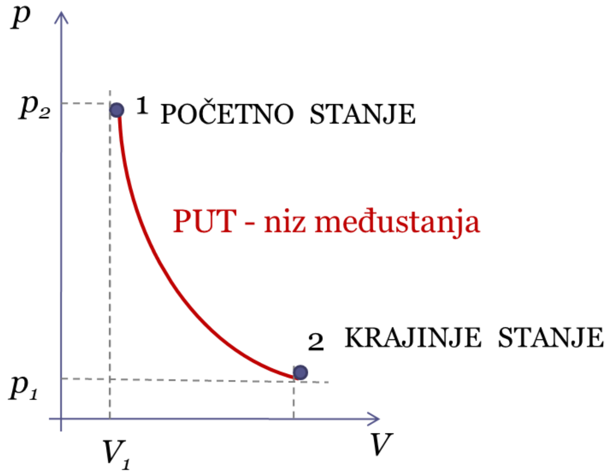
АКАДЕМИЈА
ТЕХНИЧКО-ВАСПИТАЧКИХ
СТРУКОВНИХ СТУДИЈА

TERMOENERGETIKA

Promene stanja idealnog gasa

Promena stanja radnog tela

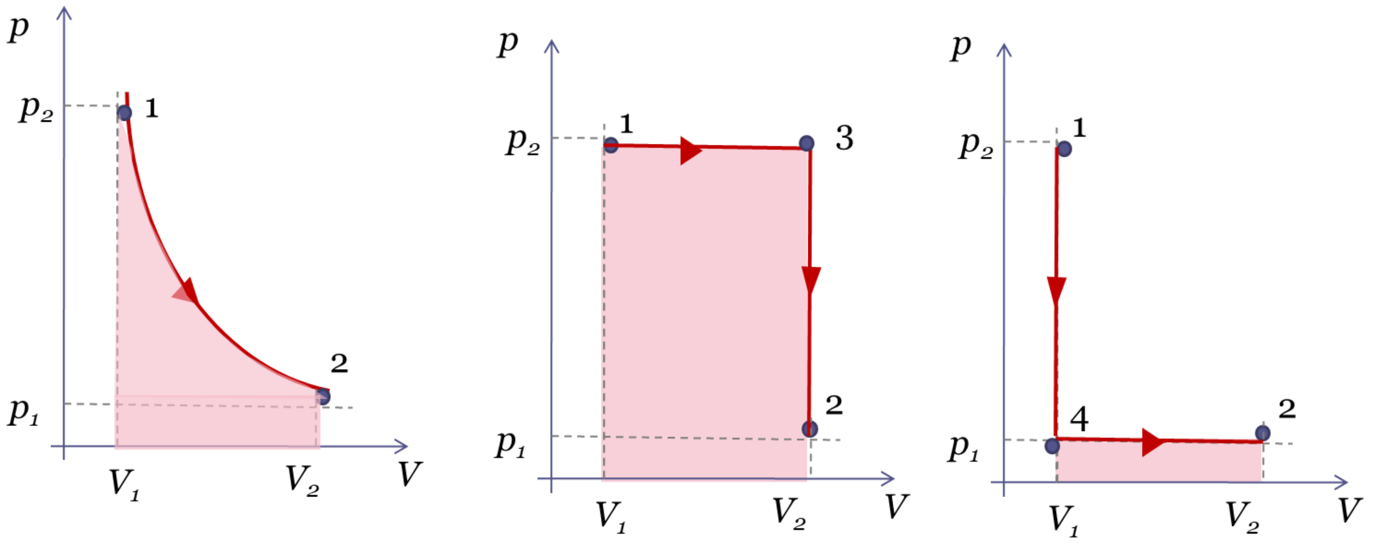
Promene stanja radnog tela posledica su učešća radnog tela u pretvaranju toplotne energije u druge oblike energije (i obratno).



Kako bi se analizirala promena stanja, potrebno je znati njenu jednačinu.

Pri izvođenju jednačine promene stanja, kreće se od matematičkog izraza za prvi zakon termodinamike.

Promena stanja radnog tela



Rad koji obavlja sistem ne zavisi samo od početnog i krajnjeg stanja, već i od međustanja, tj. putu kojim je sistem došao u krajnje stanje.

