

# Tillämpad termodynamik, MJ1112

## 9 hp, Vårterminen 2013

### Kursens roll i utbildningsprogrammen

Kursen avser att ge civilingenjörstudenter, speciellt inom programmen Maskinteknik, Design och produktframtagning samt Industriell ekonomi med inriktning Energisystem, nödvändiga grundläggande kunskaper i termodynamik. Detta omfattar grundläggande lagar och processer för energiomvandling samt introduktion till strömningslära och värmeöverföring.

Kursen betonar inslaget av verkliga tillämpningar och ingenjörsmässigt tänkande. Fundamentala principer skall upptäckas/avtäckas av den enskilde studenten och kursen skall ge en god förståelse för fysiken bakom de behandlade fenomenen och utifrån detta ge generell nyttig träning i problemformulering, modellering och lösning av problem. Kursen skall även ge studenten en inblick i de teknik-, miljö- och vetenskapshistoriska perspektiven.

### Förkunskaper

Grundläggande matematik med partiella differentialekvationer och integralkalkyl, Grundläggande mekanik, Elektricitets- och vågrörelselära samt gymnasieskolans fysik och kemi.

### Målbeskrivning

Efter kursen skall studenten:

- kunna formulera, modellera och lösa problem för tekniska system och apparater med olika typer av energiutbyte och energiomvandling.
- kunna tillämpa systemsynsättet som metod för att identifiera delsystem och komponenter i tekniska system.
- kunna resonera stringent och generellt inom termodynamiken.

Mer detaljerade mål anges i bilaga 1 till detta dokument.

### Översiktlig beskrivning av kursinnehållet

- Energiformer, termodynamiska grundbegrepp och huvudsatser.
- Verkliga mediers egenskaper, deras representation i tillståndsdigram och med allmänna tillståndslagar.
- Gasers och gasblandningars egenskaper samt orientering om förbränningslära och stökiometri.
- Tillståndsstorheter (temperatur, tryck, inre energi, entalpi, entropi) samt begrepp som värme och arbete.
- Tillämpningar av första huvudsatsen på slutna och öppna system, energiekvationen.
- Idealiserade tillståndsändringar såsom isotermiska, isobariska, isochoriska och isentropiska förlopp, samt den generaliserade *polytropiska* tillståndsändringen.
- Olika formuleringar av andra huvudsatsen - allmänna resonemang samt med tillämpningar på reversibla kretsprocesser för energiomvandlingar.
- Tekniska processer i kompressorer och turbiner samt viktiga kretsprocesser såsom förbränningsmotor-, gasturbin-, ångkraft- samt kyl- och värmepumpprocesser.
- Grundläggande samband för vätskors och gasers strömning i kanaler och munstycken såväl för reversibla fall som vid strömning med förluster.

- Grundbegrepp, allmänna lagar och beräkningsmetoder för värmeöverföring och för värmeväxlare.
- Fuktig lufts egenskaper, dess tillståndsdigram och tillämpningar.

## Lärare

### Föreläsare, kursansvarig och examinator

Hans Havtun, universitetslektor.

KTH Energiteknik, Avd. Tillämpad termodynamik och kylteknik

Telefon: 790 74 26, Email: hans.havtun@energy.kth.se

Besöksadress: Brinellvägen 68, plan 4, rum K429.

### Övningslärare:

Blå grupp: Design och produktframtagning (P):

Klas Andersson, 08-766 49 08, klas.a.engineering@telia.com

Röd grupp: Industriell ekonomi (I) + del av Maskinteknik (M), (grupp c-d enligt TimeEdit):

Hans Havtun

Grön grupp: Resterande del av Maskinteknik (M), (grupp a-b enligt TimeEdit):

Rahmat Khodabandeh, 08-790 74 13, rahmat@energy.kth.se

## Undervisning

Kursen ges under vårterminen, dvs period 3 och 4. Undervisningen genomförs i form av föreläsningar (46 h), övningar (54 h) och räknestugor (36 h). Härutöver tillkommer 8 timmar för kontrollskrivningar.

