

*Мийар Перушић, Бранко Б. Пејовић, Славко Смиљанић,  
Драѓана Кешељ, Стефан М. Павловић*

Технолошки факултет, Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву,  
Република Српска, Босна и Херцеговина

## **Графичко представљање енергетских величина идеалног гаса у карактеристичним дијаграмима на начин који није уобичајен**

Стручни рад

*У раду је за карактеристичну политропску промену стања идеалног гаса дајено графичко планиметријско представљање најважнијих енергетских величина у радном и политропном дијаграму, преко одговарајућих површина. При овоме коришћени су диференцијални облици првог и другог закона термодинамике, као и основне релације које дефинишу посматрану промену стања, написане у погодном облику.*

*Добијени резултати, за политропску као општу промену стања, примењени су на изобарску и изохорску, као карактеристичне промене стања. Показано је да било коју од енергетских величина ( $q_{12}$ ,  $w_{12}$ ,  $w_{12}$ ,  $\Delta h_{12}$ ,  $\Delta u_{12}$ ) могуће представити како у радном ( $p$ - $v$ ), тако и у политропном ( $T$ - $s$ ) дијаграму.*

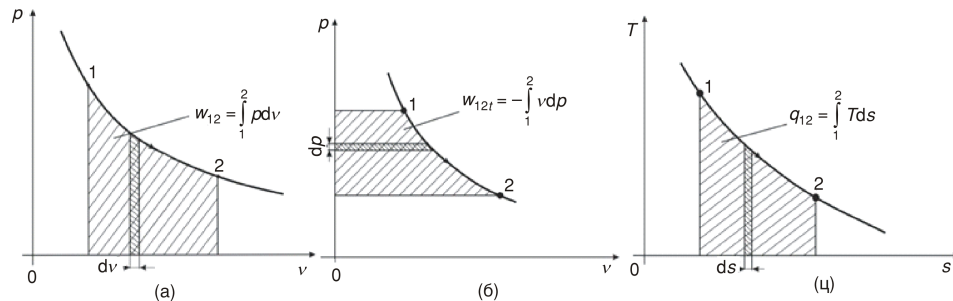
*Приказана графичка решења, у односу на аналитичка, омогућују ефикасније теоријско разматрање и представљање различитих термодинамичких процеса идеалног гаса са различитих аспеката и знатно помажу јаснијем сагледавању проблема и побољшавају међусобно сјоразумевање. Графички прикази спољних ујицаја, односно енергетских величина у приказаним дијаграмима, омогућују да се још јасније уочи веза између њих ујицаја, промена стања, као и њихови међусобни односи. Ово посебно долази до изражаја за случај када послоји ( $p$ ,  $v$ ) и ( $T$ - $s$ ) дијаграм за одређени идеални гас, што је чест случај у техничкој пракси (на пример за ваздух као идеалан гас).*

*Кључне речи: идеалан гас, квазистатичке промене, политропске промене, енергетске термодинамичке величине, радни и политропни дијаграм, графичко представљање величина*

### **Уводна разматрања**

Теоријски посматрано, постоји бесконачно много вредности специфичног топлотног капацитета, а самим тим, када се посматрају процеси при којима специфични топлотни капацитет остаје непромењен ( $c = \text{const.}$ ) и бесконачно много

\* Одговорни аутор; електронска адреса: stefan.pavlovi504@gmail.com



Слика 1. Радни и топлотни дијаграм техничке политропске промене стања идеалног гаса

потпуно одређених термодинамичких процеса, због тога што сви ови процеси имају управо поменуто заједничко својство, а и због потребе да се ова проблематика генерализује и уопшти, уводи се појам политропске промене стања [1, 2]. Другим речима под политропском променом стања подразумева се нека из широке класе квазистатичких промена стања идеалног гаса за коју важи да се, у току њеног одвијања, специфични топлотни капацитет не мења [2-4].

Политропска квазистатичка промена стања може се аналитички, за идеалан гас, написати као [3, 5, 6]:

$$pv^n = \text{const.} \quad (1)$$

Промену стања треба схватити као мењање свих или бар неких величина стања. Ова природна појава нема никаквих скоковитости, него се свака величина мења тако да у свом интервалу промене пролази кроз све вредности интервала сл. 1. Ово наговештава да промена геометријски мора представљати континуалну фигуру у области дефинисаности.

