Příklad 1:

Pracovní látkou v porovnávacím smíšeném oběhu spalovacího motoru je vzduch o hmotnosti *1 [kg]*. Počáteční tlak je *0,981.10⁵ [Pa]* při teplotě *30 [°C]*. Kompresní poměr je 7, stupeň zvýšení tlaku 2 a stupeň plnění 1,2. Určete stavové veličiny v charakteristických bodech cyklu, přivedené a odvedené teplo, práci cyklu a termickou účinnost. Cyklus nakreslete v *p-v* a *T-s* diagramu.

Dáno:

$p_1 = 0{,}981.10^5\ [Pa]; T_1 = 30\ [°C] = 303{,}15\ [K]; \kappa = 1{,}4; r = 287{,}04\ [J.kg^{-1}K^{-1}]$

Na začátku je dobré si připomenout skutečnosti, které jsme si už dříve napsali a při kreslení a výpočtech cyklů je budeme aplikovat. Jednotlivé cykly jsou poskládány z dějů, které byly dříve zmíněny a jejich vlastnosti už dobře známe. Třeba mít na paměti základní předpoklady, které jsou (když není dáno jinak), že:

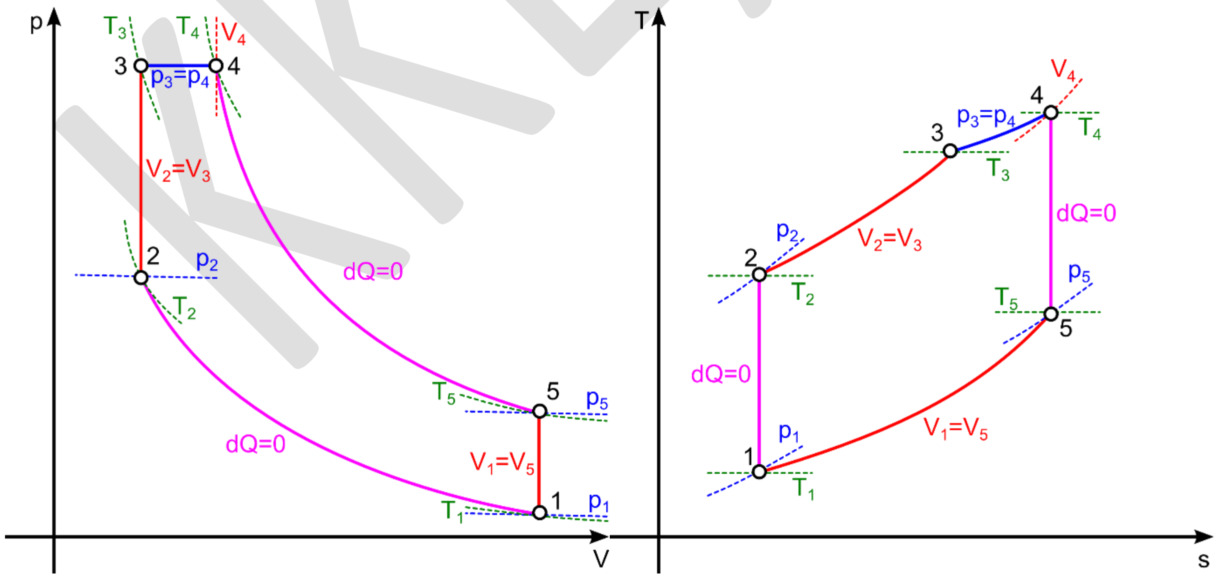
- Děje probíhají jako vratné (kvazistatické), tedy nekonečně pomalu a v každém bodě je systém v termodynamické rovnováze
- Pracovní látkou je ideální plyn, pro který platí v plném rozsahu stavová rovnice (*viz. Poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Část Entropie*)

Řešení začneme kreslením grafů, abychom si ujasnili skutečnosti, týkající se tohoto cyklu **(cykly tedy musíte umět kreslit a poznat jednotlivé křivky)**.

Sabbatův oběh se skládá z těchto křivek:

Pro p-V diagram:
1 – 2 Adiabata (adiabatická komprese)
2 – 3 Izochora (izochorický přívod tepla)
3 – 4 Izobara (izobarický přívod tepla)
4 – 5 Adiabata (adiabatická expanze)
5 – 1 Izochora (izochorický odvod tepla)

Pro T-s diagram:
1 – 2 Izoentropická změna (dq=0 ; ds=konst.)
2 – 3 Izochora (izochorický přívod tepla)
3 – 4 Izobara (izobarický přívod tepla)
4 – 5 Izoentropická změna (dq=0 ; ds=konst.)
5 – 1 Izochora (izochorický odvod tepla)



Obr. 1 p-V (vlevo) a T-s (vpravo) diagram Sabbatova cyklu

Při řešení příkladů budeme postupovat dle zadání. Prvním bodem je *„Určete stavové veličiny v charakteristických bodech cyklu“*, což znamená, že v každém charakteristickém bodě grafu (body na začátku a konci jednotlivých dějů) je třeba spočítat hodnoty stavových veličin, tedy hodnoty tlaku *p*, objemu *v*, a teploty *T*. Aby se nezapomnělo na žádnou veličinu, je dobré jsi udělat přehlednou tabulku, do které si budeme zapisovat jednotlivé hodnoty.

	1	2	3	4	5
p [Pa]					
T [K]					
v [m^3.kg^{-1}]					

Po nakreslení grafů se můžeme pustit do základních úvah před samotným výpočtem. Z grafů lze odečíst krajní hodnoty, které můžou sloužit jako kontrola výsledků.