Föreläsningarna kommer att ge de övergripande idéerna och sambanden. För de tillämpade avsnitten (kapitel 8-11) kommer all teori att gås igenom på föreläsningarna. Övningarna har karaktären av lektioner. Här varvas problemlösning med introduktion av nytt stoff. Räknestugorna vänder sig till de teknologer som vill ha tillgång till en handledare vid självständig lösning av övningsproblem.

## Kursens pedagogiska idé

Kursens pedagogiska grundtanke är att *studenterna under kursen aktivt ska arbeta med kursmaterialet*. Detta stimuleras genom att totalt sex hemuppgifter skall lösas och lämnas in. Syftet med hemuppgifterna är att ge träning i lösning av mer omfattande och/eller mer komplicerade problem, ofta med hjälp av datorstöd. Hemuppgifterna ges betyget underkänt/godkänt och räknas inte in i kursens slutbetyg. Preliminära utlämningstider framgår av det detaljerade schemat nedan. Det finns inget sista inlämningsdatum för hemuppgifterna, men vi *rekommenderar att de lämnas in för bedömning innan nästa examinationsmoment* (kontrollskrivning eller tentamen) där ju förståelsen testas. Hemuppgifterna inlämnas via Bilda (<http://bilda.kth.se>) där de rättas automatiskt.

Under kursen ges studenterna möjlighet att göra fyra kontrollskrivningar. *En god förståelse av hemuppgifterna kommer att testas på kontrollskrivningarna*. Godkänt på tre av fyra kontrollskrivningar ger godkänt betyg på tentamen (se avsnittet *Examination*).

## Kursfordringar

En skriftlig tentamen (TEN1, 7,5 hp), godkända hemuppgifter, (ÖVN1, 1,5 hp).

## Examination

### Kontrollskrivningar

Under kursen ges fyra kontrollskrivningar. Varje kontrollskrivning består av 3 uppgifter á 3 poäng. Krav för godkänt på kontrollskrivningarna är 5 poäng. Om godkänt resultat erhålls på tre av fyra kontrollskrivningar erhålls betyget E på de tentamina som ges under läsåret (om godkänt resultat erhålls på alla fyra kontrollskrivningarna ges betyget D). För högre betyg krävs deltagande vid skriftlig tentamen. *KS-resultaten gäller under ett (1) år.*

Kontrollskrivningarna är kumulativa, dvs de tar upp de avsnitt som hittills behandlats i kursen med *fokus på de nya avsnitten*. KS 1 och 2 hålls i period 3, medan KS 3 och 4 hålls i period 4.

### Tider och salar för kontrollskrivningar:

KS 1: 2013-02-12 kl 08.00-10.00, salar: L51-52, Q11-36, omfattning: kapitel 1.01-4.31.

KS 2: 2013-03-01 kl 08.00-10.00, salar: L51-52, Q11-36, omfattning: kapitel 1.01-6.57.

KS 3: 2013-03-27 kl 08.00-10.00, salar: L51-52, Q11-36, omfattning: kapitel 1.01-8.24.

KS 4: 2013-04-26 kl 08.00-10.00, salar: L51-52, Q11-36, omfattning: kapitel 1.01-10.79.

Ni kommer i förväg få veta vilka salar ni skall gå till. Ytterligare salar kan tillkomma!

I händelse av platsbrist har de studenter som är kursregistrerade för första gången VT2013 företräde. *Om du läst kursen tidigare och vill skriva årets kontrollskrivningar skall detta meddelas den kursansvarige senast en (1) vecka innan den första kontrollskrivningen.*

*Tillåtna hjälpmedel vid kontrollskrivningar är miniräknare (ej förprogrammerad) och formelsamling.*

### Tentamen

Tentamen består av en kortvarsdel (A-del) med 10 mindre räkneuppgifter á 1 poäng, samt en räknedel med 5 räkneuppgifter á 3 poäng där mer utförliga och/eller svårare problem skall lösas, dvs maximalt 25 poäng.

