



## Försättsblad Prov Original

Kurskod	Provkod	Tentamensdatum
E R 0 4 9 G	T 1 0 1	2 0 1 9 - 0 3 - 2 0
Kursnamn	Energiteknik GR (B), Kraft och värmeteknik	
Provnamn	Skriftlig tentamen	
Ort	Annanort	
Termin		
Ämne		

Mittuniversitetet  
ER049G, Kraft- och värmeteknik, 7,5 hp  
ER041G, Kraft och värme, 7,5 hp  
Skriftlig tentamen  
2019-03-20 kl. 08.00-13.00

Tillåtna hjälpmedel:

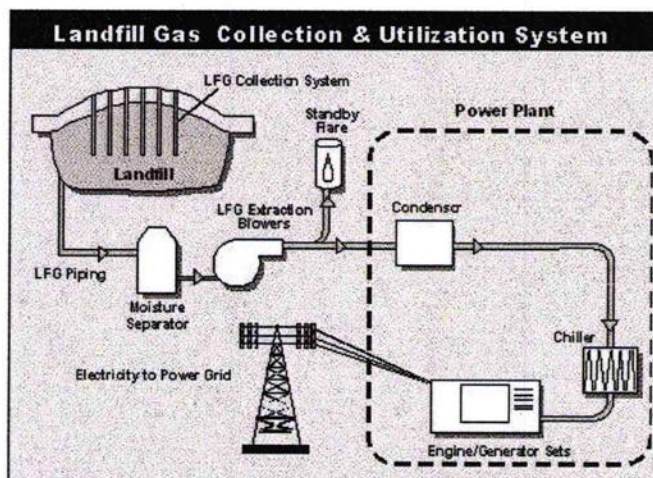
- Inkluderat formel- och tabellhäfte
- Miniräknare av valfri typ (utan kommunikationsmöjligheter)
- Valfri förlagsutgiven formelsamling utan egna anteckningar, inklusive men inte nödvändigtvis begränsat till följande titlar:
  - Formler och tabeller (Björk, Brolin, Pilström, Alphonse ev. m , Natur och Kultur)
  - TEFYMA (Ingelstam, Rönngren, Sjöberg, ev. m , Studentlitteratur)
  - Tabeller och formler för NV och TE (Ekbohm, Lillieborg, Larsson, Ölme, Jönsson, ev. m , Liber)
  - Formler och Tabeller (Pedersen, Glerups)
  - Physics Handbook (Nordling, Österman, ev. m , Studentlitteratur)
  - Energiteknik - Formler och tabeller (Elovsson, Alvarez, Studentlitteratur)
  - EnBe - Energiberäkningar (Soleimani-Mohseni, Bäckström, Eklund, Studentlitteratur)
  - Applied thermodynamics - collection of formulas (Hans Havtun, Studentlitteratur)

Poängberäkning görs separat för problem och teorifrågor. För att behålla någon form av sammanhang i provet är de teori- resp. problemrelaterade uppgifterna i blandad ordning. Deluppgifter som bidrar till teorieresultatet är markerade med T, medan problemuppgifter är märkta med P. Provet poängbedöms och betygsätts med A-F på en proportionell skala upp till 80 poäng, varav minst 40 poäng krävs för att resultatet ska bedömas som godkänt. Dock måste minst 50% uppnås på vardera av teori- och problemdelarna för godkänt betyg. Godkända inlämningsuppgifter ger bonuspoäng upp till maximalt 10 % av resp. dels maxpoäng enligt särskild mall.

Kontakta Daniel Nilsson på 0703-402755 vid frågor eller funderingar.



Genomsnittssvensken producerar ungefär 500 kg hushållsavfall per person och år. I dagens läge förbränns det mesta av denna mängd, men en del läggs fortfarande på soptippar. Ur soptippen kan man dock utvinna brännbar deponigas som bildats av nedbrytningsprocesser i den syrefattiga miljön.



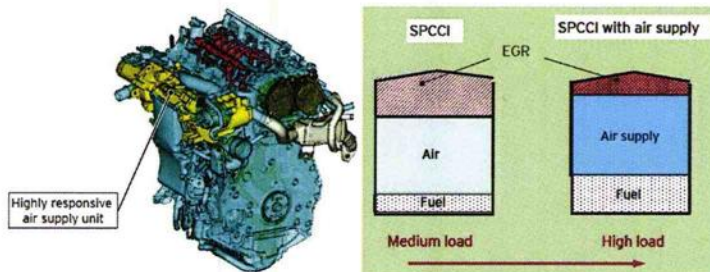
Uppsamling och förädling av deponigas görs t ex vid Ålands avfallsanläggning i Härnösand. Genom perforerade rör - s k brunnar - nerstuckna i deponin samlas gasen upp, torkas och renas från allt utom metan, som sedan komprimeras. Gasens sammansättning varierar naturligt, men efter dessa steg är de ungefärliga volymandelarna av typiska komponenter enligt tabellen nedan.

gaskomponent	volymandel
CH <sub>4</sub>	56 %
CO <sub>2</sub>	26 %
N <sub>2</sub>	18 %

