

T4

Varmluftsmotorn

Målsättning:

- Att förstå termodynamiska kretslopp, speciellt Stirling-cykeln som varmluftsmaskinen bygger på
- Att förstå hur varmluftsmaskinen kan användas som motor, värmepump eller kylmaskin, beroende på om värme eller arbete tillförs.
- Att kunna bestämma verkningsgraden, både teoretiskt och praktiskt.

Förberedelser:

Lab-PM skall vara noga genomläst.

Inlämningsuppgifterna skall vara utförda, och lämnas in till handledaren vid laborationens början. Utan ifyllt uppgiftsblad kommer studenten ej att tillåtas påbörja laborationen.

Uppgifterna rättas under laborationens gång. Godkända inlämningsuppgifter krävs för godkänd laboration.

Namn _____ Linje _____ Datum _____

Godkänd laborationen den _____ av _____

Till handledare

Varmluftsmotorer ska kontrolleras i god tid före laborationen. Eventuella brister eller skador ska i god tid anmälas till teknisk service. Smörjning av varmluftsmotorer sköts av teknisk service. Om en varmluftsmotor behöver smörjas anmäls detta till teknisk service.

Förkunskaper

Kännedom om:

- Termodynamikens huvudsatser,
- Termodynamiska processer (t.ex. isobar expansion),
- Termodynamiska kretslopp (t.ex. Carnot-processen),
- Termodynamiska diagram (t.ex. TS-diagram),
- Gasers beteende (t.ex. förutsättningar för idealgasapproximationen),
- Egenskaper för ideala gaser (t.ex. att inre energin endast beror på temperaturen),
- Hur arbete och värme bestäms grafiskt ur diagram.

För utförlig behandling av teorin och för att erhålla nödvändiga förkunskaper, hänvisas till tillgängliga läroböcker, t ex "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics" av F. Reif, "Statistical Physics" av E. Mandl, eller "Fundamentals of Classical Thermodynamics" av G J van Wylen och R E Sonntag.

Innehåll

Förkunskaper	2
1 Teori	3
1.1 Beteckningar	3
1.2 Termodynamiska begrepp	3
1.2 Ideala gaser	5
1.3 Stirling-cykeln	6
2 Utrustning	8
3 Uppgifter	12
3.1 Studium av Stirling-cykeln	12
3.2 Kylmaskin/Värmepump	16
3.3 Varmluftsmotor	16
3.3.1 Effektivitet från bromsprov.	16
3.3.2 Effektivitet ur pV-diagram.	17
4 Inlämningsuppgifter	20

1 Teori

1.1 Beteckningar

Beteckningarna följer van Wylen/Sonntag: "Fundamentals of Classical Thermodynamics".

Betydelse	Beteckning	Enhet
Värme	Q	J
Arbete	W	J
Inre energi	U	J
Absolut temperatur	T	K
Entropi	S	J/K
Entalpi	H	J
Absolut tryck	P	Pa
Volym	V	m ³
Effektivitet / Verkningsgrad	η	
Kylfaktor / Värmefaktor	β	
Molmängd	n	mol
Allmänna gaskonstanten	R	J/mol K
Vinkelfrekvens	ω	rad/s
Vridmoment	M	Nm
Effekt	P	W

1.2 Termodynamiska begrepp

Den klassiska termodynamiken är baserad på ett antal fundamentala lagar, de så kallade huvudsatserna. I den här laborationen används första och andra huvudsatsen.

Första huvudsatsen är i grund och botten inget annat än lagen om energikonservering, som säger att den inre energin för ett slutet system är konstant ($dU = 0$).

Andra huvudsatsen säger att riktningen hos fysikaliska processer i ett slutet system måste vara sådan att entropin alltid ökar eller möjligen förblir konstant ($dS \geq 0$).

För öppna system, där värme (δQ) tillförs systemet och arbete (δW) uträttas av systemet, kan huvudsatserna formuleras så här:

$$\text{Första huvudsatsen:} \quad dU = \delta Q - \delta W \quad (1)$$

$$\text{Andra huvudsatsen:} \quad dS \geq \delta Q / T \quad (2)$$

Likhetstecknet i (2) gäller vid reversibla processer. Begreppet ”reversibel process” förklaras närmare i kursboken. Enkelt uttryckt betyder det en process som sker utan friktionsförluster, så att det i princip är möjligt att återgå till begynnelsestillståndet utan att universums entropi har ökat.

Termodynamiska tillstånd för en fix mängd av en enkel enkomponentig vätska eller gas kan fullständigt beskrivas med två oberoende tillståndsvariabler, t ex temperatur och volym. Detta gör det lämpligt att presentera data i diagram. Ofta visas en intensiv (mängdberoende) variabel som funktion av en extensiv (mängdberoende) variabel, t.ex. pV- eller TS-diagram.

I dessa diagram kan man sedan markera konturer för vilka någon annan variabel är konstant. Några vanliga konturer är isotermer (T konstant), isobarer (p konstant), isokorer (V konstant), isentroper (S konstant) och isentalper (H konstant).

Man kan med hjälp av de ovan nämnda konturerna definiera vissa standardprocesser som sker i termodynamiska system, t ex isokor avkylning eller reversibel adiabatisk (=isentropisk) expansion.

Ett termodynamiskt system som genomgår ett slutet kretslopp sägs genomgå en cykel. Sådana cykliska processer används i praktiska tillämpningar för att producera arbete utgående från tillfört värme (värmemotorer), eller omvänt för att med hjälp av tillfört arbete pumpa värme från kallare till varmare system (kylmaskiner, värmepumpar). Man eftersträvar naturligtvis att finna så effektiva processer som möjligt. Som utgångspunkt för teoretiska studier använder man ideala reversibla cykler, som definieras med hjälp av olika idealiserade delprocesser. Den teoretiskt sett mest effektiva är Carnot-cykeln, som är sammansatt av två isotermer och två adiabater. Det finns andra ideala cykler, vilka har samma eller lägre effektivitet under motsvarande arbetsförhållanden. Till den senare kategorin hör t.ex. Otto-cykeln, som approximativt beskriver processen i en bensinmotor.