För godkänt på tentamen krävs 6 poäng på A-delen. Kontrollskrivning 1 tillgodoräknas som godkänt på uppgifterna 1-2 på A-delen, Kontrollskrivningarna 2, 3 och 4 tillgodoräknas på motsvarande sätt som godkänt på uppgifterna 3-4, 5-6 och 7-8 på A-delen. Tillgodoräknade uppgifter skall därför inte lösas på tentamen. Uppgifterna 9-10 kan inte tillgodoräknas eftersom de handlar om avsnitt som går igenom efter KS4.

Ordinarie tentamen hålls 2013-05-27, kl 14.00-19.00 i salarna: L51-52, Q11-36.

Ni kommer i förväg få veta vilka salar ni skall gå till. Ytterligare salar kan tillkomma!

*Tillåtna hjälpmedel vid tentamen är miniräknare (ej förprogrammerad) och formelsamling.*

Observera: obligatorisk föransmälan senast två veckor innan tentamen via "mina sidor".

### Betygsgränser

- För betyg A: 19-25 poäng, varav minst 6 poäng på A-delen.
- För betyg B: 15-18 poäng, varav minst 6 poäng på A-delen.
- För betyg C: 11-14 poäng, varav minst 6 poäng på A-delen.
- För betyg D: 8-10 poäng, varav minst 6 poäng på A-delen.
- För betyg E: 6-7 poäng, varav minst 6 poäng på A-delen.
- För betyg Fx: 5 poäng på A-delen – komplettering av tentamen för betyg E.
- För betyg F: färre än 5 poäng på A-delen.

### Komplettering av tentamen

- Rätt att komplettera äger den som skrivit tentamen och erhållit betyget Fx.
- Ca två veckor *efter att tentamensresultatet rapporterats* kommer en kompletterings-tentamen att äga rum. Exakt datum, tid och plats för denna kompletteringstentamen kommer att meddelas via email till berörda studenter. *Observera att kompletteringen för tentamen i maj kommer att äga rum under sommarlovet!* Det åligger studenten att själv ta ansvar för att hålla reda på när kompletteringstentamen äger rum.
- Kompletteringstentamen består av A-delsfrågor. Uppgifterna på kompletterings-tentamen är inte samma som på den ursprungliga tentamen.
- Student skall vid kompletteringstentamen lösa de fem (5) uppgifter som motsvarar de uppgifter han/hon hade underkänt på vid det ursprungliga tentamenstillfället. För godkänd komplettering skall två (2) uppgifter vara korrekt lösta.
- Det åligger studenten att själv ta ansvar för att han/hon löser rätt uppgifter på kompletteringstentamen, listor med resultatet från den ursprungliga tentamen kommer att finnas tillgängliga vid kompletteringstentamen.
- Resultatet av kompletteringen blir antingen godkänt (betyg E), eller underkänt (betyg F).
- Eventuell begäran om omprövning av rättningen av den ordinarie tentamen skall inlämnas **senast tre (3) arbetsdagar innan kompletteringstentamen**. Kommer begäran om omprövning in senare *ges ingen möjlighet till komplettering*, oavsett utfallet av omprövningen.

### Hemuppgifter

Under kursen skall sex hemuppgifter lösas. Inlämningen av dessa hemuppgifter görs via Bilda där de rättas automatiskt (<http://bilda.kth.se>). Det finns inget sista datum för inlämning, men vi rekommenderar att de lämnas in före nästa examinationsmoment (KS eller tentamen).

### Kurslitteratur

- Tillämpad termodynamik, Ekroth, Granryd, Studentlitteratur, 2006, ISBN 91-44-03980-8.
- Exempelsamling i Tillämpad termodynamik, KTH Energiteknik, 2012, ISBN 978-91-7178-853-5.
- Applied Thermodynamics – Collection of Formulas, Havtun, 2013, First edition, ISBN 978-91-633-7727-3.

