

Laboration T4 (för FYL200)

Varmluftsmotorn

Målsättning:

- 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.

Innehåll:

1. Stirling - cykeln
2. Utrustning
3. Uppgifter
 - 3.1 Studium av Stirling-cykeln.
 - 3.2 Kylmaskin/värmepump
 - 3.3 Cykel i pV-diagram
 - 3.4 Motor
 - 3.4.1 Effektivitet från bromsprov
 - 3.4.2 Effektivitet ur pV-diagram

Namn: _____

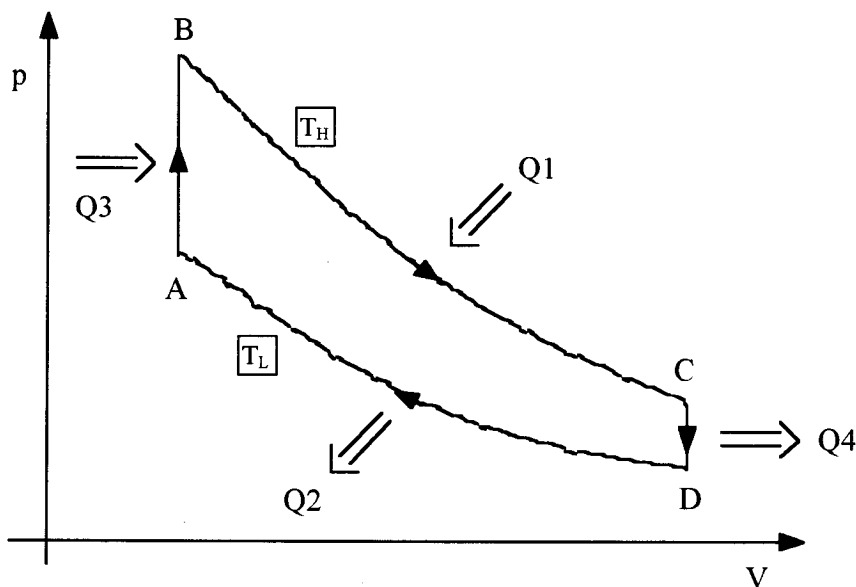
Godkänd den _____ av _____

1. 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 isoterm expansion, en isokor avkylning och en isoterm kompression. Dessa kombineras till ett kretslopp, vilket sker i en sluten cylinder, oftast med luft som arbetsmedium.

En gas som expanderar adiabatiskt avkyls, vilket medför att en isoterm (dvs utan avkylning) expansion kräver att värme tillförs (Q_1 i figur 1). På motsvarande sätt måste värme bortföras under en isoterm 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).



Figur 1. **Stirling-cykel.** Kretsloppet genomlöps i pilarnas riktning. Isokor upphettning A-B då Q_3 tillförs. Isoterm (vid T_H) expansion då Q_1 tillförs. Isokor avkylning då Q_4 bortförs. Isoterm (vid $T_L < T_H$) kompression 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 (Q_1 pilen etc) riktning.

Om Stirling-cykeln genomlöps medurs (se figur 1) så är integralen under den översta isoterme positiv, medan integralen under den nedre isoterme är negativ. Nettoarbetet fås sedan som summan av integralerna, vilket i figur 1 är positivt, dvs cykeln utför ett arbete som kan användas t ex för att driva en

propeller. Så när cykeln genomlöps medurs, och värme (Q_1) tillförs, t ex från en glödtråd, så kan cykeln användas som motor med ett positivt nettoarbete. Gasen expanderar då vid en *högre* temperatur och utför arbete som är större än den arbete som måste förbrukas för att komprimera gasen igen vid en *lägre* temperatur.

Om cykeln reverseras, dvs när gasen expanderar vid en låg temperatur och komprimeras vid en hög temperatur, blir nettoarbetet negativt, dvs arbete måste tillföras utifrån. I det fallet kan cykeln användas som kylmaskin (Q_2 intressant) eller värmepump (Q_1 intressant).