För ett system som endast utför expansionsarbete eller tillförs kompressionsarbete (d.v.s. allt arbete sker genom volymändringar) kan uttrycket för arbete förenklas:

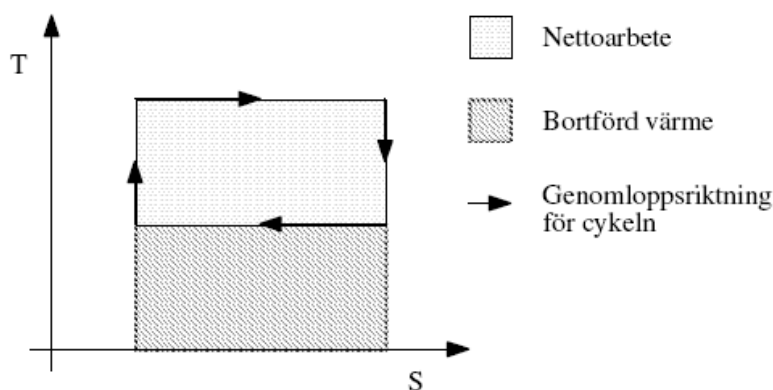
$$\delta W = p dV \quad (3)$$

Av (2) framgår att man kan beräkna tillfört eller bortfört värme ur TS-diagram som areor (integraler) under processkurvor. På samma sätt medför (3) att man kan beräkna arbete som areor under kurvor i pV-diagram.

För en hel sluten cykel är ändringen av den inre energin noll, eftersom man efter ett helt varv har kommit tillbaka till samma tillstånd. Den första huvudsatsen (1) ger då att nettoarbetet är lika med skillnaden mellan tillfört och bortfört värme.

$$\text{För en cykel:} \quad W_{\text{netto}} = Q_{\text{tillfört}} - Q_{\text{bortfört}} \quad (4)$$

Cykeln i figur 1 har ett positivt nettoarbete, d.v.s. man får ut arbete från cykeln. Den kan då användas som motor, om värme tillförs t.ex. från en glödtråd och bortförs vid en lägre temperatur, t.ex. till kylvatten.



Figur 1: Carnot-cykel. Arean under den övre isotermen representerar tillfört värme. Det nettoarbete man kan få ut är skillnaden mellan tillfört och bortfört värme.

Om cykeln reverseras (genomloppsriktningen ändras) så blir nettoarbetet negativt, d.v.s. man måste tillföra arbete. Arean under den övre isotermin i figur 1 representerar då bortfört värme. Den reverserade cykeln kan användas som kylmaskin (om man är intresserad av det tillförda

värmet) eller värmepump (bortfört värme intressant). I princip är det ingen skillnad mellan en kylmaskin och en värmepump. En kylmaskin kan även användas som en värmepump, vilket man lätt inser om man känner efter hur varmt det blir på baksidan av ett kylskåp. Kylskåpet värmer rummet, d.v.s. det är en värmepump.

Effektivitet för cykler definieras som:

$$\eta_{motor} = W_{netto} / Q_{tillfört} \quad (5)$$

$$\beta_{kylmaskin} = Q_{tillfört} / W_{tillfört} \quad (6)$$

$$\beta_{värmepump} = Q_{bortfört} / W_{tillfört} \quad (7)$$

Vanligen använder man ordet ”verkningsgrad” när man talar om effektiviteten η för en motor och ”kylfaktor” respektive ”värmefaktor” när man talar om effektiviteten β för en kylmaskin respektive en värmepump.

För en Carnot-cykel härleder man lätt ur första och andra huvudsatsen att

$$\eta_{motor} = W_{netto} / Q_{tillfört} = 1 - T_L / T_H \quad (8)$$

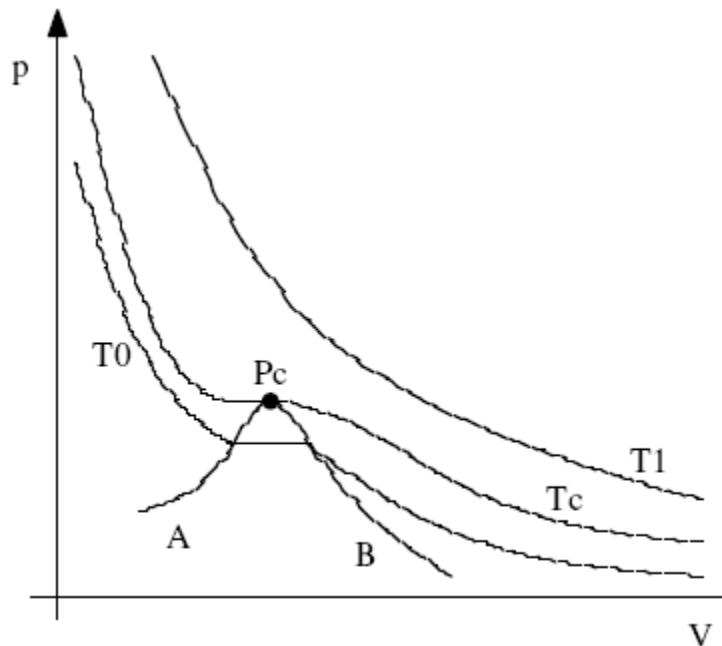
där T_H är den högsta temperaturen under processen (värmekällans temperatur) och T_L är den lägsta temperaturen under processen (kylarens temperatur). Denna verkningsgrad är den högsta möjliga för en värmemotor som arbetar mellan givna temperaturgränser. Det framgår av (8) att verkningsgraden alltid är mindre än ett, vilket är ett fundamentalt faktum som inte har något att göra med eventuella förluster genom friktion eller liknande. Verkliga cykler, t.ex. i bensinmotorer, har givetvis ännu lägre verkningsgrad, dels på grund av att de flesta använder cykler med lägre verkningsgrad än Carnotcykeln, som t. ex. Otto-cykeln, dels på grund av friktionsförluster m.m.

1.2 Ideala gaser

Som vi tidigare har nämnt är termodynamiska tillstånd för vätskor och gaser entydigt bestämda av två tillståndsvariabler, men sambanden mellan de olika variablerna är oftast komplicerade. Det finns dock vissa specialfall, då dessa samband kan approximeras med enkla analytiska uttryck, så kallade tillståndsekvationer. Det mest kända är den ideala gaslagen, vilken är approximativt giltig för gaser under vissa förutsättningar.

$$pV = nRT \quad (9)$$

Dessa förutsättningar kan studeras med hjälp av isotermer i pV-diagram (se figur 2). Av den ideala gaslagen (9) framgår att pV-kurvorna är hyperbler för konstant T (isotermer).



Figur 2: pV-diagram för en gas med isotermer. $T_1 > T_c > T_0$. P_c är den kritiska punkten. A och B är kurvorna för mättad vätska resp mättad ånga. Den kritiska isotermen (T_c) har en sadelpunkt (inflexionspunkt) vid det kritiska trycket.

Figur 2 ovan visar att isotermer närmar sig hyperbler när tillståndet för gasen är långt ifrån den kritiska punkten. Luft kan i många sammanhang approximeras med kvävgas (N_2), för vilken den kritiska temperaturen är 126.3 K och det kritiska trycket är 3.4 MPa. Vid rumstemperatur (300 K) kan man därför använda ideala gaslagen för luft.