“Tillämpad termodynamik” säljs bl. a. av kårbokhandeln (men är billigare om den köps på internet, t.ex. Bokus eller Ad Libris). Exempelsamlingen säljs i ITM-skolans studentexpedition, Brinellvägen 68, entréplanet. Den senaste upplagan av Formelsamlingen säljs av kårbokhandeln, men en äldre (fullt användbar) upplaga finns i *begränsat antal* i ITM-skolans studentexpedition.

### Studentexpeditionen

Tentamina och kontrollskrivningar kan hämtas ut i ITM-skolans studentexpedition, Brinellvägen 68, entréplanet. Öppettider terminstid: Måndag-Fredag kl. 09.00-15.00.

### Funktionshinder

Student med funktionshinder och som fått *speciella hjälpmedel/arrangemang beviljade beträffande examination och som vill utnyttja detta vid kontrollskrivningarna* skall inlämna intyg för detta till den kursansvarige *senast två veckor före den första kontrollskrivningen!*

## Kurshemsida

<http://bild.a.kth.se>, Aktivitet: MJ1112 (VT13) Tillämpad termodynamik.

När du är kursregisterad kommer du automatiskt få tillgång till denna aktivitet. Om du läst kursen *tidigare år* måste du omregistreras för att få tillgång till Bilda-aktiviteten. För att bli omregistrerad skriver du på anmälningslistan som går runt under de första föreläsningarna eller så skickar du ett email med ditt namn och personnummer till den kursansvarige.

Från kurshemsidan kan bl.a. föreläsningssanteckningar, hemuppgifter, tillägg, gamla kontrollskrivningar och tentamina laddas ned.

## Detaljerat schema

	Avsnitt i boken	Uppg på Föreläs		Uppgifter på övning		Uppgifter på övning/ räknestuga	Hem- uppgifter
<b>F1</b>	1.01-1.17, 2.01- 2.39		<b>Ö1</b>	13, 14, (15)			
<b>F2</b>	2.40-2.56	10, 11	<b>Ö2</b>	21, 26	<b>Ö3</b>	19, 25	
<b>F3</b>	3.01-3.09, 3.48-3.60	37	<b>Ö4</b>	33, 36, 43			
<b>F4</b>	3.10-3.47		<b>Ö5</b>	56, 65, 66	<b>RS1</b>	18, 30, 38	H1 ut
<b>F5</b>	4.01-31	92	<b>Ö6</b>	72, 76, 77, 94			H2 ut
<b>F6</b>	4.32-4.50	89	<b>Ö7</b>	85, 90, 91, + extra	<b>RS2</b>	54, 57, 78, 82	
	<b>KS1 (t.o.m. 4.31)</b>						
<b>F7</b>	5.01-5.43		<b>Ö8</b>	87, 97, 100	<b>Ö9</b>	102, 104, 105, 108, 112	
<b>F8</b>	5.44-63	119	<b>Ö10</b>	111, 113, 115			
<b>F9</b>	6.01-6.50		<b>Ö11</b>	125, 135	<b>RS3</b>	122, 123	H3 ut
<b>F10</b>	6.51-6.57		<b>Ö12</b>	130, 137 + extra	<b>RS4</b>	(126), 133, 136	
	<b>KS2 (t.o.m. 6.57)</b>						
<b>F11</b>	7.01-7.51	174	<b>Ö13</b>	164, 170			
<b>F12</b>	7.52-7.90	158	<b>Ö14</b>	159, 168, 175	<b>Ö15</b>	171, 156 + extra	
<b>F13</b>	8.01-8.10		<b>Ö16</b>	185, (192)			
<b>F14</b>	8.11-24, 9.01-10		<b>Ö17</b>	192, 181, (197)	<b>RS5</b>	167, 186, 190, 191	
	<b>KS3 (t.o.m. 8.24)</b>						
<b>F15</b>	9.11-9.24	201	<b>Ö18</b>	197, 199	<b>RS6</b>	198, 200	H4 ut
<b>F16</b>	10.01-10.40		<b>Ö19</b>	213, 214			
<b>F17</b>	10.41-58		<b>Ö20</b>	218, 219, 222	<b>Ö21</b>	224, 220	H5 ut
<b>F18</b>	10.59-10.79		<b>Ö22</b>	229, 230, 236	<b>RS7</b>	210, 212, 232	
	<b>KS4 (t.o.m. 10.79)</b>						
<b>F19</b>	11.01-11.47		<b>Ö23</b>	242, 247			H6 ut
<b>F20</b>	11.48-11.100		<b>Ö24</b>	261, 263, 266, 270	<b>RS8</b>	246, 249, 264	
<b>F21</b>	12.01- 12.21		<b>Ö25</b>	254, 277, 273			
<b>F22</b>	12.22-12.40		<b>Ö26</b>	278, 280			
<b>F23</b>	12.40-12.51	Tentauppg.	<b>Ö27</b>	285, 291	<b>RS9</b>	271, 280, 287	