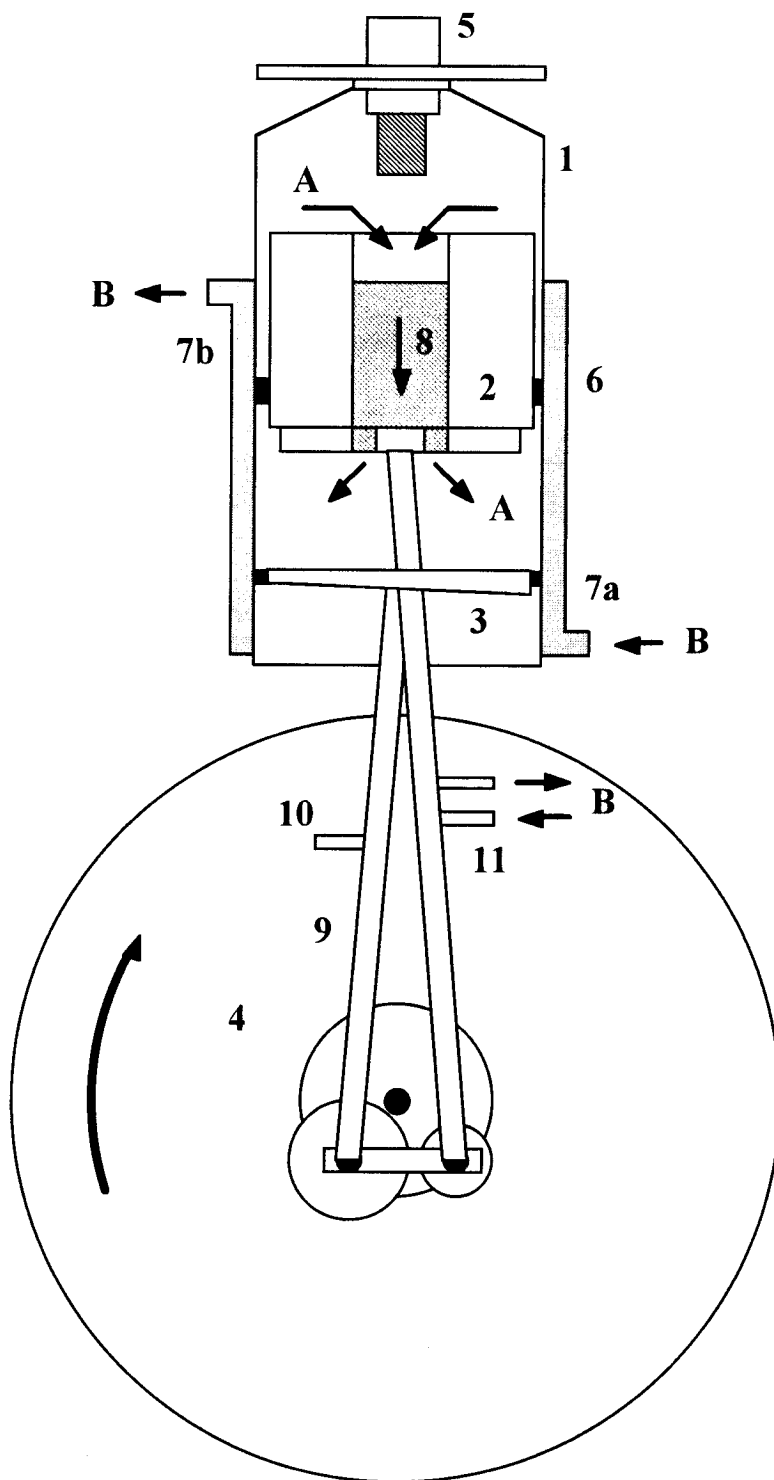
Observera att med en cykel avses ett kretslopp i ett diagram. Att en cykel reverseras medför inte automatiskt att t.ex. en rotationsriktning för en specifik maskin ändras.

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.

2. Utrustning

Maskinens uppbyggnad framgår av figur 2.



Figur 2. **Varmluftsmotor.** Pilarna representerar luftflödet genom regeneratoren (A), samt kylvatten flöden (B). Luftflödet kan reverseras.

Maskinen 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) (glödspirals) eller ett provrör. Provröret kan fyllas med vatten för att studera kylmaskins- eller värmepumpsfunktionen. Den undre delen omges av en kylmantel (6) av plast, med insläpp (7a) och utlopp (7b) för kylvattnen. Förflyttningsskolven (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 förflyttningsskolven svarar för kompressionen (expansionen) av gasen. Arbetskolven isolerar gasen från omgivningen varför man tar ut eller tillför arbete via den kolven.

Förflyttningsskolven 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.

Kolvorna är med vevstakar kopplade till ett tungt svänghjul (4) för att ge maskinen en jämn gång.

Kylvattnet till förflyttningsskolven (2) tillförs och bortförs genom vevstaken, vilken har kanaler samt insläpp och utlopp för vattnet (11).

