

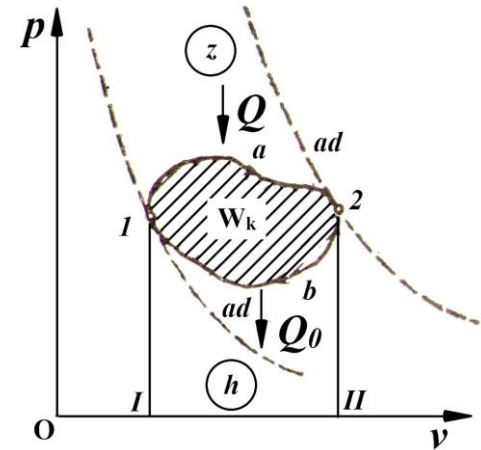
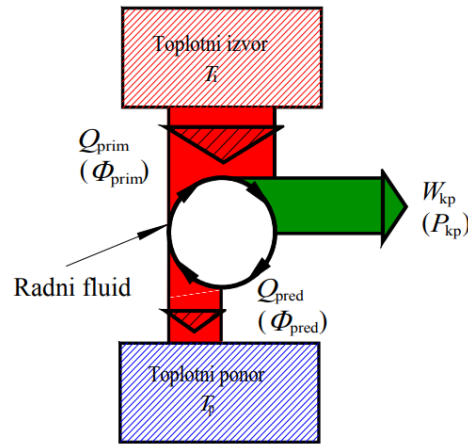
ТЕРМОЕНЕРГЕТИКА

Kružni ciklusi

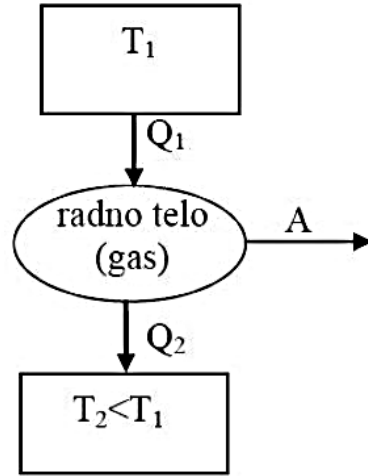
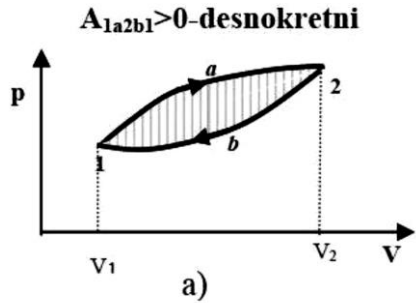
Kružni proces

Kružni proces (ciklus) nastaje tako što se radno telo nakon određenih promena stanja, povratnih ili nepovratnih, vraća u isto početno ravnotežno stanje.

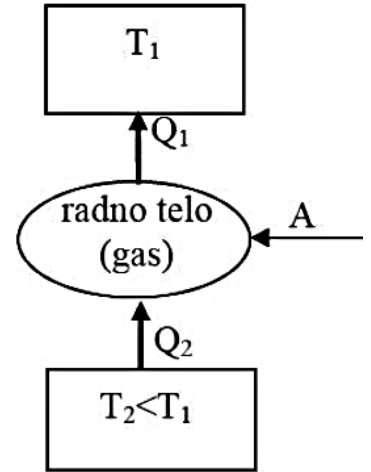
Činjenica da se radno telo u kružnom procesu uvek vraća u prvobitno stanje nije nikakav znak za povratnost tog procesa, pa se moraju razlikovati pojmovi povratnosti i nepovratnosti od pojma kružnog procesa.



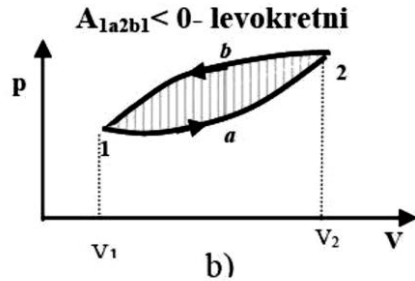
Desnokretni i levokretni kružni proces



Desnokretni ciklus
(toplotna mašina)



Levokretni ciklus
(rashladna mašina)