Urvalet av uppgifter till räknestugorna är i viss mån avpassat till den tillgängliga tiden. Övriga uppgifter i exempelsamlingen är också bra övning! Uppgifterna på föreläsningarna är preliminära (uppgifter kan tillkomma eller strykas). Utlämningsstiden för hemuppgifterna är preliminära (beror bl.a. på vad de handlar om).

## Bilaga 1: Detaljerat kursinnehåll och lärandemål

*Efter kursen skall teknologerna kunna:*

- Redogöra för temperaturbegreppet och nollte huvudsatsen, samt känna till olika förekommande temperaturskalor, tryckenheter etc
- Formulera och använda Gibbs fasregel för att uttaga erforderligt antal tillståndstorheter för att entydigt bestämma ett termodynamiskt tillstånd i ett system
- Med egna ord förklara och åskådliggöra grundläggande begrepp som system, tillstånd, jämvikt, process, cykel (kretsprocess), arbete, värme, samt andra former av energi
- Skilja på öppna och slutna system samt tillståndstorheterna inre energi och entalpi
- Formulera kontinuitetsekvationen för ett öppet system och uttrycka denna med relevanta matematiska termer samt kunna utnyttja denna för tekniska beräkningar.
- Formulera och utnyttja första huvudsatsen för att uttaga energi-ekvationen för öppna system samt använda denna för beräkningar av arbete och värmeutbyte med omgivningen
- Ställa upp och lösa energibalansproblem för slutna system med värme och arbetsutbyte med omgivningen för ideala gaser och verkliga medier med hjälp av tillståndsdigram och/eller ekvationer
- Formulera energibalansproblem för öppna system i fortfarighet för komponenter som dysor, kompressorer, turbiner, strypventiler och värmeväxlare
- Ställa upp samband för instationära energibalansproblem för öppna system som t.ex. laddning och urladdning av tankar
- Redogöra för modellbegreppet "ideal gas" samt ange dess giltighetsområde samt tillämpa ideala gaslagen för beräkningar för olika typer av system
- Ta fram grundläggande samband för icke-reagerande gasblandningar samt kunna definiera och använda begrepp som mass-, mol- samt volymkoncentration
- Redogöra för begreppet specifikt värme samt uttaga värden för såväl ideal gas som för verkliga medier samt utnyttja dessa för beräkningar av förändringar av inre energi och entalpi
- Formulera 2:a huvudsatsen och redogöra för dess konsekvenser i vid mening
- Redogöra för begreppet perpetuum mobile av 1:a och 2:a slaget
- Ställa upp uttryck för och beräkna den termiska verkningsgraden för en ideal Carnotprocess och illustrera denna i  $v,p$ - samt  $s,T$ -diagram samt diskutera temperaturnivåernas konsekvenser för den termiska verkningsgraden
- Definiera begreppet entropi utifrån Clausius integral samt kunna visa att entropi är en tillståndstorhet
- Förklara kopplingen mellan 2:a huvudsatsen och begreppet entropi samt utifrån detta diskutera begreppet reversibilitet/reversibla system samt kopplingen mellan entropi och ordning
- Beräkna entropiändringen för system som genomgår enkla tillståndsförändringar
- Definiera begreppet isentropisk termodynamisk verkningsgrad för olika komponenter som pumpar, kompressorer och turbiner samt använda dessa i beräkningar för enkla processer eller termodynamiska cykler

