

Međimursko veleučilište u Čakovcu

Marijan Horvat, dipl.ing.str.

OSNOVE ENERGETIKE
vježbe

Čakovec, listopad 2023.

Autor: Marijan Horvat, pred.

Recenzenti: dr.sc. Mario Šercer, pred., dr.sc. Ivana Mihalic Pokopec, pred.

Lektura: EducFin

Nakladnik: Međimursko veleučilište u Čakovcu

Za nakladnika: doc. dr.sc. Igor Klopotan

Copyright © Međimursko veleučilište u Čakovcu

Sadržaj

1. OSNOVNE ENERGETSKE VELIČINE.....	7
1.1. Masa, volumen, gustoća, protok	7
1.1. Tlak, temperatura, energija, rad	15
1.2. Energetske transformacije	23
2. JEDNADŽBA STANJA IDEALNIH PLINOVA	26
3. PLINSKE SMJESE DVITU KOMPONENTA.....	29
4. PRVI GLAVNI STAVAK TERMODINAMIKE	32
4.1. Promjene stanja idealnih plinova.....	34
5. IZGARANJE	38
5.1. Plinovita goriva.....	38
5.2. Kruta goriva - drvo	39
7. PRIMJENA VODENE PARE.....	49
8. PRIJELAZ TOPLINE KROZ RAVNU STIJENKU	56
8.1. Transmisijski gubici	56
8.2. Ventilacijski gubici.....	58
8.1. Rekuperacija	67
9. KOMPRESIJSKE DIZALICE TOPLINE ZRAK - VODA.....	69
10. VLAŽNI ZRAK	71
10.1. Entalpija vlažnog zraka	73
10.2. Odavanje vodene pare	76
11. LITERATURA.....	78
12. Popis slika	79
13. Popis tablica	80

1. OSNOVNE ENERGETSKE VELIČINE

1.1. Masa, volumen, gustoća, protok

Masa (m) je osnovna veličina Međunarodnog sustava jedinica (SI). Njezina je jedinica kilogram (kg).

Volumen (V) je izvedena fizikalna veličina. Njegova je jedinica metar kubni (m^3).

Gustoća (ρ) je izvedena fizikalna veličina. Njezina je jedinica kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

pri čemu su:

ρ - gustoća, kg/m^3

m – masa, kg

V – volumen, m^3

Tablica 1. Osnovne jedinice Međunarodnog sustava jedinica (SI)

Jedinica	Naziv	Veličina	Uobičajena oznaka veličine
m	metar	duljina	$l, L, d, D, r\dots$
kg	kilogram	masa	m
s	sekunda	vrijeme	t, τ
A	amper	jakost električne struje	I, J
K	kelvin	(termodynamička) temperatura	T
cd	kandela	jakost svjetlosti	I, I_v
mol	mol	količina tvari	n

Tablica 2. Izvedene jedinice Međunarodnog sustava jedinica (SI)

Jedinica	Naziv	Veličina	Odnos drugim jedinicama
m^2	kvadratni ili četvorni metar	površina	-
m^3	kubični ili prostorni metar	volumen	-
m/s	metar u sekundi	brzina	-
m/s^2	metar u sekundi na kvadrat	ubrzanje	-
rad	radijan	kut	m/m
N	njutn	sila	$kg\ m/s^2$
J	džul	energija, rad, količina topline itd.	$W\ s = N\ m = kg\ m^2/s^2$
W	vat	snaga, učin	$J/s = kg\ m^2/s^3$
m^3/s	kubični metar u sekundi	volumni protok	-
kg/s	kilogram u sekundi	maseni protok	-
Pa	paskal	tlak	$N/m^2 = kg/(m\ s^2)$
Pa s	paskal sekunda	dinamička viskoznost	-
m^2/s	kvadratni metar u sekundi	kinematička viskoznost	-
$^{\circ}C$	Celzijev stupanj	temperatura	$^{\circ}C = K$
Hz	herc	frekvencija	$Hz = s^{-1}$
V	volt	napon, potencijal, elektromotorna sila itd.	$J/A = kg\ m^2/(A\ s^3)$
Ω	om	električni otpor	$V/A = kg\ m^2/(A^2\ s^3)$

Tablica 3. Gustoće nekih tvari

Tvar	Gustoća ρ , kg/m ³
kapljevine	
voda (pri 4 $^{\circ}C$)	1000
voda (pri 10 $^{\circ}C$)	
led (krutina, pri 0°C)	917
benzin	680-750
loživo ulje	820-970
živa	13546
plinovi (pri normalnom stanju 101 325Pa i 0°C)	
zrak	1,2931
kisik, O ₂	1,429
dušik, N ₂	1,25
uglični dioksid, CO ₂	1,977
uglični monoksid, CO	1,2505

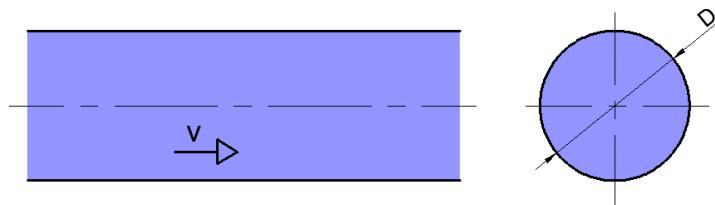
Protok (q_m , q_v) je izvedena fizikalna veličina. Njegova je jedinica kg/s, m^3/s . Razlikujemo:

maseni protok q_m (kg/s) i volumni protok q_v (m^3/s)

$$\text{maseni protok : } q_m = m/t \text{ (kg/s)} \quad (2)$$

$$\text{volumni protok : } q_v = V/t \text{ (m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

Volumni protok kroz cijev kružnog poprečnog presjeka:



Slika 1. Protok

$q_v = \frac{D^2 * \pi * v_{sr}}{4}$	(4)
--------------------------------------	-----

pri čemu su:

q_v - volumni protok, m^3/s

D - unutarnji promjer cijevi, mm

v_{sr} - srednja brzina strujanja fluida u cijevi, m/s

Odnos masenog i volumnog protoka:

$q_m = q_v * \rho$	(5)
--------------------	-----

pri čemu su:

q_v - volumni protok, m^3/s

q_m - maseni, m^3/s

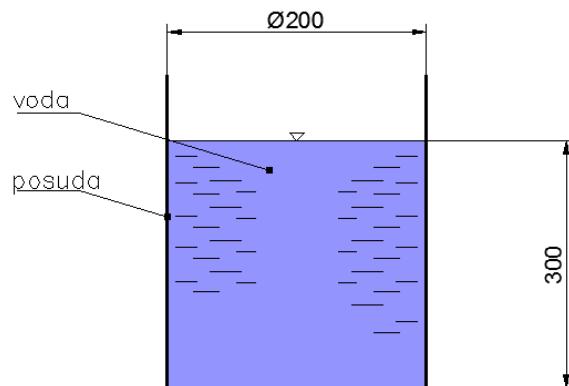
ρ - gustoća, kg/m^3

ZADATAK 1.

