$ .

Värmeöverföringskoefficienten som härstammar från konvektion inne i rören:

$$\overline{Nu} = 0.023 \overline{Re}^{0.8} \overline{Pr}^{0.33}$$

**L3. (6p)**

Mitkä ovat lämpöhäviöt 6 m pituisesta vaakasuorasta höyryputkesta, jonka sisähalkaisija on 54 mm ja ulkohalkaisija 60 mm. Putkessa virtaavan kylläisen vesihöyryyn lämpötila on  $170^\circ\text{C}$ . Ympäristön lämpötila on  $17^\circ\text{C}$ . Putken pinnan emissiviteetti on 0,85. Putken seinämän lämmönsiirtovastus voi-

daan olettaa mitättömäksi. Ulkopinnan konvektiivinen lämmönsiirtokerroin  $h_o = 5,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Stefan-Boltsman vakio  $5,667 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$

- putken seinämän lämmönsiirtovastus mitätön  $\Rightarrow$  putken seinämän lämpötila sama kuin kylläisen höyrylämpötila eli  $170^\circ\text{C}$

a) Laske lämpöhäviö? 3p

b) Kuinka paljon lämpöhäviöt pienevät, jos putki päällystetään 50 mm paksulla eristekerrokolla, jonka lämmönjohtavuus on  $\lambda=0,07 \text{ W/(m K)}$  ja jonka pinnan emissiviteetti on 0,80. Lämmönsiirtokerroin eristekerroksen ulkopinnasta ympäristöön on 15 % pienempi kuin alkuperäisessä tapauksessa putken pinnasta ympäristöön? 3p

(Helpotus b) kohta: Sinun tulisi saada aikaan neljännen asteen yhtälö muuttujana eristeen ulkopinnan lämpötila. Jos sinulla ei ole yhtälöitä ratkova laskinta, niin assarin laskema  $T_o = 303,5 \text{ K}$ , voit vaikka tarkistaa kokeilemalla. Älä kuitenkaan hermostu numeroarvoista, yhtälöt ja laskun flow on tärkeämpi)

### L3 (6p)

Vad är värmeförlusterna i ett 6 m långt horisontalt rör. Rörets inre diameter är 54 mm och yttre diametern 60 mm. I röret strömmar ånga vars temperatur är  $170^\circ\text{C}$ . Omgivningens temperatur är  $17^\circ\text{C}$ . Emissiviteten av rörets yta är 0.85. Du kan anta rörets värmeresistans obetydlig. Rörets konvektiviska värmeförförings koefficient är  $h_o = 5,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Stefan-Boltsman konstant  $5,667 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$

- motståndet för värmeförföring i rörets vägg är mycket liten  $\rightarrow$  temperaturen av röret är samma som ångans temperatur  $170^\circ\text{C}$

a) Räkna värmeförlusten? 3p

b) Hur mycket minskar värmeförlusterna om röret isoleras med ett 50 mm tjockt lager av isolering  $\lambda=0,07 \text{ W/(m K)}$ ? Isoleringens emissivitet är 0,8. Värmeförförings koefficienten är 15% mindre än i punkt a) från rörets yta till omgivningen. 3 p

(Hjälp till punkt b) Du borde få tillstånd en fjärdegradsekvation med isoleringens yttre temperatur som variabel. Om du inte har en kalkylator som kan lösa ekvationer, assistenten räknade  $T_o = 303,5 \text{ K}$ , du kan till exempel prova och testa. Bli inte nervös om nummervärden, räkningens ekvationer och räkningens flow är det viktigaste.