Како је политропска промена изражена са само две величине стања, то геометријски мора бити крива линија. За случај техничке политропе ( $1 < n < k$ ), која је заступљена код реалних машина, у  $p$ - $v$  координатном систему, то је разнострана хипербола, чији је крак према  $v$ -оси ближи него крак према  $p$ -оси.

За техничке политропе је карактеристично и то да специфични топлотни капацитет има негативну вредност што значи да при довођењу топлоте систему његова температура опада, а при одвођењу топлоте температура система се повећава.

Елементарни рад ширења дат је општим изразом:

$$dw = p dv \quad (2)$$

односно коначан израз за рад, за промену стања од 1 до 2 је:

$$dw = \int_1^2 p dv \quad (3)$$

У  $p$ - $v$  дијаграму (радном дијаграму), апсолутни (запремински) рад, представљен је површином испод криве промене стања сл. 1(a). На сличан начин у  $p$ - $v$  дијаграму представља се технички рад сл. 1(b):

$$w_{12t} = \int_1^2 v dp \quad (4)$$

Исто тако за размењену количину топлоте важи:

$$dq = T ds \quad (5)$$

односно

$$q_{12} = \int_1^2 T ds \quad (6)$$

У  $T$ - $s$  дијаграму (топлотном дијаграму), сл. 1(ц), размењена количина топлоте представљена је површином испод криве промене стања, [2, 7, 8].

### Представљање енергетских величина у радном дијаграму

Ако у радном  $p$ - $v$  дијаграму, према сл. 2, у тачки 1 политропске промене стања 1–2, конструишемо изентропу  $s = s_1 = \text{const.}$ , а у тачки 2 изотерму  $T = T_1 = \text{const.}$ , у њиховом пресеку добићемо тачку 3. С обзиром да су стања 1 и 2 одређена, тачка 3 одређена је из система једначина:

$$\begin{aligned} p_1 v_1^k &= p_3 v_3^k \\ p_2 v_2 &= p_3 v_3 \end{aligned} \quad (7)$$

При овоме важи и једначина  $p_3 v_3 = RT_3$ .

Очигледно, апсолутни рад политропске промене 1–2 представљен је површином  $F(12ca1)$ .

Из првог закона термодинамике за изентропу 1–3 важи да је [9, 10]:

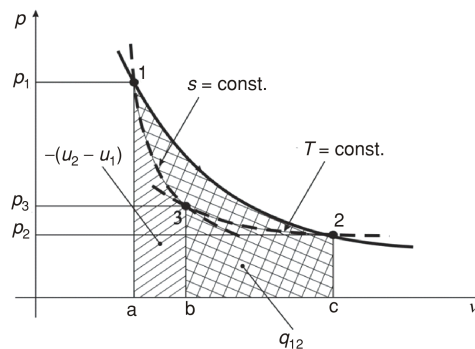
$$q_{13} = \Delta u_{13} = w_{13} = 0 \quad (8)$$

односно

$$\Delta u_{13} = u_3 - u_1 = w_{13} = 0 \quad (9)$$

$$u_3 - u_1 = F(13ba1) \quad (10)$$

Према томе, површина испод изентропе 1–3 (сл. 2), представља промену унутрашње енергије, изражену у истим јединицама као и рад ширења у  $p$ - $v$  дијаграму. За идеалан гас важи:



Слика 2. Представљање размењене количине топлоте и промене унутрашње енергије у  $p$ - $v$  дијаграму

$$u_3 - u_1 - c_v(T_3 - T_1) - c_v(T_2 - T_1) - u_2 - u_1 = 0 \quad (11)$$

С обзиром да је  $T_2 = T_3$ , док је  $u_1 - u_3 = u_1 - u_2 > 0$ . Очигледно, овде је  $T_1 > T_2$ .

Према томе површина  $F(13ba1)$  на сл. 2, представља промену унутрашње енергије  $\Delta u = u_2 - u_1 < 0$ . Овде треба водити рачуна о знаку, с обзиром да је:

$$\Delta u_{12} = u_2 - u_1 = (u_1 - u_2) - F(13ba1) \quad (12)$$

После овога следи према првом закону термодинамике:

$$q_{12} - w_{12} = (u_2 - u_1) \quad (13)$$

односно према (12):

$$q_{12} = F(12ca1) - F(13ba1) - F(12cb31) \quad (14)$$

С обзиром да је рад експанзије  $w_{12} > 0$ , а  $\Delta u_{12} < 0$ . Одавде следи да површина  $F(12cb31)$  одговара размењеној топлоти за промену 12, где је  $q_{12} > 0$ .