U posudi na slici 2 nalazi se voda pri temperaturi od 4°C . Posuda je stavljena u zamrzivač na temperaturu od 0°C .

Izračunajte:

1. Volumen vode u posudi u litrama (l).
2. Masu vode u kilogramima (kg).
3. Povećanje volumena uslijed zamrzavanja vode u litrama (l).



Slika 2. Zadatak 1

Oznaka \varnothing na slici označava posudu kružnog poprečnog presjeka - promjer, iz čega je razvidno da je posuda u obliku valjka. Vrijednosti 200 odnosno 300 izražene su u milimetrima (mm) iz razloga jer kote završavaju sa strelicama. U zamrzivaču dolazi do hlađenja vode te promjene stanja vode u led. Pri tome se sukladno tablici 3. mijenja gustoća tvari koja se nalazi u posudi. Posuda je otvorena te je tlak na vrhu vodene površine jednak atmosferskom tlaku.

Prepostavka zadatka :prilikom hlađenja ne mijenja volumen posude.

Zadano:

$$D=200 \text{ (mm)} ; 0,2 \text{ (m)}$$

$$H = 300 \text{ (mm)} ; 0,3 \text{ (m)}$$

iz tablice 3. slijedi: $\rho_{\text{vode}, 4^{\circ}\text{C}} = 1000 \text{ (kg/m}^3)$, $\rho_{\text{leda}, 0^{\circ}\text{C}} = 917 \text{ (kg/m}^3)$.

Rješenje:

1. Volumen vode u posudi u litrama (l)

$$V_{\text{vode}} = \frac{D^2 * \pi * H}{4} = \frac{0,2^2 * \pi * 0,3}{4} = 0,00942(m^3)$$

$$\text{Volumen vode iznosi } 0,00942 * 1000 = 9,42 \text{ (l)}$$

2. Masa vode u kilogramima (kg)

$$m_{\text{vode}} = \rho_{\text{vode}} * V_{\text{vode}} = 1000 * 0,00942 = 9,42 \text{ (kg)}$$

$$\text{masa vode iznosi } 9,42 \text{ (kg)}$$

3. Povećanje volumena uslijed zamrzavanja vode u litrama (I)

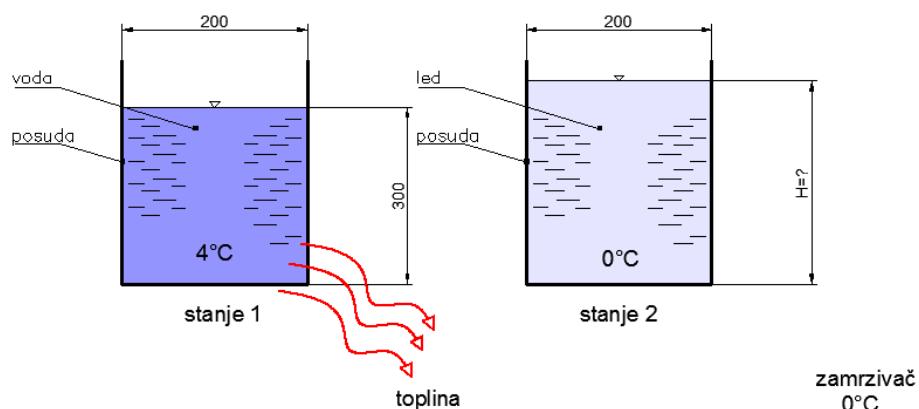
Masa vode u posudi je konstantna te je jednaka masi leda $m_{vode} = m_{leda}$

$$V_{leda} = \frac{m_{leda}}{\rho_{leda}} = \frac{9,42}{917} = 0,01027 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{povećanje volumena } \Delta V = V_{leda} - V_{vode} = 0,01027 - 0,00942 = 0,00085 \text{ (m}^3\text{) ili } 0,85(l)$$

ZADATAK 2.

Izračunajte visinu leda u milimetrima u posudi iz prethodnog zadatka.



Slika 3. Zadatak 2

Rješenje:

1. Visina leda H (mm)

$$H = \frac{4 * V_{leda}}{D^2 * \pi} = \frac{4 * 0,01027}{0,2^2 * \pi} = 0,327(m)$$

Visina leda u posudi iznosi 327 (mm)

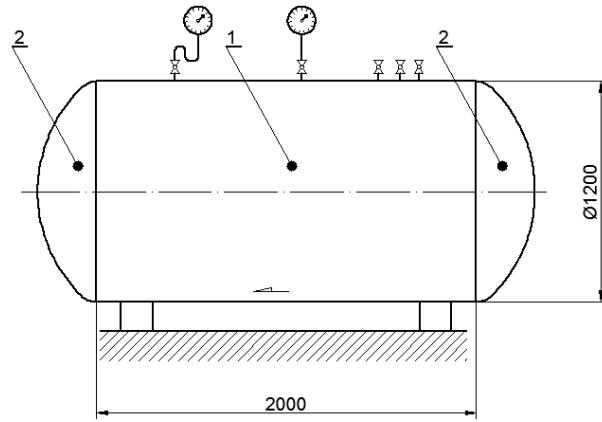
ZADATAK 3.

Tri četvrtine posude promjera 30cm i visine 50cm ispunjeno je ledom temperature 0°C. Posuda se nalazi u prostoriji čija temperatura iznosi 20 °C . Nakon određenog vremena led se otopio te je voda u posudi poprimila temperaturu prostorije. Izračunajte:

- Volumen vode u posudi u litrama (l). Gustoća vode pri 20 °C iznosi $\rho_{vode, 20°C} =$ Pretpostavka : volumen posude se ne mijenja uslijed temperturnih promjena.

ZADATAK 4.

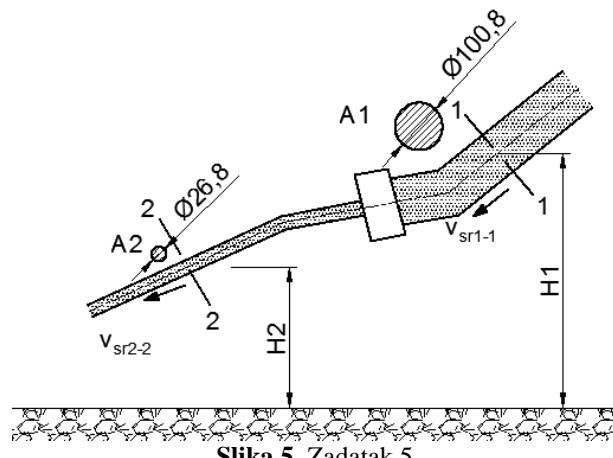
U spremniku prema slici nalazi se zrak. Spremnik se sastoji od plašta (1) te dviju podnica (2). Izračunajte volumen zraka u spremniku (m^3) ako se prepostavi da je volumen podnice $0,1 \cdot D^3$.