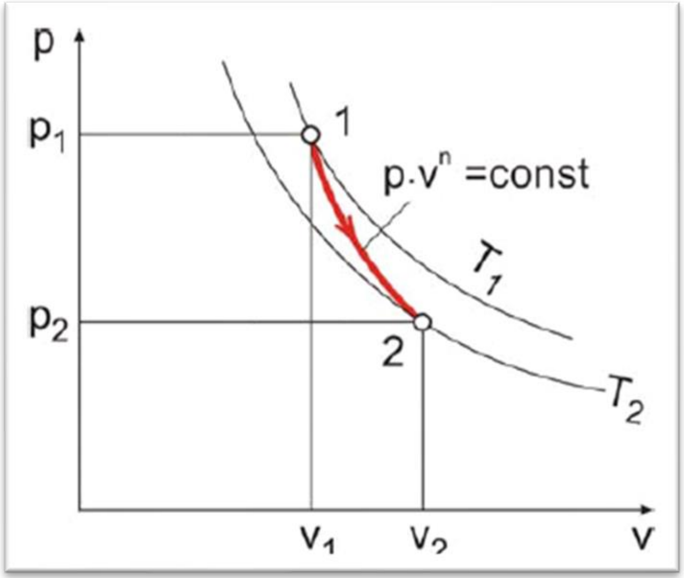
Politropska (opšta) promena stanja

Jednačina (opšte) **politropske promene stanja**:

$$pv^n = const$$

n – eksponent politrope (određuje nagib politrope)

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v}.$$



Zamenom *p* i *v* iz Klapejronove jednačine dobijaju se još dva oblika politropske promene stanja:

$$p = \frac{RT}{v} \rightarrow \frac{RT}{v} v^n = const \rightarrow \boldsymbol{Tv^{n-1} = const}$$

$$v = \frac{RT}{p} \rightarrow p\left(\frac{RT}{v}\right)^n = const \rightarrow \boldsymbol{p^{n-1}T^n = const}$$

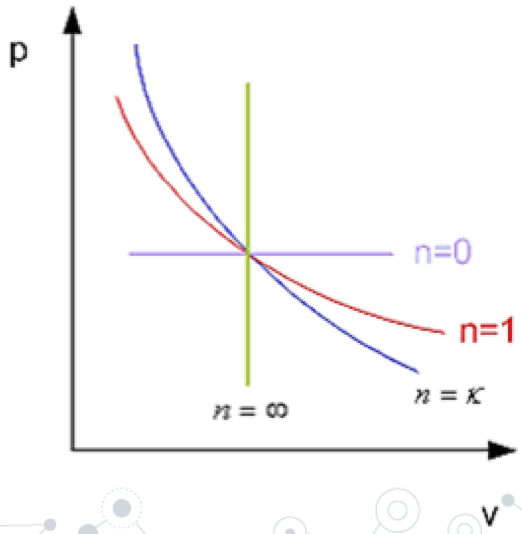
Politropski procesi se obavljaju kod kompresora, SUS motora (kompresionih i ekspanzionih mašina).

Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa

Eksponent politrope (*n*) može da ima vrednosti iz skupa realnih brojeva, tj. od -∞ do +∞.

U zavisnosti od vrednosti *n*, možemo govoriti o nekim specijalnim slučajevima promene stanja idealnog gasa:

- Izobarska promena stanja
- Izotermska promena stanja
- Izentropska (adijabatska) promena stanja
- Izohorska promena stanja



Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa – izobarska promena stanja

Kada eksponent politrope ima vrednost:

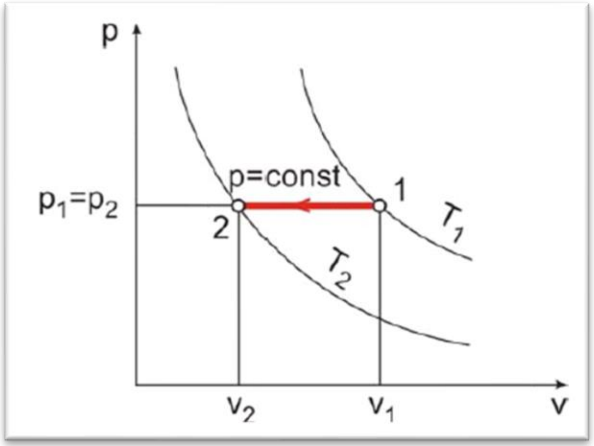
$$n = 0 \;\rightarrow pv^0 = const \;\rightarrow \boldsymbol{p = const} \text{ ili } \frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{const}$$

$$n = 0 \;\rightarrow \mathrm{c} = c_p$$

dobija se promena stanja pri konstantnom pritisku ili **izobarska promena stanja**.