- Hodnota maximálního tlaku bude dle grafu v bodech *3* a *4* - $p_{max}(3;4)$ – viz p-V diagram
- Hodnota minimálního tlaku bude dle grafu v bodě *1* - $p_{min}(1)$ – viz p-V diagram
- Hodnota maximální teploty bude dle grafu v bodě *4* - $T_{max}(4)$ – viz T-s diagram
- Hodnota minimální teploty bude dle grafu v bodě *1* - $T_{min}(1)$ – viz T-s diagram
- Hodnota maximálního objemu bude dle grafu v bodech *1* a *5* - $v_{max}(1;5)$ – viz p-V diagram
- Hodnota minimálního objemu bude dle grafu v bodech *2* a *3* - $v_{min}(2;3)$ – viz p-V diagram

Před výpočtem je dobré doplnit tabulku o parametry, které plynou ze zadání a doplnit i parametry, které již plynou z grafů. V tomhle případě ale žádné nejsou, takže doplněná tabulka bude mít následující tvar:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	0,981.10^5				
T [K]	303,15				
v [m^3.kg^{-1}]					

Můžeme se pustit tedy do výpočtu stavových veličin v jednotlivých bodech.

- **bod 1**

Pro bod známe skoro všechny stavové veličiny. Zbývá vypočítat velikost měrného objemu. Můžeme si dovolit počítat všechny jednotky jako měrné, protože množství pracovní látky je jeden kilogram. Ze stavové rovnice se k výsledku jednoduše dostaneme. Pro stav v bodě 1 můžeme napsat:

$$p_1 . v_1 = r . T_1$$

Z toho pak můžeme vypočítat objem v bodě 1:

$$v_1 = \frac{r . T_1}{p_1} = \frac{287{,}04 . 303{,}15}{0{,}981 . 10^5} = 0{,}887 \ [m^3 . kg^{-1}]$$

Při pohledu na diagram je jasné, že velikost objemu v bodě 1 je rovna velikosti objemu v bodě *5*, jelikož, mezi bodem *5* a bodem *1* je izochora (přímka konstantních objemů). Můžeme tedy napsat, že:

$$v_1 = v_5 = 0{,}887 \ [m^3 . kg^{-1}]$$

Po doplnění do tabulky bude tabulka vypadat následovně:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	$0{,}981.10^5$				
T [K]	303,15				
v [$m^3.kg^{-1}$]	0,887				0,887

- **bod 2**

Při výpočtu hodnot bodu 2 se musíme podívat do zadání. Jsou tam udány tři veličiny. Kompresní poměr, stupeň zvýšení tlaku a stupeň plnění. Když budeme analyzovat každou z veličin, zjistíme ke kterému ději patří.

Kompresní poměr napovídá, že se bude jednat o děj spojený s kompresí. Jediným kompresním dějem v Sabbatově cyklu je adiabatická komprese (křivka *1-2*). Jelikož číslo sedm je větší než jedna, lze přepokládat, že hodnota v čitateli (jelikož se jedná o poměr) bude vyšší než ve jmenovateli. Hodnota kompresního poměru je svázána s hodnotami objemu. Z grafu plyne, že velikost kompresního poměru je dán vztahem $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$.

Pozor, jedná se o adiabatickou změnu, tedy nestačí napsat převrácený poměr pro tlak!!!! Pro poměr tlaků se používá výraz „stupeň stlačení kompresoru“, výraz pro něj je $\pi = \frac{p_2}{p_1}$.

Stupeň zvýšení tlaku a jeho hodnota *„2“* napovídá, že se bude jednat o děj spojený se zvyšováním tlaku. Jediným takovým dějem v Sabbatově cyklu (kromě adiabatické komprese, kterou už máme podchycenou) je izochorická změna (přímka, která prochází body *2-3*). Tedy stupeň zvýšení tlaku dán vztahem $\psi = \frac{p_3}{p_2}$.

Stupeň plnění a jeho hodnota *„1,2“* napovídá, že se bude jednat o děj spojený se zvyšováním objemu. Jediným takovým dějem v Sabbatově cyklu (kromě adiabatické expanze, křivka 4 – 5, jelikož ale název nenapovídá, že by mohlo jít o expanzi, můžeme předpokládat, poslední možnou variantu…), je izobarická změna (přímka, která prochází body *3-4*). Logicky bude velikost stupně plnění popsán vztahem $\varphi = \frac{v_4}{v_3}$.

V bodě dva tedy můžeme vypočítat velikost objemu z kompresního poměru:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 7$$

Pak:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0{,}887}{7} = 0{,}127 \; [m^3.kg^{-1}]$$

Z rovnice adiabaty pak platí:

$$p_1.v_1^\kappa = p_2.v_2^\kappa$$

$$p_2 = p_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa = 0{,}981.10^5.7^{1{,}4} = 14{,}96.10^5 \; [Pa]$$

Poslední veličinu tedy lehce spočteme ze stavové rovnice pro bod dva:

$$p_2.v_2 = r.T_2$$

$$T_2 = \frac{p_2.v_2}{r} = \frac{14{,}96.10^5.0{,}127}{287{,}04} = 662 \; [K] \; (t_2 \doteq 389 \; [°C])$$

Můžeme ji také spočítat z rovnice adiabaty (*viz. Poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – rovnice (6) a (7))*

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$$

$$T_2 = T_1 . \varepsilon^{\kappa-1} = 303{,}15\,.\,7^{1{,}4-1} = 660{,}3K$$

Poznámka: Oba výsledky se můžou považovat z správné, jedná se o numerickou chybu.