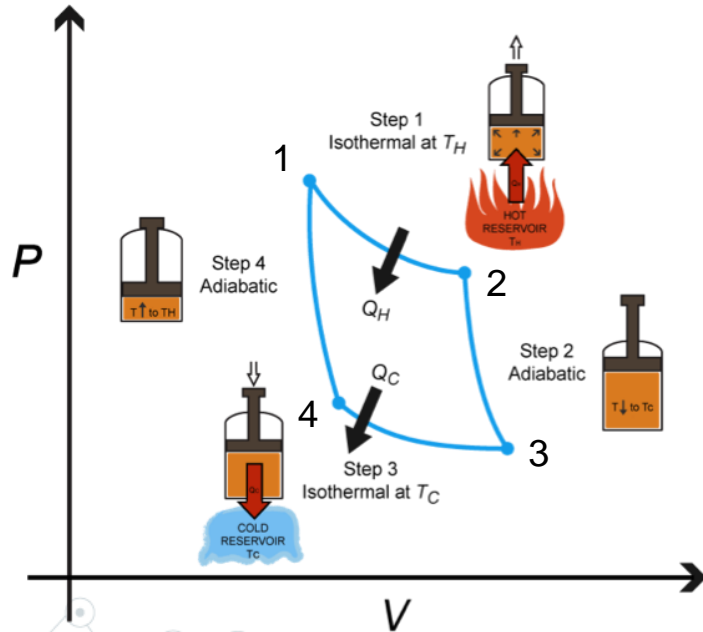
Karno-ov ciklus

Francuski inženjer Sadi Karno je 1824. osmislio termodinamički ciklus maksimalne efikasnosti.

Karno-ova toplotna mašina je teorijski model idealne mašine koja ima maksimalnu efikasnost, odnosno mašina koja nema gubitak energije.

Efikasnost bilo koje termodinamičke mašine upoređuje se sa efikasnošću Karno-ove mašine.

Karno-ov ciklus



Karno-ov kružni ciklus sastavljen je iz dve izoterme i dve izoentropne.

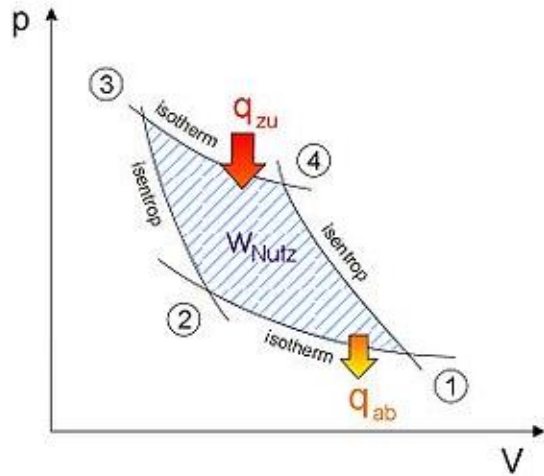
1-2 - izoterma je na višoj temperaturi T i dovodi se toplota, vrši ekspanzija i radno telo vrši rad nad okolinom.

2-3 - izoentropa (adijabata), radno telo ekspandira i vrši rad nad okolinom, nema razmene toplote sa okolinom.

3-4 - izoterma je na nižoj temperaturi T_o , toplota prelazi sa radnog tela u toplotni ponor, a okolina sabija radno telo, vrši rad nad njim.

4-1 - izoentropa (adijabata), radno telo se komprimuje, okolina vrši rad nad njim bez međusobne razmene toplote.

Karnoov ciklus

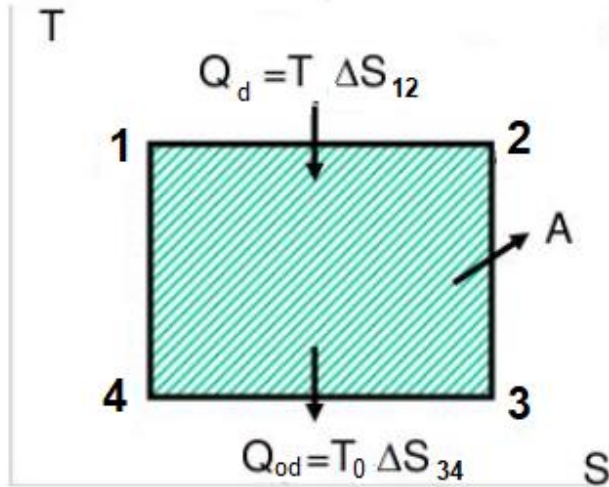


Toplota se dovodi u procesu 1-2, a odvodi u procesu 3-4.

