

Za izohorske procese dovedena i odvedena toplota bi e :

$$Q_{dov} = Q_{23} = mc_V \cdot (T_3 - T_2) = 1 \cdot 0.72 \cdot (1225 - 765) = 331.2 kJ$$

$$Q_{odv} = Q_{41} = mc_V \cdot (T_1 - T_4) = 1 \cdot 0.72 \cdot (303 - 598) = -212.4 kJ$$

$$L_k = Q_{dov} - |Q_{odv}| = 331.2 - 212.4 = 118.8 kJ$$

$$y_t = \frac{L_k}{Q_{dov}} = \frac{118.8}{331.2} = 0.359 \text{ odnosno } 35.9\%$$

9.  $1m^3$  vazduha po etnog stanja:  $p_1=1bar$  i  $t_1=17^0C$  izvodi Otov ciklus. Pritisak posle adijabatskog sabijanja iznosi  $p_2=12bar$ . Koli ina dovedene toplote ciklusu iznosi  $1500kJ$ . Masene koli ine toplote pri stalnom pritisku i zapremeni su:  $c_p=1kJ/kgK$  i  $c_v=0.72kJ/kgK$  a gasna konstanta  $R=287kJ/kgK$ . Na i:

- 1) Osnovne veli ine stanja u karakteristi nim ta kama
- 2) Koli inu odvedene toplote
- 3) Koristan rad
- 4) Termi ki stepen iskoriš enja ciklusa

Rešenje:

stanje 2:

$$1) p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \rightarrow m = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{10^5 \cdot 1}{287 \cdot 290} = 1.2 kg$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{1}{1.2} = 0.833 m^3 / kg$$

$$p_1 \cdot v_1^k = p_2 \cdot v_2^k \rightarrow v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1/k} = 0.833 \cdot \left(\frac{1}{12}\right)^{1/1.4} = 0.141 m^3 / kg$$

$$T_2 = \frac{p_2 \cdot v_2}{R} = \frac{12 \cdot 10^5 \cdot 0.141}{287} = 588.6 K$$

stanje 3:

$$v_3 = v_2$$

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{23}}{m \cdot c_v} = 2324.7K$$

$$p_3 = \frac{R \cdot T_3}{v_3} = 3947878Pa = 39.48bar$$

stanje 4:

$$v_4 = v_1$$

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k = 3.28bar$$

$$T_4 = \frac{p_4 \cdot v_4}{R} = 953.1K$$

Veli ine stanja prikazane su u slede oj tabeli:

stanje	p (bar)	v (m <sup>3</sup> /kg)	T (K)
1	1	0.833	290
2	12	0.141	588.6
3	39.48	0.141	2324.7
4	3.28	0.833	953.1

$$2) Q_{41} = m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_4) = -573kJ$$

$$3) L_k = Q_{23} - |Q_{41}| = 927kJ$$

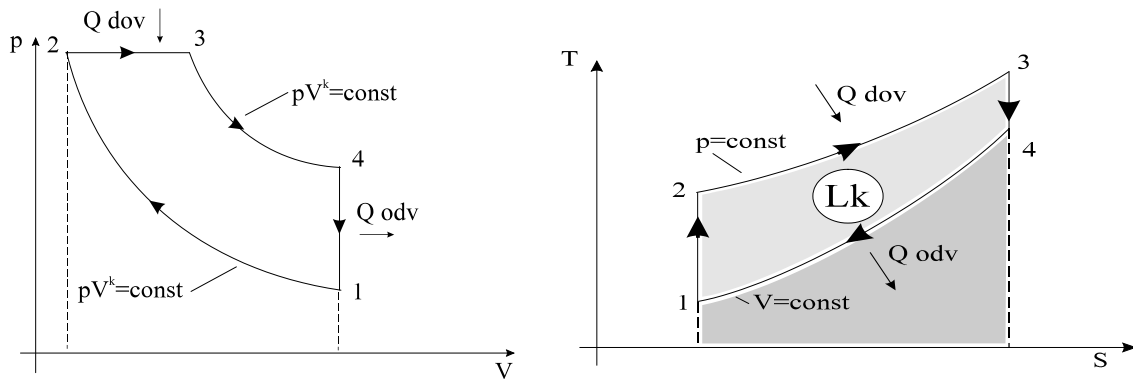
$$4) \eta_t = \frac{L_k}{Q_{23}} = 0.618 \text{ ili } 61.8\%$$

### 2.3. Dizelov kružni ciklus

10. Odrediti razmenjenu koli inu toplote , koristan rad i stepen iskoriš enja teoretskog Dizelovog ciklusa koji se odvija sa 1 kg vazduha ( idealan gas ) za koga je  $c_v = 0.72 \frac{kJ}{kgK}$  , temperature na po etku i na kraju adijabatske kompresije redom  $T_1 = 301K$  i  $T_2 = 889K$ ; dok su temperature na po etku i kraju adijabatske ekspanzije  $T_3 = 1300 K$  i  $T_4 = 681K$  respektivno .

Rešenje :

Za razliku od Otovog ciklusa razli it je deo 2-3 na kome dolazi do samopaljenja usled ubrizgavanja goriva u komprimovan vazduh u cilindru .



Dovedena toplota pri izobarskom procesu bi e :

$$Q_{dov} = Q_{23} = mc_p (T_3 - T_2) = 1 \cdot 1.01 \cdot (1300 - 889) = 415.1 \text{ kJ}$$

$$c_p = k \cdot c_v = 1.4 \cdot 0.72 = 1.01 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Toplota se odvodi pri izohorskom procesu i to :

$$Q_{odv} = Q_{41} = mc_v (T_1 - T_4) = 1 \cdot 0.72 \cdot (301 - 681) = -273.6 \text{ kJ}$$

Koristan rad ciklusa :

$$L_k = Q_{dov} - |Q_{odv}| = 415.1 - 273.6 = 141.5 \text{ kJ}$$

Termodinamicki stepen iskoriscenja

$$y_t = \frac{L_k}{Q_{dov}} = \frac{141.5}{415.1} = 0.341 \text{ tj. } 34.1\%$$

11. Za Dizelov kru`ni ciklus odrediti parametre stanja u karakteristi nim ta kama, koristan rad, termi ki stepen iskoriš enja i koli inu odvedene i dovedene toplote. Dato je:  $p_1=1\text{bar}$ ,  $t_1=17^0\text{C}$ , stepen kompresije  $\epsilon=12.5$ , stepen predširenja  $\rho=2$ . Radno telo je vazduh.