Slika 4. Zadatak 4

ZADATAK 5.

Kroz cjevovod na slici struji voda. Volumni protok vode u presjeku 1-1 iznosi $500(\text{l}/\text{h})$. Izračunajte srednju brzinu vode u dijelu cjevovoda označenog presjekom 2-2. Pretpostavke: tokom strujanja vode kroz cijev ne dolazi do promjene njene temperature.



Slika 5. Zadatak 5

Zadano:

$$q_{v1-1} = 500 (\text{l}/\text{h}) ; 0,5 (\text{m}^3/\text{h}) ; 0,5/3600 (\text{m}^3/\text{s})$$

$$D_{2-2} = 26,8 (\text{mm}) ; 0,0268 (\text{m})$$

Rješenje:

1. Srednja brzina vode u presjeku 2-2, v_{sr2-2} (m/s)

iz izraza

$$q_v = \frac{D^2 * \pi * v_{sr}}{4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

slijedi:

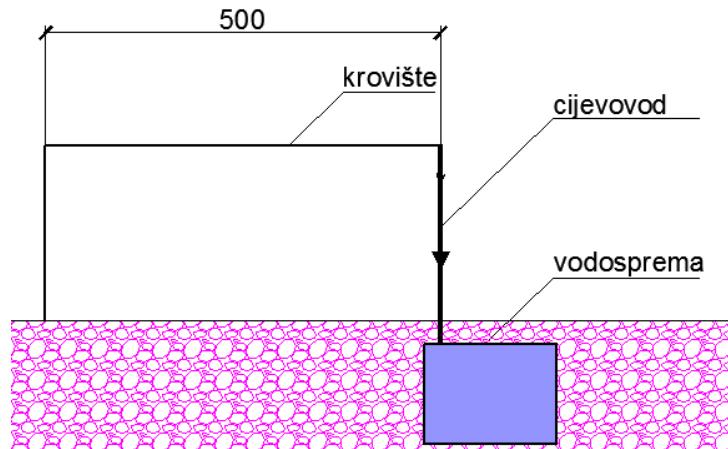
$$v_{sr2-2} = \frac{4 * q_{V2-2}}{D_{2-2}^2 * \pi} = \frac{4 * 0,5}{3600 * 0,0268^2 * \pi} = 0,2462 \left(\frac{m}{s} \right)$$

ZADATAK 6.

Za prethodni zadatak izračunajte srednju brzinu vode u presjeku 1-1.

ZADATAK 7.

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske ukupna količina padalina u kolovozu 2013. godine u Čakovcu je iznosila je $96,2 \text{ mm/m}^2$. Za potrebe navodnjavanja, sa krovišta garaže prikuplja se kišnica u vodospremu. Krovište ima dimenzije $500 \times 1000 \text{ cm}$.



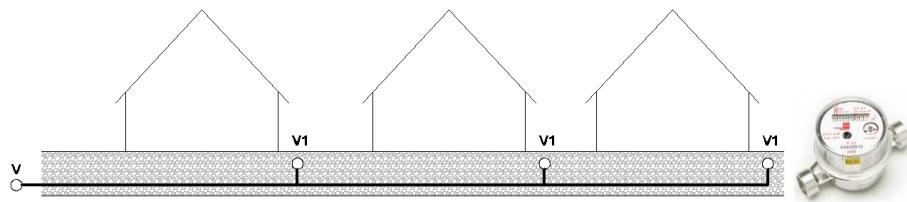
Slika 6. Zadatak 7

Izračunajte:

1. Ukupnu količinu vode koja se može prikupiti tokom kolovoza 2013. u litrama.
2. Godišnju potrošnju vode za ispiranje zahoda četveročlane obitelji ako je prosječna dnevna potrošnja 15litara po osobi (u izračun uzmite 365 dana).
3. Godišnji trošak za ispiranje zahoda četveročlane obitelji ako je cijena vode za područje Čakovca $11,23 \text{ KN/m}^3$.
4. Ukupnu godišnju količinu vode koja bi se mogla prikupiti na krovištu u m^3 ako je prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske ukupna količina padalina u kolovozu 2013. godine u Čakovcu iznosila $1000,2 \text{ mm/m}^2$.

ZADATAK 8.

Na slici se nalazi vodovodna mreža naselja. Radi kontrole potrošnje i eventualnog propuštanja cjevovoda postoji centralni vodomjer V. Na ulazu u svaku kuću u oknu nalazi se također vodomjer.



Slika 7. Zadatak 8

U istom vremenskom trenutku vodomjer V1 pokazuje 251 m^3 , V2 pokazuje 95 m^3 , V3 pokazuje 100 m^3 , dok V pokazuje 525 m^3 . Izvedite zaključak.

1.1. Tlak, temperatura, energija, rad

Tlak (p) je izvedena fizikalna veličina. Tlak je definiran kao omjer sile koja djeluje okomito na površinu i same površine. Jedinica za tlak je Pa.

$$p = \frac{F}{A} \quad (6)$$

pri čemu su:

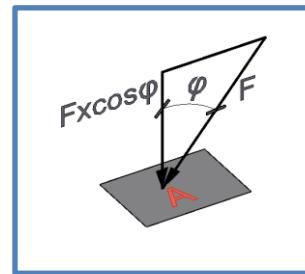
p – tlak, Pa, N/m²

F – sila (normalna,okomita komponenta), N

A – površina, m²

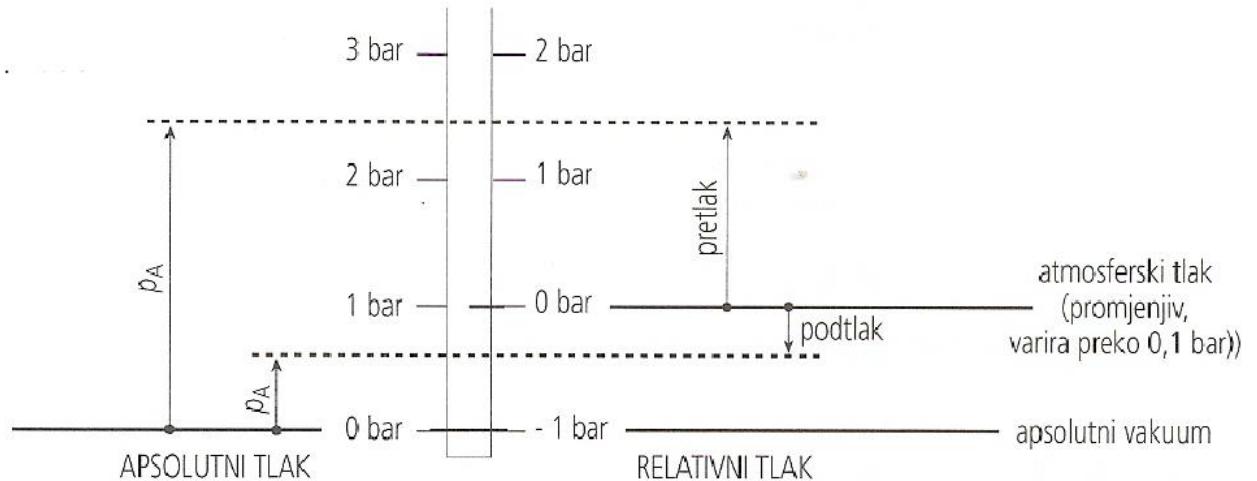
1bar = 100 000 Pa,

1mbar = 100Pa = 1hPa



Razlikujemo:

- a) atmosferski tlak (p_B)
- b) relativni tlak (p_e)
- c) apsolutni tlak (p_A)



Slika 8. Vrste tlaka

Hidrostatski tlak (p_h) tlak uzrokovani težinom kapljevine.

$$p_h = \rho * g * h \quad (7)$$

pri čemu su:

p_h – hidrostatski tlak, Pa

h – visina (dubina) kapljevine, m

g – akceleracija sile teže, oko 9,81 m/s²

ρ – gustoća kapljevine, kg/m³

Hidraulički tlak (p_{hidr}) jednak je ukupnom tlaku u kapljevini odnosno zbroju okolnog i hidrostatskog tlaka.

$$p_{hidr} = p_B + p_H \quad (8)$$

Temperatura (T, ϑ, t) je osnovna fizikalna veličina te je najčešće definirana kao vanjska manifestacija unutarnjeg stanja tijela. Jedinica za temperaturu je kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

$$\vartheta (^{\circ}\text{C}) = T (^{\circ}\text{K}) - 273,16 \quad (9)$$

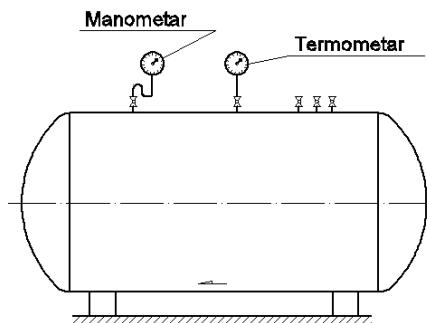
pri čemu su:

ϑ – Celzijeva temperatura, $^{\circ}\text{C}$

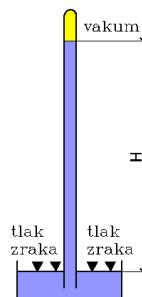
T – termodinamička (apsolutna) temperatura, $^{\circ}\text{K}$

ZADATAK 9.

U spremniku prema nalazi se zrak pod tlakom. Jedan od elemenata sigurnosne armature je i manometar koji pokazuje 15 bar. Za mjerjenje atmosferskog tlaka upotrebljava se barometar sa živom. Barometar pokazuje visinu žive $H=76,3$ cm.



Slika 9. Zadatak 9



Slika 10. Zadatak 9

Izračunajte:

1. Atmosferski tlak u bar
2. Apsolutni tlak u spremniku u bar

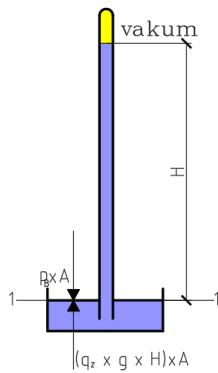
Zadano:

$$p_e = 15 \text{ bar}$$

$$H = 76,3 \text{ cm}$$

Rješenje:

1. Atmosferski tlak u bar



iz gornje slike slijedi:

$$p_B \cdot A = (\rho_z \cdot g \cdot H) \cdot A \text{ odnosno, } p_B = \rho_z \cdot g \cdot H \text{ (Pa)}$$

$$p_B = 13546 \cdot 9,81 \cdot 0,763 = 101\,392,2 \text{ (Pa)}$$

Atmosferski tlak iznosi 1,013922 (bar)

2. Apsolutni tlak u spremniku u bar

$$p_A = p_B + p_e \text{ u našem slučaju } p_e = \text{manometarskom tlaku } p_M$$

$$\text{Apsolutni tlak iznosi } 16,013922 \text{ (bar)}$$

ZADATAK 10.

Termometar koji je također dio sigurnosne armature spremnika iz prethodnog zadatka pokazuje temperaturu od 25°C . Izrazite tu temperaturu u Kelvinima.

Energija – (E), rad (W) , toplina (Q) imaju jedinicu – džul (J). Često se koristi i jedinica kilovatsat (kWh).

Rad – jednak je umnošku sile i puta na kojem sila djeluje.

Specifični toplinski kapacitet (c) – fizikalna veličina koja pokazuje koliko je topline potrebno dovesti 1kg mase tvari kako bi joj se temperatura povećala za 1 K. Kod plinova razlikujemo c_p i c_v .

$$Q = m * c * \Delta\vartheta \quad (10)$$

pri čemu su:

Q – toplina razmijenjena u procesu izmjene topline između tijela različitih temperatura, J

c – specifični toplinski kapacitet , J/kgK

$\Delta\vartheta$ – razlika temperature, $^{\circ}\text{C}$

Tablica 4. Specifični toplinski kapacitet nekih tvari

Tvar	c, J/(kg K)
<u>metalni materijali (pri 20°C)</u>	
aluminij	896
bakar (trgovački)	419
cink	385
crveni lijev	377
čelik (0,2% C)	460
nehrđajući čelici (Cr-Ni)	477
željezo	465
<u>voda</u>	
led	2005
voda pri 10°C	4194
voda pri 20°C	4182
voda pri 60°C	4180
vodena para pri 100°C	2032
<u>polimerni materijali</u>	
polietilen (PE)	1500
polipropilen (PP)	2000
polivinilklorid (PVC)	980
umreženi polietilen (PE-X)	2100
<u>građevinski materijali i nemetali (pri 20°C)</u>	
beton	1000
staklo	750
plinovi (pri 0° i $101\ 325\ \text{Pa}$)	c_p , J/(kg K)
metan, CH ₄	2156
propan, C ₃ H ₈	1604
	cv, J/(kg K)
	1632
	1470

n-butan, C4H10	1595	1480
dušik, N2	1039	742
kisik, O2	915	655
ugljični monoksid, CO	1039	743
ugljični dioksid, CO2	816	627
zrak	1010	723