I de flesta fall kan man ur ett pV-diagram endast beräkna arbete men inte värme, eftersom det inte framgår vad som skett med den inre energin. Det finns dock ett viktigt specialfall där även värme kan beräknas ur pV-diagram, nämligen när det handlar om en idel gas. Detta följer av att den inre energin för en ideal gas endast beror av temperaturen.

$$\text{Ideal gas:} \quad U = f(T) \quad (10)$$

För en ideal gas gäller därför, enligt (1), att utfört arbete under en isoterm är lika med tillfört värme.

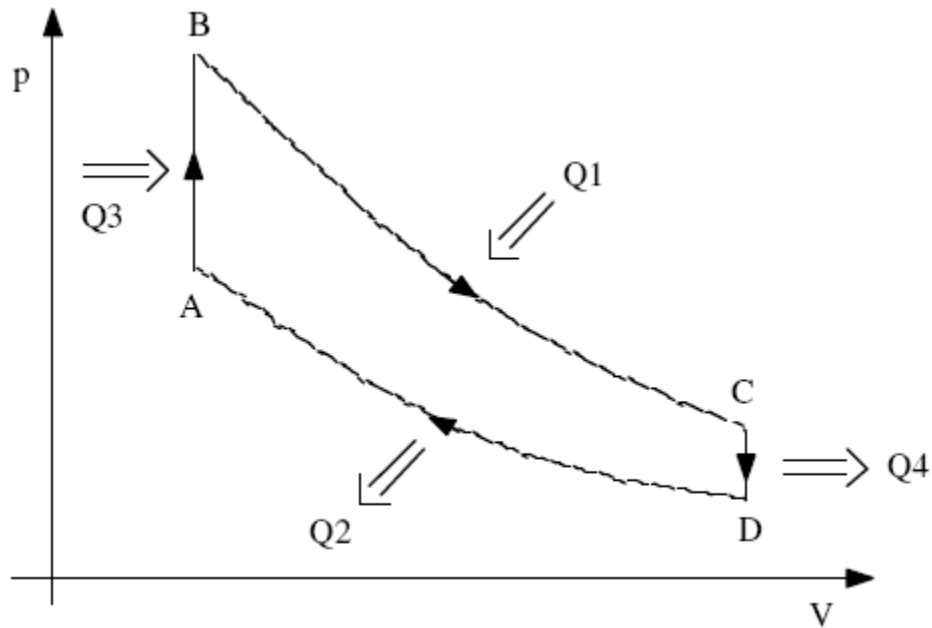
$$\text{Ideal gas, } T \text{ konstant} \Rightarrow U \text{ konstant} \Rightarrow \delta W = \delta Q \quad (11)$$

Detta är dock inte fallet för t ex isobarer, och givetvis inte heller för icke-ideala gaser.

1.3 Stirling-cykeln

En av de många cykler som används för att modellera kretslopp, är Stirling-cykeln. Motorer baserade på denna cykel har på senare tid fått ett allt större användningsområde, bl. a. i ubåtar.

Stirling-cykeln bygger på en isokor upphettning, en isotermisk expansion, en isokor avkylning och en isotermisk kompression. Dessa kombineras till ett kretslopp, vilket sker i en sluten cylinder, oftast med luft som arbetsmedium.



Figur 3: Stirling-cykel. Kretsloppet genomlöps i pilarnas riktning. Isokor upphettning A-B då Q_3 tillförs. Isoterm expansion (vid T_H) då Q_1 tillförs. Isokor avkylning då Q_4 bortförs. Isoterm kompression (vid $T_L < T_H$) då Q_2 bortförs. Hela eller en del av Q_3 kan komma från Q_4 via en regenerator. Om cykeln reverseras (ändrar genomloppsriktning) så ändrar värmeflödena riktning.

Om en gas får expandera adiabatiskt (d.v.s. utan värmeförsel) så sjunker dess temperatur. Om man vill hålla temperaturen konstant, d.v.s. genomföra en isotermisk expansion, krävs att värme tillförs (Q_1 i figur 3). På motsvarande sätt måste värme bortföras under en isotermisk kompression (Q_2). Under den isokora avkylningen, då temperaturen sänks, måste värme bortföras (Q_4), men detta kan till viss del återanvändas, t.ex. via en regenerator, under den isokora upphettningen, då värme måste tillföras (Q_3).

Om Stirling-cykeln genomlöps medurs (se figur 3) så är integralen under den övre isotermen positiv, medan integralen under den nedre isotermen är negativ. Nettoarbetet fås sedan som summan av integralerna, vilket i figur 3 är positivt, d.v.s. cykeln utför ett arbete som kan användas t ex för att driva en propeller. Maskinen fungerar alltså som motor under förutsättning att värme (Q_1) tillförs, t ex från en glödtråd. Om cykeln reverseras blir nettoarbetet negativt, d.v.s. arbete måste tillföras utifrån. Maskinen fungerar då som kylmaskin (Q_2 intressant) eller värmepump (Q_1 intressant).

Observera att med en cykel avses ett kretslopp i ett diagram. Att en cykel reverseras medför inte automatiskt att t.ex. en rotationsriktning för en specifik maskin ändras.

Det är möjligt att öka effektiviteten genom att använda regenerators. En regenerator lagrar den värme som avges under den isokora avkylningen, och tillför den sedan vid den isokora upphettningen. Denna möjlighet att använda regenerators för att höja effektiviteten är en av fördelarna med Stirling-cykeln.

