



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Kursplan för

Termodynamik för energiingenjörer **Thermodynamics for Energy Engineers**

MVKF30, 7,5 högskolepoäng, G2 (Grundnivå, fördjupad)

Gäller för: Läsåret 2023/24

Fakultet: Lunds tekniska högskola

Beslutad av: Programledning M

Beslutsdatum: 2023-04-11

Allmänna uppgifter

Valfri för: MD4, W4-et

Undervisningsspråk: Kursen ges på svenska

Syfte

Kursens syfte är att ge grundläggande kunskaper och färdigheter i teknisk termodynamik, med huvudsakliga tillämpningar inom energisektorn. Kursen utgår helt utifrån den klassiska termodynamiken som behandlar ämnet ur ett makroskopiskt perspektiv. Den klassiska termodynamiken är ett naturligt komplement till den statistiska termodynamiken vilken ges i andra termodynamikkurser.

Termodynamiken grundas på 4 huvudsatser vilka alla utgör generaliserande formuleringar av experimentella erfarenheter. Kursen syftar till att utveckla dessa huvudsatser till att även inkludera öppna system. Exempel på öppna system är värmeväxlare, turbiner, kompressorer och ventiler.

Kursens syfte uppfylls genom att:

- fördjupa förståelsen för termodynamikens första och andra huvudsats applicerad på både slutna såväl som öppna system.
- utöka andra huvudsatsen till att inkludera analys med entropibalans för slutna såväl som öppna system.
- visa hur termodynamiken kan användas för att mäta kvalitet på olika energiströmmar.
- beräkna energikvaliteten för energiströmmar och system med hjälp av exergianalys för både slutna och öppna system.
- utöka de termodynamiska kunskaperna för tekniska kraftprocesser såsom

ångkraftscykeln, gasturbincykeln, Diesel och Ottocykeln. Målet är att studenterna ska kunna analysera hela cykelns prestanda men även kunna analysera delarna av dessa cykler.

- kompressordrivna förångningskylprocessen, värmepumpar, begreppen underkylning och överhettning.
- utföra beräkningar för öppna system som innehåller fuktig luft såsom luftkonditionering.

Mål

Kunskap och förståelse

För godkänd kurs skall studenten

- redovisa kortfattat och generellt formulera grundläggande tillstånds-, mass-, energi-, entropi-, och exergisamband för öppna och slutna system, med viss förståelse för dess begränsningar och tillämpbarhet.
- förklara grundläggande termodynamiska begrepp som är relevanta för tekniska energiprocesser.
- redovisa och utifrån grundläggande samband och principer härleda vissa för ämnet tekniskt viktiga samband

Färdighet och förmåga

För godkänd kurs skall studenten

- på ett systematiskt sätt lösa grundläggande energiproblem, med en god ingenjörsmässig hantering av tillståndstabeller och diagram.
- kortfattat beskriva, klargöra och analysera vissa tekniskt viktiga termodynamiska processer, inklusive kvantitativ bedömning avseende påverkan på omgivningen (entropigenerering).
- analysera, formulera, modellera och lösa problem för tekniska system och apparater med olika typer av energiutbyte och energiomvandling för slutna och öppna system inom kursens ämnesområde.
- tillämpa systemsynsättet som metod för att identifiera delsystem och komponenter i tekniska system.
- analysera system och bestämma systemets tillstånd och genom tabeller ta fram tillståndssstorheter.

Värderingsförmåga och förhållningssätt

För godkänd kurs skall studenten

- kommunicera skriftligt på ett välstrukturerat, förståelseinriktat och illustrativt sätt avseende problemlösning med beaktande av begränsningar, rimlighet, noggrannhet och källangivelser.
- värdera tekniska lösningar utifrån ett exergiperspektiv.
- bedöma (den ingenjörsmässiga) rimligheten i en lösning.

Kursinnehåll

Inom termodynamiken (motsvarande 5 poäng) behandlas den klassiska termodynamiken utifrån en systembetraktelse. Ett projektarbete (motsvarande 2,5 poäng) inom något av kursens ämne. Följande delar av den tekniska (klassiska) termodynamiken som kursen behandlar är