Pozor!!!!!
Špatný výsledek z úvahy, že kompresní poměr je spojený s tlakem (častá chyba):

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1} = 7$$

$$p_2 = p_1 . \varepsilon = 689700\ [Pa]$$

Po doplnění do tabulky bude tabulka vypadat následovně:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	0,981.10^5	14,96.10^5			
T [K]	303,15	662			
v [m^3.kg^{-1}]	0,887	0,127			0,887

- **bod 3**

Z předchozích úvah můžeme využít rovnici pro stupeň zvýšení tlaku:

$$\psi = \frac{p_3}{p_2}$$

Velikost tlaku v bodě 3 tedy bude:

$$p_3 = \psi . p_2 = 2.14{,}96.\,10^5 = 29{,}92.\,10^5\ [Pa]$$

Z grafu plyne, že přímka, která prochází body 2-3 je izochora, tedy můžeme napsat:

$$v_3 = v_2 = 0{,}127\ [m^3.kg^{-1}]$$

Poslední veličinu tedy lehce spočteme ze stavové rovnice pro pod tři:

$$T_3 = \frac{p_3 . v_3}{r} = \frac{29{,}92.\,10^5 . 0{,}127}{287{,}04} = 1324\ [K](t_3 \doteq 1051\ [°C])$$

Po doplnění bude tabulka vypadat následovně:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	0,981.10^5	14,96.10^5	29,92.10^5		
T [K]	303,15	662	1324		
v [m^3.kg^{-1}]	0,887	0,127	0,127		0,887

- **bod 4**

Z předchozích úvah můžeme využít rovnici pro stupeň plnění:

$$\varphi = \frac{v_4}{v_3} = 1{,}2$$

Pro velikost objemu v bodě 4 tedy bude platit:

$$v_4 = \varphi . v_3 = 1{,}2.0{,}127 = 0{,}152\ [m^3.kg^{-1}]$$

Z grafu plyne, že přímka, která prochází body 3-4 je izobara, tedy můžeme napsat:

$$p_3 = p_4 = 29{,}92\,.\,10^5\ [Pa]$$

Poslední veličinu tedy lehce spočteme ze stavové rovnice pro bod čtyři:

$$T_4 = \frac{p_4.\,v_4}{r} = \frac{29{,}92.\,10^5.\,0{,}152}{287{,}04} = 1588[K]\ (t_4 \doteq 1315{,}6\ [°C])$$

Po doplnění bude tabulka vypadat následovně:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	$0{,}981.10^5$	$14{,}96.10^5$	$29{,}92.10^5$	$29{,}92.10^5$	
T [K]	303,15	662	1324	1588	
v [$m^3.kg^{-1}$]	0,887	0,127	0,127	0,152	0,887

- **bod 5**

Z grafu plyne, že přímka, která prochází body 5-1 je izochora, tedy můžeme napsat:

$$v_1 = v_5 = 0{,}887\ [m^3.kg^{-1}]$$

Využitím skutečnosti, že mezi body 4-5 je adiabata, můžeme využít poměr objemů a napsat rovnici adiabaty pro tlak dle předchozích znalostí (*viz. Poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – rovnice (6) a (7))* ve tvaru:

$$p_4.\,v_4^{\kappa} = p_5.\,v_5^{\kappa}$$

$$\frac{p_5}{p_4} = \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{\kappa}$$

$$p_5 = p_4\left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{\kappa} = 29{,}92.\,10^5.\left(\frac{0{,}152}{0{,}887}\right)^{1{,}4} = 2{,}53.\,10^5\ [Pa]$$

Pro teplotu bude mít tvar:

$$T_5 = T_4\left(\frac{p_4}{p_5}\right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = 1588.\left(\frac{29{,}92.10^5}{2{,}53.10^5}\right)^{\frac{1-1{,}4}{1{,}4}} = 784\ [K]\ (t_5 \doteq 510{,}8\ [°C])$$

Poznámka: Samozřejmě teplotu lze určit i ze stavové rovnice:

$$T_5 = \frac{p_5.\,v_5}{r} = \frac{2{,}53\,.\,10^5.\,0{,}887}{287{,}04} = 782\ [K]$$

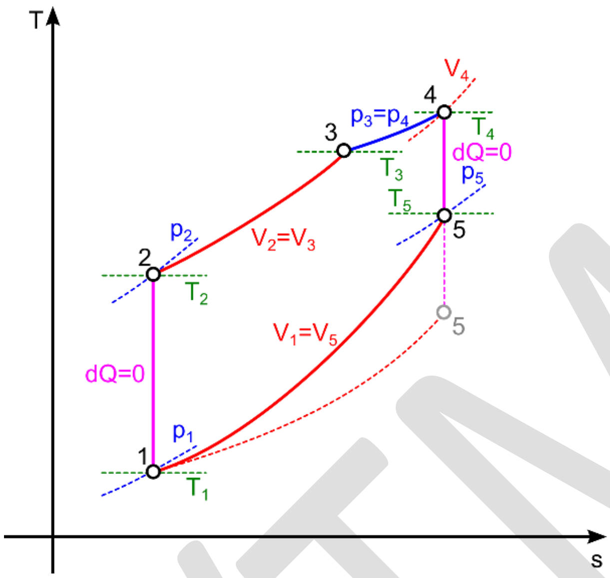
Poznámka: Oba výsledky lze považovat za správné, jedná se o numerickou chybu.