Rad adijabatske ekspanzije (>0) jednak je radu adijabatske kompresije (<0).

Koristan rad je razlika radova izotermske ekspanzije (1-2) i izotermske kompresije (3-4)

Termodinamički stepen iskorišćenja Karno-og ciklusa



Termodinamički stepen iskorišćenja Karno-ovog kružnog ciklusa:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{od}|}{Q_d}$$

$$Q_d = T \cdot \Delta S_{12} = T \cdot (S_2 - S_1)$$

$$Q_{od} = T_o \cdot \Delta S_{34} = T_o \cdot (S_4 - S_3)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_o \cdot (S_2 - S_1)}{T \cdot (S_4 - S_3)}$$

$$S_1 = S_4; \quad S_2 = S_3; \quad S_2 - S_1 = S_4 - S_3$$

$$\eta = 1 - \frac{T_o}{T}$$

Karno-ov ciklus

Najveći stepen iskorišćenja kružnih ciklusa ima Karno-ov ciklus.

Karno-ov ciklus je idealni desnokretni ciklus (neostvariv u praksi, ali služi za poređenje sa realnim ciklusima). Nijedan ciklus koji radi između dve temperature ne može biti efikasniji od Karnoovog ciklusa.

Donja granica ciklusa je temperatura okoline, a gornja granica temperatura zagrejača.

Svi Karno-ovi ciklusi koji rade između dve iste temperature imaju istu efikasnost bez obzira na prirodu radnog tela (materije).

Karno-ova teorema:

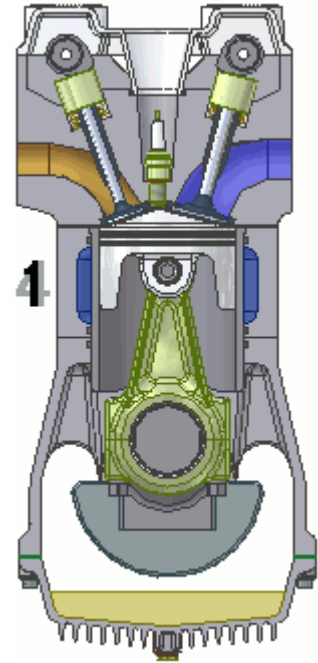
Termodinamički stepen iskorišćenja zavisi samo od temperature zagrejača i temperature hladnjaka, a ne zavisi od vrste radnog tela.

Na osnovu Karno-ove teoreme, može se zaključiti da su izvori toplote mnogo važniji činioci pri pretvaranju toplote u mehanički rad, nego radno telo.