Аналогно претходној анализи, такође у  $p$ - $v$  дијаграму према сл. 3, можемо представити промену енталпије  $\Delta h_{12} = h_2 - h_1$  и технички рад  $w_{t12}$ , за политропску промену 1–2. За идеалан гас, за политропску промену 1–2 важи, [11, 12]

$$\Delta h_{12} = (h_2 - h_1) - (h_1 - h_2) = 0 \quad (15)$$

односно

$$h_2 - h_1 - c_p(T_2 - T_1) - c_p(T_3 - T_1) - h_3 - h_1 \quad (16)$$

С обзиром да је  $T_2 = T_3$ , док је  $T_1 > T_2$ .

За изентропску промену стања 1–3, важи да је:

$$q_{13} - w_{t13} = (h_3 - h_1) = 0 \quad (17)$$

или

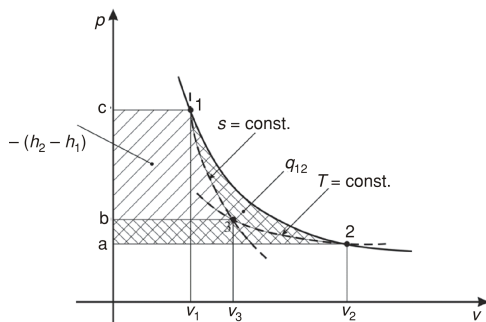
$$w_{t13} = (h_3 - h_1) - h_1 - h_3 = 0 \quad (18)$$

што у  $p$ - $v$  дијаграму представља површину  $F(13bc1)$ .

С обзиром на (16) површина  $F(13bc1)$ , представља и промену енталпије за промену 1–2 (са негативним знаком):

$$h_2 - h_1 = F(13bc1) \quad (19)$$

Према другом облику првог закона термодинамике следи [13, 14]:



Слика 3. Представљање размењене количине топлоте и промене енталпије у  $p$ - $v$  дијаграму

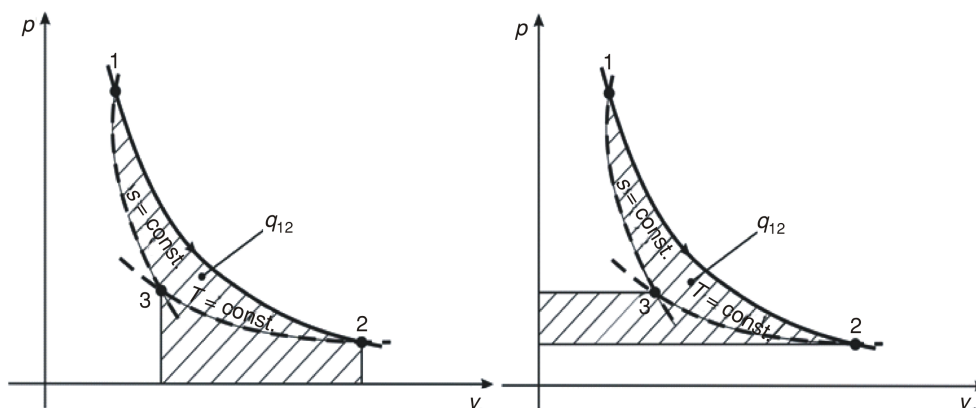
$$q_{12} = w_{t12} \Delta h_{12} = w_{t12} (h_2 - h_1) \quad (20)$$

Узимајући у обзир да је технички рад промене 12 представљен површином  $F(12ac1)$ , следи да се размењена количина топлоте може представити површином  $F(12ab31)$ :

$$q_{12} = F(12ac1) - F(13bc1) = F(12ab31) \quad (21)$$

Очигледно, овде је  $q_{12} > 0$ .

Из претходне анализе може се закључити да се размењена количина топлоте за политропску промену стања за идеалан гас може представити преко одговарајућих површина у  $p$ - $v$  дијаграму на два начина (сл. 4). Очигледно, представљене ишрафиране површине морају бити једнаке.