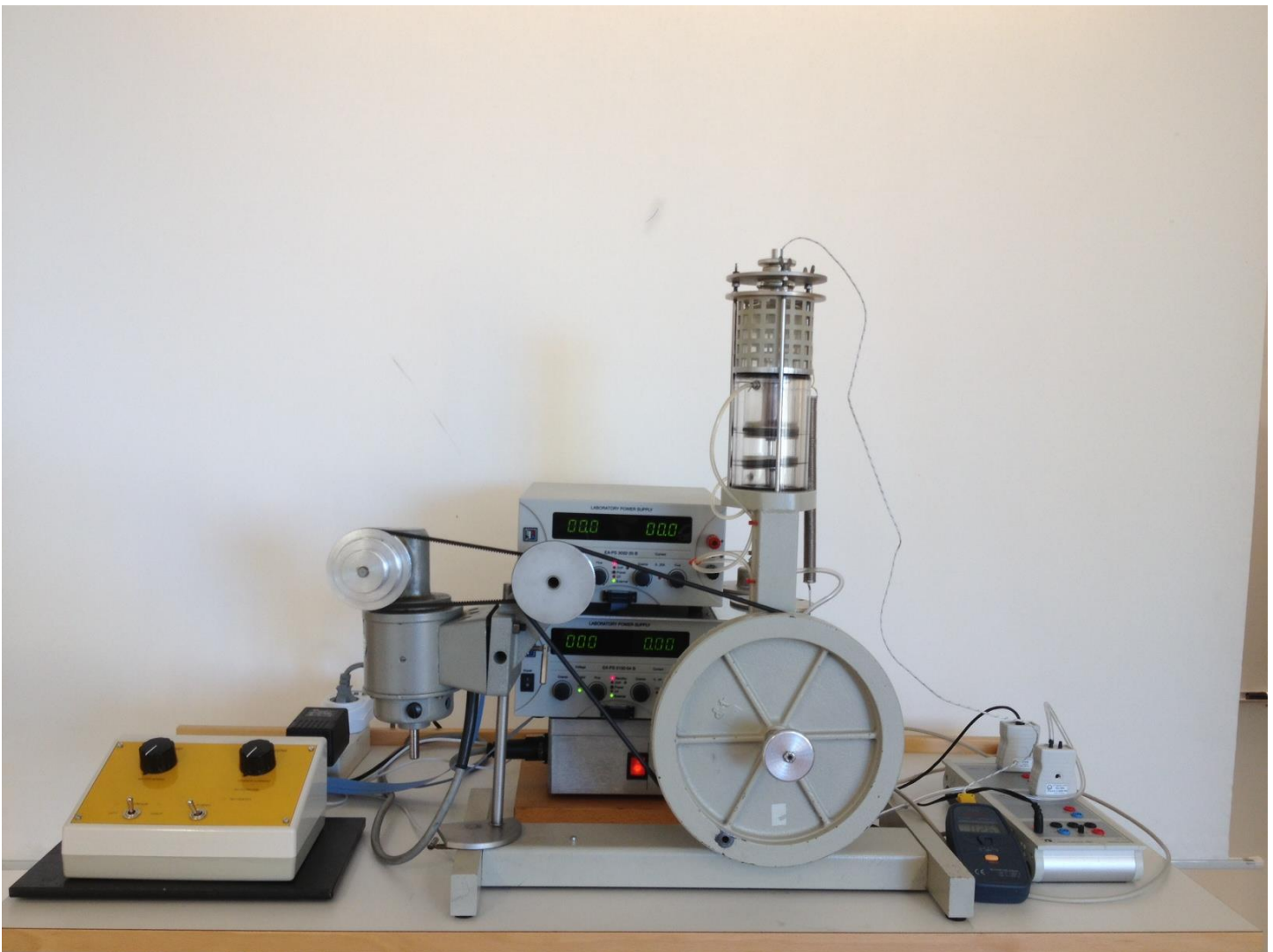
Om man via en regenerator återför hela Q_4 till Q_3 , så får den ideala Stirling-cykeln samma effektivitet som en Carnot-cykel.

$$\text{Hela } Q_4 \rightarrow Q_3 \text{ via regenerator} \Rightarrow \eta_{\text{stirling}} = \eta_{\text{carnot}} \quad (12)$$

Om man inte har perfekt återföring via regeneratoren men ändå en ideal Stirling-cykel, så måste man veta den tillförda värmemängden för att kunna beräkna effektiviteten. Detta kräver vanligtvis tillgång till tabellerade värden på den inre energin. Om det arbetande mediet kan betraktas som en ideal gas, t.ex. om man har luft vid rumstemperatur, så förenklas det hela däremot. Enligt (11) så är då det utförda (tillförda) arbetet under isotermer det samma som den tillförda (bortförda) värmen.

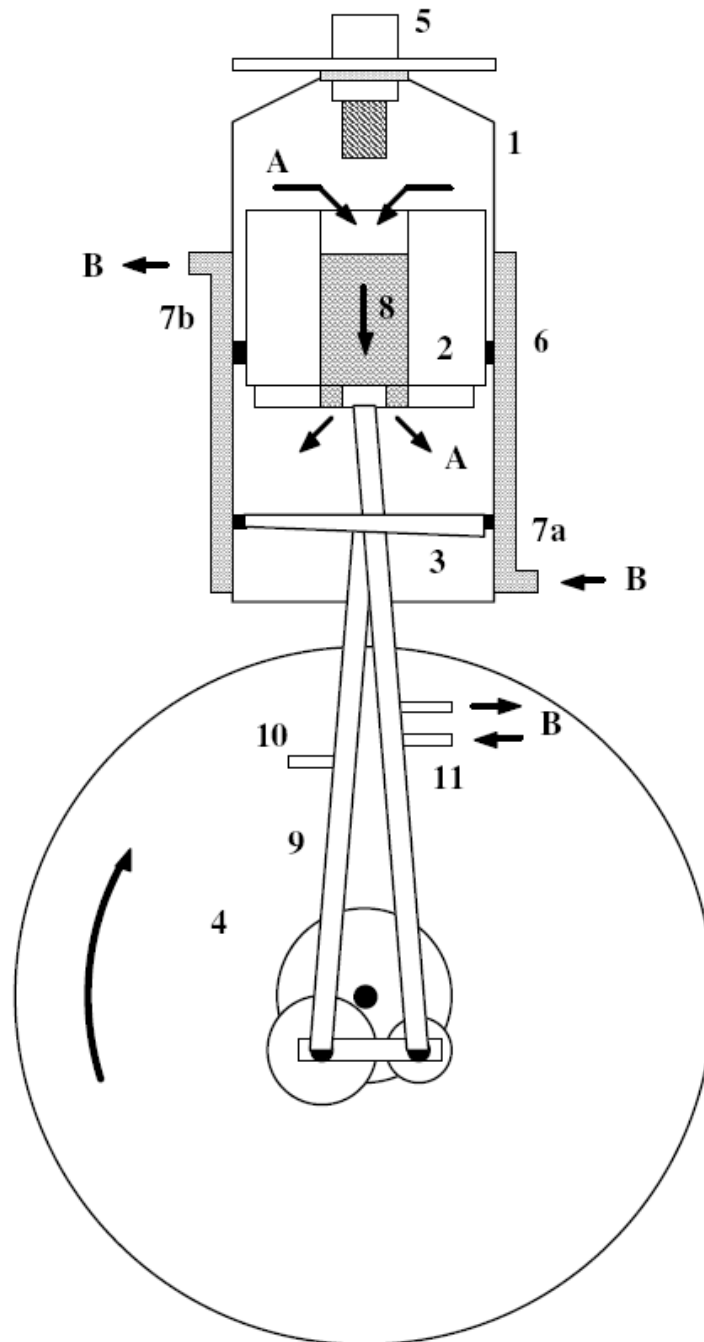
2 Utrustning

(I Figur 4 nedan visas en labbplats med en varmluftsmotor (VLM) (Stirling Engine) och tillhörande utrustning som behövs för styrning av VLM.)