Kriva koja grafički predstavlja ovu promenu stanja naziva se **izobara**, i ona je u pv - dijagramu paralelna sa v-osom.

Izobarski procesi su najčešći u tehničkoj praksi (proces mešanja, isparavanja, kondenzacije, procesi u razmenjivaču toplote...).

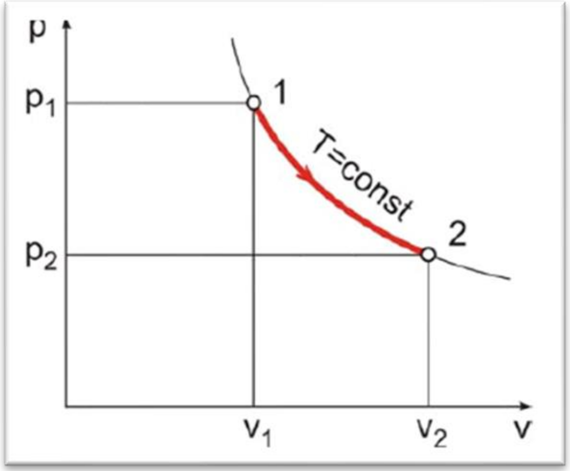


Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa – izotermska promena stanja

Kada eksponent politrope ima vrednost:

$$n = 1 \;\rightarrow pv^1 = const \;\rightarrow \boldsymbol{T = const} \text{ ili } \boldsymbol{pv = const}$$

$$n = 0 \;\rightarrow \mathrm{c} = \pm\infty$$



dobija se promena stanja pri konstantnoj temperaturi ili **izotermska promena stanja**.

Kriva koja grafički predstavlja ovu promenu stanja naziva se **izoterma.**

Izotermski procesi su česti u praksi (procesi topljenja, očvršćavanja, sublimacije...).

Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa – izentropska (adijabatska) promena stanja

Kada eksponent politrope ima vrednost:

$$n = \kappa \;\rightarrow \boldsymbol{pv^{\kappa} = const} \text{ ili } \boldsymbol{Tv^{\kappa-1} = const}$$

$$n = \kappa \;\rightarrow \mathrm{c} = \frac{c_p}{c_v}$$

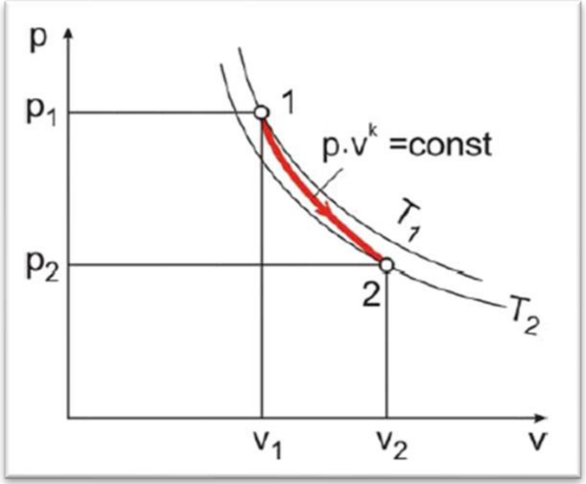
dobija se promena stanja pri konstantnoj entropiji ili **izentropska (adijabatska) promena stanja**.

Kriva koja grafički predstavlja ovu promenu stanja naziva se **izentropa** ili **adijabata** (strmija je od izoterme). Politropa je između ove dve krive tj.:

$$1 < n < \kappa$$

Karakteristika ovog procesa je da nema razmene toplote sa okolinom ($q = 0$).

Adijabatski procesi su procesi prigušivanja gasova.



Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa – izohorska promena stanja

Kada eksponent politrope ima vrednost:

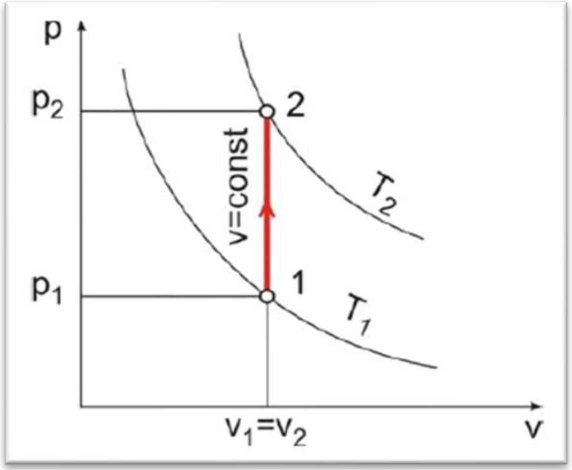
$$n = \pm\infty \ \rightarrow p^{1/n}v = const \rightarrow \boldsymbol{v = const}$$

$$n = \pm\infty \rightarrow c = c_v$$

dobija se promena stanja pri konstantnoj zapremini ili **izohorska promena stanja**.

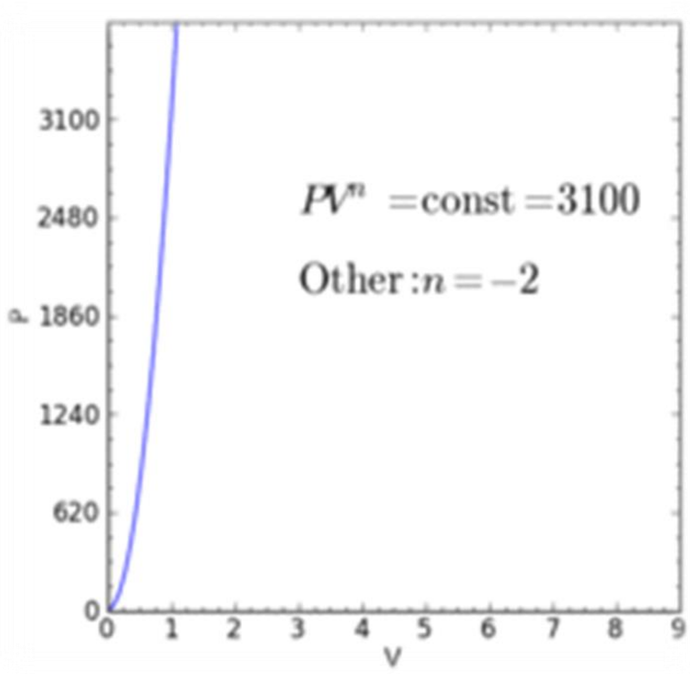
Kriva koja grafički predstavlja ovu promenu stanja naziva se **izohora** i ona je u pv - dijagramu paralelna sa p-osom.

Javlja se kod procesa sagorevanja pri v=const.



Posebni slučajevi promene stanja idealnog gasa

Konačno, sve navedene promene stanja predstavljene su u jednom (zajedničkom) radnom pv – dijagramu.



Apsolutni rad i količina toplote pri politropskoj promeni stanja

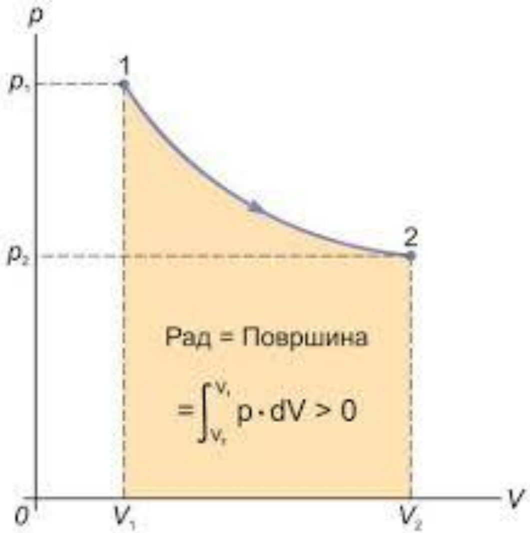
U analizi se polazi od izraza: $\delta q = c \cdot dT$