Rešenje:

stanje 1:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = 0.832 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

stanje 2:

$$v = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{v_1}{v} = 0.066m^3 / kg$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = 796.5K$$

$$p_2 = \frac{R \cdot T_2}{v_2} = 34.6bar$$

stanje 3:

$$\dots = \frac{v_3}{v_2} = \frac{T_3}{T_2} = 2 \rightarrow v_3 = v_2 \cdot \dots = 0.132m^3 / kg$$

$$T_3 = T_2 \cdot \dots = 1593K$$

$$p_3 = p_2 = 34.6bar$$

stanje 4:

$$v_4 = v_1 = 0.832m^3 / kg$$

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k = 2.63bar$$

$$T_4 = T_1 \cdot \frac{p_4}{p_1} = 762.3K$$

Dovedena toplota u izobarskom procesu bi e:

$$q_d = c_p \cdot (T_3 - T_2) = 796.5kJ / kg$$

Odvedena toplota u izohorskom procesu je:

$$q_o = c_v \cdot (T_1 - T_4) = -340kJ / kg$$

Koristan rad:

$$l_k = q_d - |q_o| = 456.5kJ$$

Terminski stepen iskorišćenja:

$$y_t = \frac{l_k}{q_d} = 0.573 \quad \text{ili} \quad 57.3\%$$

### 3. Prostiranje toplote

Postoje 3 osnovna načina prostiranja toplote :

- provodjenje ( kondukcija )

- prela`enje ( konvekcija )
- zra`enje ( radijacija )

Kombinovani na in prostiranja toplote:

- prola`enje ( provodjenje + prela`enje )

**Tabela 4:** Termi ka provodnost nekih tehni kih materijala i slojeva

redni broj	materijal	termi ka provodnost $\lambda$ (W/mK)
1	ter papir	0.19
2	iverica	0.12
3	mineralna vuna	0.046
4	gipsana plo a	0.213
5	vazdušni sloj	0.3
6	drveni kosi bokovi	0.141
7	plasti na pena	0.038
8	puna opeka	0.42
9	šamot	1.02
10	šperplo a	0.14
11	izolaciona vlaknatica	0.141
12	azbestno-cementni sloj	0.088
13	PVC-folija	0.19
14	elik	58.5
15	liveno gvo`dje	50
16	mesing	117.5
17	cementni malter	1.2
18	kre ni malter	0.7

Va`niji obrasci:

1)Specifi ni toplotni fluks za provodjenje toplote

a)Ravan zid sastavljen od n-slojeva

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{\lambda_i}} = \frac{\Delta t}{R_{uk}} = k \cdot \Delta t$$

b)Cilindar sastavljen od n-slojeva

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{1}{2f} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} = \frac{\Delta t}{R_{uk}} = k \cdot \Delta t$$

2) Specifični toplotni fluks za prolaz toplote

a) Ravan zid sastavljen od n-slojeva

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{1}{r_1} + \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{\lambda_i} + \frac{1}{r_2}} = \frac{\Delta t}{R_{uk}} = k \cdot \Delta t$$

b) Cilindar sastavljen od n-slojeva

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{2f} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{r_2}} = \frac{\Delta t}{R_{uk}} = k \cdot \Delta t$$

3) Ukupni toplotni protok (fluks)

a) za ravan zid

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot A$$

gde su za  $\dot{q}$  uzeti izrazi iz 1)a) i 2)a)

b) za cilindričan zid

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot l$$

gde su za  $\dot{q}$  uzeti izrazi iz 1)b) i 2)b)

4) Količina toplote predata prostiranjem

$$Q = \dot{Q} \cdot \tau$$

**Zadaci :**

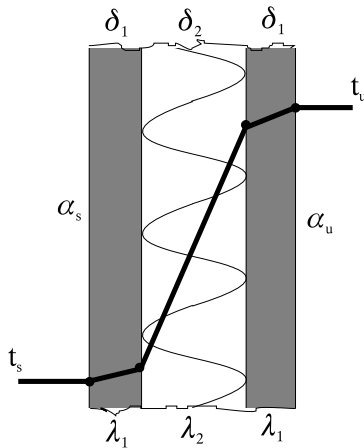
### 3.1. Provođenje toplote - višeslojan zid

*Primeri rešenih zadataka*

### 3.2. Prolaz toplote - višeslojan zid

11. Odrediti koeficijent prolaza toplote, otpor provodjenju toplote, jedini ni protok, kao i koli inu toplote koja za vreme od 3 h prodje kroz zid sa injen od 2 sloja iverice dimenzija 500 x 250 x 1.5 cm  $\alpha_s = 0.12 \frac{W}{mK}$  i jednog sloja mineralne vune dimenzija 500 x 250 x 8 cm  $\alpha_s = 0.046 \frac{W}{mK}$ . Koeficijent prelaza toplote prema unutrašnjem i spoljnjem vazduhu su redom  $\alpha_u = 10 \frac{W}{m^2K}$  i  $\alpha_s = 25 \frac{W}{m^2K}$ , a razlike temperature izmedju umutrašnjeg vazduha i okoline 20°C

Rešenje :



Koeficijent prolaza toplote dobi emo iz izraza za otpor prolazu toplote koji je zbir otpora usled provodjenja i prela`enja .

$$R_{prolaza} = R_{un.pr.} + R_{prov.} + R_{sp.pr.}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{r_u} + \frac{2u_1}{\}1} + \frac{u_2}{\}2} + \frac{1}{r_s} = \frac{1}{10} + \frac{2 \cdot 0.015}{0.12} + \frac{0.08}{0.046} + \frac{1}{25} = 2.13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$k = \frac{1}{2.13} = 0.47 \frac{W}{m^2 K}$$

Otpor provodjenju toplote :

$$R_{prov.} = \frac{1}{k} - \frac{1}{r_u} - \frac{1}{r_s} = 2.13 - \frac{1}{10} - \frac{1}{25} = 1.99 \frac{m^2 K}{W}$$

ili:

$$R_{prov.} = \frac{2u_1}{\}1} + \frac{u_2}{\}2} = 1.99 \frac{m^2 K}{W}$$

Jedinican protok toplote je :

$$\dot{q} = k \cdot \Delta t = 0.47 \cdot 20 = 9.4 \frac{W}{m^2}$$

Ukupan toplotni protok bice :

