

|  |
| --- |
| **Kursus:** M4TRM1 |
| **Eksamensdato:** 12.06.2023 – 09:00 – 13:00 (forlænget prøvetid 14:30) - rettes |
|
| **Eksamenstermin:**  Forår 2023 |
| **Underviser:** Per Lyngs Hansen |
| **Praktiske informationer**  **Der udleveres:**  Sæt med 3 opgaver og 5 bilag til brug for 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: Figur 1**  **Bilag 2: h,s-diagram for vanddamp**  **Bilag 3: Figur 2**  **Bilag 4: log *p,h*-diagram for R 134a.**  **Bilag 5: Figur 3** |

**Opgave 1**



Figur 1: Systemdiagram for varmegenvinding af udstødningsgas fra en dieselmotor

Figur 1 viser et forenklet systemdiagram for et varmegenvindingsanlæg fra en dieselmotor. Udstødningsgassen leverer varme til et dampkraftanlæg, som er direkte koblet til en generator. Generatoren leverer elektricitet til forbrugere i nærområdet.

Dampkredsprocessen forløber i følgende trin:

* Proces 1 – 2: Fødevand opvarmes ved konstant tryk i fødevandsforvarmeren, hvorefter det tilføres en dampbeholder. I tilstand 2 er vand ved mætningstilstand.
* Proces 2 – 3: Mættet vand strømmer til kedlens dampsektion (kaldet fordamperen), hvor det fordampes til mættet damp og føres tilbage til dampbeholderen.
* Proces 3 – 4: Mættet damp strømmer til dampoverhederen, hvor dampen overhedes inden den strømmer til anlæggets dampturbine.
* Proces 4 – 5: Overhedet damp strømmer til dampturbinen, hvor den ekspanderes til kondenseringstrykket. Herved omsættes varmeenergien til effekt på turbinens aksel. Effekten overføres til anlæggets generator som producerer el.
* Proces 5 – 6: Efter dampturbinen strømmer dampen til kondensatoren, hvor den afkøles og kondenseres. Kondensatoren køles af havvand.
* Proces 6 – 1: Mættet vand strømmer fra kondensatoren til fødepumpen, hvor trykket øges til kedeltrykket. Der tilføres effekt fra generator til en el-motor som driver pumpen.

**Antagelser:**

* I dampbeholderen er der mætningstilstande, dvs. mættet vand og mættet damp.
* Der ses bort fra tryktab i rør og varmevekslere.
* Der ses bort fra varmetab fra rør, turbine, varmevekslere og kedel.

**Følgende data opgives for en given driftstilstand:**

Damptryk i røggaskedlen (kedeltryk) 10 bar

Kondenseringstrykket 0,1 bar

Damptemperatur efter dampoverhederen 400 °C

Massestrøm qmD af damp/vand 3,5 kg/s

Turbinens isentropiske virkningsgrad 0,80

Fødepumpens virkningsgrad 0,80

Generatorens el-virkningsgrad 0,95

**Følgende ønskes beregnet ved driftssituationen:**

1. Opstil energibalancer for anlæggets komponenter, svarende til de ovennævnte 6 processer. Opstil også energibalance for hele kedlen.
2. Optegn *turbineprocessen* i *h,s*-diagram for vanddamp og bestem i samme forbindelse h5 og dampkvaliteten (dampindholdet) x5. Ved løsningen af opgaven benyttes enten vedlagte bilag 1 eller EES. h,s-diagrammet vedhæftes opgaveløsningen
3. Beregn afgiven effekt fra turbine og fra generator
4. Bestem vandets tryk og specifik entalpi i punkterne 6 og 1 og beregn effekten afsat i fødepumpen
5. Beregn hvor stor en andel af varmestrømmen fra kedlen, der leveres til forbrugerne i form af el-effekt, også benævnt processens termiske virkningsgrad.

**Opgave 2**



Figur 2: Systemdiagram for luft-luft varmepumpe

Figur 2 viser et systemdiagram for en luft-luft varmepumpe. Anlægget består af en fordamper, som er en udendørs varmeveksler, hvis opgave er at køle udeluften; og en kondensator, som er en luftvarmeveksler, der opvarmer rumluften. De øvrige komponenter er en hermetisk kompressor samt en termostatisk ekspansionsventil.

Kølemidlet er R134a.

Ved en udetemperatur på 0 °C, ønskes en varmeeffekt fra kondensatoren på 6 kW ved en rumtemperatur på 20 °C. Der regnes med en temperaturdifferens mellem luft og kølemidlets mætningstemperatur på de 2 varmevekslere på 5 K.

Før indsugning til kompressoren er gassen 4 K overhedet og ved udløb fra kondensatoren er kølemidlet 4 K underkølet.

Kompressoren er en såkaldt hermetisk kompressor og regnes kølet. Der kan regnes med en isentropisk el-virkningsgrad på 0,60 (inkl. el-motorens virkningsgrad) og gassens temperatur ved kompressorens trykstuds er målt til 40 °C.

Der ses bort fra tryktab i varmevekslerne.

1. Opstil energibalancer for kompressoren, fordamperen og kondensatoren
2. Indtegn kredsprocessen i vedlagte log *p*,*h*-diagram for kølemidlet. Diagrammet afleveres med opgavebesparelsen
3. Bestem den cirkulerede kølemiddelstrøm i anlægget, i kg/h
4. Bestem fordamperens optagne varmestrøm, dvs. kuldeydelsen
5. Bestem den tilførte el-effekt til kompressoren samt varmestrømmen som køles fra kompressoren
6. Bestem varmepumpens effektfaktor og effektfaktor for den tilsvarende Carnotproces mellem udetemperatur og rumtemperatur

**Opgave 3**



Figur 3: Systemdiagram for køling af vandtank

Figur 3 viser et systemdiagram for køling af en vandtank. Kølingen sker ved hjælp af en brine (glykol/vand blanding) der cirkuleres gennem en neddykket rørspiral. Brinen køles af en pladevarmeveksler, der er fordamper på et tilkoblet køleanlæg.

Fra tanken aftages en varmestrøm til et procesanlæg på 10 kW. Vandtemperaturen ønskes konstant lig 5 °C, hvilket sikres ved god omrøring.

Brinen strømmer ind i rørspiralen i vandtanken med en temperatur på ‒ 5 °C og ud med en temperatur på 0 °C. Strømningen er inkompressibel.

**Følgende oplysninger gives:**

Rørdiameter, indvendig 15 mm

Rørdiameter, udvendig 18 mm

Rørene er udført i rustfri stålrør

Glykol/vand blanding; propylenglykol 20 % glykol[[1]](#footnote-1)

Udvendigt varmeovergangstal 200 W/(m2.K)

Følgende ønskes:

1. Skitsér et temperaturdiagram for rørspiralen
2. Bestem hastigheden og det tilhørende Reynolds’ tal på brinesiden af rørspiralen
3. Bestem det indvendige varmeovergangstal og bestem derefter varmegennemgangstal *U* for rørspiralen henført til den udvendige diameter
4. Bestem længden af rørspiralen
5. Angiv hvilken af de indgående termiske modstande, der har størst betydning for rørlængden

1. Data for brinen kan slås op i EES. Alternativt kan disse værdier benyttes: Kinematisk viskositet =1,677⋅10-6 m2/s; Prandtls tal PrB = 12.48; varmeledningsevne λB≔0,5652 W/(m.K), varmekapacitet cpB =4,2 kJ/kg, og densitet ρB = 1000 kg/m3. [↑](#footnote-ref-1)