



### Försättsblad Prov Original

Kurskod	Provkod	Tentamensdatum
E R 0 0 6 G	T 1 0 1	2 0 1 8 - 0 8 - 2 3
Kursnamn	Energiteknik GR (B), Termodynamik	
Provnamn	Tentamen	
Ort	Sundsvall	
Termin	H18	
Ämne	Energiteknik	

## Tentamen ER006G/ER013G, Termodynamik, 7,5/6 hp

Datum: 2018-08-23

Skrivtid: 5 timmar

Lärare: Jonas Örtegren, 070-2548990, 010-1427852

Hjälpmedel: Miniräknare samt flera formelsamlingar utan anteckningar i är tillåtna, såsom t.ex.

- Hans Havtuns Applied Thermodynamics, Collection of formulas,
- Egenhändigt utskrivet formel- och tabellhäfte kallat Formelsamling i Termodynamik med hänvisning till Hans Havtuns Applied Tehrmodynamics, Collection of formulas på framsidan.
- Egenhändigt utskrivet formel- och tabellhäfte kallat Formelsamling i energiteknik ver. 140526
- TeFyMa, MaFyKe, Physics Handbook, Data & Diagram eller liknande förlagsutgiven tabell- och formelsamling
- Fysikämnets (Miun) häfte kallat Formelsamling i Fysik.

Elovsson/Alvarez: Energiteknik - Formler och tabeller är EJ tillåten.

Poängberäkning görs separat för problem och teorifrågor. För ER006G är maximal poäng 50 och godkänt resultat 25 poäng, för ER013G är motsvarande gränser 40 resp. 20 poäng. Betygsättning görs efter denna poängsumma och preliminärt enligt tabell nedan. Dock måste minst 50% av maxpoäng uppnås på teoridelen och minst 50% av maxpoäng på problemdelen för godkänt betyg för ER006G/ ER013G.

Preliminära betygssteg:

Betyg	poäng ER006G	poäng ER013G
A	45+	36+
B	40-44,5	32-35,5
C	35-39,5	28-31,5
D	30-34,5	24-27,5
E	25-29,5	20-23,5
F	0-24,5	0-19,5

Kontakta Jonas Örtegren på 070-2548990 eller 010-1427852 vid frågor.

## Teori (14p)

### 1. T

En vätska i en välisolerad cylinder har temperaturen  $T_1$ . Vätskan vispas med en elektrisk visp och därefter uppmäts att vätskans temperatur ökat till  $T_2$ . Förklara kortfattat och med hjälp av första huvudsatsen om värme tillförts vätskan, om arbete tillförts vätskan, och om vätskans inre energi ökat eller minskat, och isåfall med hur mycket. (2p)

### 2. T

Då en enatomig, ideal gas tillförs värmets  $Q$  vid konstant volym ökar dess temperatur med  $\Delta T$ . Om samma värmemängd istället tillförs gasen vid konstant tryck, hur mycket ökar då temperaturen? (3p)

### 3. T

Om man blöter fingrarna med vatten är det möjligt att hålla fingrarna nära en brinnande tändsticka under en viss tid, och det är även möjligt att släcka ett brinnande ljus genom att föra in de våta fingrarna ljuslågan. Förklara varför man ej bränner sig (eller endast bränner sig lite grand) i dessa fall. Använd begrepp som vi gått igenom i kursen. (3p)

### 4. T

Hur lyder den andra huvudsatsen? (Flera formuleringar finns, det räcker med att återge en av dem). (2p)

Begränsas alla sätt att producera arbete av den andra huvudsatsen? (1p) Om inte, ge exempel på en mekanism/maskin som inte har en sådan begränsning. (1p)

### 5. T

Det kan vara svårt att få upp metallocket till en glasbehållare då man vill öppna behållaren för att komma åt innehållet. Förklara varför det kan hjälpa att lägga behållaren med lock i varmt vatten. (2p)

## Problem (26p+Er006G: 10p)

### 6.P (3p)

Din kompis Pelle påstår att han skapat en värmemaskin som sommartid utvinnet arbete ur temperaturskillnaden mellan utomhusluft och strömmande vatten i en älv. Vid ett tillfälle var temperaturerna  $20^\circ\text{C}$  i luften och  $15^\circ\text{C}$  i älven, och Pelle påstår att han med ett värmeflöde på  $10\text{ kJ/min}$  då kunde utvinna ett arbete på  $1\text{ kJ/min}$  ur värmemaskinen. Kan detta stämma? Varför eller varför inte? (3p)

### 7.P (3p)

En järnspik slås in i ett isblock med en hammare. Hammarhuvudet har massan 0,5 kg och farten 2,0 m/s då det träffar spiken. Efter slaget är spiken och hammaren i vila, och spikens temperatur kan antas vara 0°C före och efter slaget. Hur mycket is smälter? Smältentalpin för is vid atmosfärstryck är 334 kJ/kg. (3p)