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot A = 9.4 \cdot 5 \cdot 2.5 = 117.5 W$$

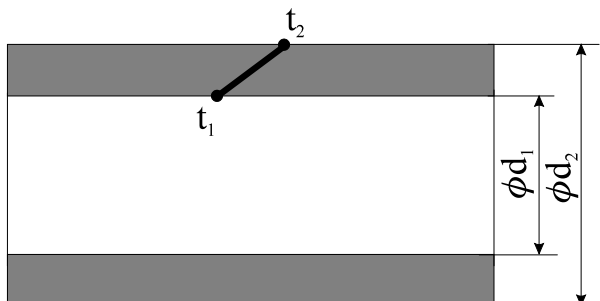
a kolicina toplote :

$$Q = \dot{Q} \cdot t = 117.5 \cdot 3 \cdot 3600 = 1269000 J = 1269 kJ$$

### 3.3. Provodjenje toplote - jednoslojan cilindar

12. Odrediti temperaturu spoljašnje površine mesingane cevi ( $\lambda = 117.5 \text{ W/mK}$ ) iji je spoljašnji pre nik 100 mm , debljina zida cevi 5 mm , ako je temperatura unutrašnjeg zida  $230^\circ\text{C}$ . Koli ina toplote koja se u toku 1 h preda provodjenjem sa unutrašnje na spoljašnju površinu cevi po 1 m du`nom 5.5 GJ.

Rešenje :





Jedinicni protok bice :

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{l \cdot \ddagger} = \frac{5.5 \cdot 10^9}{1 \cdot 3600} = 1527778 \frac{W}{m}$$

$$d_1 = d_2 - 2u = 100 - 2 \cdot 5 = 90mm$$

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2f} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

$$t_2 = t_1 - \frac{\dot{q}}{2f} \ln \frac{d_2}{d_1} = 230 - \frac{1527778}{2f \cdot 117.5} \ln \frac{100}{90} = 12^\circ C$$

### 3.4. Prolaz toplote - višeslojan cilindar

13. Parovodom se transportuje vodena para iz parnog kotla za potrebe grejanja pogona, sušare i parionice. Ako su: unutrašnji prenik parovoda 120mm, debljina zida cevi od elika 8 mm ( $\lambda_w = 58.5 \text{ W/mK}$ ), debljina izolacije od mineralne vune 20 mm ( $\lambda_{mv} = 0.046 \text{ W/mK}$ ), koeficijent prelaza toplote sa pare na unutrašnji zid cevi ( $\alpha_u = 1300 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), koeficijent prelaza sa izolacije na okolni vazduh ( $\alpha_s = 15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Potrebno je odrediti otpor toplotnom prolazu i koeficijent prolaza toplote.

Rešenje :

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{d_u f \alpha_u} + \frac{1}{2f} \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{1}{2f} \ln \frac{d_{mv}}{d_s} + \frac{1}{d_{mv} f \alpha_s} =$$

$$= \frac{1}{0.12 \cdot 3.14 \cdot 1300} + \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 58.5} \ln \frac{136}{120} + \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.046} \ln \frac{176}{136} + \frac{1}{0.176 \cdot 3.14 \cdot 15} = 1.015 \frac{mK}{W}$$

predhodno je sracunato :

$$d_s = d_u + 2u_u = 120 + 2 \cdot 8 = 136mm$$

$$d_{mv} = d_s + 2u_{mv} = 136 + 2 \cdot 20 = 176mm$$

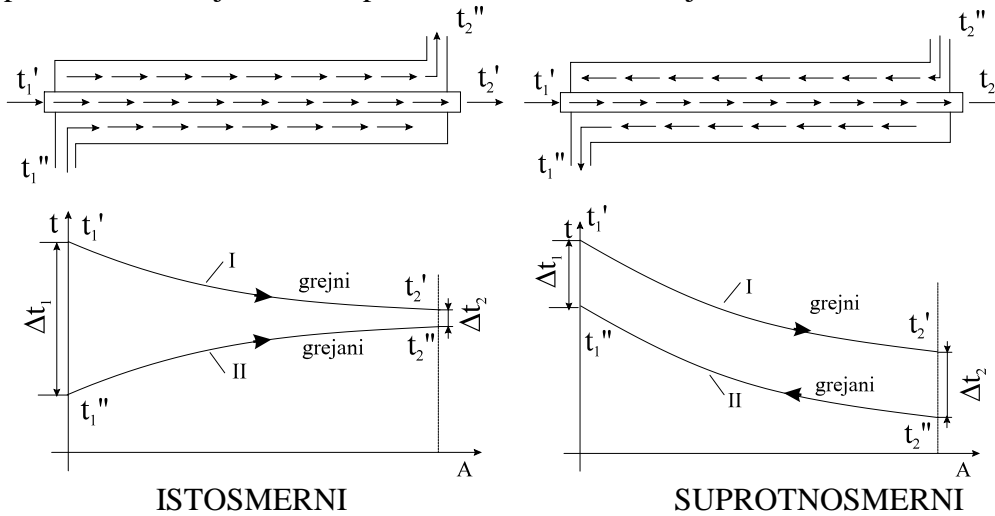
koeficijent prolaza toplote :

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{1.015} = 0.985 \frac{W}{mK}$$

## 4. Rekuperativni razmenjiva i toplote

14. U razmenjiva u toplote sa paralelnim tokom površine  $A_p = 3m^2$  voda se zagreva od  $8^\circ C$  do  $98^\circ C$ . Zagrevanje se ostvaruje produktima sagorevanja koji se od temperature  $350$

°C ohlade na 150°C. Koeficient prolaza toplote je  $k = 800 \frac{W}{m^2 K}$ . Koliki je protok vode i površina razmenjiva a sa suprotnosmernim tokom koji bi razmenio istu količinu toplote ?