På arbetskolvens vevstake (9) finns ett uttag (10) för mätning av trycket i cylindern via en kanal i vevstaken. Uttaget kan förslutas med t ex en gummipropp eller anslutas till en pV-indikator för avbildning av processens pV-diagram.

Svänghjulet är försett med kilspår för anslutning till andra maskiner (t ex experimentmotor). Ett handtag kan (tillfälligt) monteras på svänghjulet när man önskar detaljstudera händelseförloppet genom att vrida svänghjulet för hand.

pV-indikatorn består av ett spegelarrangemang som är vridbart i horisontell och vertikal led. Den arbetande gasens volymvariationer leds från arbetskolven via ett snöre till spegelhållarens horisontella rörelse. Tryckvariationerna kan överföras via en smal PVC-slang till spegelns vertikala rörelse. Om man belyser spegeln på lämpligt sätt kan man alltså på en skärm iakttaga samtida variationer i tryck och volym hos den inestängda gasen. Vi har skaffat oss ett pV-diagram för processen.

3. Uppgifter

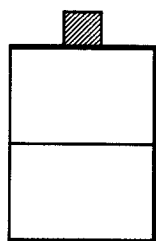
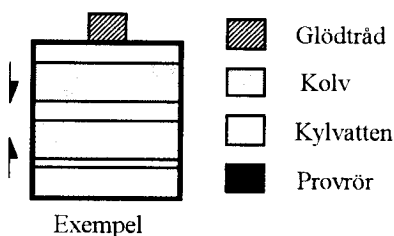
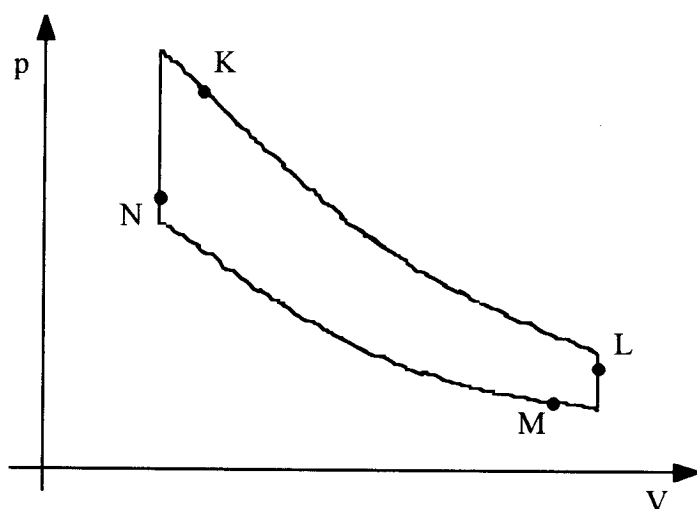
3.1 Studium av Stirling-cykeln.

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

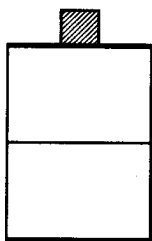
Anslutningen för pV-indikatorns tryckslang ska vara förseglad med en gummipropp.

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

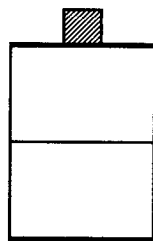
Vrid svänghjulet medurs, och identifiera de positioner för kolvarna som motsvarar punkterna K-N i pV-diagrammet nedan. Markera även genomloppsriktningen i pV-diagrammet. Kolvarnas positioner och deras rörelseriktningar ska markeras i cylinderdiagrammen nedan.