Po doplnění do tabulky bude tabulka vypadat následovně:

	1	2	3	4	5
p [Pa]	$0{,}981.10^5$	$14{,}96.10^5$	$29{,}92.10^5$	$29{,}92.10^5$	$2{,}53.10^5$
T [K]	303,15	662	1324	1588	784
v [$m^3.kg^{-1}$]	0,887	0,127	0,127	0,152	0,887

Po dokončení tabulky, je dobré si zkontrolovat, zda veličiny v krajních bodech korespondují s úvahami na začátku. V tomto případě se shodují, tedy můžeme předpokládat, že výsledky jsou správně.

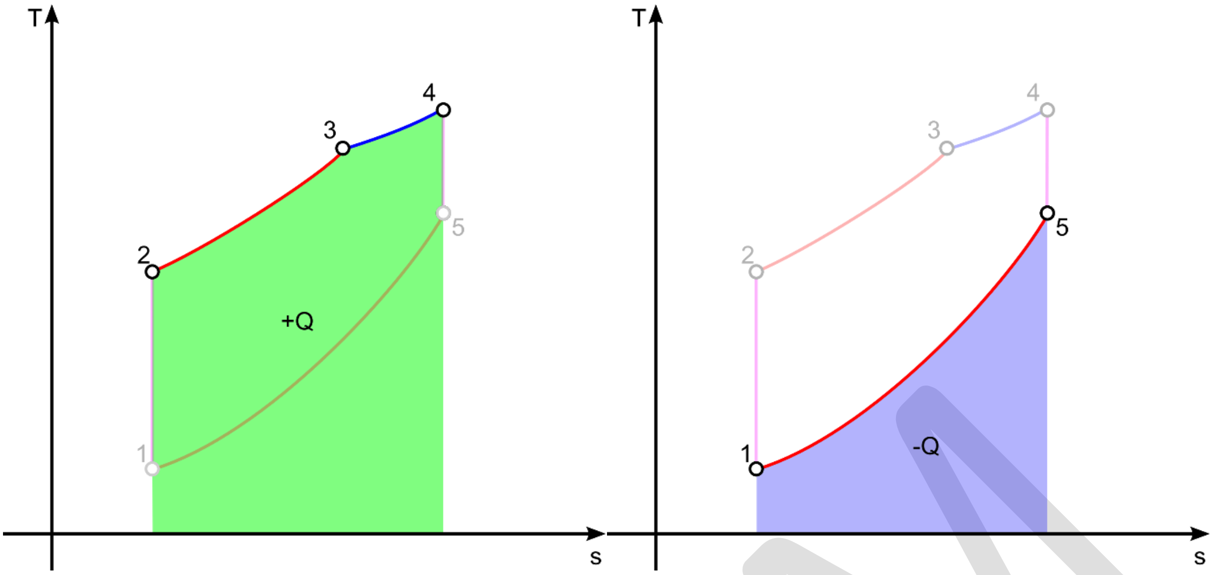
Při porovnávání s grafem používejte vždy jenom krajní body. Je vidět (viz obrázek níže), že původní vzájemná poloha bodů 2 a 5 (původní poloha je vyznačena šedou) nekoresponduje s vypočtenými hodnotami. Bod 5 by měl být výš než bod 2, jelikož teplota v bodě 5 je vyšší jako teplota v bodě 2, jak je to zobrazeno na obr. 2!!!!



Obr. 2 Vzájemná poloha bodů 2 a 5 v T-s diagramu po výpočtu parametrů

Dalším bodem výpočtu, je vypočítat velikost přivedeného a odvedeného tepla. Využijeme předchozích znalostí:

a) přivedené teplo je reprezentováno plochou pod křivkou nebo přímkou v entropickém T-s diagramu, přičemž děj je charakterizován růstem entropie (děj v T-s diagramu probíhá zleva doprava – 1 vlevo a 2 vpravo – *viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Entropické diagramy pro různé změny)*
b) odvedené teplo je reprezentováno plochou pod křivkou nebo přímkou v entropickém T-s diagramu, přičemž děj je charakterizován poklesem entropie (děj je T-s diagrame probíhá zprava doleva – 1 vpravo a 2 vlevo – *viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Entropické diagramy pro různé změny)*
c) Z grafu je tedy jasné, že přívod tepla probíhá mezi body 2-3-4 (obr. 3)
d) Z grafu je tedy jasné, že odvod tepla probíhá mezi body 5-1 (obr. 3)
e) Z grafu je jasné, že mezi body 2-3 je izochora a mezi body 3-4 je izobara (obr. 3)
f) Z grafu je jasné, že mezi body 5-1 je izochora (obr. 3)
g) Využijeme vlastností první věty termodynamické pro jednotlivé děje *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Provázanost jednotlivých rovnic – izobarický a izochorický děj)*



Obr. 3 Plocha reprezentující přívod tepla (vlevo) a plocha reprezentující odvod tepla (vpravo)