Слика 4. Два начина представљања размењене количине топлоте за идеалан гас у  $p$ - $v$  дијаграму

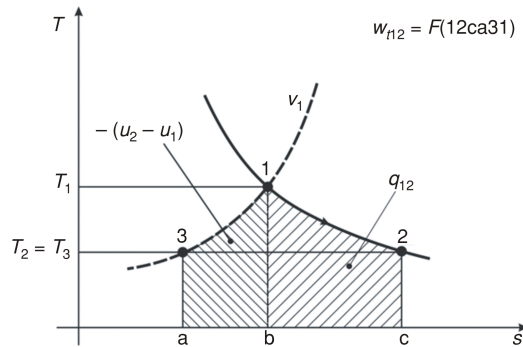
#### Представљање енергетских величина у топлотном дијаграму

Све енергетске величине за случај идеалног гаса могуће је представити и у топлотном  $T$ - $s$  дијаграму према сл. 5. Техничка политропа, приказана је као промена стања 1–2.

Кроз тачку 1 пролази изохорска промена и она сече у тачки 3 изотерму  $T = T_2$ , која пролази кроз тачку 2. Пресечна тачка 3 одређена је познатом изотермом  $T_2 = T_3$ , односно релацијом за изохорску 1–3 и изотермску промену 2–3 [15, 16]:

$$\frac{p_3}{p_1} \frac{T_3}{T_1} = \frac{T_2}{T_1} \frac{p_3}{p_2} \frac{v_2}{v_3} \quad (22)$$

При овоме за тачку 3 важи и  $p_3 v_3 = RT_3$ .



Слика 5. Представљање промене унутрашње енергије и запреминског рада идеалног гаса у  $T$ - $s$  дијаграму

Према другом закону термодинамике размењена количина топлоте за промену 12 у  $T$ - $s$  дијаграму може се представити површином  $F(12cb1)$ .

За изохору 13 према првом закону термодинамике важи [17, 18]:

$$\begin{matrix} q_{13} & w_{13} & \Delta u_{13} & u_3 & u_1 \\ c_v(T_3 & T_1) & c_v(T_2 & T_1) & 0 \end{matrix} \quad (23)$$

С обзиром да рад  $dw_{13} = pdv = 0$  и  $T_3 = T_2$ . Одавде следи:

$$u_3 \quad u_1 \quad u_2 \quad u_1 \quad 0 \quad (24)$$

Према томе, због  $\Delta u_{12} = u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1) = -c_v(T_2 - T_1) < 0$  промена унутрашње енергије у  $T$ - $s$  дијаграму за промену стања 12, може се представити површином  $F(1ba31)$ :

$$u_2 \quad u_1 \quad F(1ba31) \quad (25)$$

Овде се очигледно мора водити рачуна о знаку.

Према првом закону термодинамике за промену 1-2 биће [19, 20]:

$$q_{12} \quad w_{12} \quad \Delta u_{12} \quad w_{12} \quad (u_2 \quad u_1) \quad w_{12} \quad c_v(T_2 \quad T_1) \quad (26)$$

односно преко површине у  $T$ - $s$  дијаграму

$$q_{12} \quad F(12cb1) \quad (27)$$

с обзиром да је  $q_{12} > 0$ .

Одавде, апсолутни рад биће, с обзиром на (27) и (25):

$$w_{12} \quad q_{12} \quad (u_2 \quad u_1) \quad F(12cb1) \quad F(1ba31) \quad (28)$$

што се може представити површином  $F(12ca31)$ , у  $T$ - $s$  дијаграму:

$$w_{12} \quad F(12ca31) \quad (29)$$

Очигледно да је рад експанзије  $w_{12} > 0$ .

Овде треба нагласити да је размењена количина топлоте за политропску промену стања, [21-23]

$$q_{12} \quad c_n(T_2 \quad T_1) \quad (30)$$

При овоме, за техничку политропу ( $n < k$ ), следи да је специфични топлотни капацитет  $c_n < 0$  што се одражава на знак  $q_{12}$ .

У  $T$ - $s$  дијаграму, могу се представити промена енталпије  $\Delta h_{12}$  као и технички рад  $w_{t12}$ , према сл. 6. Размењена количина топлоте  $q_{12}$  као у претходном случају може се представити површином  $F(12cb1)$ .