K



L



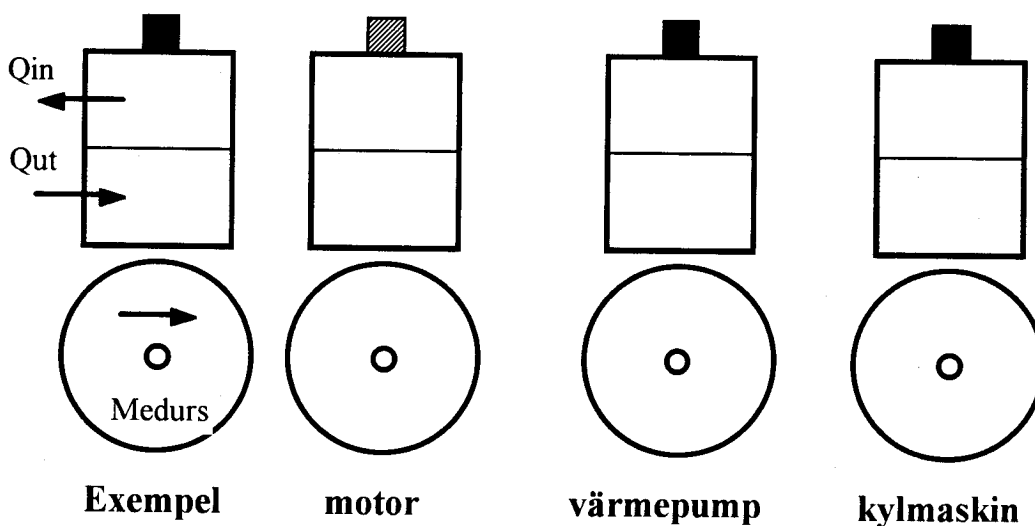
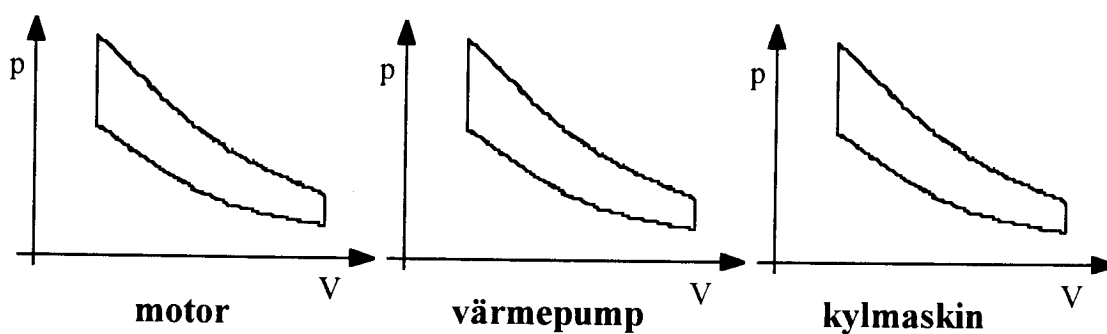
M



N

När du kopplar in glödströmmen i senare uppgifter (inte nu) kommer svänghjulet att börja rotera, dvs maskinen fungerar som motor. Om du istället ersätter glödtråden med ett provrör med vatten (gör detta senare), så kan du värma eller kyla vattnet. Men för detta krävs att du tillför arbete, vilket vi här gör med hjälp av den elektriska motorn. Maskinen fungerar då istället som värmepump resp kylmaskin.

Du ska nu lista ut genomloppsriktningar och värmeflöden i pV-diagram för de olika fallen (jmf. figur 1), och markera dessa i diagrammen nedan. Fundera även på hur svänghjulet ska rotera, samt var i cylindern värme tillförs resp bortförs. Markera detta i maskindiagrammen nedan.



3.2 Kylmaskin / värmepump

Du ska i denna uppgift använda maskinen för att först kyla och sedan värma vatten. Avsikten är att visa att det du gjort i den tidigare uppgiften stämmer.

Fyll provröret med 0,5 - 1,0 centimeter vatten. Tag ej mer! Ersätt sedan glödtråden med provrörsflänsen. Mät temperaturen med en termometer.

Om du inte redan har smort maskinen, så är det dags att smörja den nu. Fråga handledaren hur du ska göra.

Kontrollera att kylvattnet är inkopplat.

Koppla in den elektriska motorn så att du kyler vattnet i röret. Starta maskinen och tag tiden. Låt ej termometern frysa fast i röret.

Det tog _____ minuter för vattnet att frysa.

Värm nu istället vattnet så att isen smälter.

Det tog _____ minuter för isen att smälta.

Fortsätt att värma vattnet tills dess det är 60°C varmt.

Det tog _____ minuter att värma vattnet till 60°C.

Jämför tiderna för att frysa och smälta vattnet. Är de lika långa? _____

Isåfall varför / varför inte? _____

Varifrån tas värmen när du värmer vattnet? _____

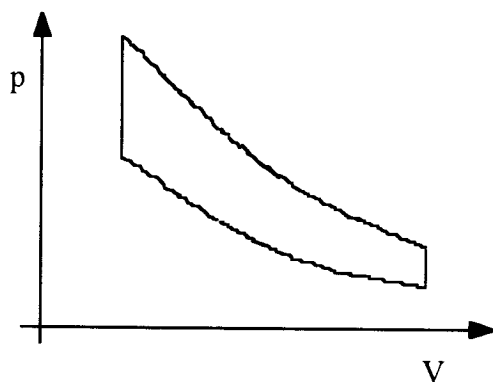
3.3 Cykel i pV-diagram.

Avsikten med den här uppgiften är att du ska jämföra den här maskinens cykel med den ideala Stirling-cykeln.