Figur 4: Labbplats med varmluftsmaskin (VLM) (Stirling Engine) med tillhörande elektronisk utrustning

VLM:s uppbyggnad framgår av figur 5. Siffror inom parentes hänvisar i detta avsnitt till Figur 5.



Figur 5: Varmluftsmotor. Pilarna representerar luftflödet genom regeneratoren (A), samt kylvatten flöden (B). Luftflödet kan reverseras.

Varmluftsmotor (VLM) (Stirling Engine)

består i princip av en precisionsslipad glascylinder (1) med två rörliga kolvar (2), (3) kopplade till ett svänghjul (4). I cylinderns övre del kan man skruva fast en fläns med antingen en uppvärmningsanordning (5) (glödtråd) eller ett provrör. Provröret kan fyllas med vätska för att studera kylmaskins- eller värmepumpsfunktionen. Den undre delen omges av en kylmantel (6) av plast, med insläpp (7a) och utlopp (7b) för kylvattnen. Förflytningskolven (2) svarar för

transporten av gasen från den varma till den kalla delen av cylindern och tvärt om. Arbetskolven (3) som rör sig med en fasförskjutning på 90° relativt förflyttningskolven svarar för kompressionen (expansionen) av gasen. Arbetskolven isolerar gasen från omgivningen varför man tar ut eller tillför arbete via den kolven.

Förflyttningskolven, regenerator, är tillverkad i värmebeständigt glas och dess undre ända är försluten med en vattenkyld metallplatta med radiella slitsar som låter luften passera under värmeväxling. Denna kolv har givits en speciell utformning med en axiell kavitet fylld med kopparull (8). Kopparullens funktion är att ta upp värme när gasen passerar till den kallare delen av cylindern för att åter avge värme när gasen passerar i motsatt riktning. På så sätt bevaras en del värme "inom systemet" och verkningsgraden ökar.

Kolvarna är med vevstakar kopplade till ett tungt svänghjul (4) för att ge maskinen en jämn gång. Kylvattnet till förflyttningskolven (2) tillförs och bortförs genom vevstaken, vilken har kanaler samt insläpp och utlopp för vattnet (11).

Svänghjulet är försett med ett kilspår för anslutning med en O-ring till en elektrisk motor som används för att driva svänghjulet när maskinen körs som värmepump eller kylmaskin. På svänghjulets baksida finns en givare som registrerar svänghjulets rörelse. Givarens funktion är att bryta strömmen till glödtråden när svänghjulet inte roterar, dvs. när VLM står still, för att glödtråden inte ska överhettas eller att glascylinder inte ska spricka av överhettning.

Elektronisk utrustning

består av en huvudströmsbrytare, 2 spänningskällor – en för att driva en elektrisk motor och en för att förse glödtråden med ström (LABORATORY POWER SUPPLY), sensorenhet för detektering av tryck och volym (SENSOR-CASSY), en styrenhet, en dator och ett instrument för temperaturmätning med ett termoelement.

Styrenhet

används för att styra dels strömmen till glödtråden när maskinen körs som VLM (högra sidan STIRLING ENGINE), och dels att styra spänningen till en elektrisk motor när maskinen används som en kylmaskin respektive en värmepump (vänstra sidan HEAT PUMP). De två spänningskällorna (LABORATORY POWER SUPPLY) är kopplade till styrenheten och kan styras bara från styrenheten.

Styrenheten har två rattar och två vippströmställare. Med vippströmställaren POWER, som har två lägen, väljs antingen STIRLING ENGINE (högra läget) när maskinen körs som VLM, eller elmotor HEAT PUMP (vänstra läget) när maskinen körs som kylmaskin eller värmepump. Med den högra ratten (HEATER CURRENT) styrs strömmen till glödtråden.

Med vippströmställaren ROTATION, som är återfjädrande, väljs rotationsriktningen för elmotorn (LEFT, RIGHT). Med den vänstra ratten styrs spänningen till elmotorn (MOTOR SPEED). För att förhindra att man ändrar elmotorns rotationsriktning under elmotorns gång är den vänstra ratten och den vänstra vippströmställaren sammankopplade på följande vis:

Att starta elmotorn: välj med vippströmbrytare i mitten (POWER) elmotorn (HEAT PUMP), välj med den vänstra vippströmbrytaren rotationsriktning för elmotorn och håll vippströmställaren, vrid samtidigt ratten MOTOR SPEED medurs, efter klickljudet kan du släppa vippströmbrytaren och öka hastigheten.

Att byta elmotorns rotationsriktning: vrid ner vänstra ratten MOTOR SPEED till noll (ett klickljud hörs), byta riktning med vippströmbrytaren, håll den och vrid upp vänstra ratten (ett klickljud hörs), öka hastighet.

Indikator NO ROTATION markerar att maskinen står still, och då är strömmen till glödtråden bruten.

Indikator NO HEATER markerar att flänsen med glödtråden inte är monterad och att strömmen till glödtråden är bruten.

pV-indikator

Gasens tryckvariationer i cylindern överförs via en smal PVC slang till en elektronisk sensor, SENSOR-CASSY 524 010, INPUT B. Gasens volymförändringar i cylindern på grund av arbetskolvens rörelse mäts indirekt med hjälp av en tråd fäst i arbetskolven (en sträcka registreras). Tråden löper över en trissa som sitter i en elektronisk krets bakom svänghjulet. Trissans rörelse förs till sensorns INPUT A. Sensorn är kopplad till en PC.

pV-diagram kan ritas på skärmen med hjälp av ett program.

pV-diagram

Ett program tar hand om tryck- och volymdata (egentligen registreras sträckan som arbetskolven rör sig upp och ner, area av cylindern är konstant den ändras inte när arbetskolven rör sig upp och ner) som skickas från pV indikatorn.

Logga in på datorn (lösenord CID). Öppna program CASSY Lab och aktivera ikonen CASSY Lab. Stäng det första fönstret som visas. I nästa fönster "Settings" väljs under fliken "General" PC:s anslutning dvs. sensorns anslutningskontakt till datorn. Aktivera "COM1" (normalt är det denna kontakt), när anslutningen är ok lyser bilden av kontakten rött.

Gå vidare i fönstret "Settings" och öppna fliken "CASSY". Aktivera p-indikator (p_{B1}) respektive V-indikatorn (α_{A1}). Det visas ett rött märke på p_{B1} resp. α_{A1} indikatorn. Samtidigt öppnas ett koordinatsystem och två mindre fönster som fungerar som mätinstrument, ett för tryck "Relative Pressure p_{B1} ", och ett för volym (egentligen sträcka) "Angle α_{A1} ". Vidare visas på skärmen två andra fönster "Settings" och "Measuring Parameters".