Specifična toplota se, s obzirom na raniju definiciju eksponenta politrope *n*, može napisati kao:

$$c = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

Odatle sledi izraz za količinu toplote koja se razmeni pri politropskoj promeni stanja:

$$q_{1,2} = c_v \frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1) \left[\frac{J}{kg}\right] \qquad Q_{1,2} = m \cdot c_v \frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1)\ [J]$$



Zapreminski rad pri politropskoj promeni stanja predstavlja površinu ispod politrope u pv – dijagramu.

$$w_{1,2} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \left[\frac{J}{kg}\right] \qquad W_{1,2} = m \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)[J]$$

Apsolutni rad i količina toplote pri izobarskoj promeni stanja

Količina toplote koja se razmeni pri izobarskoj promeni stanja, računa se uzimajući u obzir da je:

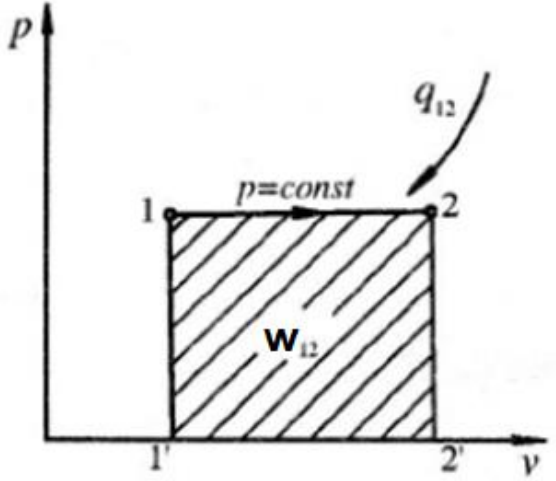
$$n = 0 \qquad c = c_p$$

Odatle se dobija:

$$q_{1,2} = c_p\,(T_2 - T_1)\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad Q_{1,2} = m \cdot c_p\,(T_2 - T_1)\,[J]$$

Zapreminski rad pri izobarskoj promeni stanja predstavlja površinu ispod izobare u pv – dijagramu.

$$w_{1,2} = p(V_2 - V_1)\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad W_{1,2} = m \cdot p(V_2 - V_1)[J]$$



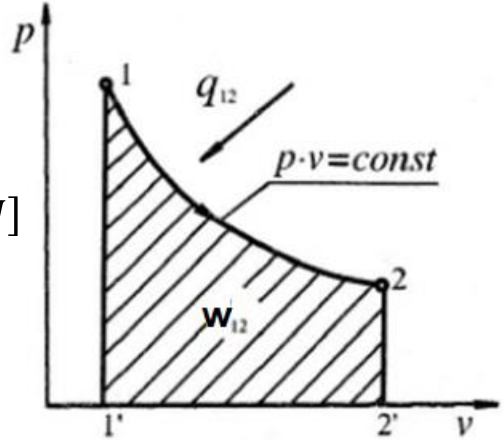
Apsolutni rad i količina toplote pri izotermskoj promeni stanja

Količina toplote koja se razmeni pri izotermskoj promeni stanja, računa se uzimajući u obzir da je:

$$n = 1 \qquad c = c_v \frac{n-k}{n-1} = \pm\infty$$

Odatle se dobija:

$$q_{1,2} = RT\ln\frac{V_2}{V_1} = RT\ln\frac{p_1}{p_2}\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad Q_{1,2} = mRT\ln\frac{V_2}{V_1} = mRT\ln\frac{p_1}{p_2}\ [J]$$



Zapreminski rad pri izotermskoj promeni stanja predstavlja površinu ispod izoterme u pv – dijagramu.

$$w_{1,2} = RT\ln\frac{V_2}{V_1} = RT\ln\frac{p_1}{p_2}\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad W_{1,2} = mRT\ln\frac{V_2}{V_1} = mRT\ln\frac{p_1}{p_2}\ [J]$$

Apsolutni rad i količina toplote pri izentropskoj (adijabatskoj) promeni stanja

Količina toplote koja se razmeni pri izentropskoj (adijabatskoj) promeni stanja, računa se uzimajući u obzir da je:

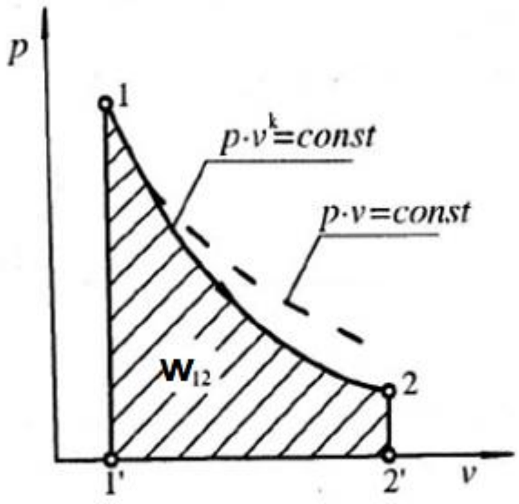
$$n = \kappa \qquad c = c_v \frac{n-k}{n-1} = 0$$

Odatle se dobija:

$$q_{1,2} = 0 \qquad Q_{1,2} = 0$$

Pri adijabatskoj (izentropskoj) promeni stanja, nema razmene toplote sa okolinom.

Zapreminski rad pri izentropskoj (adijabatskoj) promeni stanja se stoga vrši na račun unutrašnje energije. Zapreminski rad pri izentropskoj promeni stanja predstavlja površinu ispod izentrope (adijabate) u pv – dijagramu.



$$w_{1,2} = \frac{R}{\kappa - 1}(T_1 - T_2)\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad W_{1,2} = m\frac{R}{\kappa - 1}(T_1 - T_2)[J]$$

Apsolutni rad i količina toplote pri izohorskoj promeni stanja

Količina toplote koja se razmeni pri izohorskoj promeni stanja, računa se uzimajući u obzir da je:

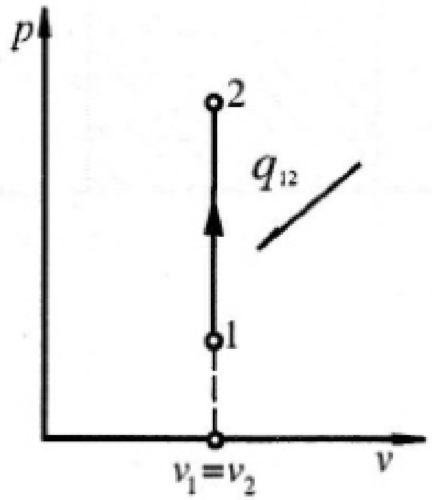
$$n = 0 \qquad c = c_v$$

Odatle se dobija:

$$q_{1,2} = c_v\,(T_2 - T_1)\,\left[\frac{J}{kg}\right] \qquad Q_{1,2} = m \cdot c_v\,(T_2 - T_1)\,[J]$$

Zapreminski rad pri izohorskoj promeni stanja predstavlja površinu ispod izohore u pv – dijagramu. S obzirom da nema povtšine ispod izohore, sledi da je:

$$w_{1,2} = 0 \qquad W_{1,2} = 0$$



Međusobni odnos količine toplote i rada i promene temperature idealnog gasa

Kod idealnih gasova eksponent politrope *n* najčešće ima vrednost $1<n<\kappa$, tako da specifična toplota *c* ima negativnu vrednost ($c < 0$).

Zbog toga **pri ekspanziji** idealnog gasa ($v_2>v_1$) temperatura gasa opada iako mu se dovodi toplota ($\delta q=c\cdot dT$),

Ako se dovodi više toplote nego što se dobija rada ($\boldsymbol{\delta q} > \boldsymbol{\delta w}$), višak toplote ide na račun povećanja temperature gasa;

Ako dovedemo manje toplote nego što je dobijen rad ($\boldsymbol{\delta q} < \boldsymbol{\delta w}$), onda je višak rada ostvaren na račun smanjenja temperature gasa.

Međusobni odnos količine toplote i rada i promene temperature idealnog gasa

Pri kompresiji idealnog gasa temperatura raste iako se toplota odvodi od gasa. Ovakvo ponašanje idealnih gasova se tumači preko međusobnog odnosa koji postoji između količine toplote, rada i promene temperature. Taj odnos definiše prvi zakon termodinamike za zatvoreni termodinamički sistem: $\delta q = du + \delta w$.