### 8.P (9p)

En bensindriven motor, som kan antas arbeta enligt den ideala Ottocykeln, har kompressionsförhållandet  $\varepsilon=9,5$ , där kompressionsförhållandet är kvoten mellan gasens maximala volym,  $V_{\max}$ , och dess minimala volym,  $V_{\min}$ , under en cykel. Motorn tar i varje cykel in 600 cm<sup>3</sup> av en luft/bränsle-blandning av trycket 100 kPa och temperaturen 35°C, vilken komprimeras isentropiskt i kompressionstakten. Som en approximation kan vi anta att luft/bränsle-blandningen har samma egenskaper som luft, dvs värmekapacitetskvoten,  $\kappa$ , är  $\kappa=C_p/C_v=1,40$ , molmassan  $M=29$  g/mol, och den specifika värmekapaciteten vid konstant tryck,  $c_p$ , kan sättas till  $c_p=1,005$  kJ/(kg·K) under hela cykeln. Luften tillförs sedan värme isokort innan gasen expanderar isentropiskt, varefter värme bortförs isokort (avgaser bortförs). Efter den isentropiska expansionen är temperaturen 800 K.

- vad är gasens högsta temperatur och högsta tryck under en cykel? (4p)
- hur mycket värme tillförs systemet under en cykel? (3p)
- vad blir den termiska verkningsgraden för den ideala Ottocykeln beskriven ovan? (2p)

### Endast Er006G: 9.P (8p)

I den förra uppgiften om Otto-cykeln antogs att expansionen var isentropisk. I själva verket sker ett litet värmeutbyte med omgivningen, och expansionen är således en polytropisk process. Antag att luft/bränsle-blandningens expansionen har polytropkoefficienten  $n=1,35$ . För övrigt är det samma indata som i föregående uppgift, dvs kompressionsförhållandet är  $\varepsilon=9,5$ , motorn tar i varje cykel in 600 cm<sup>3</sup> av luft/bränsle-blandningen vars tryck är 100 kPa och vars temperatur är 35°C, och luft/bränsle-blandningen komprimeras isentropiskt i kompressionstakten. Efter expansionen (den polytropiska expansionen) är temperaturen 800 K.

- Både temperaturen och trycket är i själva verket något lägre efter den isokora värmeförlusten än vad som framräknades i föregående uppgift. Bestäm temperaturen och trycket. (2p)
- Beräkna det volymändringsarbete som systemet utför under den polytrofa expansionen, samt beräkna det värme som systemet tillförs under den polytrofa expansionen. (2p)
- Den isokora värmeförlusten är något lägre än vad som angavs i föregående uppgift. Bestäm hur stor denna värmeförlust är. (2p)
- vad blir den termiska verkningsgraden för Ottocykeln beskriven här? (2p)

### 10.P (5p)

Din kompis Pelle (som var med i en tidigare uppgift) påstår också att de vita spår som flygplan lämnar efter sig på himlen är besprutningsmedel som världens piloter rutinmässigt skickar ut över jordens befolkning (han är dock ej säker på varför de skulle vilja göra så). Du har istället hört att det är vattenånga som kondenserar till vätska - eller snarare desublimerar till is – som orsakar de molnlika vita spåren efter flygplanen. Vi ska nu räkna lite grand för att avgöra vad som verkar vara mest sannolikt. Vi kan hämta data från ett experiment från 1972, och dessutom göra några antaganden. Under experimentet förbrukade en viss sorts jetmotor 0,189 kg/s av jetbränsle under tillförsel av luft. Om vi antar att syret i luften förbränns fullständigt bestod avgaserna av 0,260 kg/s vattenånga, 0,587 kg/s koldioxid, 2,15 kg/s kvävgas, och 0,037 kg/s argon.

- Vad är vattenångans volymandel i avgaserna? (1,5p)
- Antag att experimentet utförs på marken, vid 1,0 bars tryck. Hur stort skulle vattenångans partialtryck vara ifall kondensation ej sker? (1p)

Experimentet utfördes i själva verket på knappt 9000 m höjd över havet, vid temperaturen  $-38,2^{\circ}\text{C}$  och trycket 362 mbar. Antag att vattenångans volymandel i avgaserna är densamma som i a-uppgiften.

- Hur stort är vattenångans partialtryck ifall desublimering ej sker? (1p)
- Är det rimligt att anta att desublimering sker eller ej? Vad kan man dra för slutsatser om de molnlika, vita spåren efter flygplanen? (1,5p)

Se bifogad tabell över vattens mättnadsångtryck över is och över vatten vid olika temperaturer (sista sidan på denna tenta). Molmassor för vattenånga, koldioxid, kvävgas, och argon:  $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ,  $M_{\text{CO}_2} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ,  $M_{\text{N}_2} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ,  $M_{\text{Ar}} = 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ .

### 11.P (6p)

I geotermiska kraftanläggningar kan värmevärmor av låg temperatur omvandlas till arbete och elektrisk energi. En sådan anläggning påminner en del om en vanlig ångkraftanläggning, och en av de enklaste varianterna visas i figuren nedan. Ur en underjordisk, geotermisk källa tas vatten av mätningstillstånd med temperaturen  $200^{\circ}\text{C}$  upp ur marken, se punkt a i figuren. Vattnets massflöde är i detta exempel  $100\text{ kg/s}$ . Vattnet går först genom en strypventil, varvid trycket sänks isentalpiskt till  $500\text{ kPa}$ . Efter strypventilen består mediet av mättad ånga och mättat vatten, se b i figuren nedan. I separatoren avskiljs ångan från vattnet med hjälp av tyngdkraften. Den mättade ångan (c i figuren) leds vidare in i turbinen, som kan antas arbeta isentropiskt. Efter turbinen är trycket  $10\text{ kPa}$  (d i figuren). Ångan leds vidare genom kondensorn, där kondensering sker. Vattnet från separatoren (f) och kondensorn förs sedan tillbaka ned i marken.

a) Hur stort är massflödet av ånga in i turbinen (c i figuren)? (3p)

b) vilken uteffekt ger turbinen? (3p)

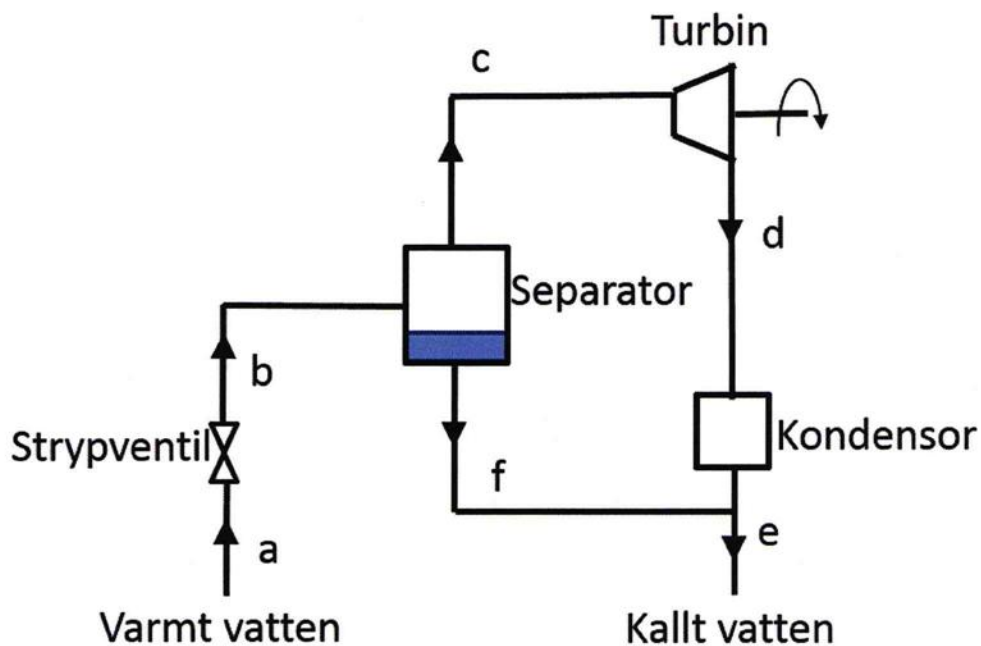


Bild till fråga 11.

### Endast Er006G: 12.P (2p)

I den förra uppgiften antogs att turbinen arbetar isentropiskt. Turbinens isentropverkningsgrad är i själva verket  $0,83$ . Övriga data är samma som i föregående uppgift. Bestäm den av turbinen avgivna effekten. (2p)

Tabell över vattens mättnadsångtryck över is och över vatten vid olika temperaturer.

$T$ ( $^{\circ}C$ )	$p_{H_2O}$ över is (Pa)	$p_{H_2O}$ över vatten (Pa)
-50	3.9193	6.4454
-48	5.0073	8.0729
-46	6.3699	10.068
-44	8.0695	12.503
-42	10.181	15.463
-40	12.794	19.048
-38	16.016	23.372
-36	19.973	28.570
-34	24.816	34.795
-32	30.723	42.225
-30	37.903	51.060
-28	46.601	61.534
-26	57.104	73.909
-24	69.745	88.485
-22	84.914	105.60
-20	103.06	125.63
-18	124.70	149.01
-16	150.44	176.23
-14	180.97	207.81
-12	217.07	244.37
-10	259.66	286.57
-8	309.75	335.16
-6	368.52	390.95
-4	437.31	454.88
-2	517.62	527.93
0	611.153	611.213