Snaga – je fizikalna veličina jednaka omjeru rada, energije ili topline i vremena.

$$P = Q/t \quad (11)$$

pri čemu su:

P – snaga, W

Q – toplina razmijenjena u procesu izmjene topline između tijela različitih temperatura, J

t – vrijeme, s

Analiza J, kJ i kWh i kcal

$$W = J/s \rightarrow J = W \cdot s ; \text{kWh} = 1000W \cdot 3600s = 1000 \cdot 3600 \text{ W} \cdot \text{s} = 1000 \cdot 3600 \text{ J} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 1/3600 \text{ kWh} = 0,00027778 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal}$$

Volumno širenje – uslijed povećanja temperature:

$$\Delta V = V_1 * \beta * (T_2 - T_1) \quad (12)$$

pri čemu su:

V_1 – početni volumen tvari, m³

β – volumni koeficijent temperaturnog rastezanja, 1/K

T_1 – početna temperatura, K

T_2 – krajnja temperatura, K

Tablica 5. Volumni koeficijent temperaturnog rastezanja β , (1/K), atmosferski tlak 101325 Pa

tvar	β , (1/K)
voda (10°C)	0,000200
voda (20°C)	0,000380
voda (60°C)	0,000540
benzin	0,001200
živa	0,000180
idealni plin	1/273 = 0,003663

Temperatura mješavine – temperatura nastala miješanjem tvari različitih temperatura.

Temperatura miješanja dviju kapljivina ϑ °C:

$$\vartheta = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \quad (13)$$

pri čemu su:

ϑ – temperatura mješavine, °C

m_1 – masa komponente 1, kg

c_1 – specifični toplinski kapacitet komponente 1, J/kgK

ϑ_1 – temperatura komponente 1, °C

m_2 – masa komponente 1, kg

c_2 – specifični toplinski kapacitet komponente 1, J/kgK

ϑ_2 – temperatura komponente 1, °C

Potrošnja energije

$$CE = PE * JC \quad (14)$$

pri čemu su:

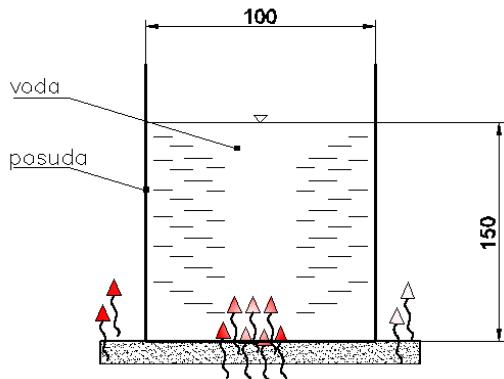
CE – cijena energije, EUR

PE – potrošnja energije, kWh

JC – jedinična cijena energije, EUR/kWh

ZADATAK 11.

Posuda na slici ispunjena je vodom. Izračunajte koliko je potrebno topline da se voda zagrije od 10°C na 90°C . Uputa: radi jednostavnosti izračuna uzeti $c_{\text{vode}} (\text{J/kgK})$ za 20°C te $\rho_{\text{vode}} = 1000 \text{ kg/m}^3$.



Slika 11. Zadatak 11

Zadano:

$$\vartheta_1 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_2 = 90^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{\text{vode}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Rješenje:

1. Toplina potrebna za zagrijavanje vode:

$$Q = m * c * \Delta\vartheta \text{ (J)} \quad (1)$$

2. Masa vode:

$$m = \rho_{\text{vode}} * V_{\text{vode}} \text{ (kg)} \quad (2)$$

3. Volumen vode u posudi:

$$V_{\text{vode}} = \frac{D^2 * \pi * H}{4} \text{ (m}^3\text{)} \quad (3)$$

uvrštavanjem (3) → (2) → (1) dobivamo:

$$Q = \frac{H * D^2 * \pi * \rho_{\text{vode}}}{4} * c_{\text{vode}} * (\vartheta_2 - \vartheta_1) \text{ (J)}$$

$$Q = 393\,944,4 \text{ (J) ili } 393,9444 \text{ (kJ)}$$

$$\text{ili } 0,109 \text{ kWh}$$

ZADATAK 12.

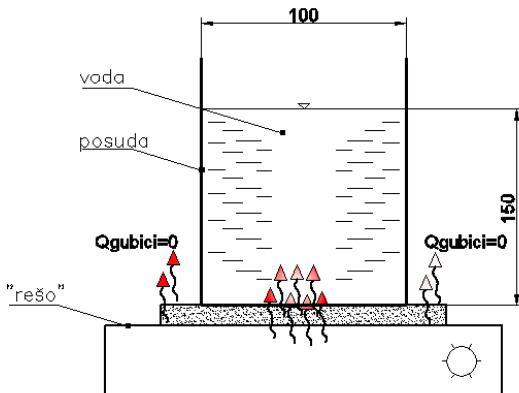
Izračunajte povećanje volumena vode u posudi u litrama uslijed povećanja temperature. Uputa: radi jednostavnosti izračuna uzeti $\beta_{\text{vode}} = 0,000380 \text{ (1/K)}$.

RJ:

$$V = 0,035796 \text{ (l)}$$

ZADATAK 13.

Za zagrijavanje vode iz prethodnog zadatka koristi se električni rešo. Voda se na željenu temperaturu zagrije za 20min. Izračunajte snagu rešoa te potrošnju energije rešoa uz pretpostavku da ne postoje gubici topline između rešoa i posude.



Slika 12. Zadatak 13.

Zadano:

$t = 20 \text{ min}$

Rješenje:

1. Snaga rešoa:

$$P_{\text{rešo}} = Q/t \text{ (J/s = W)}$$

$$P_{\text{rešo}} = 393\,944,4 / 20 \cdot 60 = 328,287 \text{ (W) ili } 0,328287 \text{ (kW)}$$

2. Potrošnja energije rešoa (kWh):

rešo radi 20min = 0,3333 (h), snaga mu iznosi 0,328287 (kW)

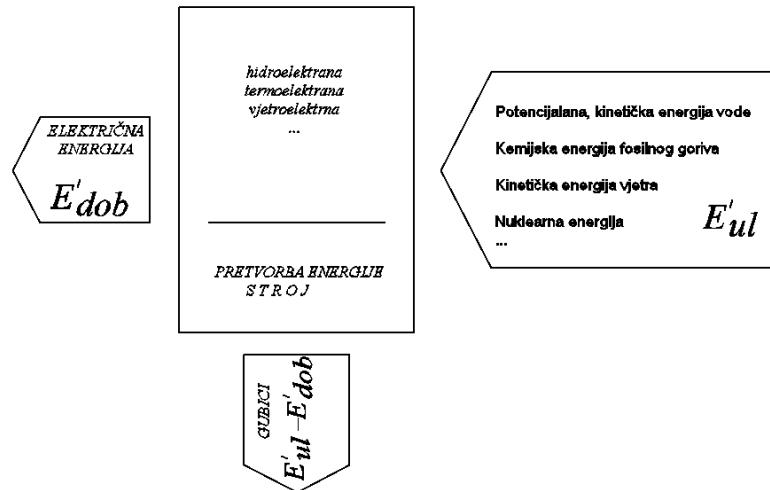
$$PE = 0,109429 \text{ (kWh)}$$

ZADATAK 14.