Према првом закону термодинамике је [24, 25]:

$$dq = dh - dw_t = dh - v dp \quad (31)$$

односно за промену 12 биће

$$q_{12} = h_2 - h_1 - w_{t12} \quad (32)$$

С обзиром на релацију (31) за изобару 13 која пролази кроз тачку 1 биће [13, 14]:

$$q_{13} = h_3 - h_1 = c_p(T_3 - T_1) = c_p(T_2 - T_1) = h_2 - h_1 = 0 \quad (33)$$

односно

$$h_2 - h_1 = F(1ba31) \quad (34)$$

Из (32) следи:

$$w_{t12} = q_{12} - (h_2 - h_1) = q_{12} - (h_1 - h_2) \quad (35)$$

односно преко површина у  $T$ - $s$  дијаграму, према релацији (34):

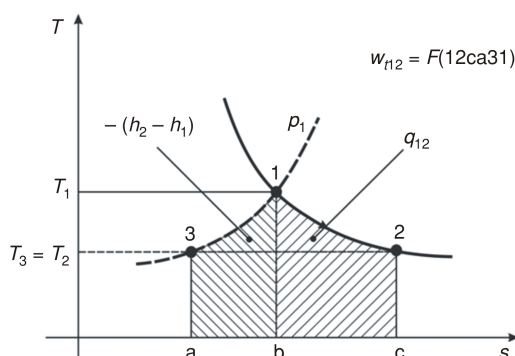
$$w_{t12} = q_{12} - (h_2 - h_1) = q_{12} - (h_1 - h_2) \quad (36)$$

Према томе технички рад у  $T$ - $s$  дијаграму може се представити преко површине  $F(12ca31)$

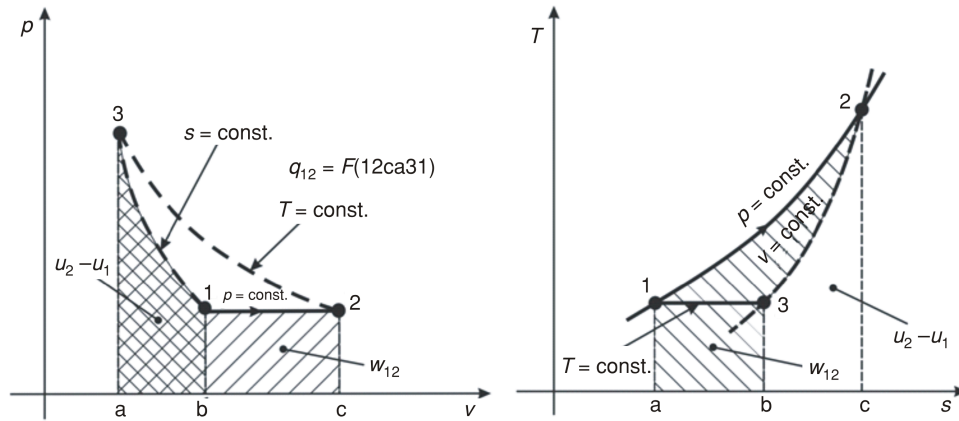
Тачка 3 и у овом случају потпуно је одређена, с обзиром да су све величине за тачке 1 и 2 познате. Напоменимо овде, да нове уведене промене стања у ( $p$ - $v$ ) и ( $T$ - $s$ ) дијаграму кроз тачке 1 и 2 у стварним дијаграмима који се користе у пракси, већ постоје.

#### Могућност примене изведених зависности

Ако у тачкама 1 и 2 изобарске промене према сл. 7(а), конструишемо изентропу 13 и изотерму 23, за изентропу 13 је  $q_{13} = 0$ .



Слика 6. Графичко представљање промене енталпије и техничког рада у  $T$ - $s$  дијаграму



Слика 7. Представљање енергетских величина идеалног гаса за изобарску промену стања у  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  дијаграму

Исто тако, промена унутрашње енергије биће [15, 16],

$$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1) = c_v(T_3 - T_1) + u_3 - u_1 = 0 \quad (37)$$

С обзиром да је, [8, 24],

$$q_{13} = (u_3 - u_1) + w_{13} = 0 \quad (38)$$

биће према (37):

$$u_3 - u_1 = -w_{13} \quad (39)$$

где је  $w_{13} < 0$ , као рад компресије.