I - Produkt sagorevanja

II - voda

$\Delta t_1$  - razlika temperatura na ulazu

$\Delta t_2$  - razlika temperatura na izlazu

Srednja logaritamska razlika temperature je:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Za razmenjiva sa istosmernim tokom bi e:

$$\Delta t_{sr_i} = \frac{(t_1' - t_1'') - (t_2' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_1''}{t_2' - t_2''}} = \frac{(350 - 8) - (150 - 98)}{\ln \frac{350 - 8}{150 - 98}} = 154^\circ C$$

Razmenjeni toplotni fluks izmedju fluida je:

$$\Phi = \dot{Q} = k \cdot A_p \cdot \Delta t_{sr_i} = 800 \cdot 3 \cdot 154 = 369512 W \cong 369.5 kW$$

On se moze napisati i u obliku :

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \bar{c} \cdot \Delta t \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\bar{c} \cdot \Delta t} = \frac{369512}{4190 \cdot 90} = 0.98 \frac{kg}{s}$$

gde je:

$\bar{c}$  - srednja specifična toplota vode

Za suprotnosmerni razmenjiva srednja logaritamska razlika temperature bi e:

$$\Delta t_{sr_i} = \frac{(t_1' - t_1'') - (t_2' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_1''}{t_2' - t_2''}} = \frac{(350 - 98) - (150 - 8)}{\ln \frac{350 - 98}{150 - 8}} = 191.8^\circ C$$

A njegova površina :

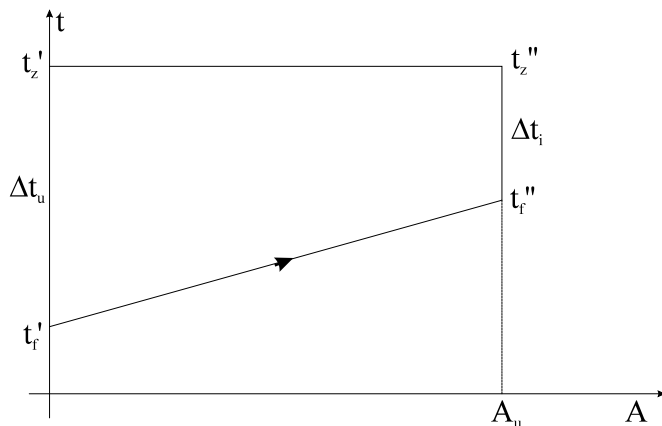
$$A_s = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta t_{sr_s}} = \frac{369512}{800 \cdot 191.8} = 2.41 m^2 < A_p = 3 m^2$$

Ovo navodi na zaklju ak da su razmenjiva i sa suprotnosmernim tokom racionalniji sa gledišta uštede materijala.

15. Temperatura vrste površine nekog razmenjiva a toplote iza koje se kondenzuje vodena para je konstantna i iznosi  $t_z = 120^\circ C$ . Temperatura fluida du` grejne površine razmenjiva a menja se po zakonu  $t_f = t_f' + bA$ , gde su:  $t_f' = 20^\circ C$  - temperatura fluida na ulazu u razmenjiva ,  $b = 160^\circ C / m^2$  - koeficijent,  $A$  - površina sa koje toplote prelazi na fluid. Ako se za vreme  $\tau = 3h$  - sa ukupne površine razmrnjiva a toplote  $A_u = 0.5 m^2$  predaje  $Q = 108 MJ$  toplote, odrediti srednji koeficient prelaza toplote sa grejne površine na fluid .

Rešenje:

Kako je temperatura vrste površine razmenjiva a konstanta , zna i da su temperature na ulazu i izlazu iz nje jednake tj.  $t_z' = t_z''$ .



Temperatura fluida na ulazu u razmenjivac je  $t_f' = 20^\circ C$ , a na izlazu :

$$t_f'' = t_f' + b \cdot A_u = 20 + 160 \cdot 0.5 = 100^\circ C$$

Razlika temperatura površine i fluida na ulazu je :

$$\Delta t_u = t_z' - t_f' = 120 - 20 = 100^\circ C$$

a na izlazu :

$$\Delta t_i = t_z'' - t_f'' = 120 - 100 = 20^\circ C$$

Sada se za srednju logaritamsku razliku dobija :

$$\Delta t_{SR} = \frac{\Delta t_u - \Delta t_i}{\ln \frac{\Delta t_u}{\Delta t_i}} = \frac{100 - 20}{\ln \frac{100}{20}} = 49.7^\circ C$$

Srednji koeficijent prelaza toplote sa grejne površine na fluid se dobija iz izraza :

$$Q = \dot{q} \cdot \tau \cdot A_u = \bar{\alpha} \cdot \Delta t_{SR} \cdot \tau \cdot A_u$$
$$\bar{\alpha} = \frac{Q}{A_u \cdot \Delta t_{SR} \cdot \tau} = \frac{108 \cdot 10^6}{0.5 \cdot 49.7 \cdot 3 \cdot 3600} = 402.4 \frac{W}{m^2 K}$$

## 5. Vodena para . Parni kotao

5.1. Parametri stanja i promena stanja vodene pare . Stepen suvo e . Razmenjiva toplote sa vodenom parom .

– Stepen suvoce pare :

$$x = \frac{m_{sp}}{m_{vp}} = \frac{m_{sp}}{m_{sp} + m_t}$$

gde je :

$m_{sp}$  - masa suvozasicene pare u smesi

$m_{vp}$  - masa vlazne pare

$m_t$  - masa tecnosti u smesi

$$0 < x < 1$$

$x = 0$  - tecnost

$x = 1$  - suvozasicena para

– Parametri stanja pare

a.) suvozasicena para (SZP)

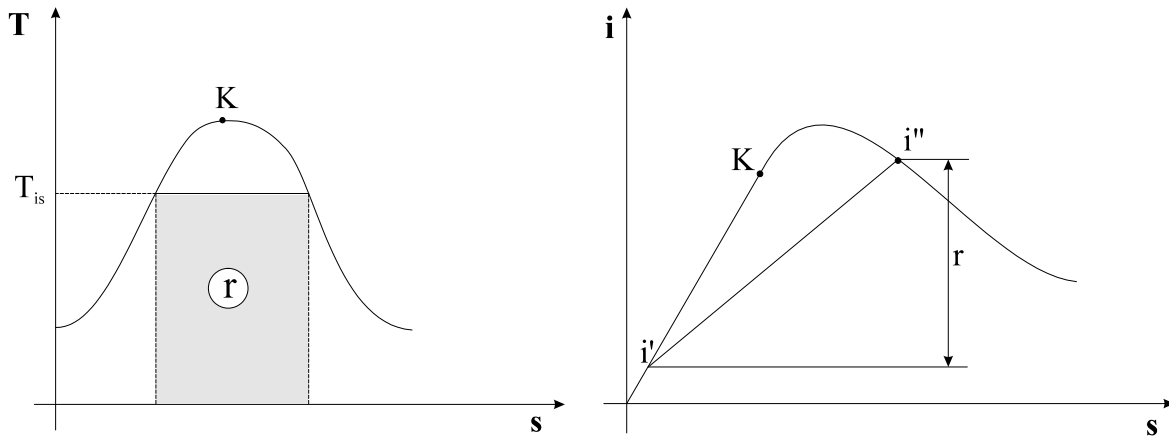
$$i'' = i' + r$$

gde je :