- **Množství přivedeného tepla (obr 3. vlevo)…**

…bude reprezentováno velikostí přivedeného tepla při izochorické a izobarické změně…Vhodnou úpravou první věty termodynamické…

$$dq = du + da$$
$$dq = dh + da_t$$

…se můžeme dopracovat k následujícím rovnicím:

a) pro izochorickou změnu užijeme tvar rovnice

$$dq = du + da$$

přičemž víme, že

$$dq = du + p.dv$$

Jelikož pro izochorickou změnu platí *dv=0* (proto jsme si ji taky zvolili); pak bude platit:

$$dq = du$$

Z předchozích znalostí můžeme pak rovnici přepsat do následujícího tvaru *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Vnitřní energie)*:

$$dq = c_v dT$$

Velikost přivedeného tepla je pak dána rovnicí:

$$q_{p1} = c_{v.}(T_3 - T_2) = \frac{r}{\kappa - 1}.(T_3 - T_2) = \frac{287{,}04}{1{,}4 - 1}(1324 - 662) \doteq 475\ [kJ.kg^{-1}]$$

b) pro izobarickou změnu užijeme tvar rovnice

$$dq = dh + da_t$$

přičemž víme, že

$$dq = dh + v.dp$$

Jelikož pro izobarickou změnu platí *dp=0* (proto jsme si ji taky zvolili); pak bude platit:

$$dq = dh$$

Z předchozích znalostí můžeme pak rovnici přepsat do následujícího tvaru *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Entalpie)*:

$$dq = c_p dT$$

Velikost přivedeného tepla je pak dána rovnicí:

$$q_{p2} = c_{p.}(T_4 - T_3) = \frac{\kappa . r}{\kappa - 1}.(T_4 - T_3) = \frac{1{,}4\;.287{,}04}{1{,}4 - 1}(1588{,}8 - 1324) \doteq 266\;[kJ.kg^{-1}]$$

Množství přivedeného tepla je dána tedy vztahem:

$$q_p = q_{p1} + q_{p2} = 475 + 266 = 741[kJ.kg^{-1}]$$

- **množství odvedeného tepla (obr 3. vpravo)…**

…bude reprezentováno velikostí odvedeného tepla při izochorické změně…Vhodnou úpravou první věty termodynamické…

$$dq = du + da$$
$$dq = dh + da_t$$

…se pro izochorickou změnu užijeme tvar rovnice

$$dq = du + da$$

přičemž víme, že

$$dq = du + p.dv$$

Jelikož pro izochorickou změnu platí *dv=0* (proto jsme si ji taky zvolili); pak bude platit:

$$dq = du$$

Z předchozích znalostí můžeme pak rovnici přepsat do následujícího tvaru *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Vnitřní energie)*:

$$dq = c_v dT$$

Velikost odvedeného tepla je pak dána rovnicí:

$$q_o = c_{v.}(T_1 - T_5) = \frac{r}{\kappa - 1}.(T_1 - T_5) = \frac{287}{1{,}4 - 1}(303{,}15 - 780{,}8) \doteq - 342{,}7[kJ.kg^{-1}]$$

- **práce cyklu**

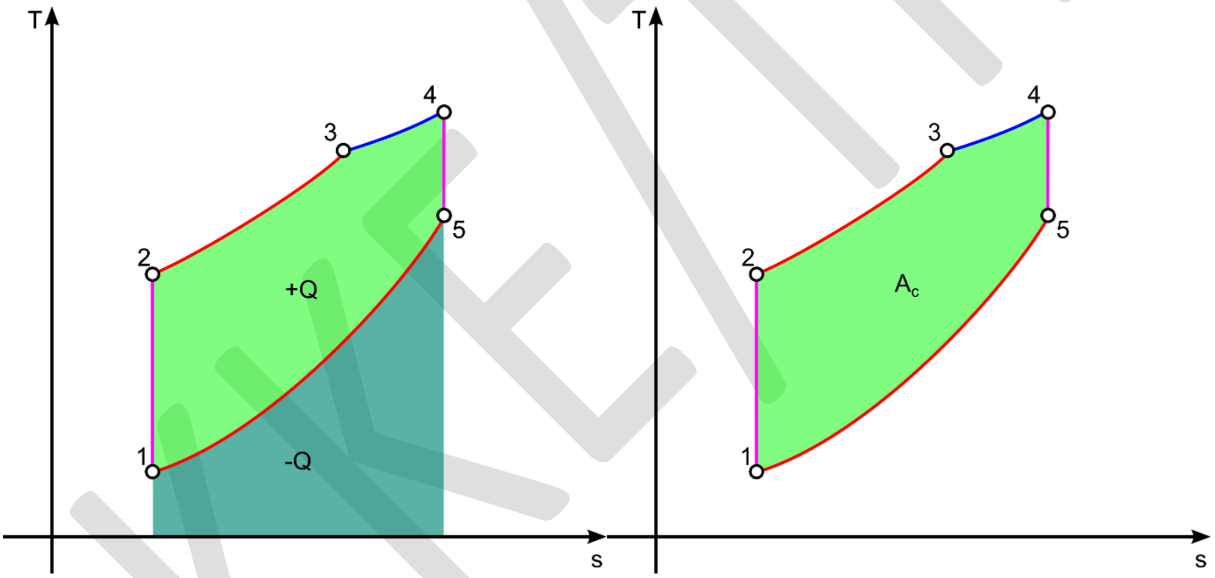
Dalším bodem výpočtu, je vypočítat práci cyklu. Využijeme předchozích znalostí, že práce cyklu je reprezentována plochou, která je ohraničená křivkami cyklu. Máme tedy několik možností jak se k této ploše dopracovat:

a) Výpočtem přes technickou práci (p-V diagram)
b) Výpočtem přes absolutní práci (p-V diagram)
c) Výpočtem přes rozdíl přivedeného a odvedeného tepla (T-s diagram)

Nejprve začneme nejjednodušším způsobem za c), výpočty a) a b) budou ukázány na konci. Velikost plochy pod křivkami v T-s diagramu reprezentují velikost přivedeného nebo odvedeného tepla. Logicky rozdíl těchto ploch nám dá plochu cyklu, která je zároveň reprezentuje i práci cyklu. Jelikož hodnoty přivedeného a odvedeného tepla už jsou známé, tak můžeme jednoduše napsat pro práci cyklu:

$$a_c = q_p - |q_o| = 741 - 342{,}7 = 398{,}3\ [kJ.kg^{-1}]$$

Poznámka: Jelikož znaménko mínus reprezentuje fyzikální skutečnost, že teplo se odvádí, tak velikost odvedeného tepla uvádíme v absolutních hodnotách (velikost a ani plocha nemůže nabýt záporných hodnot).