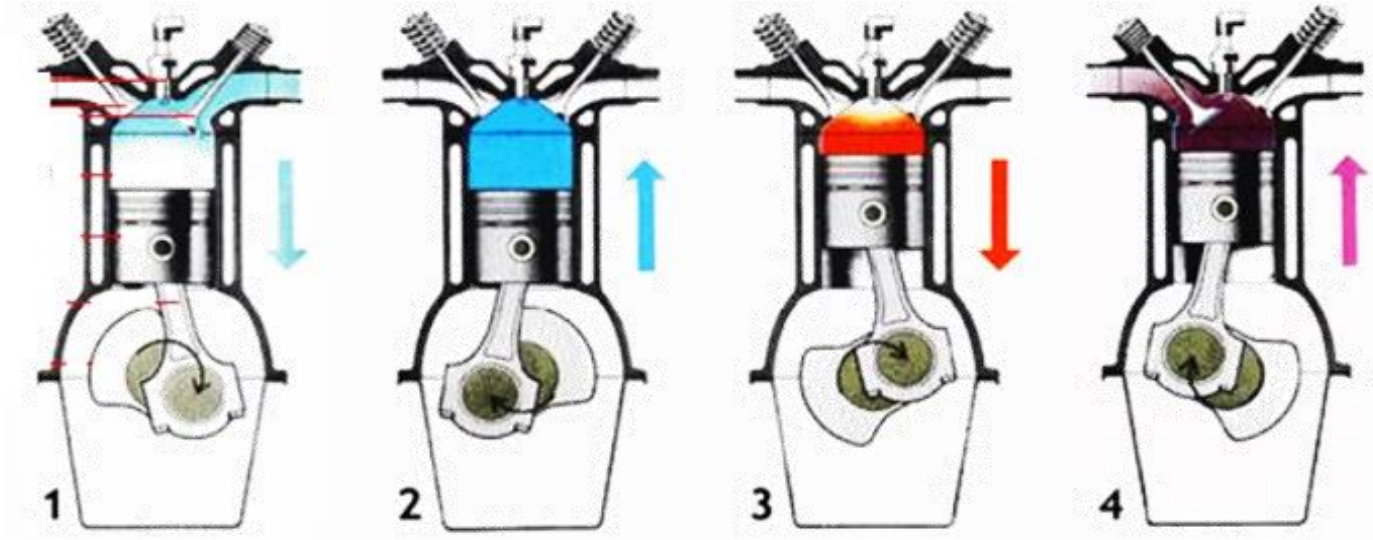
Otto-ov ciklus

Nikolaus Otto je 1876. godine prijavio patent termodinamičkog ciklusa koji se danas naziva Otto-ov ciklus.

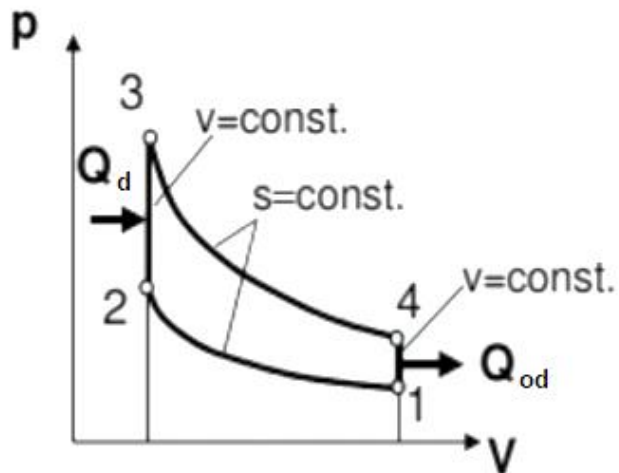
Na bazi tog ciklusa razvijeni su motori sa unutrašnjim sagorevanjem i paljenjem mešavine goriva i vazduha pomoću spoljašnjeg izvora – benzinski motori.



Otto-ov ciklus



Otto-ov ciklus



Čine ga 2 izohore i 2 izentropе (adijabate):

1-2 izentropa (adijabata) – kompresija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$) (usisavanje vazduha i sabijanje smeše benzina i vazduha putem klipa u cilindru);

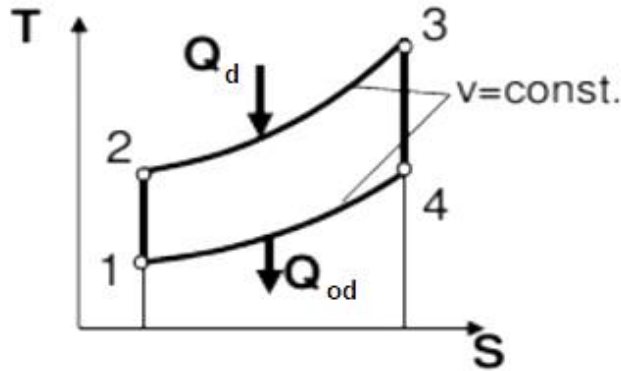
2-3 izohora – dovođenje toplote Q_d pri konstantnoj zapremini (paljenje smeše putem inicijalne varnice iz svećice);

3-4 izentropa (adijabata) – ekspanzija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$) (sagorevanjem smeše, klip se potiskuje ka donjoj mrtvoj tački, jedini proces kojim se dobija rad u ciklusu);

4-1 izohora – izduvavanje uz odvođenje toplote Q_{od} pri konstantnoj zapremini (izbacivanje produkata sagorevanja);

Termodinamički stepen iskorišćenja Otto-ovog ciklusa

Termodinamički stepen iskorišćenja Otto-ovog kružnog ciklusa:



$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{od}|}{Q_d}$$

$$Q_d = Q_{23} = m \cdot c_v (T_3 - T_2)$$

$$Q_{od} = Q_{41} = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)$$

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1} \rightarrow T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

$$T_3 = T_4 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

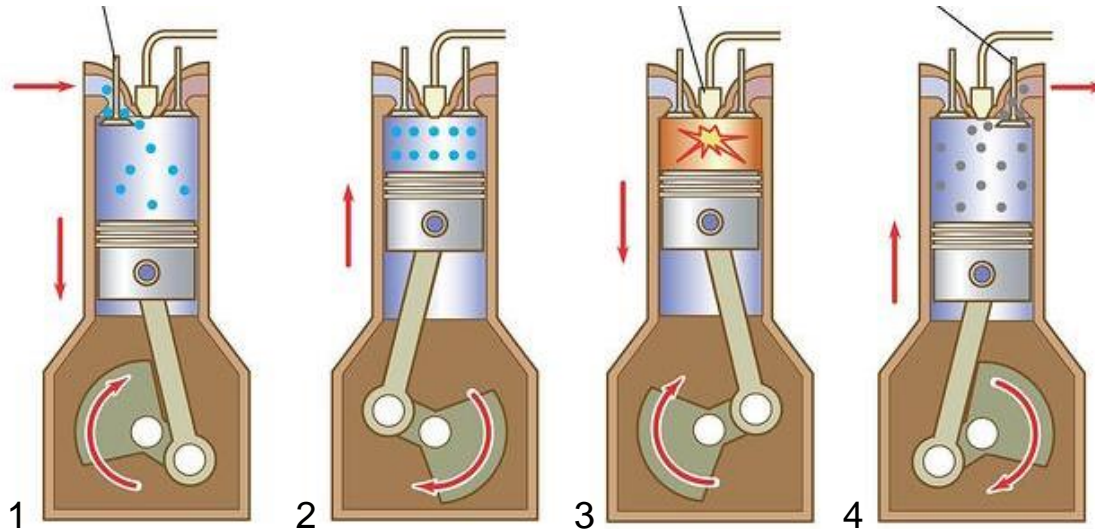
$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_4 - T_1)\varepsilon^{\kappa-1}}$$

Stepen korisnog dejstva zavisi od stepena kompresije i u manjoj meri od karakteristika gasa.

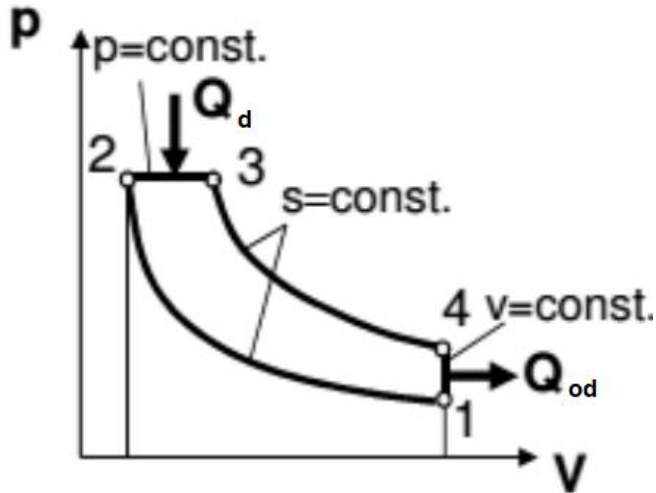
Dizel-ov ciklus

Rudolf Diesel je 1892. godine patentirao termodinamički ciklus sa samoupaljenjem goriva koji u njegovu čast nosi naziv Diesel-ov ciklus.

Na bazi tog ciklusa razvijeni su motori koji koriste dizel gorivo - dizel motori.



Dizel-ov ciklus



Čine ga 1 izohora, 1 izobara i 2 izentropе (adijabate):

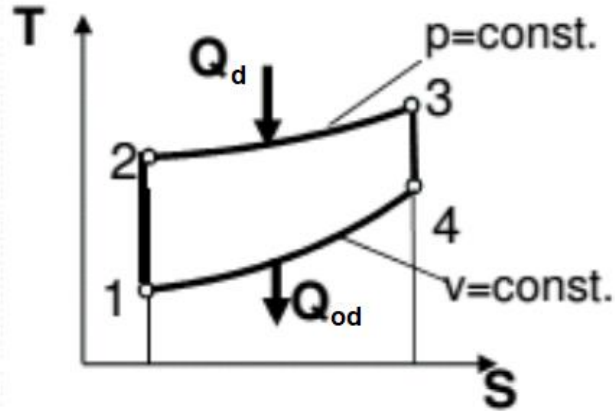
1-2 izentropa (adijabata) – kompresija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$) (usisavanje vazduha i sabijanje smeše goriva i vazduha putem klipa u cilindru);