Izračunajte koliko je potrebno novaca za zagrijavanje vode iz zadatka 11. uz uvjete iz zadatka 13. ukoliko su poznate sljedeće cijene energetika, zanemarite stupanj iskorištenja energije:

Energent:	Cijena EUR/kWh
zemni plin	0,0536
električna energija	0,1307

1.2. Energetske transformacije



Slika 13. Energetske transformacije

Stupanj pretvorbe η predstavlja omjer dobivene i uložene energije.

$$\eta = \frac{E_{dob}}{E_{ul}} = \frac{E_{dob}'}{E_{ul}'}$$
 (15)

Gubici energije predstavljaju razliku uložene i dobivene energije.

Napomena: razlikujemo energiju zatvorenog sustava E jedinica J i energiju otvorenog sustava E' sa jedinicom W. Toplina, mehanički rad ili snaga predstavljaju oblike energije.

ZADATAK 15.

Izračunajte snagu rešo iz zadatka 13. ukoliko 80% topline rešoa prelazi na posudu s vodom dok 20% topline predstavlja gubitak koji uzrokuje povećanje temperature zraka u prostoru gdje se rešo nalazi.

Rješenje:

U rešou dolazi do pretvorbe električne u toplinsku energiju Q_{reso} . Dio toplinske energije Q_{gubici} prelazi na okolni zrak u prostoriji a ostali dio Q na vodu u posudi.

Energetska bilanca:

$$\eta = Q / Q_{reso} < 1$$

$$Q_{reso} = Q + Q_{gubici} \text{ (kJ)}$$

$$Q = 0,8 * Q_{reso} \text{ (kJ)} \rightarrow Q_{reso} = Q / 0,8$$

$$Q_{reso} = 393,9444 / 0,8 = 492,4305 \text{ (kJ)}$$

Snaga rešoa:

$$P_{\text{rešo}} = Q_{\text{reso}} / t = 0,41036 \text{ (kW)}$$

ZADATAK 16.

Snaga električne induksijske ploče za kuhanje iznosi 2,4 kW. Potrebno je zagrijati 71 vode temperature 10°C na 100 °C.

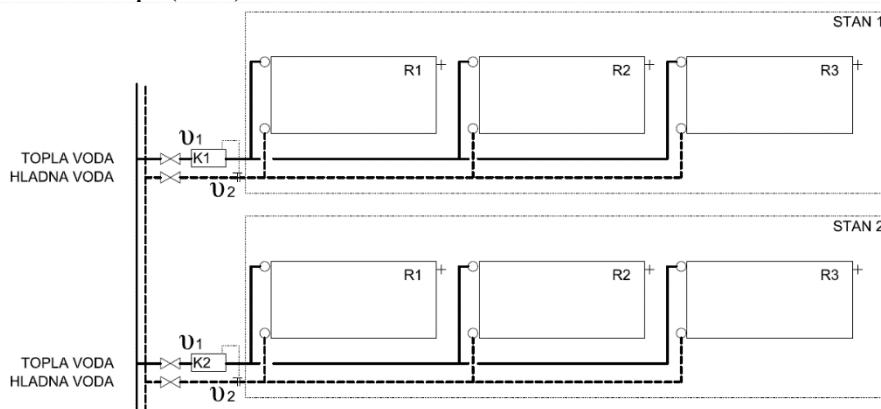
Izračunajte:

1. Vrijeme koje je potrebno za ovo zagrijavanje vode ako gubici topline prema okolnom zraku iznose 15% snage induksijske ploče za kuhanje.
2. Cijenu električne energije potrebne za ovo zagrijavanje.

Uputa: radi jednostavnosti izračuna uzeti c_{vode} (J/kgK) za 20°C te $\rho_{\text{vode}} = 1000$ (kg/m³), a JC električne energije identična je zadatku 14.

ZADATAK 17.

Iz centralne kotlovnice stambene zgrade vode cijevni vodovi prema svakom stanu. Radi kontrole potrošnje utrošene energije na ulazu u svaki stan postavlja se kalorimetar K. Ovaj uređaj mjeri temperaturu ulazne vode ϑ_1 °C, temperaturu izlazne vode ϑ_2 °C te volumni protok vode koja ulazi u stan q_v (m³/s).



Slika 14. Zadatak 17

Ulagana temperatura vode u stan 1 ϑ_1 iznosi 75 °C dok izlazna temperatura ϑ_2 iznosi 55 °C. Izmjerena brzina ulazne vode iznosi 0,7 m/s dok je unutarnji promjer ulaznog cjevovoda izrađenog iz čeličnih bešavnih cijevi 37,2 mm.

- a) Izračunajte potrošenu energiju (kWh) ako sustav sa zadanim parametrima radi 3 sata (od 6 ujutro do 9 h).
- b) Izračunajte potrošenu energiju (kWh) ako sustav radi 3 sata sa izlaznom temperaturom $\vartheta_2 = 65^\circ\text{C}$ (od 9 - 12h)
- c) Izračunajte cijenu ovako isporučene energije u slučaju a) i slučaju b) ako je jedinična cijena toplinske energije JC_{TE} u Zagrebu za $Tg3$ – kućanstva na centraliziranom toplinskem sustavu bez naknade za snagu iznosila 0,0283 EUR/kWh. (Naknada za snagu iznosi 1,901 EUR/kW na mjesec.)

Upute: radi jednostavnosti izračuna uzeti $c_{\text{vode}} = 4200$ (J/kgK) te $\rho_{\text{vode}} = 1000$ (kg/m³).

ZADATAK 18.

21 kg vode temperature 10°C miješa se sa 25 kg vode temperature 60 °C. Izračunajte temperaturu mješavine.

Zadano:

$$m_1 = 21 \text{ kg}$$

$$\vartheta_1 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 25 \text{ kg}$$

$$\vartheta_2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

podaci za c J/kgK slijede iz tablice 4.