- 1.P Bestäm massan metan som Medelsvenssons årliga 500 kg avfall kan ge upphov till om man räknar med att totalt kunna utvinna  $400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  av deponigas med sammansättning enligt tabellen per ton av detta avfall upplagt i deponin. Vid normaltillståndet är trycket 101 kPa och temperaturen 0 °C. Molmassan för koldioxid är  $44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ , för kvävgas  $28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$  och för metan  $16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ . (4 p)
- 2.P Deponigasen kräver en del efterbehandling, bl a kompression. Anta att den lilla anläggningen i Härnösand producerar  $20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  av metan. Beräkna den mekaniska axeleffekt som skulle krävas för att komprimera metanet från normaltillstånd (trycket 101 kPa och temperaturen 0 °C) till 740 °C om kompressionen är isentrop och metan har isentropexponent 1,29. (6 p)



Mazda har konstruerat en s k HCCI-motor som ska (ha) börja(t) tillverkas 2019. I denna motor används en blandning av bränsle och luft (som i ottomotor) genom kompression. På grund av besvär med styrningen av förbränningsprocessen har motortypen hittills sällan syns i bilar (trots lovande egenskaper som hög verkningsgrad och låga utsläpp) men Mazda hävdar nu att de har löst problemen.



Låt oss i brist på information från Mazda anta att motorn är en 4-cylindring 4-taktsmotor som följer en icke ideal ottocykel med kompressionsförhållande 18 och svept volym (slagvolym)  $500 \text{ cm}^3$  för en enstaka cylinder. Den insugna bränsle-luftblandningen antas bestå av enbart luft. I driftfallet ifråga råder temperaturen  $90^\circ\text{C}$  och trycket 1,2 bar i inloppet till motorn. Vridmomentet mäts till 33 Nm när motorn körs med varvtalet  $3000 \frac{\text{varv}}{\text{min}}$ . Motorn antas driven av metangas som ger 18,8 kW tillförd värmeeffekt. Med tryckindikator mäter man trycket efter den inledande kompressionen (omedelbart före antändning) till 65 bar, maximala trycket efter förbränning till 90 bar och trycket efter expansionen (precis innan utloppsventilen öppnar) till 1,5 bar. Polytropexponenten för kompressionen resp. expansionen antas vara 1,39 resp. 1,425. Luftens molmassa kan antas vara  $29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ , dess specifika värmekapacitet vid konstant volym  $0,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  och vid konstant tryck  $1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ .

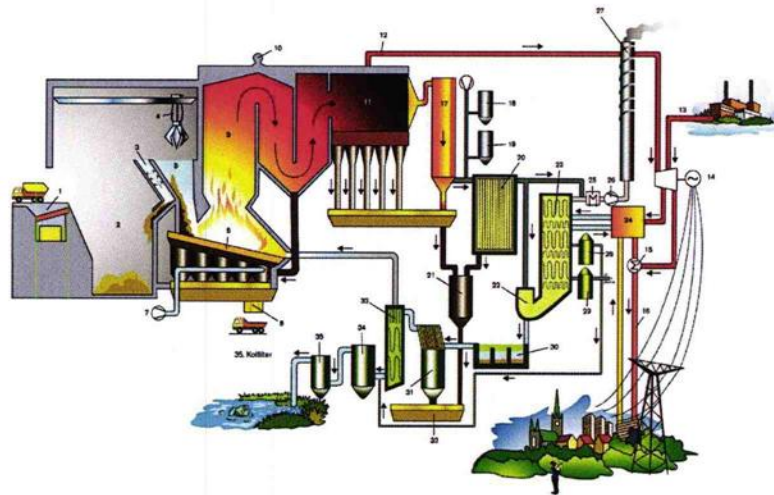
### 3.T

- a) Anta att motorn kan beskrivas med den enkla ottocykeln med undantag av de isentropa tillståndsändringarna, som här antas vara förlustbehäftade och kunna beskrivas med polytroper. Rita denna modifierade ottocykel i ett pV- och ett TS-diagram. Ange omloppsriktning, vid vilka tillståndsändringar som värme tillförs och bortkyls och vid vilka tillståndsändringar som arbete tillförs resp. utvinns. (8 p)
- b) Visa i pV- resp. TS-diagram hur respektive förlustbehäftade, polytropa tillståndsändring och dess exponent förhåller sig till en isentrop som utgår från samma starttillstånd med en viss isentropexponent. Beskriv kortfattat hur man kan tolka skillnaderna matematiskt och utifrån förlusternas inverkan. (6 p)

### 4.P

- a) Visa att cylinderns maximala volym (med kolven i nedersta läget) är 0,53 liter och dess minimala volym (med kolven i översta läget) är 0,03 liter. (2 p)
- b) Visa att termodynamiska nettoarbetet vid genomlopp av en cykel i en cylinder är 0,11 kJ (ledning: utbyte av volymändringsarbete sker bara under två av de fyra tillståndsändringarna). (6 p)
- c) Visa att effekten motsvarande termodynamiska nettoarbetet för hela motorns alla fyra cylindrar är 11 kW och beräkna motsvarande indikerade medeltryck. (6 p)