Узимајући у обзир (39) следи да се промена унутрашње енергије за изобарску промену 12 може представити површином  $F(31ba3)$ :

$$u_2 - u_1 = F(31ba3) \quad (40)$$

запремински рад промене 12 у  $p$ - $v$  дијаграму може се представити површином  $F(12cb1)$ . При овој је  $w_{12} > 0$ . Према првом закону термодинамике биће размењена количина топлоте ( $q_{12} > 0$ ):

$$q_{12} = (u_2 - u_1) + w_{12} = F(31ba3) + F(12cb1) \quad (41)$$

Овој одговара површина  $F(312ca3)$ , тј.:

$$q_{12} = F(312ca3) \quad (42)$$



Ако кроз тачку 2 изобарске промене повучемо изохору 23, а кроз тачку 1 изотерму 13, сл. 7(б), за изохорску промену 32 биће, [10, 21]:

$$q_{32} = u_2 - u_3 - w_{32} = c_v(T_2 - T_3) - 0 \quad (43)$$

С обзиром да је  $dq = du + pdv$ .

Исто тако, због  $T_1 = T_3$ , из (43) следи:

$$q_{32} = u_2 - u_3 - c_v(T_2 - T_1) = (u_2 - u_1) - 0 \quad (44)$$

Према томе промена унутрашње енергије  $u_2 - u_1$ , за изобарску промену у  $T$ - $s$  дијаграму може се представити површином:

$$u_2 - u_1 = F(2cb32) \quad (45)$$

Из првог закона термодинамике следи, [11, 20]:

$$w_{12} = q_{12} - (u_2 - u_1) = F(12ca1) - F(2cb32) \quad (46)$$

Одавде следи да се апсолутни рад изобарске промене у  $T$ - $s$  дијаграму може представити ишрафираном површином  $F(123ba1)$ , тј.:

$$w_{12} = F(123ba1) \quad (47)$$

Исто тако биће према сл. 7(б):

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = F(12ca1) \quad (48)$$

односно према сл. 7(а):

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = q_{12} = F(12ca31) \quad (49)$$

Слично претходној анализи за изохорску промену 12 према сл. 8(а), кроз тачке 1 и 2 повучемо изентропу 13 и изотерму 23. За изентропу 23 ( $T_2 = T_3$  и  $dq = 0$ ), биће, [4, 23, 28]:

$$q_{13} = (u_3 - u_1) - w_{13} = 0 \quad (50)$$

односно

$$w_{13} = u_1 - u_3 = c_v(T_1 - T_3) = c_v(T_1 - T_2) = u_1 - u_2 = 0 \quad (51)$$

што се може представити површином  $F(13ab1)$  према сл. 8(а), с обзиром да је:



После овога следи према (57)

$$h_2 \quad h_1 \quad F(13ed21) \quad F(12dc1) \quad F(13ec1) \quad (58)$$

Ово се може доказати и на други начин.

Технички рад изентропе 13, с обзиром да је  $q_{13} = 0$ , [4, 16, 27]

$$w_{t13} \quad h_1 \quad h_3 \quad c_p(T_1 \quad T_3) \quad c_p(T_1 \quad T_2) \quad (59)$$

односно

$$w_{t13} \quad h_1 \quad h_2 \quad F(13ec1) \quad (60)$$

Одавде следи:

$$h_2 \quad h_1 \quad F(13ec1) \quad (61)$$

што је идентично са релацијом (58).

Према сл. 8(б), површина испод изохоре 12 је

$$\begin{aligned} q_{12} \quad (u_2 \quad u_1) \quad w_{12} \quad u_2 \quad u_1 \\ q_{12} \quad F(12ba1) \quad u_2 \quad u_1 \end{aligned} \quad (62)$$

За изобару 31 важи, [19, 25],

$$q_{31} \quad h_1 \quad h_3 \quad c_p(T_1 \quad T_3) \quad c_p(T_1 \quad T_2) \quad h_1 \quad h_2 \quad F(3ac3) \quad (63)$$

Исто тако биће

$$w_{t12} \quad q_{12} \quad h_1 \quad h_2 \quad F(1ab21) \quad F(3ac) \quad (64)$$