Med ett högerklick i fönstret för indikatorn p_{B1} eller α_{A1} öppnas "Sensor Input Settings" för respektive indikator. Klicka på α_{A1} och ändra vinkeln till "Path s_{A1} " i rullgardinen "Quantity". Visarna för tryck och sträcka får inte slå i botten. Med "Correct" i "Sensor Input Settings" kan respektive visares läge justeras.

I fönstret "Measuring parameters" kan man välja mätintervall och antal mätpunkter ("x Number") för mätning av tryck och sträcka som sedan används av programmet för att rita ett pV-diagram. Aktivera ikonen (symbol stoppur) "F9 Start/Stop Measurement" längst upp - en sinusfunktion för tryck och en för sträcka visas.

Högerklick på datakolumner till vänster om diagrammet öppnar ett fönster, ett klick på "Change Column Header" öppnar fönstret "Settings" med fliken "Display" aktiverad. Ändra parametern på x-axeln, sträckan s_{A1} ska visas på x-axeln. Ett pV-diagram visas.

Normalt behöver pV-diagrammet justeras. Detta görs på följande sätt. Ett högerklick strax utanför diagrammets axel, t.ex. tryck-axeln, öppnar fönstret "Relative Pressure p_{B1} ". Ett vänsterklick på "Find Minimum and Maximum" justerar pV-diagrammet med avseende på tryck. Samma procedur justerar sträckan. Nu har ett fint och stort pV-diagram erhållits. Observera att diagrammets axlar är graderade i hPa respektive cm.

Tiden för mätningen kan justeras i fönstret "Measuring Parameters" (hittas under ikonen "F5Change Setting or Measurements parameters" => Settings => General => Display Measuring parameters). Tiden för mätningen skall vara minst så lång att ett helt varv av pV-cykeln visas.

Att mäta area i ett pV diagram:

Högerklicka i diagrammet och välj "Calculate Integral" och "Peak area". Ett vänsterklick i diagrammet ger ett kors. Flytta detta kors till pV-diagrammets kontur – en konturlinje lyser upp i blått. Med ett vänsterklick beräknas den markerade ytan. Ytans area visas i det nedre vänstra hörnet, observera att dimensionen är hPa·cm. För att konvertera arean till arbete måste detta resultat multipliceras med cylinderns area. Cylindern har diameter 60 mm.

För att göra om mätningen på pV-diagrammet, högerklicka i koordinatsystemet och välj "Delete all evaluations". Detta tar bort den uppmätta svarta arean och en ny mätning kan göras.

Ett vänsterklick på ikonen med stoppur "F9 Start/Stop Measurement" stoppar den aktuella mätningen av p och V och visar ett fönster "CASSY Lab" med frågan "Save changes?". Mätdata kan sparas "Yes" eller "No". Det senare valet ger en ny mätning och ett nytt pV-diagram och samma procedur som nämns ovan måste göras.

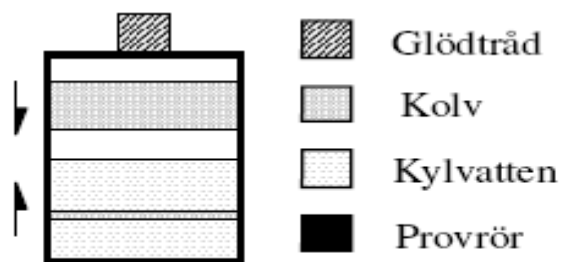
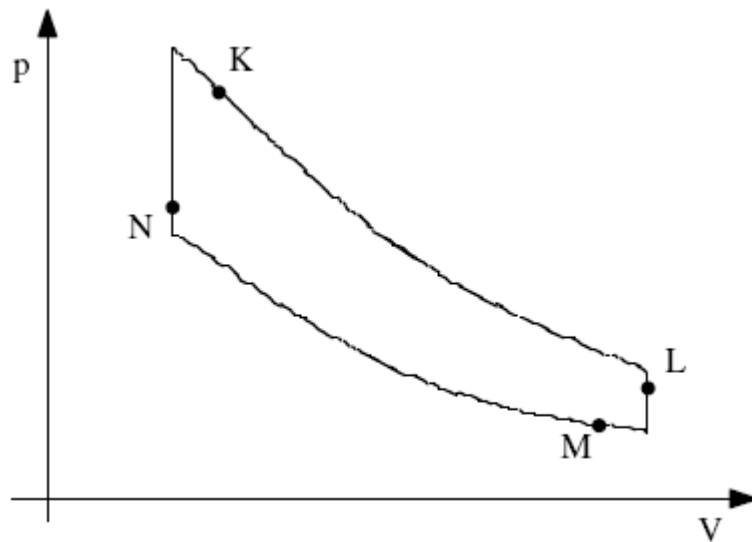
3 Uppgifter

3.1 Studium av Stirling-cykeln

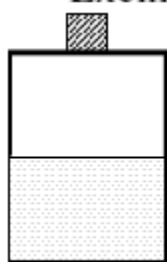
Avsikten med den här uppgiften är att du ska förstå hur Stirling-cykeln fungerar, samt hur den realiserar i just den varmluftsmotor som används i denna laboration.

Låt glödtråden vara monterad. Vrid runt svänghjulet för hand med hjälp av handtaget och studera kolvarnas rörelse.

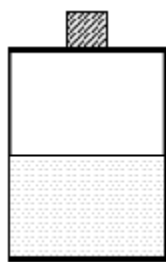
Vrid svänghjulet medurs, och identifiera de positioner för kolvarna som motsvarar punkterna K-N i pV-diagrammet nedan. Markera även genomloppsriktningen i pV diagrammet. Kolvarnas positioner och deras rörelseriktningar ska markeras i cylinderdiagrammen nedan.



