

|  |
| --- |
| **Kursus:** M4TRM1 |
| **Eksamensdato:** 11.06.2021 – 09:00 – 13:00 (forlænget prøvetid 14:00) |
|
| **Eksamenstermin:**  Forår 2021 |
| **Underviser:** Per Lyngs Hansen |
| **Praktiske informationer**  **Ingeniørhøjskolen udleverer:**  Sæt med 3 opgaver og 5 bilag til brug ved besvarelsen  **Digital eksamen:**  Opgaven tilgås og afleveres gennem den digitale eksamensportal.  Håndskrevne dele af opgavebesvarelsen skal digitaliseres og afleveres i den digitale eksamensportal. **Opgavebesvarelsen skal afleveres i PDF-format.**  Husk at uploade og aflevere i Digital eksamen til tiden. Du vil modtage en elektronisk afleveringskvittering, straks du har afleveret.  Husk at aflevere til tiden, da der ellers skal indsendes dispensationsansøgning  **Husk angivelse af navn og studienr. på alle sider, samt i dokumenttitel / filnavn**  Alle hjælpemidler må benyttes, herunder internettet som opslagsværktøj, men det er **IKKE** tilladt at kommunikere med andre digitalt.  **Særlige bemærkninger:** Det er kun muligt at aflevere elektronisk via Digital Eksamen portalen  **Bilag 1: Systemdiagram, figur 1**  **Bilag 2: log *p,h*-diagram for R717, NH3**  **Bilag 3: Systemdiagram, figur 2**  **Bilag 4: Systemdiagram, figur 3**  **Bilag 5: h,x-diagram for fugtig luft (pdf)** |

**Opgave 1**



Figur 1: Systemdiagram for ammoniakkøleanlæg

Figur 1 viser et køleanlæg med ammoniak (R717) som kølemiddel. Anlægget udnyttes til frembringelse af isvand ved frysning af is på en fordamper-rørspiral neddykket i isvand.

Kølekredsen arbejder i driftssituationen under følgende betingelser:

* Fordampningstemperatur −15 °C
* Kondenseringstemperatur 32 °C
* Kuldeydelse på fordamper-rørspiral 50 kW

Der er overophedning på 5 K før kompressoren, tilstand 1. Kompressoren har ved driftssituation en isentropisk virkningsgrad på *η*s = 0,75 og den kan regnes ukølet. Mættet damp fortættes i kondensatoren efterfulgt af en underafkøling på 5 K i tilstand 4.

På højtrykssiden fjernes varme i en vandkølet kondensator. Mellem kompressor og kondensator er indskudt en modstrømsvarmeveksler, en såkaldt overhedningsfjerner. Efter varmeveksleren er dampen netop mættet.

Varmeveksleren benyttes til forvarmning af vand. Volumenstrømmen af vandet er på 1,5 m3/h og vandets tilgangstemperatur er 6 °C.

Data for varmeveksleren:

Indvendig rørdiameter *d*i 25 mm

Vægtykkelse, rør *s*r.  2 mm

Varmekonduktivitet, rør *λ*r 50 W/(m K)

Udvendigt varmeovergangstal (damp) *α*u 100 W/(m2 K)

Indvendigt varmeovergangstal (væske). *α*i  estimeret 1000 W/(m2 K)

Anlæggets dele er effektivt isoleret, så der kan ses bort fra varmeveksling med omgivelserne. Desuden kan der ses bort fra tryktab i rør, varmeveksler, kondensator og fordamper.