$i''$  - entalpija suvo zasicene pare

$i'$  - entalpija kljucale vode

$r$  - toplota isparavanja



Toplota isparavanja ( $r$ ) je koli ina toplote potrebna da se od jednog kg vode koji je na temperaturi isparavanja pri konstantnom pritisku dobije 1 kg suvo zasicene pare .

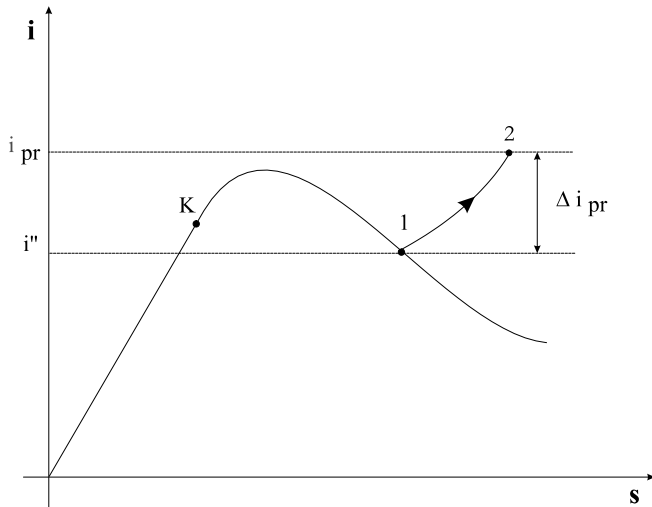
b) pregrejana para

$$p_{pr} (v_{pr} + 0.016) = RT_{pr}$$

Ova para se priblizava osobinama idealnog gasa:

$$i_{pr} = i'' + \Delta i_{pr} = i'' + c_{pr} (t_{pr} - t_{kluw.})$$

$$c_{pr} = f(p, t)$$



c) vlazna para :

U 1kg zapremine vlazne pare ima  $x$ kg suvo zasicene pare i  $(1-x)$ kg klucale vode pa je :

$$v = x \cdot v'' + (1-x)v' = v' + x(v'' - v')$$

isto vazi i za :

$$i = i' + x(i'' - i') = i' + x \cdot r$$

$$s = s' + x(s'' - s') = s' + x \cdot \frac{r}{T_{is}}$$

$$u' = i' - pv'$$

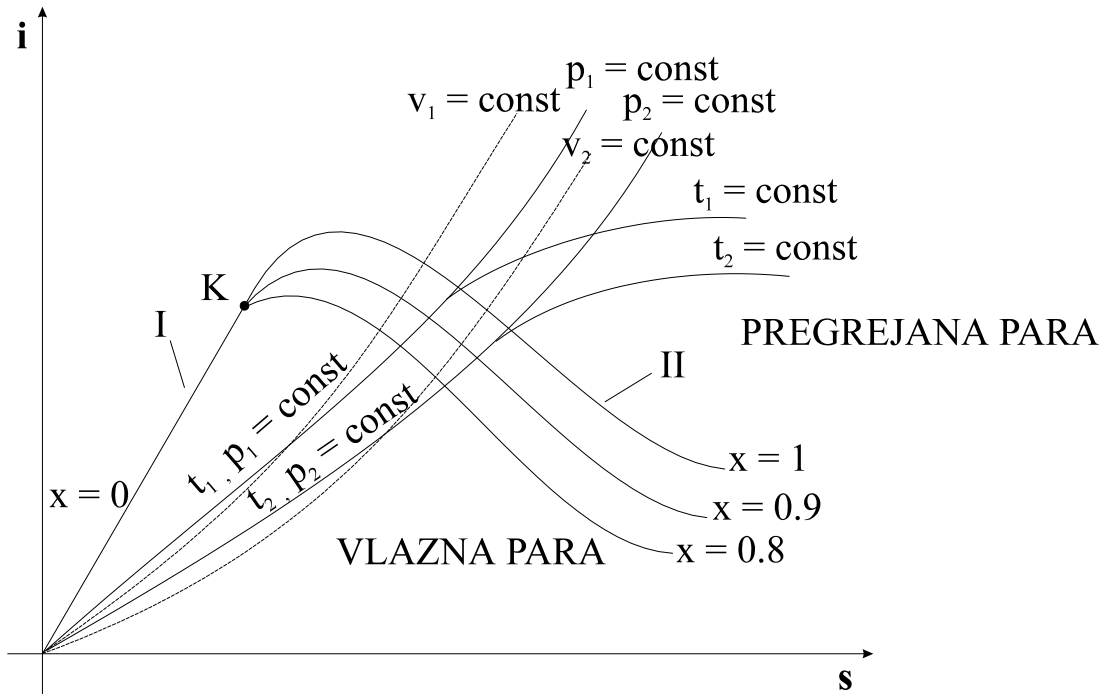
$$u'' = i'' - pv''$$

## 16. Odredjivanje veli ina stanja pare u i -s dijagramu

a) Suvo zasi ena para - dovoljno je poznavati 1 parametar da bi se odredilo stanje , jer je ono uvek na gornjoj grani noj krivoj ( $x = 1$ ).