Obr. 4 Plochy reprezentující přívod a odvod tepla (vlevo) a plocha práci cyklu (vpravo)

- **tepelná účinnost**

Tato hodnota nesmí nabýt hodnot větších jako 1!!!

Rovnice pro výpočet má tvar:

$$\eta_t = \frac{a_c}{q_p} = \frac{q_p - |q_o|}{q_p} = 1 - \frac{|q_o|}{q_p} = 1 - \frac{342{,}7}{741} = 0{,}54 = 54\ [\%]$$

V následujícím si ukážeme, jak se za pomoci technické a absolutní práce dopracovat k práci cyklu:

a) V p-V diagramu je technická práce reprezentována plochou mezi křivkou změny a osou tlaku *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Technická práce)*. Plochu cyklu a tedy i velikost práce cyklu dostaneme, že uděláme rozdíl ploch technických prací. Větší plochu v p-V diagramu reprezentuje plocha, která reprezentuje technickou práci adiabatické expanze a izochorického odvodu tepla (tedy křivka 4 – 5 a přímka, která prochází body 5 – 1). Pro ně platí, následující:

Adiabatická křivka 4-5 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Rovnice (3))*

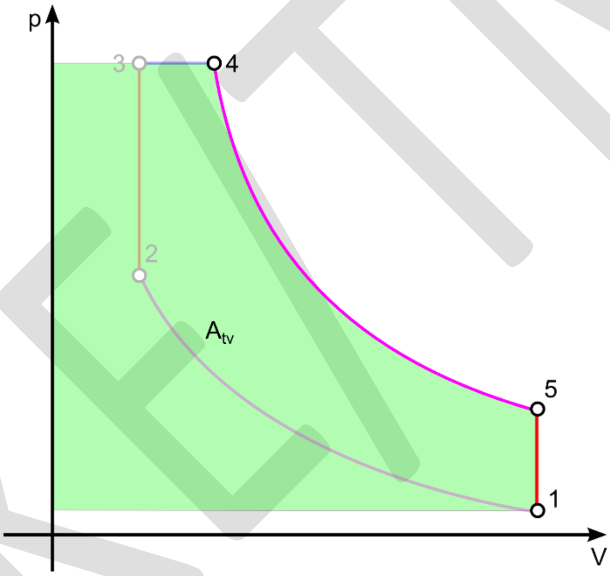
$$a_{t45} = -\frac{\kappa . r}{\kappa - 1}(T_5 - T_4) = -\frac{1{,}4\,.\,287{,}04}{1{,}4 - 1}(784 - 1588) = 808\;[kJ.kg^{-1}]$$

Izochora 5-1 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Provázanost jednotlivých rovnic – izochorický děj)*

$$a_{t51} = v_1(p_1 - p_5) = 0{,}887.\,(0{,}981.10^5 - 2{,}53.10^5) = -138\;[kJ.kg^{-1}]$$

Velikost větší plochy tedy reprezentuje technickou práci o velikosti:

$$a_{tv} = a_{t45} + |a_{t15}| = 946\;[kJ.kg^{-1}]$$



Obr. 5 Plocha reprezentující technickou práci mezi body 4-5-1

Poznámka: Jelikož znaménko mínus reprezentuje fyzikální skutečnost nikoli velikost (velikost plochy nemůže nabýt záporných hodnot), tak velikost technických prací uvádíme v absolutních hodnotách.

Menší plochu v p-V diagramu reprezentuje plocha, která reprezentuje technickou práci adiabatické komprese a izochorického přívodu tepla (tedy křivka 1 – 2 a přímka, která prochází body 2 – 3). Pro ně platí, následující:

Adiabatická křivka 1-2 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Rovnice (3))*

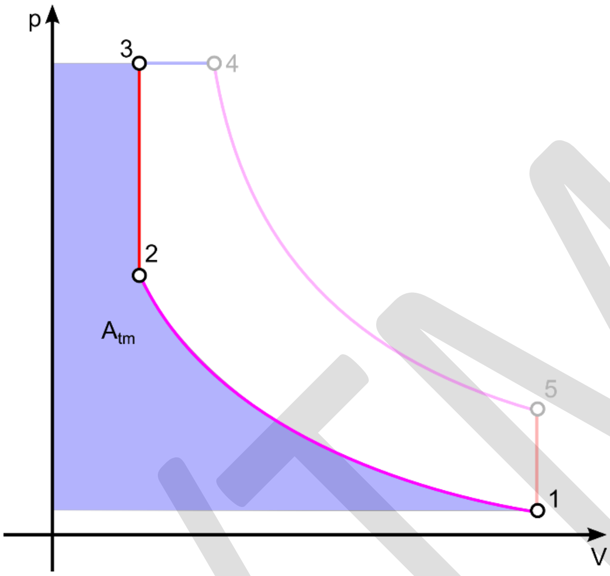
$$a_{t12} = -\frac{\kappa . r}{\kappa - 1}(T_2 - T_1) = -\frac{1{,}4\,.\,287{,}04}{1{,}4 - 1}(662 - 303{,}15) = -\,361\;[kJ.kg^{-1}]$$