односно

$$w_{t12} \quad F(312bc3) \quad 0$$

### Одређивање коефицијента размере

Као што је показано, енергетске величине представљене у радном и топлотном дијаграму, пропорционалне су одговарајућим површинама. Да би се у овом случају добили употребљиви резултати, уколико би се желела одредити нека енергетска величина  $e_{12}$  у квантитативном смислу, барем приближно неопходно је површину  $A$  на пример у  $[mm^2]$  помножи одређеним коефицијентом размере  $k_p$  чија је вредност одређена у раду [30]:

$$e_{12} = A k_p [\text{Jkg}^{-1}] \quad (65)$$

коэффициент  $k_p$ , рачуна се зависно који дијаграм се посматра. За радни ( $p$ - $v$ ) дијаграм, биће:

$$k_p = u_p u_v [\text{Jkg}^{-1} \text{mm}^2] \quad (66)$$

Овде су размере за ординату, односно апсцису:

$$u_p = \frac{N / \text{mm}^2}{\text{mm}} \quad u_v = \frac{\text{m}^3 / \text{kg}}{\text{mm}}$$

За случај топлотног ( $T$ - $s$ ) дијаграма биће:

$$k_p = u_T u_s [\text{Jkg}^{-1} \text{mm}^2] \quad (67)$$

где су размере за ординату односно апсцису:

$$u_T = \frac{\text{K} / \text{kgK}}{\text{mm}} \quad u_s = \frac{\text{mm}^{-1}}{\text{mm}}$$

Очигледно је да све дијаграме треба нацртати у одређеној размери. Површине је могуће одредити и неком од математичких нумеричких метода.

У изразу (65), за енергетску величину  $e_{12}$  може се узети било која од величина  $q_{12}$ ,  $w_{12}$ ,  $w_{i12}$ ,  $\Delta h$ ,  $\Delta u$ .

### Закључак

Датом анализом, показано је да су радни ( $p$ - $v$ ) и топлотни ( $T$ - $s$ ) дијаграми, погодни за представљање свих енергетских величина, за најважније промене стања идеалног гаса, на прегледан начин преко дефинисаних површина. Посебна пажња при овоме мора се обратити на предзнак испред енергетске величине. Подразумева се да је површина позитиван број. Одавде произилази да су могућности ових дијаграма много веће од њихове стандардне односно класичне примене, која је, слободно се може рећи сужена у односу на приказану. На бази дате анализе могу се на прегледан начин сагледати утицаји различитих промена стања на енергетске величине, посебно у квалитативном смислу. Квантитативна израчунавања могућа су само приближно у границама графичке тачности. Исто тако пружена је и могућност за анализу процеса у оба приказана дијаграма. Графичко представљање енергетских величина омогућује јасније и прегледније праћење, квалитативну анализу као и ефикасније управљање односно оптимизацију термодинамичких процеса. Исто тако при овоме пружена је већа могућност за разне компарације и ефикасније прорачуне при пројектовању ових процеса.

Развој савремене рачунарске опреме, са великим могућностима, данас омогућава прецизно представљање сложених процеса као и квантитативне прорачуне, на примјер преко дефинисаних површина.

Приказану методологију, могуће је применити и за одређене промене реалног гаса. При овоме, морају се узети у обзир њихове карактеристике и специфичности.