Oznake na dijagramu i simbolima: I, ' - klju ala te nost; II, '' - suvo zasi ena para

Rešenje:



$$t_1 > t_2, p_1 > p_2, v_1 > v_2$$

$$1.) t'' = 160^\circ C \rightarrow p'' = 6.1 \text{ bar}, v'' = 0.32 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, i'' = 2760 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s'' = 6.75 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$2.) p'' = 10 \text{ bar} \rightarrow t'' = 180^\circ C, v'' = 0.197 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, i'' = 2780 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s'' = 6.58 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$3.) v'' = 0.65 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \rightarrow p'' = 2.8 \text{ bar}, t'' = 130^\circ C, i'' = 2720 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s'' = 7.03 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

b) pregrejana para - moramo poznavati 2 parametra :

$$4.) p = 6.1 \text{ bar}, t = 180^\circ C \rightarrow v = 0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, i = 2805 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s = 6.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$5.) p = 8 \text{ bar}, t = 210^\circ C \rightarrow v = 0.27 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, i = 2860 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s = 6.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

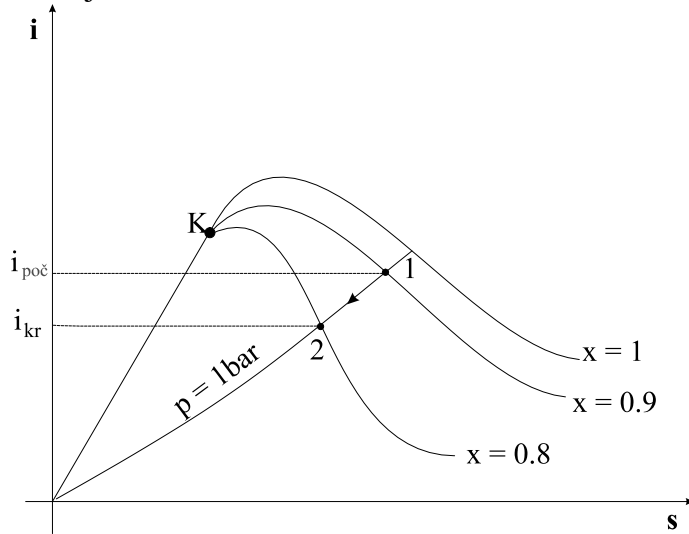
c) vlažna para - potrebna su 2 parametra :

$$6.) t = 160^\circ C, x = 0.98 \rightarrow i = 2715 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s = 6.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$7.) p = 10 \text{ bar}, v = 0.19 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \rightarrow i = 2660 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s = 6.31 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, x = 0.94$$

17. Izra unati koli inu toplote koja se oslobodi ako se masi od 2 kg vlažne pare suvo a smanji sa 0.9 na 0.8 pri pritisku  $p=1$  bar i toploti isparavanja  $r = 2100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ .

Rešenje:



$$p = 1 \text{ bar} \xrightarrow{i-s \text{ dij.}} t = 100^\circ \text{C}$$

$$i' = c \cdot t = 4.19 \cdot 100 = 419 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$i_{poc} = i' + x_{poc} \cdot r = 419 + 0.9 \cdot 2100 = 2309 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$i_{kr} = i' + x_{kr} \cdot r = 419 + 0.8 \cdot 2100 = 2099 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{osl} = m \cdot q_{osl} = m(i_{kr} - i_{poc}) = 2 \cdot (2099 - 2309) = -420 \text{ kJ}$$

18. Odrediti stepen suvo e i entalpiju vla`ne pare koja je na pritisku  $p = 4 \text{ bar}$  i  $v = 0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , a specifi na zapremina klju ale vode  $v' = 0.0011 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ .

Rešenje:

Prvo emo odrediti stepen suvo e iz poznatih specifi nih zapremina :



$$v = v' + x \cdot (v'' - v') \rightarrow x = \frac{v - v'}{v'' - v'} = \frac{0.4 - 0.0011}{0.47 - 0.0011} = 0.85$$

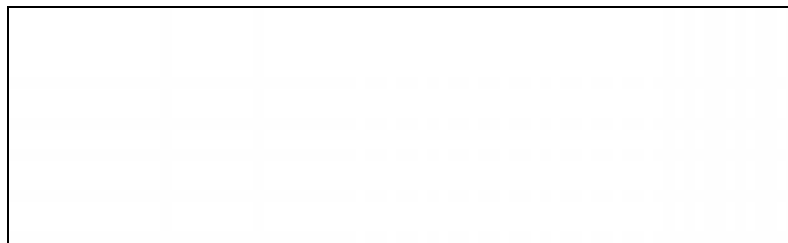
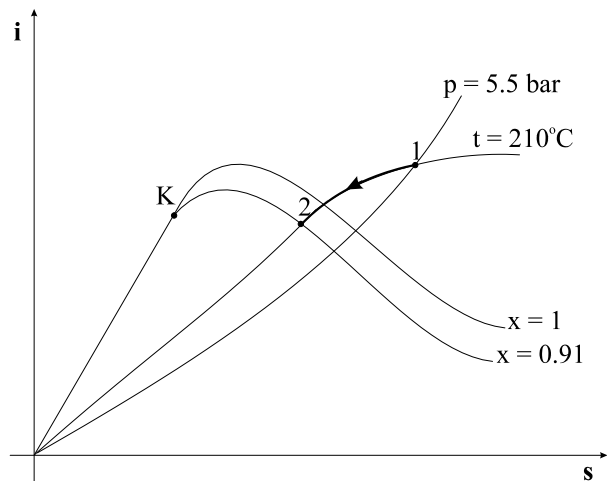
$$p = 4 \text{ bar} \xrightarrow{i-s \text{ dij}} i'' = 2740 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v'' = 0.47 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$i = i' + x \cdot (i'' - i') = 607.55 + 0.85 \cdot (2740 - 607.55) = 2420 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$i' = c \cdot t' = 4.19 \cdot 145 = 607.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

19. 3 kg se izotermiski sabija od početne temperature 210°C i pritiska 5.5bar, do krajnjeg stepena suvoće 0.91. Odrediti parametre pare na kraju procesa i odvedenu količinu toplote. Prikazati proces u i-s dijagramu za vodenu paru.

Rešenje:



20. U razmenjiva u toplote kroz cev prenika 60 mm protiče voda brzinom 0.1 m/s i greje se sa 10 °C na 90 °C. Odrediti protok pare koja zagreva ovu vodu ako se ista izobarski hladi od p=5 bar i t = 400 °C do stanja SZP.