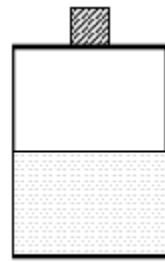
Exempel



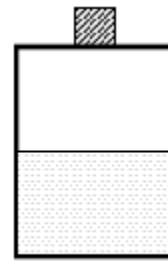
K



L



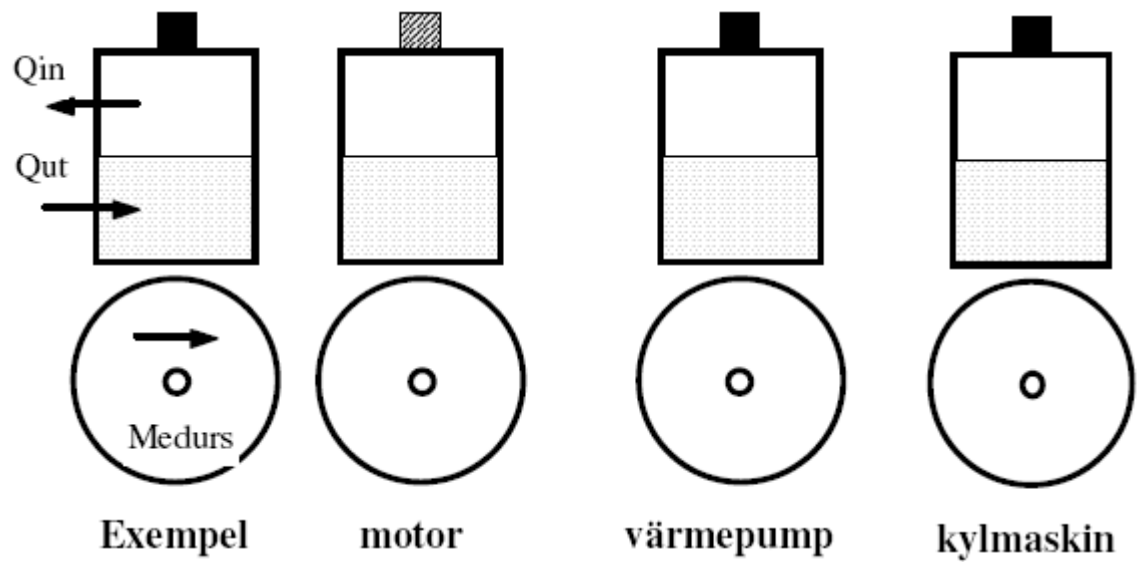
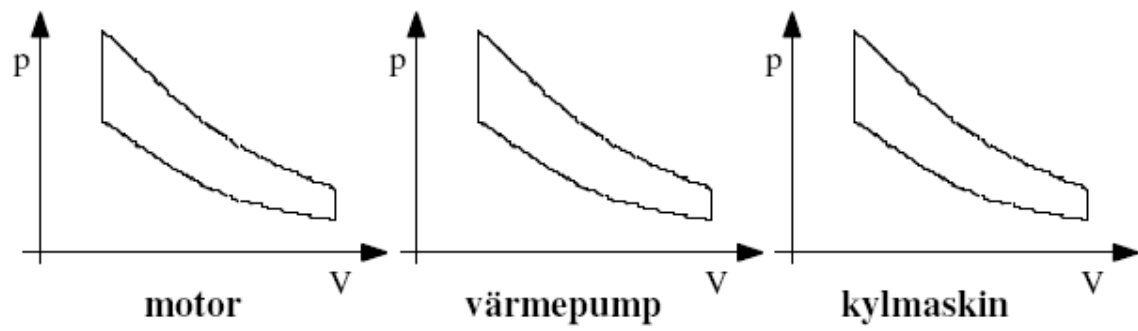
M



N

När du kopplar in glödströmmen i senare uppgifter (inte nu) kommer svänghjulet att börja rotera, d.v.s. maskinen fungerar som motor. Om du istället ersätter glödtråden med en fläns med provrör fylld med etanol eller vatten (gör detta senare), så kan du värma eller kyla vätskan. Men för detta krävs att arbete tillförs, vilket görs med hjälp av den elektriska motorn vid sidan om VLM. VLM fungerar då istället som värmepump respektive kylmaskin.

Du ska nu lista ut genomloppsriktningar och värmeflöden i pV-diagram för de olika fallen (jmf. figur 3), och markera dessa i diagrammen nedan. Fundera även på hur svänghjulet ska rotera, samt var i cylindern värme tillförs respektive bortförs. Markera detta i maskindiagrammen nedan!



3.2 Kylmaskin / värmepump

Du ska i denna uppgift använda maskinen för att först kyla och sedan värma etanol eller vatten. Avsikten är att visa att det du gjort i uppgift 3.1 stämmer.

Kontrollera att kylvattnet är inkopplat och öppna kranen!

Kontrollera att datorn är på och starta programmet "Cassy" för ritning av pV -diagram

Fyll provröret med vatten, använd en pipett för att mäta upp ca 3-4 ml. Ersätt sedan glödtråden med provrörsflänsen. Dra inte för hårt vingmuttrarna, glascylinder kan spricka! Mät vattnets temperatur med termoelement.

1. Kylning av vatten

Koppla den elektriska motorn till maskinen mha den stora O-ringen. Välj på styrenheten de rätta lägen för vippströmställare (se avsnitt ovan) så att maskinen arbetar som kylmaskin och kyler vattnet i provröret. Starta elmotorn och tag tid för att kyla vattnet 15 °C.

Avläs den tillförda effekten till elmotorn (effektmätare): _____

Det tog _____ minuter för vattnet att tappa 15 °C.

Beräkna vattnets avgivna värme: _____

2. Värm nu upp vattnet till rumstemperatur. Mät tiden det tar att värma vattnet 15 °C över rumstemperatur.

Välj de rätta lägen på styrenheten och starta maskinen.

Avläs den tillförda effekten till elmotorn (effektmätare): _____

Beräkna vattnets absorberade värme: _____

Det tog _____ minuter för vattnet att värmas 15°C från rumstemperatur.

Jämför tiderna för att kyla och värma vattnet. Är de lika långa? _____

I så fall varför/varför inte? _____

Varifrån tas värmen när du värmer vattnet? _____

3. Beräkna verkningsgraden för kylmaskin respektive värmepump från den tillförda energin till elmotorn och vattnets avgivna respektive absorberade värme:

Kylmaskin: $W_{in} = \dots\dots\dots$, $Q(\text{vatten, avgiven}) = \dots\dots\dots$, $\eta = \dots\dots\dots$

Värmepump: $W_{in} = \dots\dots\dots Q(\text{vatten, absorberad}) = \dots\dots\dots \eta = \dots\dots\dots$

Förklara eventuella skillnader i verkningsgraden mellan kylmaskin och värmepump.

3.3 Varmluftsmotor

Du ska nu använda maskinen som varmluftsmotor (VLM). Avsikten med den här uppgiften är att mäta VLM:s verkningsgrad på två olika sätt.

Koppla bort elmotorn och byt ut flänsen med provröret för flänsen med glödtråden.

Att starta varmluftsmotorn

Välj med vippströmbrytaren STIRLING ENGINE och vrid högra ratten till maxläget (motsvarar ström 16 Ampere). Roter svänghjulet med hjälp av hantaget. När svänghjulet börjar rotera släpps ström 16 A till glödtråden. Roter svänghjulet tills glödtråden glöder starkt. Efter en stund går VLM själv. När maskinen stannar bryts strömmen men så fort man roterar svänghjulet börjar glödtråden glöda igen. När VLM har kommit i gång dra ner strömmen till ca 10-12 A. Maskinerna är olika individer så strömstyrkan måste anpassas efter maskinen.