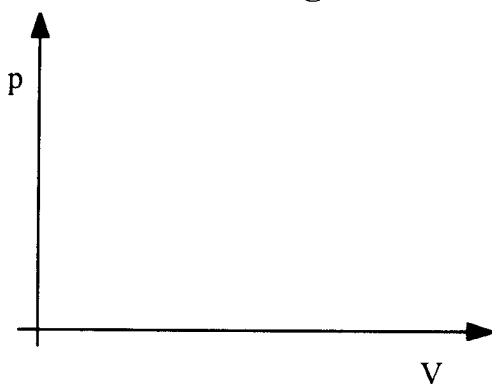
Koppla bort den externa motorn och sätt på glödtråden igen (utan ström). Anslut pV-indikatorns tryckslang. Om lampan är rätt inriktad så ska ett pV-diagram avbildas på den vita tavlan när du vrider runt svänghjulet. Kontrollera detta!

Fäst därefter ett mm-papper på tavlan så att du kan avbilda cykeln.

Vrid runt svänghjulet för hand och rita av cykeln. Gör sedan en skiss nedan.



ideal Stirling



verklig Stirling

Förklara eventuella skillnader. _____

3.4 Motor

Du ska nu använda maskinen som motor. Avsikten med den här uppgiften är att mäta motorns effektivitet på två olika sätt.

Men innan du börjar så ska du smörja maskinen igen.

Maskinen får aldrig stå stilla med glödströmmen påslagen. Du kan ha strömmen på om du vrider runt svänghjulet för hand, men endast under en kort tid.

När du ska starta motorns så vrid först upp glödspänningen till 16 V. När glödtråden börjar glöda så starta motorn genom att rotera svänghjulet för hand. Om detta inte fungerar så vrid ner spänningen och kontakta assistenten.

Båda metoderna för att mäta effektivitet ska genomföras vid två olika glödspänningar, 12 och 16 volt.

3.4.1 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 kopparband. 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. Det är lagom att bromsa motorn till ungefär halva varvtalet. Registrera det belastade varvtalet, friktionskraften, spänningen och strömmen vid varje mätning.

Uteffekten kan beräknas enligt

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

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.

Spänning (V)	Ström (A)	Ineffekt (W)	Varvtal (s ⁻¹)	Friktions- kraft (N)	Uteffekt (W)	η (%)
12,0						
16,0						

3.4.2 Effektivitet ur pV-diagram.

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

Du ska registrera pV-diagram på den vita tavlan. Använd mm-papper.

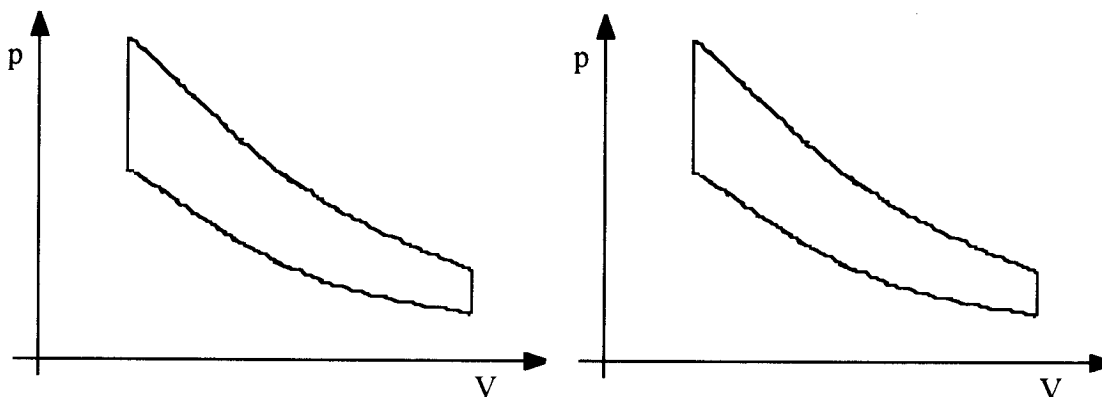
Låt motorn stabiliseras i ett par minuter efter ändring av glödspänningen innan du genomför några mätningar.

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.



Nettoarbete

Tillfört värme

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}	Qtillfört	η (%)
12,0			
16,0			

Glödträdens temperatur är ungefär 4000 K. Vilken effektivitet (i %) skulle maskinen ha haft om det hade varit en ideal Stirling-cykel med perfekt regeneration? _____

Jämför effektiviteterna ovan med de vid bromsproven. Förklara eventuella avvikelser. _____

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