### Литература

- [1] Трибус, М., Термостатика и термодинамика, Енергија, Москва, 1998
- [2] Вукалович, М. П., Новиков, И. И., Термодинамика, Машиностроение, Москва, 1996
- [3] Schmidt, E., Einführung in die Technische Thermodynamik, Springer – Verlag, Leipzig, Deutschland, 1998
- [4] Вејник, А. И., Техническая термодинамика, Металургиздам, Москва, 1998
- [5] Rant, Z., Termodinamika, Књига за ук и праксо, Fakultet za strojništvo, Univerzitet v Ljubljana, Ljubljana, 2001
- [6] Козић, Ђ. Г. Термодинамика, инжењерски аспекти, Машински факултет, Београд, 2007
- [7] Abbott, M. M., Van Ness, H. C., Thermodynamics, Schaum's Outline series, McGraw–Hill, Book Co., New York, USA, 1986
- [8] Baehr, H. D., Thermodynamik, (3. Aufl.), Springer–Verlag, Berlin, 1993
- [9] Black, W. Z., Hartley, J. G., Thermodynamics, Harper and Row, New York, USA, 1995
- [10] Bück, G., Energetika, Muegyetemi Kiado, Budapest, 1997
- [11] Doering, E., Schedwill, H., Dehl, M., Grundlagen der Technischen Thermodynamik (5. Aufl.) Teubner, Stuttgart, Deutschland, 2009
- [12] Fenn, J. B., Engines, Energy and Entropy, W. H. Freeman and Comp., New York, 2002
- [13] Fermi, E., Thermodynamics, Dover Publ Inc., New York, 1976
- [14] Karlekar, B. V., Thermodynamics for Engineers, Prentice–Hall Inc., Engelwood Cliffs, N. Y., USA, 1993
- [15] Michael, J. M., Howard, N. S., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley and Sons, New York, USA, 1999
- [16] Szargut, J., Termodinamika, PWN, Warszawa, 1995
- [17] Reynolds, W. C., Thermodynamics, McGraw–Hill, Book Co., New York, 1988
- [18] Žukovskij, V. S., Termodinamika, Energoatomizdat, Moskva, 1990
- [19] Вукалович, М. П., Новиков, И. И., Техническая термодинамика, изд. 4-ое, Енергија, Москва, 1988
- [20] Kortüm, G., Lachmann, H., Einführung in die chemische Thermodynamik, Verlag Chemie, Weinheim, 1998
- [21] Sandler, S., Chemical and Engineering Thermodynamics, John Wiley and Sons, New York, 1999
- [22] Wood, B., Application of Thermodynamics, Addison–Wesley Publishing Company, London, 1992
- [23] Ђорђевић, Б. Д., Валент, В. Ј., Шербановић, С. П., Термодинамика са термотехником, ТМФ, Београд, 2007
- [24] Bejan, A., Advanced Engineering Thermodynamics, John Wiley and Sons, New York, USA, 1997
- [25] Rajput, R. K., Engeneering Thermodynamics, Jones and Bartlett Publishers, London, 2010
- [26] Rajput, R. K., Thermal Engeneering, Jones and Bartlett Publishers, London, 2009
- [27] Moran, M. J., *et al.*, Engeneering thermodynamics, John Wiley and Sons, New York, 2011
- [28] Cengel, Y. A., Boles, M. A., Thermodynamics, McGraw Hill Higher Education, New York, 2010
- [29] Borgnakke, C., *et al.*, Fundamentals thermodynamics, John Wiley and Sons, New York, 2009
- [30] Пејовић, Б. Б., *и др.*, Једна могућност графичког представљања енергетских величина реалног гаса за карактеристичну промену стања, Термотехника, Београд, 2013

**Abstract****Graphical Representation of Energy Values of Ideal Gas in Characteristic Diagrams by Using Unusual Way**

by

*Mitar PERUŠIĆ, Branko B. PEJOVIĆ, Slavko SMILJANIĆ,  
Dragana KEŠELJ, and Stefan M. PAVLOVIĆ***Faculty of Technology, University in East Sarajevo,  
Zvornik, Bosnia and Herzegovina**

In this paper, for characteristic polytropic change of state of ideal gas is given graphical planimetric graphical representation of the most important energy values in workplace and thermal diagram, through the appropriate area. In this paper, we used differential forms of First and Second law of thermodynamics and basic equation which define the observed change of state, written in a suitable form. The results for the polytropic change of state, are applied to the isobaric and isochoric change of state. It is shown that any of the energy values ( $q_{12}$ ,  $w_{12}$ ,  $w_{i12}$ ,  $\Delta h_{12}$ ,  $\Delta u_{12}$ ) can be present in both workplace ( $p, v$ ) as well as thermal ( $T-s$ ) diagram. Graphical solutions, compared to the analytical, provide efficient theoretical explain and presentation of various thermodynamical processes of ideal gas with different aspects and greatly assist a clearer view of the problem and enhance each other living arrangement. Graphical representation of external influences or energy values shown in the diagrams, make it possible to more clearly we see connection between these effects, change of state, as well as their each other relations. This is particularly evident in the case when there are ( $p, v$ ) and ( $T-s$ ) diagram for a particular ideal gas, which is common in technical practices (e. g., air as an ideal gas).

Key words: *ideal gas, quasistatic change of state, polytropic change, energy thermodynamic values, workplace and thermal diagram, graphical representation of values*

\* Corresponding author; e-mail: stefan.pavlovi504@gmail.com

Рад примљен: 7. јуна 2014  
Рад ревидиран: 2. априла 2015  
Рад прихваћен: 23. децембра 2014