Rešenje:

Kako para predaje toplotu vodi ona se hladi pa je :

$$\dot{Q}_v = \left| \dot{Q}_p \right|$$

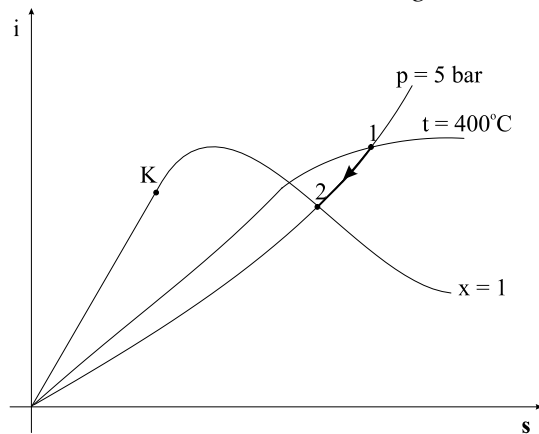
$$\dot{m}_v c(t_2 - t_1) = \dot{m}_p (i_1 - i_2)$$

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_v c(t_2 - t_1)}{(i_1 - i_2)} = \frac{0.283 \cdot 4.19 \cdot (90 - 10)}{3275 - 2750} = 0.18 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_v = \dots \cdot w \cdot A = \dots \cdot w \frac{d^2 f}{4} = 10^3 \cdot 0.1 \cdot \frac{0.06^2 f}{4} = 0.283 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$p = 5 \text{ bar}, t = 400^\circ \text{C} \rightarrow i_1 = 3275 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p = 5 \text{ bar}, x = 1 \rightarrow i_2 = 2750 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



21. SZP koja dolazi iz parnog kotla ( $t_1=160^\circ\text{C}$ ) se izobarski pregrijava u pregrijava u pare do temperature  $t_2 = 200^\circ\text{C}$ . Odrediti:

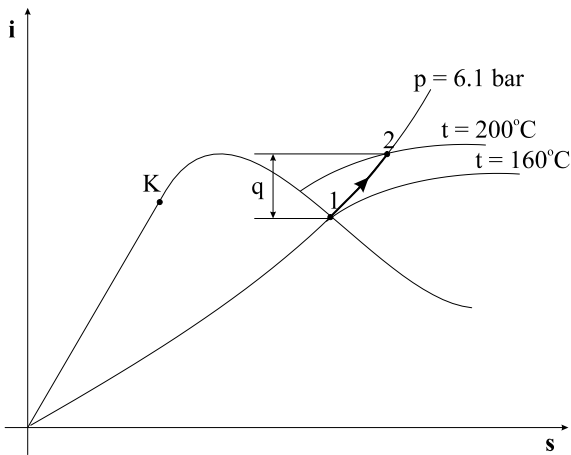
- 1.) Parametre pare pre pregrijevanja
- 2.) Parametre pare nakon pregrijevanja
- 3.) Količinu toplote potrebnu za pregrijevanje 1 kg pare

Rešenje :

$$1.) t_1 = t'' = 160^\circ \text{C} \rightarrow p'' = 6.1 \text{ bar}, i_1 = i'' = 2760 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s'' = 6.75 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, v'' = 0.32 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$2.) t_2 = 200^\circ \text{C} \rightarrow p = 6.1 \text{ bar}, i_2 = 2850 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_2 = 6.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, v_2 = 0.35 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$3.) q = \Delta i_{pr} = i_2 - i_1 = 2850 - 2760 = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



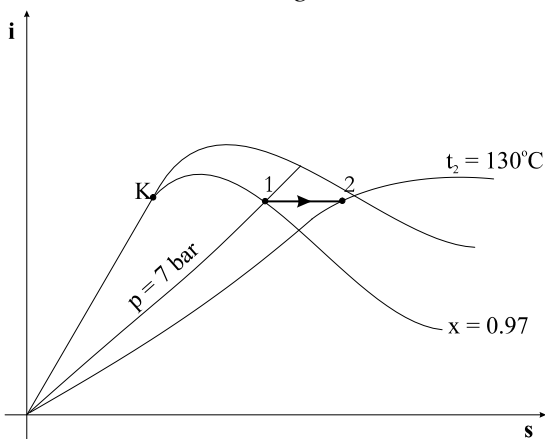
22. Vlazna para ( $p_1 = 7 \text{ bar}, x_1 = 0.97$ ) se adijabatski prigusuje do  $t_2 = 130^\circ \text{C}$ . Odrediti :

- 1.) Parametre pare nakon prigusenja :
- 2.) Promenu specificne zapremine i entropije pare :

Resenje :

1.) Pri adijabatskom prigusenju je  $i = \text{const}$ .

$$t_2 = 130^\circ \text{C}, i = 2700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow p_2 = 2.6 \text{ bar}, s_2 = 6.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, v_2 = 0.68 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$



2.) Kako je pre prigusivanja :

$$s_1 = 6.56 \frac{kJ}{kgK}, v_1 = 0.27 \frac{m^3}{kg}$$

Dobija se:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = 6.98 - 6.56 = 0.42 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0.68 - 0.27 = 0.41 \frac{m^3}{kg}$$

Prigušenjem se para može prevoditi iz vlažne u suvo-zasienu i pregrejanu bez naknadnog dovodjenja toplote. Prigušenje pare se obavlja na: blendama, mlaznicama ili venturimetrima, koje kao prigušnice služe za određivanje protoka i brzine strujanja pare (fluida) preko merenja razlike pritisaka pre i posle prigušnice.

23. Vlažna para pritiska 3 bar  $\left( s_{\odot} = 1.67 \frac{kJ}{kgK} \right)$  adijabatski se širi do 2 bar

$\left( s_{\odot} = 1.53 \frac{kJ}{kgK} \right)$ . Koliki treba da je stepen suvoće na početku ekspanzije, da bi na kraju ekspanzije imao istu vrednost.

Rešenje :

$$x = 0.54$$

## 5.2. Parni kotao . Dimenzionisanje parovoda .

24. Parni kotao ima kapacitet od  $D=6$  t/h, a stepen iskorišćenje 85%. Radni pritisak pare je  $p=30$  bar, a temperatura  $t=400^{\circ}C$ . Toplotna moć goriva  $H_d=13\ 000$  kJ/kg, a temperatura vode na ulazu u kotao  $140^{\circ}C$ .