2-3 izobara – dovođenje toplote Q_d pri konstantnom pritisku (samopaljenje smeše na pritisku samopaljenja);

3-4 izentropa (adijabata) – ekspanzija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$) (sagorevanjem smeše, klip se potiskuje ka donjoj mrtvoj tački, jedini proces kojim se dobija rad u ciklusu);

4-1 izohora – izduvavanje uz odvođenje toplote Q_{od} pri konstantnoj zapremini (izbacivanje produkata sagorevanja);

Termodinamički stepen iskorišćenja Dizel-ovog ciklusa



Termodinamički stepen iskorišćenja Dizel-ovog kružnog ciklusa:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{od}|}{Q_d}$$

$$Q_d = Q_{23} = m \cdot c_p (T_3 - T_2)$$

$$Q_{od} = Q_{41} = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

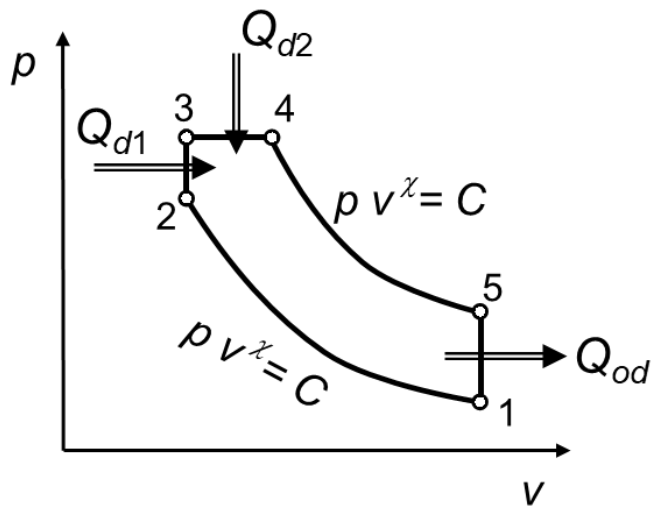
$$\eta = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Sabate-ov ciklus

Sabate-ov ciklus spada u poboljšanu verziju Otto i Diesel-ovog ciklusa. Karakteriše ga kombinovano dovođenje toplote (po izohori i po izobari).

Karakterističan je za motore sa unutrašnjim sagorevanjem, idealan je proces avionske gasne turbine.

Sabate-ov ciklus



Čine ga 1 izohora, 1 izobara i 2 izentropе (adijabate):

1-2 izentropa (adijabata) – kompresija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$)

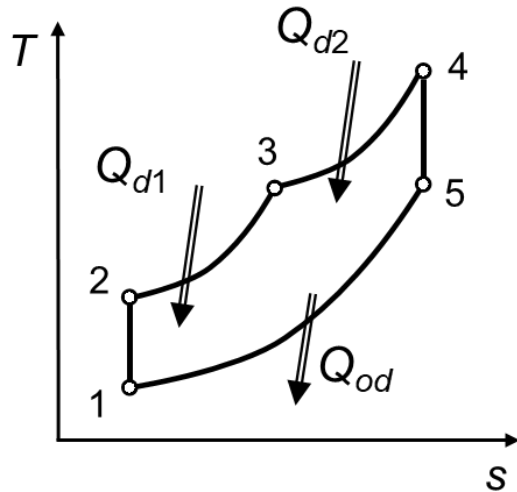
2-3 izohora – dovođenje toplote Q_{d1} pri konstantnoj zapremini

3-4 izobara – dovođenje toplote Q_{d2} pri konstantnom pritisku

4-5 izentropa, ekspanzija smeše bez razmene toplote sa okolinom ($\delta Q=0$)

5-1 izohora, izduvavanje uz odvođenje toplote Q_{od} pri konstantnoj zapremini

Termodinamički stepen iskorišćenja Sabate-ovog ciklusa



Termodinamički stepen iskorišćenja Sabate-ovog kružnog ciklusa:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{od}|}{Q_d}$$

$$Q_{d1} = Q_{23} = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$Q_{d2} = Q_{34} = m \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3)$$

$$Q_d = Q_{d1} + Q_{d2}$$

$$Q_{od} = Q_{51} = m \cdot c_v \cdot (T_5 - T_1)$$

$$\eta = 1 - \frac{(T_5 - T_1)}{(T_3 - T_2) + \frac{1}{\kappa} \cdot (T_4 - T_3)}$$