**Følgende ønskes bestemt:**

1. Indtegn processen i log *p,h*-diagrammet, bilag 2. Diagrammet afleveres med løsningen
2. Trykkene i henholdsvis fordamper og kondensator [bar]
3. Massestrømmen af kølemiddel R717 i køleanlægget [kg/h]
4. Varmeydelsen overført i varmeveksleren [kW]
5. Den nødvendige rørlængde i varmeveksleren [m] baseret på de angivne lednings- og varmeovergangstal
6. Beskriv (uden detaljerede beregninger) en metode undersøgelse af, om det indvendige varmeovergangstal er *α*i er estimeret korrekt

**Opgave 2**



Figur 2: Systemdiagram for en turbolader

Figur 2 viser systemdiagram for en turbolader monteret i en diselmotor. Turboladernes opgave er at komprimere forbrændingsluften i tilstand 1, inden den suges ind i motoren i tilstand 2. Kompressoren drives af en turbine, hvis effekt hidrører fra ekspansion af røggassen fra motoren mellem tilstand 3 og selve udstødningen i tilstand 4.

Forbrændingsluften antages at være tør atmosfærisk luft, som med god tilnærmelse er en ideal gasblanding med konstant varmekapacitet cV. Vi ignorerer effekten af forbrændingsprodukter i udstødningsgassen. Den konstante luftstrøm er qmL = 20 kg/s.

I driftssituationen varierer tryk og temperaturer som følger:

Tryk p1 i tilstand 1 1,013 bar

Temperatur i tilstand 1, t1 20 °C

Kompressorens trykforhold 1,6

Tryk p3 i tilstand 3 p3 = p2

Temperatur t3 i tilstand 3 500 °C

Tryk p4 i tilstand 4 p4 = p1

Kompressor og turbine regnes begge ukølede. Kompressorens isentropiske virkningsgrad sættes til 0,70.

**Følgende ønskes bestemt:**

1. Opstil energibalancer på kompressor og turbine
2. Bestem den tilførte akseleffekt til kompressoren
3. Bestem turbinens isentropiske virkningsgrad
4. Bestem tryk, temperatur, specifikt gasvolumen og specifik entalpi i tilstande hvor data ikke allerede er opgivet.
5. Skitser luftens processer fra tilstand 1 til 4 i *T,s*-diagram

**Opgave 3**



Figur 3: Systemdiagram for befugtningsanlæg

Figur 3 viser systemdiagram for et aggregat til opvarmning og befugtning af luft, her til et EDB-rum. Anlægget består af en for­varmeflade FV, en befugter BF, en eftervarmeflade EV og en ventilator V.

Anlægget modtager friskluft med forelagt temperatur t1 og relativ fugtighed ϕ1 og luften opvarmes uden ændring af vandindhold til tilstanden 2. Herefter fugtes den til tilstand 3. *Det oplyses, at befugteren fungerer adiabatisk, hvilket betyder, at fugtningsprocessen 2 til 3 forløber uden ændring af luftens specifikke entalpi (isentalp drift).* Efter fugtning eftervarmes luften uden ændring af vandindhold til tilstanden 4 og blæses endelig ind i EDB-rummet, tilstand 5.

Under stationær drift modtager anlægget en konstant fugtig friskluft på qmf = 1,3 kg/s.

I driftssituationen varierer relative fugtigheder og temperaturer som følger:

Relativ fugtighed ϕ1 i tilstand 1 70 %

Temperatur t1 i tilstand 1. 9 °C

Temperatur efter forvarmer FV, t2.  25 °C

Relativ fugtighed ϕ3 efter befugter BF 90 %

Eftervarmeren EV tilføres en varmestrøm på 15 kW.

**Følgende ønskes bestemt:**

1. Beregn massestrømmen af tør luft i anlægget [kg/hr]
2. Optegn processerne 1-3 i vedlagte *h*,*x*-diagram, bilag 5. Diagrammet afleveres med

opgaveløsningen. Værdier for *t, h, x* og ϕ i tilstandene 1-3 i afleveres i tabel

1. Bestem varmestrømmen til forvarmefladen, FV
2. Bestem massestrømmen af vand til befugteren BF
3. Bestem luftens tilstand efter eftervarmefladen EV ved at angive temperaturen t4 og

den relative fugtighed ϕ4