Odrediti količinu toplote potrebnu za dobijanje 1 kg pare, moć isparavanja goriva, količinu goriva, za dobijanje 1 kg pare i potrošnju goriva. Gubitke pare u kotlu zanemariti

Rešenje :

Kolicina toplote za dobijanje 1 kg pare :

$$q = i - i_{ul} = 3230 - 586.6 = 2643.4 \frac{kJ}{kg}$$

gde je :

$$p = 30 \text{ bar}, t = 400^{\circ}C \xrightarrow{i-s \text{ dij.}} i = 3230 \frac{kJ}{kg}$$

$$i_{ul} = c \cdot t_{ul} = 4.19 \cdot 140 = 586.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Moc isparavanja goriva :

$$d = \frac{H_d \cdot y_k}{q} = \frac{13000 \cdot 0.85}{2643.4} = 4.18 \frac{\text{kg pare}}{\text{kg goriva}}$$

Kolicina goriva za dobijanje 1 kg pare :

$$g = \frac{1}{d} = \frac{1}{4.18} = 0.24 \frac{\text{kg goriva}}{\text{kg pare}}$$

Potrosnja goriva u kotlu :

$$G = \frac{D \cdot q}{H_d \cdot y_k} = D \cdot g = 6 \cdot 10^3 \cdot 0.24 = 1.44 \frac{t}{h}$$

25. Dimenzionisati parovod, ako je pritisak pare  $p=8$  bar, temperatura  $t = 210$  °C, brzina strujanja  $w = 25$  m/s, a maseni protok  $\dot{m} = 2.5$  kg/s. Koliki treba da je pritisak i temperatura SZP koja bi istom brzinom i pri istom protoku strujala tom cevi ?

Resenje :

$$p = 8 \text{ bar}, t = 210^\circ \text{C} \xrightarrow{i-s \text{ dij.}} v = 0.27 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = \dots \cdot w \cdot A = \frac{1}{v} \cdot w \cdot \frac{d_u^2 \cdot f}{4}$$

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \dot{m} v}{f \cdot w}} = \sqrt{1.27 \frac{\dot{m} v}{w}} = \sqrt{1.27 \frac{2.5 \cdot 0.27}{25}} = 0.186 \text{ m} = 186 \text{ mm} ; d_{u_s} = 200 \text{ mm}$$

Prema tabeli 1. zadatka 2. iz Praktikumuma (2) je debljina zida  $u = 6$  mm pa je:

$$d_s = d_{u_s} + 2u = 200 + 2 \cdot 6 = 212 \text{ mm}$$

Spec. zapremina SZP bice :

$$v'' = \frac{d_u^2 f \cdot w}{4 \dot{m}} = \frac{0.2^2 \cdot f \cdot 25}{4 \cdot 2.5} = 0.32 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Za } v'' = 0.32 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \rightarrow t'' = 158^\circ \text{C}, p'' = 6 \text{ bar}$$

### 5.3. Gornja i donja toplotna mo goriva . Formula VDI .

26. Odrediti gornju i donju toplotnu mo triju doma ih drvnih vrsta : bukve , hrasta i belog bora koriste i modifikovanu formulu VDI . Vla`nost uzoraka je 10 %.

Koriste i formulu VDI za poznati hemijski sastav drveta :

$$H_{g_1} = 340 \cdot C + 1420.5 \left( H - \frac{O}{8} \right) \dots \dots \dots (1)$$

gde je C,O,H procentualni sastav ovih elemenata u apsolutno suvom drvetu, a odgovaraju e konstante stoti deo koli ine toplote oslobodjene pri sagorevanju 1kg tih elemenata .

Za donju toplotnu mo drveta koristi se obrazac:

$$H_d = H_g - r \cdot u$$

gde je :

r - specifi na toplota isparavanja vode pri normalnim uslovima 2500 kJ/kg.

u - maseno u eš e vlage u gorivu

Vrednosti za Hg i Hd sra unate po ovim formulama su date u slede oj tabeli :

**Tabela 4:** Gornja i donja toplotna mo nekih drvnih vrsta ra unata preko elementarnog hemijskog sastava

vrsta drveta	elementarni	hemijski	sastav	toplotna mo	
	C(%)	H(%)	O(%)	gornja $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$	donja $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
bukva	48.5	6.3	45.2	17413	17163
hrast	49.4	6.1	44.5	17559	17309
beli bor	49.9	6.3	43.8	18137	17887

Gornja toplotna mo kod drveta mo`e se sra unati i pomo u slede eg obrasca :

$$H_{g_2} = H_{gc} \cdot \frac{P_c}{100} + H_{gl} \cdot \frac{P_l}{100} \dots \dots \dots (2)$$

gde su :

H<sub>gc</sub> , H<sub>gl</sub> - gornje toplotne mo i celuloze i lignina respektivno

P<sub>c</sub> - procentualno u eš e celuloze i njoj sli nih jedinjenja

P<sub>l</sub> -procentualno u eš e lignina

Imaju i u vidu da su gornje toplotne mo i celuloze i lignina oko 17400 kJ/kg i 27000 kJ/kg respektivno i da je procentualo u eš e ovih jedinjenja u drvnim vrstama razli ito, evidentne su i razlike u gornjoj toplotnoj mo i. Upravo zbog prisustva celuloza i lignina u drvetu u okviru kojih su vezani ugljenik, vodonik i kiseonik, toplotne mo i ovih jedinjenja su više od vrednosti koje bi se dobile pojedina nim sagorevanjem ovih elemenata u slobodnom stanju.

Deo kiseonika vezan je sa ugljenikom, odnosno azotom, a deo je i u slobodnom stanju. Ako pretpostavimo da je sav vodonik u jedinjenjima drveta spojen sa kiseonikom u hidroksilnu grupu (OH) formula VDI se modifikuje u:

$$H_{g_3} = 340 \cdot C + 1420.5 \cdot (H - O/16) \dots \dots \dots (3)$$

Dobra korelacija se posti`e i ukoliko se pretpostavi da se za sadr`aj kiseonika od 1 % gornja toplotna mo smanjuje za pribli`no 140 kJ . Prema tome je:

$$H_{g_4} = 340 \cdot C + 1420.5 \cdot H - 140 \cdot O \dots \dots \dots (4)$$

Takodje , dobijene su i eksperimentalne vrednosti gornje toplotne mo i sagorevanjem u kalorimetarskoj bombi. Ove vrednosti kao i vrednosti sra unate prema formulama (1) , (2) , (3) i (4) prikazane su u tabeli 5.