Båda metoderna för att mäta effektivitet ska genomföras vid två olika glödspänningar, ungefär vid 12 och 14 volt (dessa spänningssvärden är bara riktvärden, maskinerna är något olika och spänningarna måste anpassas till maskinens gång – kör inte maskinen för hårt, kan gå sönder)

3.3.1 Effektivitet från bromsprov

Du ska mäta den effekt som motorn kan avge genom belastning av axeln på svänghjulet. Denna axel skulle kunna tänkas vara den utgående axeln, vilken t ex driver en propeller.

Du belastar axeln med ett band. Detta orsakar en normalkraft, vilket leder till en friktionskraft. Det är denna friktionskraft som belastar motorn. För att mäta krafter har du tillgång till dynamometrar.

Låt motorn stabiliseras i ett par minuter efter ändring av glödspänningen innan du genomför några mätningar!

För att få en rimlig belastning så ska du mäta tomgångsvarvtalet med varvtalsmätare. Det är lagom att bromsa motorn till ungefär halva varvtalet (ofta tål inte maskinen en så hård belastning, den stannar, så man får använda svagare friktionskraft). Mät varvtalet vid den aktuella belastningen, friktionskraften, spänningen och strömmen vid varje mätning!

Spänning (V)	Ström (A)	Ineffekt (W)	Varvtal (s ⁻¹)	Frik.-kraft (N)	Uteffekt (W)	η (%)
12,0						
14,0						

Uteffekten kan beräknas enligt

$$P_{\text{ut}} = \omega M$$

där ω är vinkelfrekvensen och M är momentet som orsakas av friktionskraften.

Axelns diameter är känd (25 mm). Ineffekten kan antas vara den elektriska effekt som levereras till glödtråden. Verkningsgraden (effektiviteten) blir då

$$\eta = P_{\text{ut}}/P_{\text{in}}$$

Fundera på hur du kan mäta och/eller räkna ut friktionskraften!

3.3.2 Effektivitet ur pV-diagram.

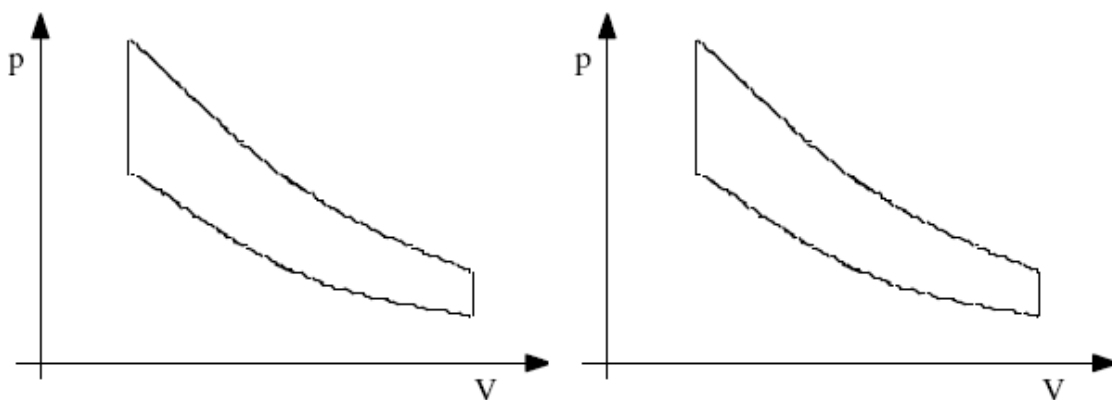
Man kan även mäta effektivitet ur pV-diagram, under vissa antaganden.

Låt motorn stabiliseras i ett par minuter efter ändring av glödspänningen innan du genomför några mätningar!

Verkningsgraden definieras som

$$\eta_{\text{motor}} = W_{\text{netto}} / Q_{\text{tillfört}}$$

Nettoarbete och tillfört värme kan beräknas som areor i pV-diagram. Markera nedan de aktuella areorna!

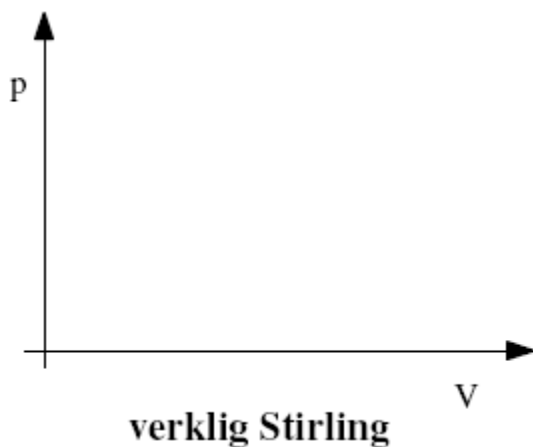


För att kunna beräkna tillfört värme ur pV-diagram, så måste man göra vissa antaganden. Vilka då?

De diagram du får fram saknar absoluta skalor (kalibrering). Behöver du kalibrera någon av skalorna? Motivera!

Spänning (V)	W_{netto}	$Q_{\text{tillfört}}$	η (%)
12,0			
14,0			

Rita ungefärligt det pV-diagram som visas på datorskärmen.



Finns det några skillnader jämfört med den ideala Stirling-cykeln? Förklara eventuella skillnader _____

Glödtrådens temperatur är ungefär 1000 K. Vilken effektivitet (i %) skulle maskinen ha haft om det hade varit en ideal Stirling-cykel med perfekt regeneration? _____

Jämför effektiviteten ovan med de vid bromsproven. Förklara eventuella avvikelser! _____

Är det någon skillnad för de olika glödspänningarna? Förklara! _____

4 Inlämningsuppgifter

Dessa skall vara utförda innan laborationen får påbörjas. Riv loss detta blad och lämna in det till assistenten vid laborationens början!

Hur många storheter behövs för att fullständigt beskriva ett termodynamiskt tillstånd för en gas eller vätska? Ge exempel på storheter! _____

Vad kallas den kontur i ett termodynamiskt diagram som förbinder tillstånd med samma temperatur? _____

Vilken cykel har den högsta teoretiska effektiviteten? Hur stor är den om $T_L = 1000 \text{ K}$ och $T_H = 2000 \text{ K}$? _____

Vilken storhet fås som areor under processkurvor i TS-diagram? _____

Hur stor är ändringen av den inre energin efter ett helt varv i en cykel? Varför? _____

Vilka storheter beror den inre energin hos en ideal gas av? _____

Vilken storhet fås vanligtvis som areor i pV-diagram? _____

Om vissa speciella förutsättningar är uppfyllda kan man även få värme ur pVdiagram. Vilka förutsättningar? _____

Vad kan man göra för att höja effektiviteten hos Stirling-cykeln? Vilken effektivitet kan man då uppnå? _____

Om Stirling-cykeln genomlöps moturs i pV-diagrammet, har man då ett positivt eller negativt nettoarbete? _____

Namn _____ Linje _____ Datum _____