- d) Bestäm motorns termiska verkningsgrad (termodynamisk nettoeffekt i förhållande till bränsleeffekt), mekaniska verkningsgrad (mekanisk axelut effekt i förhållande till termodynamisk nettoeffekt) och totala verkningsgrad (mekanisk axelut effekt i förhållande till bränsleeffekt) samt hur stor mängd mekanisk energi som kan genereras ur 78 kg metan med värmevärdet  $50,4 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ . (7 p)
- 5.P Vid beräkning av termiska verkningsgraden ovan har ingen hänsyn tagits till den ytterligare effekt som krävs för att värma den insugna luften från omgivningens  $20^\circ\text{C}$  till  $90^\circ\text{C}$ . Bestäm termiska verkningsgraden om extra bränsle krävs för att höja temperaturen (och vi pessimistiskt antar att vi kan bortse från turbomatningens bidrag till den). Massan luft som ryms i en av cylindrarna vid en maximal volym (kolven i nedersta läget) och tillståndet i inloppet som givet i beskrivningen ovan antas vara 0,61 g. (5 p)
- 6.T Man kan komma närmare den först bestämda, högre verkningsgraden genom att installera en avgasrekuperator (regenerator). Gör en enkel principskiss över hur en sådan kan integreras med motorn, och ange de in- resp. utloppstemperaturer som är kända från givna data i skissen. (6 p)



Anta att man eldar med soporna direkt i en förbränningsanläggning som hanterar olika typer av avfallsbränslen. Dessa kan innehålla upp till 50 % fukt och därmed ha ett mycket lågt undre värmevärde.

- 7.P Pannan värmer matarvatten med flödet  $420 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$  vid trycket 140 bar från temperaturen  $50^\circ\text{C}$  till överhettad ånga vid temperaturen  $565^\circ\text{C}$ . Anta att ångturbinens isentropiska verkningsgrad är 85 %, dess mekaniska verkningsgrad är 97 % och den elektriska (generator)verkningsgraden är 97,5 %. Både condensat och matarvatten antas hålla den konstanta temperaturen  $50^\circ\text{C}$ .
- Bestäm ångkraftverkets teoretiska termiska verkningsgrad, eleffekt och total elverkningsgrad (i förhållande till tillförd bränsleeffekt) om det antas följa en enkel rankinecykel med överhettning. Beskriv utförligt och/eller markera tydligt hur och på vilka grunder värden har erhållits ur diagram och tabeller. (8 p)
  - Liksom de flesta större kommersiella turbiner är även denna uppdelad i flera steg vilket möjliggör mellanöverhettning. Behandla den i det här fallet som en tvåstegsturbin där båda stegen har isentropverkningsgrad 85 % och utför samma beräkningar som i uppgift a). Mellanöverhettning sker till  $480^\circ\text{C}$  och 35 bar. (12 p)
  - Bestäm hur stor mängd elektrisk energi som kan genereras av 500 kg avfall om dess undre värmevärde är  $10 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$  och pannverkningsgraden är 85 %. (4 p)



Formelsamling i energiteknik, ver. 190304  
Kurs ER049G, Kraft- och värmeteknik 7,5 hp  
Kurs ER041G, Kraft och värme, 7,5 hp  
Mittuniversitetet

**Storheter och deras SI-enheter i grundform**

$h$  : höjd (m)  
 $\ell$  : längd (m)  
 $r, R$  : radie (m)  
 $d, D$  : diameter (m)  
 $b$  : bredd (m)  
 $A$  : area ( $\text{m}^2$ )  
 $V$  : volym ( $\text{m}^3$ )  
 $t$  : tid (s)  
 $v$  : hastighet ( $\text{m/s}$ )  
 $T$  : periodtid (s)  
 $f$  : frekvens ( $\text{s}^{-1}$ )  
 $n$  : antal rotationsvarv (1)  
 $\omega$  : vinkelhastighet ( $\text{rad/s}$ )  
 $g$  : tyngdacceleration ( $\text{m/s}^2$ )  
 $m, M$  : massa (kg)  
 $n$  : substansmängd (mol)  
 $M$  : molmassa ( $\text{kg/mol}$ )  
 $y$  : massandel (1)  
 $v$  : volymandel (1)  
 $\rho$  : densitet ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $F$  : kraft (N)  
 $M$  : vridmoment (Nm)  
 $P$  : effekt (W)  
 $W$  : arbete (J)  
 $E$  : energimängd (J)  
 $Q$  : värmemängd (J)  
 $U$  : inre energimängd (J)  
 $S$  : entropi ( $\frac{\text{J}}{\text{K}}$ )  
 $H$  : entalpi (J)  
 $c$  : specific värmekapacitet ( $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )  
 $L$  : Specifik värme (smältning, förångning) ( $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ )  
 $T$  : absolut temperatur (K)  
 $t$  : temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\eta$  : verkningsgrad (1)  
 $H$  : bränsles värmevärde ( $\text{J/kg}$ )  
 $B$  : bränslemängd (kg)









