- Diskutera begreppet exergi eller energikvalitet samt kopplingen mellan förluster och destruktion av exergi
- Genomföra beräkningar av termisk verkningsgrad och arbetsutbyte för enkla kraftprocesser med mediet i gasfas som Otto-, Diesel, Joule/Brayton (gasturbin) etc
- Beskriva skillnaden mellan ideala och verkliga processer enl. ovan
- Förklara och diskutera fysiken för fasomvandlingar för rena medier
- Rita upp schematiska tillståndsdigram inkl  $p, v, T$  - ytor för rena medier
- Beräkna tillståndstorheter som temperatur, tryck och volymitet med hjälp av termiska tillståndsekvationer
- Använda generaliserade kompressibilitetsdiagram eller tillståndsdigram för att uttaga  $p, v, T$  data för verkliga medier
- Genomföra beräkning av arbetsutbyte och verkningsgrad för ångkraftsprocesser med hjälp av tabeller och tillståndsdigram för verkliga medier
- Redogöra för avancerade cykler som kombicykler (Ångkraft + gasturbin) samt genomföra beräkningar för dessa
- Redogöra för principen för kylmaskiner och värmepumpar
- Beräkna kyl- och värmepumpprocessers maximala verkningsgrad utifrån den ideala Carnotprocessen
- Genomföra beräkningar av köld- och värmefaktor samt kyleffekt för förångningskylprocesser med hjälp av tabeller och tillståndsdigram för verkliga (köld-) medier
- Genomföra motsvarande beräkningar för omvända gascykler
- Redogöra med egna ord för grundbegrepp inom strömningslära som stationär – instationär strömning, kompressibel – inkompressibel strömning, förlustfri – icke förlustfri strömning, laminär – turbulent strömning etc
- Härleda Bernoullis ekvation samt tillämpa denna med eller utan förlustterm
- Redogöra för principer för tryck och hastighetsmätning i strömmande medier
- Beräkna friktionstryckfall i rör och kanaler för laminär och turbulent strömning
- Avgöra om strömning är laminär eller turbulent genom att beräkna Reynolds tal
- Använda Moodys diagram för att uttaga friktionsfaktorn för rörströmning
- Använda Eulers turbinekvation
- Redogöra för gränsskikt och dess betydelse inom strömning och värmeöverföring
- Redogöra för begreppet gränsskiktsavlösning
- Utnyttja energi ekvationen för ett öppet system för att uttaga samband för kompressibel strömning för ideala gaser i olika typer av dysor
- Redogöra för begreppen stagnationstryck och temperatur, ljudhastighet samt Mach-tal för en kompressibel strömmande fluid

- Genomföra beräkningar av utströmningshastighet för enkla munstycken och De Laval-dysor
- Redogöra för Fouriers lag samt begreppet värmeledningsförmåga
- Beräkna värmeövergångstal vid olika typer av strömning och geometrier genom att använda olika empiriska korrelationer
- Redogöra för huvudprinciperna för olika typer av värmeväxlare samt kunna beräkna temperaturverkningsgrad med kännedom om geometrier, ämnesdata och erforderliga randvillkor
- Beräkna värmeöverföring vid egenkonvektion utifrån kännedom om fluid, geometri och randvillkor
- Beräkna strålningsutbyte mellan kroppar vid enkla geometrier
- Förklara begreppet torr luft samt kunna beräkna den relativa fuktigheten för luft innehållande vattenånga
- Definiera och uttaga daggpunkt och kylgräns då luftens relativa fuktighet är känd
- Använda tillståndsdigram för fuktig luft för enkla luftbehandlingsberäkningar
- Beskriva och modellera fenomen såsom daggutfällning och avdunstning vid fuktig luft

*Låter det mycket? Oroa dej inte – vi tar en bit i taget!  
Lycka till!*