Rješenje

$$\vartheta = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

$$\vartheta = \frac{21 \cdot 4194 \cdot 10 + 25 \cdot 4180 \cdot 60}{20 \cdot 4194 + 25 \cdot 4180} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

$$\vartheta = 37,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. JEDNADŽBA STANJA IDEALNIH PLINOVA

$$p * V = m * R * T$$

(16)

pri čemu su:

p – apsolutni tlak, Pa

V – volumen, m^3

m – masa, kg

R – plinska konstanta, J/kgK

T – termodinamička temperatura, K

$$p = \rho * R * T$$

(17)

pri čemu su:

ρ – gustoća, kg/m^3

$$Z = m / M$$

(18)

pri čemu su:

Z – količina tvari, kmol

M – relativna molekularna masa tvari, kg/kmol

Z_L – broj molekula u kmol (**Loschmidtov**) broj $Z_L=6,023 * 10^{26}$ molekula, molekula/kmol, zaključujemo da 1kmol ima $6,023 * 10^{26}$ molekula.

Tablica 6. Neka toplinska svojstva plinova (pri $p=1,01235$ bar i $0^\circ C$)

Naziv tvari	Kemijska oznaka	Relativna molekularna masa $M(kg/kmol)$	Plinska konstanta $R (J/kgK)$
Argon	Ar	39,94	208,2
Dušik	N_2	28,02	296,7
Kisik	O_2	32,00	259,8
Ugljični dioksid	CO_2	44,01	188,8
Zrak	-	29	287
Voda	H_2O	18	-

ZADATAK 19.

U spremniku se nalazi $1,3046 * 10^{27}$ molekula kisika. Kolika je masa kisika u spremniku?

Rješenje:

U spremniku se nalazi $1,3046 * 10^{27} / 6,023 * 10^{26} \text{ kmol}$ kisika odnosno 2kmol kisika.

a) masa kisika u spremniku

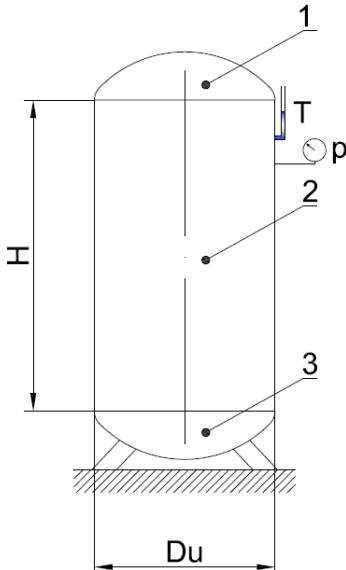
$$m = Z * M = 2,166 * 32 = 69,31 \text{ kg kisika.}$$

ZADATAK 20.

U spremniku na slici nalazi se zrak pod tlakom koji služi za pogon pneumatskih alata. Atmosferski tlak iznosi 1,01325 bar. Manometar na spremniku pokazuje 15 bar, dok termometar pokazuje 32 °C. Volumen spremnika je 2,5m³.

Izračunajte:

- masu zraka u spremniku u kg.
- količinu tvari u spremniku u kmol.



Slika 15. Zadatak 20

Zadano:

$$p_B = 1,01325 \text{ bar}$$

$$p_e = 15 \text{ bar}$$

$$\vartheta = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V = 2,5 \text{ m}^3$$

Rješenje:

- masa zraka u spremniku u kg

Jednadžba stanja idealnog plina

$$p * V = m * R * T \rightarrow m = p * V / (R * T)$$

$$\vartheta (\text{ } ^\circ\text{C}) = T (\text{ } ^\circ\text{K}) - 273,16 \rightarrow T (\text{ } ^\circ\text{K}) = \vartheta (\text{ } ^\circ\text{C}) + 273,15$$

$$p = p_B + p_a (\text{Pa})$$

$$m = 1601325 * 2,5 / (287 * 305,15) = 45,73 \text{ (kg)}$$

- količinu tvari u spremniku u kmol.

$$Z = m/M$$

$$Z = 45,73/29 = 1,4778 \text{ (kmol)}$$

ZADATAK 21.

Uslijed Sunčevog zračenja, termometar na spremniku iz prethodnog zadatka pokazuje 45°C , dok manometar pokazuje istu vrijednost kao i u slučaju kada je termometar pokazivao 32°C . Izračunajte tlak (manometarski, relativni) u spremniku te komentirajte ispravnost manometra. Upute: masa zraka u spremniku te atmosferski tlak su isti kao i u zadatku 20.

ZADATAK 22.

Prilikom punjenja spremnika ustanovljeno je da je spremnik napunjen sa 20 kg zraka. Tokom dana došlo je do povećanje temperature zraka u spremniku na 90°C . Kontrolor je uočio da manometar ne pokazuje promjenu tlaka. Atmosferski tlak iznosi $76,3\text{cm Hg}$. Spremnik je konstruiran od torosferičnog dijela (podnice) i plašta (cilindričnog dijela) kao na slici 4. Ostali podaci: $g=9,81\text{ m/s}^2$ $\rho_{\text{Hg}}=13546\text{ (kg/m}^3)$, $V_{\text{podnice}} = 0,1 \cdot D^3\text{ (m}^3)$.

Izračunajte:

1. Volumen spremnika ako je visina spremnika 2000 (mm) a unutarnji promjer spremnika 1300 (mm) .
2. Manometarski tlak u spremniku.
3. Nacrtajte dijagram u kojem je vidljiv apsolutni tlak, pretlak i atmosferski tlak.
4. Količinu tvari u spremniku $Z=?$

RJ:

1. $V=3,094\text{ m}^3$
2. $p_e = 5,723\text{ bar}$
4. $Z = 0,69\text{ kmol}$

3. PLINSKE SMJESE DVIJU KOMPONENTA

Maseni udio – udio mase komponente smjese u ukupnoj masi smjese

Za dvije komponente slijedi:

$$- \text{ukupna masa smjese} : m = m_1 + m_2 \text{ (kg)} \quad (19)$$

$$- \text{maseni udio komponente 1: } g_1 = m_1 / m \text{ (kg/kg)} \quad (20)$$

$$- \text{maseni udio komponente 2: } g_2 = m_2 / m \text{ (kg/kg)} \quad (21)$$

Volumni udio - udio volumena komponente smjese u ukupnom volumenu smjese

$$- \text{volumni udio komponente 1 u ukupnoj smjesi} r_1 = V_1 / V \text{ (m}^3/\text{m}^3\text{)} \quad (22)$$

$$- \text{volumni udio komponente 2 u ukupnoj smjesi} r_2 = V_2 / V \text{ (m}^3/\text{m}^3\text{)} \quad (23)$$

Odnos volumnih i masenih udjela dvije komponente u smjesi:

$$\boxed{r_1 = \frac{g_1 \cdot M_2}{g_1 \cdot M_2 + g_2 \cdot M_1}} \quad (24)$$

$$\boxed{r_2 = \frac{g_2 \cdot M_1}{g_1 \cdot M_2 + g_2 \cdot M_1}} \quad (25)$$

pri čemu su:

m – masa smjese, kg

g_1 – maseni udio komponente 1 u smjesi, kg/kg

g_2 – maseni udio komponente 2 u smjesi, kg/kg

M_1 – relativna molekularna masa komponente 1 u smjesi, kmol/kg

M_2 – relativna molekularna masa komponente 2 u smjesi, kmol/kg

r_1 – volumni udio komponente 1 u smjesi, m^3/m^3

r_2 – volumni udio komponente 2 u smjesi, m^3/m^3

Daltonov zakon – zbroj parcijalnih tlakova pojedinih sudionika u smjesi jednak je ukupnom tlaku smjese.