1. Grundläggande termodynamiska koncept. Vad är energi. Enheter, system och kontrollvolym, hur beskriver vi system, densitet, tillstånd och jämvikt, processer och cykler, temperatur och nollte huvudsatsen, tryck
2. Energi, energiöverföring och generell energianalys. Typer av energi, energiöverföring genom värme, energiöverföring genom arbete, mekaniska former av arbete, första huvudsatsen, verkningsgrader för energiomvandling.
3. Tillståndstorheter för rena ämnen. Vad är ett rent ämne, vilka faser kan ett ämne befinna sig i. Tillståndsdigram för fasövergångar. Tillståndstabeller och ideala gasers och ideala gasblandningars egenskaper. Kompressibilitetsfaktor.
4. Energiformer och energibalans utifrån systembetraktelse för slutna system. Expansionsarbete, Energibalans för slutna system, specifik värmekapacitet, inre energi, entalpi och specifik värmekapacitet för gaser, vätskor och fasta tillstånd).
5. Kontinuitetsekvationen och energibalans för öppna system. Flödesarbete. Energibalanser för stationära tekniska processer såsom exempelvis turbiner, kompressorer, värmväxlare och munstycken. Kontinuitetsekvationen och energibalans för transienta öppna system.
6. Andra huvudsatsen. Introduktion till andra huvudsatsen, termiska reservoarer, värmemotorer, kylmaskiner och värmepumpar, evighetsmaskiner, reversibla och irreversibla processer, Carnotcykeln, Carnots principer, Termodynamiska temperaturskalan, Carnots värmemotor, Carnots kylmaskin och värmepump.
7. Entropi. Entropibegreppet, principen om ökande entropi, entropiändring för rena ämnen i gas-, vätske-, och fast fas, isentropa processer, tillståndsdigram med entropi, Gibbs huvudsatser, entropiförändring i gas-, vätske- och fasta fasen, Reversibelt arbete. Isentropisk verkningsgrad. Entropibalans för öppna och slutna system.
8. Exergi: arbetspotential för energi. Reversibelt arbete och irreversibilitet, andra huvudsatsens verkningsgrad, exergiförändring i ett system, exergiöverföring genom värme, arbete och massflöde till och från system, exergibalans för slutna och öppna system
9. Kretsprocesser med gasformiga medier. Grundläggande analys av kraftprocesser, Carnotcykeln och dess värde i ingenjörsämnet, standard-luft antagandet, överblick av kolvmotorer och dess arbetsprincip. Otto-, Diesel-, Joule/Brayton-, Ericsson-, och Stirlingcykeln, Braytoncykeln med regenerering, Brayton-cykeln med mellankyllning, mellanöverhettning och regenerering. Analys av kraftcykler med andra huvudsatsen. Beräkning av dessa processer genom analys med öppna respektive slutna system.
10. Ångcykler och kombicykler, Carnotmaskinen som ångcykel, Rankinecykeln, verkliga Rankinecykler i jämförelse med ideala Rankinecykeln, ångcykel med mellanöverhettning,

ångcykel med matarvattenförvärmning, kraftvärmeprocesser

11. Kylmaskiner. Kylmaskiner och värmepumpar, den reverserade Carnotcykeln, den ideala ångkompressionskylmaskin, verklig ångkompressionskylmaskin. Analys av kylmaskiner med andra huvudsatsen, värmepumpssystem.

12. Termodynamiska tillståndstorheter. Repetition av partiella derivator, Maxwells ekvationer, Clapeyron ekvationen, generella uttryck för du , dh , ds , cv och cp , Joule-Thomson koefficienten, dh , du , och ds för verkliga gaser

13. Gasblandningar.

14. Fuktig luft. Torr och atmosfärluft, specifik och relativ luftfuktighet, daggpunkt, adiabatisk mättnadstemperatur och våttemperatur, psykrometriskt diagram, luftkonditionering

Kursens examination

Betygsskala: TH - (U,3,4,5) - (Underkänd, Tre, Fyra, Fem)

Prestationsbedömning: Examination sker via ett skriftliga prov (huvudsakligen teori), bedömning av individuella skriftliga hemuppgifter, samt en slutlig skriftlig tentamen som främst avser problemlösning. Betyget bestäms av en viktad total poängsumma som består av resultat vid godkänd tentamen, godkända skriftliga prov samt ev. bonuspoäng från godkända hemuppgifter, enligt särskild formel.

Om så krävs för att en student med varaktig funktionsnedsättning ska ges ett likvärdigt examinationsalternativ jämfört med en student utan funktionsnedsättning, så kan examinator efter samråd med universitetets avdelning för pedagogiskt stöd fatta beslut om alternativ examinationsform för berörd student.

Delmoment

Kod: 0323. **Benämning:** Projektarbete.

Antal högskolepoäng: 2,5. **Betygsskala:** TH. **Prestationsbedömning:** Inlämning av projektrapport.

Kod: 0423. **Benämning:** Tentamen.

Antal högskolepoäng: 5. **Betygsskala:** TH. **Prestationsbedömning:** Skriftlig tentamen

Antagningsuppgifter

Förutsatta förkunskaper: FMAA01 Endimensionell analys, FMA420/FMAB20 Linjär algebra, FMA430/FMAB30 Flerdimensionell analys

Begränsat antal platser: Nej

Kursen överlappar följande kurser: MMVF01

Kurslitteratur

- Çengel, Y. A., Boles, M. A., Kanoglu, M.: Thermodynamics – An Engineering Approach, Ninth Edition in SI Units. McGraw-Hill, 2020, ISBN: 978-981-3157-87-3. Tidigare upplagor i SI-version fungerar bra (5:e till 8:e).
- Tillhörande formelsamlingar (gröna häften) finns att köpa på KFS AB; de finns även på kursens hemsida.

Kontaktinfo och övrigt

Kursansvarig: Marcus Thern, marcus.thern@energy.lth.se

Examinator: Marcus Thern, marcus.thern@energy.lth.se

Kursansvarig: Lei Wang, lei.wang@energy.lth.se

Hemsida: <https://www.energy.lth.se/utbildning/>