Ako se odvede više toplote nego što je utrošen rad na sabijanje onda se višak odvedene toplote odražava kroz smanjenje temperature radnog tela;

Ako je rad sabijanja veći od odvedene količine toplote, onda se višak rada odražava povećanjem temperature radnog tela.

Navedeni zaključci važe za **politropski proces**.

Međusobni odnos količine toplote i rada i promene temperature idealnog gasa

Ako je proces **izotermski (T = const)**, tada bez obzira da li se radi o kompresiji ili ekspanziji važi da je: $\delta q = \delta w$.

Ako je proces **adijabatski**, tada je i u slučaju ekspanzije i u slučaju kompresije $\delta q = 0$, pri čemu pri ekspanziji temperatura gasa opada, a pri kompresiji raste.

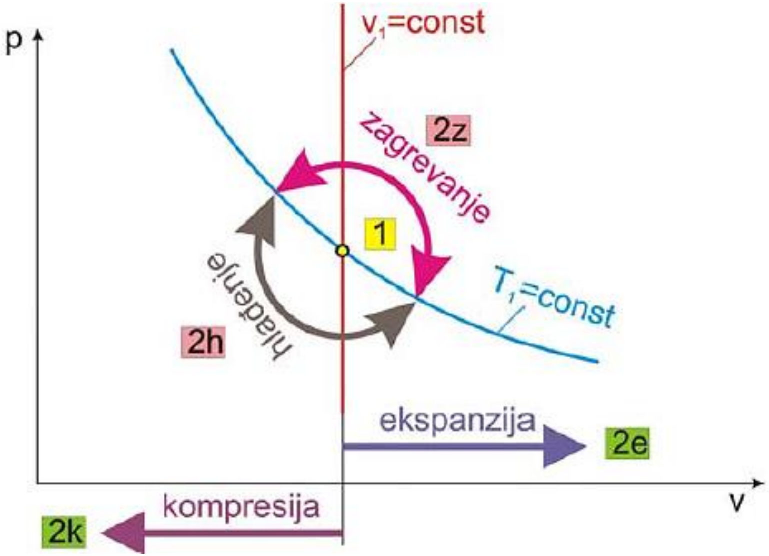
Ako je proces **izohorski (v=const)**, tada je apsolutni rad jednak nuli ($\delta w = 0$) pa se lakše može govoriti o tome da li se toplota dovodi ili se odvodi od gasa. Ako se toplota dovodi gasu temperatura gasa se povišava (zagrevanje gasa), a ako se toplota odvodi od gasa temperatura gasa se snižava (hlađenje gasa).

Kod **izobarske (p=const)** promene stanja se na račun dovedene toplote povišava temperatura idealnog gasa – vrši se zagrevanje idealnog gasa, a ako se pri izobarskoj promeni stanja, a kada se odvodi toplota gas se hladi.

Međusobni odnos količine toplote i rada i promene temperature idealnog gasa

Pri prikazivanju promena stanja idealnog gasa, koje su napred razmatrane, u radnom dijagramu treba uzeti u obzir da svaka **ekspanzija (širenje)** idealnog gasa karakteriše se povećanjem zapremine gasa, svaka **kompresija** gasa smanjenjem zapremine gasa.

Zagrevanje gasa karakteriše se povišenjem temperature gasa, a **hlađenje** sniženjem temperature gasa.



Primeri

Pri izohorskoj promeni stanja azot (idealan gas) iz stanja 1 (p_1 = 1.2 bar, v_1 = 0.4 m^3/kg) u stanje 2 (p_2 = 5 bar). Odrediti veličine stanja u karakterističnim tačkama, prikazati promenu stanja u p-v dijagramu i izračunati razmenjenu količinu toplote.

Dva kilograma kiseonika (idealan gas) početnog stanja (p=1 bar, t=100 ^oC) menja stanje izentropski (k=1,4) dok mu se zapremina ne smanji dva puta Odrediti veličine stanja u karakterističnim tačkama, prikazati promenu stanja u p-v dijagramu. Izračunati razmenjenu količinu toplote.