Izochora 2-3 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Provázanost jednotlivých rovnic – izochorický děj)*

$$a_{t23} = v_2(p_2 - p_3) = 0{,}127.(14{,}96\,.\,10^5 - 29{,}92.10^5) = -190\ [kJ.kg^{-1}]$$

Velikost menší plochy tedy reprezentuje technickou práci o velikosti:

$$a_{tm} = |a_{t12}| + |a_{t23}| = 551\ [kJ.kg^{-1}]$$



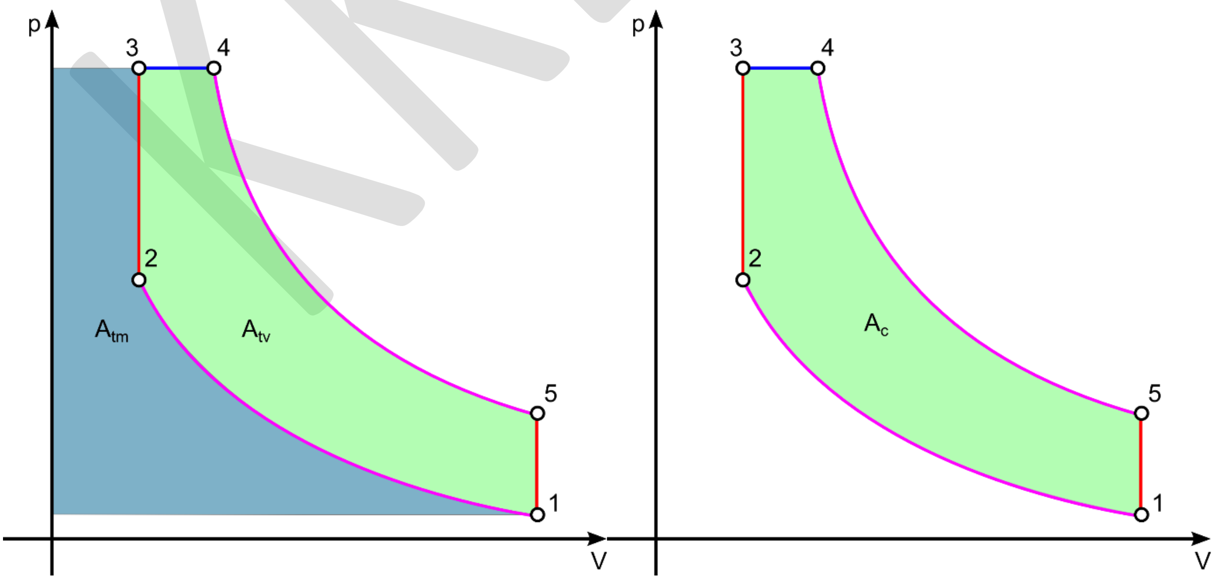
Obr. 6 Plocha reprezentující technickou práci mezi body 1-2-3

Poznámka: Jelikož znaménko mínus reprezentuje fyzikální skutečnost nikoli velikost (velikost plochy nemůže nabýt záporných hodnot), tak velikost technických prací uvádíme v absolutních hodnotách.

Práce cyklu je tedy reprezentována rozdílem menší a větší plochy:

$$a_c = a_{tv} - a_{tm} = 946 - 551 = 395\ [kJ.kg^{-1}]$$

Poznámka: Oba výsledky se můžou považovat za správné, chyba je dána zaokrouhlováním.



Obr. 7 Plochy reprezentující rozdíl technických prací (vlevo) a plocha reprezentující práci cyklu (vpravo)

b) V p-V diagramu je absolutní práce reprezentována plochou mezi křivkou změny a osou objemu *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Absolutní práce)*. Plochu cyklu a tedy i velikost práce cyklu dostaneme, když uděláme rozdíl ploch absolutních prací. Větší plochu v p-V diagramu reprezentuje plocha, která reprezentuje absolutní práci izobarického přívodu tepla a adiabatické expanze (tedy přímka, která prochází body 3 – 4 a křivka 5 – 1). Pro ně platí následující:

Izobara 3-4 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 3. – Provázanost jednotlivých rovnic – izobarický děj)*:

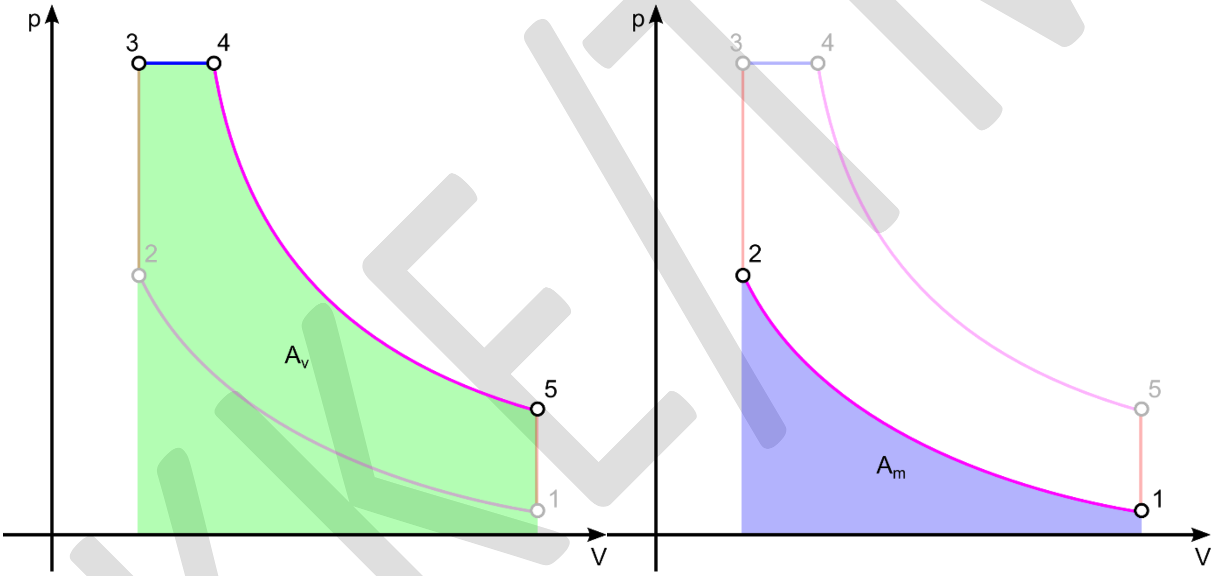
$$a_{34} = p_3(v_4 - v_3) = 29{,}92.10^5.(0{,}152 - 0{,}127) = 75\ [kJ.kg^{-1}]$$

Adiabatická křivka 4-5 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Rovnice (2))*

$$a_{45} = -\frac{r}{\kappa - 1}(T_5 - T_4) = -\frac{287{,}04}{1{,}4 - 1}(784 - 1588) = 577\ [kJ.kg^{-1}]$$

Velikost větší plochy tedy reprezentuje absolutní práci o velikosti:

$$a_v = a_{34} + a_{45} = 652\ [kJ.kg^{-1}]$$



Obr. 8 Plocha reprezentující absolutní práci mezi body 3-4-5 (vlevo) a plocha reprezentující absolutní práci mezi body 1-2 (vpravo)

Menší plochu v p-V diagramu reprezentuje plocha, která reprezentuje absolutní práci adiabatické komprese (tedy křivka 1 – 2). Pro ně platí, následující:

Adiabatická křivka 1-2 *(viz poznámky k cvičením z termomechaniky – Cvičení 4. – Rovnice (3))*

$$a_{12} = -\frac{r}{\kappa - 1}(T_2 - T_1) = -\frac{287{,}04}{1{,}4 - 1}(662 - 303{,}15) = -\ 258\ [kJ.kg^{-1}]$$

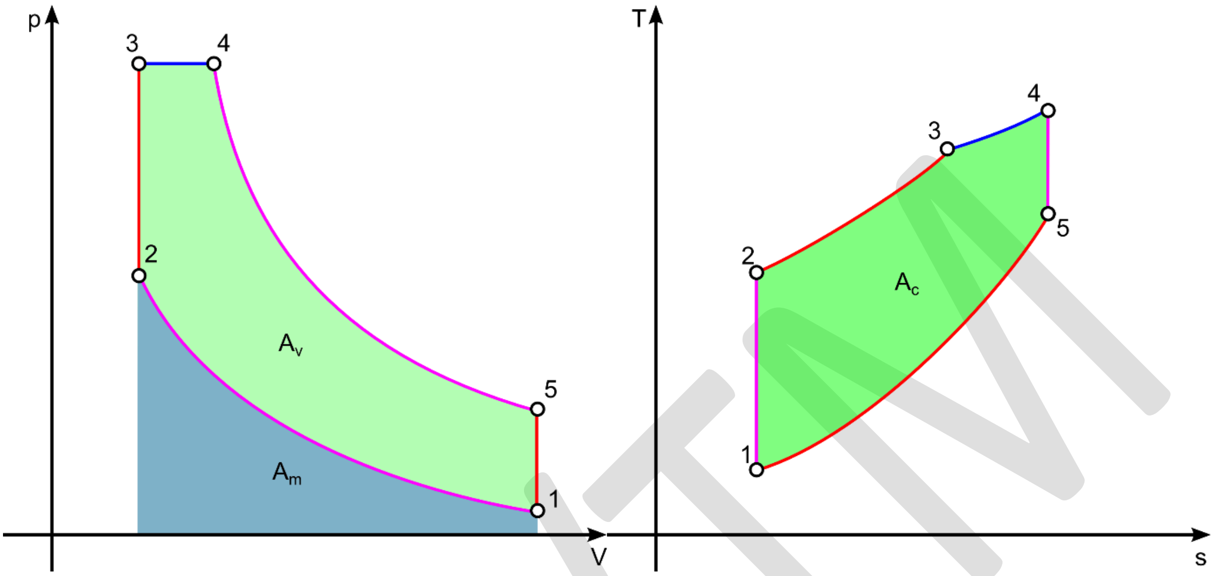
Poznámka: Jelikož znaménko mínus reprezentuje fyzikální skutečnost nikoli velikost (velikost plochy nemůže nabýt záporných hodnot), tak velikost technických prací uvádíme v absolutních hodnotách.

$$a_m = |a_{12}| = 258\ [kJ.kg^{-1}]$$

Práce cyklu je tedy reprezentována rozdílem menší a větší plochy:

$$a_c = a_v - a_m = 652 - 258 = 394\ [kJ.kg^{-1}]$$

Poznámka: Oba výsledky se můžou považovat za správné, chyba je dána zaokrouhlováním.



Obr. 9 Plochy reprezentující rozdíl absolutních prací (vlevo) a plocha reprezentující práci cyklu (vpravo)