Za dvokomponentne smjese plinova vrijedi:

$$p = p_1 + p_2 \quad (26)$$

pri čemu su:

p – tlak smjese dvaju plinova, Pa

p_1 – parcijalni tlak sudionika 1 u smjesi plinova, Pa

p_2 – parcijalni tlak sudionika 2 u smjesi plinova, Pa

$$p_1 = p * r_1 \text{ (Pa)} \quad (27)$$

$$p_2 = p * r_2 \text{ (Pa)} \quad (28)$$

ZADATAK 23.

Sastav zraka je: 78.084% dušik (N_2), 20.947% kisik (O_2), 0.934% argon (Ar), 0.033% ugljični dioksid (CO_2). Navedeni podaci odnose se na volumne udjele pojedinih komponenata. Za potrebe ovoga zadatka pretpostavimo da su volumni udjeli komponenata u zraku sljedeći : 21% kisik i 79% dušik. Izračunajte približne masene udjele dušika i kisika u zraku.

Zadano:

$$r_1 = 0,21$$

$$r_2 = 0,79$$

Rješenje:

iz jednadžbe 24. i 25. slijedi:

$$g_1 = \frac{r_1 \cdot M_1}{r_1 \cdot M_1 + r_2 \cdot M_2} \quad g_2 = \frac{r_2 \cdot M_2}{r_1 \cdot M_1 + r_2 \cdot M_2}$$

iz tablice 6. slijedi: $M_1 = 32 \text{ (kg/kmol)}$ i $M_2 = 28,02 \text{ (kg/kmol)}$

$$g_1 = 0,233 \text{ (kg kisika / kg zraka)} \text{ i } g_2 = 0,767 \text{ (kg dušika / kg zraka)}$$

također slijedi:

$$g_1 + g_2 = 1 \text{ za dvokomponentnu mješavinu.}$$

ZADATAK 24.

U 1kg vlažnog zraka temperature 35°C i tlaka 1bar, nalazi se 49g vodene pare. Pod kojim se parcijalnim tlakom nalazi vodena para u vlažnom zraku?

Upute: vlažni zrak = zrak + vodena para , pri čemu zrak promatramo kao mješavinu plinova dušika, kisika, ugljičnog dioksida itd. ali **bez** vodene pare.

Zadano:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$m_2 = 49 \text{ g}$$

$$p = 1 \text{ bar}$$

Rješenje:

$$p_2 = p * r_2$$

$$r_2 = \frac{g_2 \cdot M_1}{g_1 \cdot M_2 + g_2 \cdot M_1}$$

$$g_2 = m_2 / m = 0,049 \text{ odnosno } g_1 + g_2 = 1 \rightarrow g_1 = 0,951 \text{ (kg zraka / kg vlažnog zraka)}$$

iz tablice 6. slijedi $M_{zrak} = M_1 = 29 \text{ (kg/kmol)}$ i $M_{vodena\ para} = M_2 = 18 \text{ (kg/kmol)}$

$$r_2 = 0,077 \text{ (m}^3 \text{ vodene pare / m}^3 \text{ vlažnog zraka)}$$

$$p_2 = p * r_2 = 100\ 000 * 0,077 = 7700 \text{ Pa} = 0,077 \text{ (bar)}$$

iz čega zaključujemo da se vodena para u zraku pri temperaturi 35°C nalazi pri veoma niskom tlaku, u termodinamici ovo stanje vodene pare nazivamo pregrijana vodena para.

4. PRVI GLAVNI STAVAK TERMODINAMIKE

$$Q = (U_2 - U_1) + W \quad (29)$$

pri čemu su:

Q – dovedena toplina, J

$(U_2 - U_1)$ – promjena unutrašnje energije, J

W – rad, J

$$U_2 - U_1 = c_v * m * (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (30)$$

pri čemu su:

m – masa, kg

c_v – specifični toplinski kapacitet pri konstantom volumenu , J/kgK

$(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ – razlika temperaturna, °C

$$c_p - c_v = R \quad (31)$$

pri čemu su:

c_p – specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku, J/kgK

R – plinska konstanta, J/kgK

$$R = R_0 / M \quad (32)$$

pri čemu su:

R_0 – molarna (opća, univerzalna) plinska konstanta, J/kmolK

srednji specifični toplinski kapacitet

$$c_p^{\vartheta_2} = \frac{c_p^{\vartheta_2} \cdot \vartheta_2 - c_p^{\vartheta_1} \cdot \vartheta_{21}}{\vartheta_2 - \vartheta_{12}} \quad (33)$$

Tablica 7. Specifični toplinski kapacitet plinova c_p kJ/kgK 0-1 bar

θ °C	O ₂	H ₂	N ₂	CO ₂	zrak
0	0,909	14,05	1,038	0,827	1,006
25	0,913	14,34	1,035	0,851	1,007
100	0,934	14,41	1,038	0,919	1,012
200	0,963	14,41	1,047	0,997	1,026
500	1,051	14,55	1,114	1,159	1,093
1000	1,122	15,31	1,223	1,294	1,185

Izvor: VDI-Wärmeatlas, 1994.

4.1. Promjene stanja idealnih plinova

Osnovne jednadžbe:

Izobara,

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	(34)
-------------------------------------	------

Izohora,

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	(35)
-------------------------------------	------

Izoterma,

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$	(36)
-------------------------------------	------

Adijabata,

$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa$	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1}$	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$	(37)
---	---	--	------

Politropa.

$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$	(38)
--	--	--	------

pri čemu su:

T_1 – termodinamička temperatura stanja 1, K

T_2 – termodinamička temperatura stanja 2, K

p_1 – apsolutni tlak stanja 1, Pa

p_2 – apsolutni tlak stanja 2, Pa

V_1 – volumen stanja 1, m^3

V_2 – volumen stanja 2, m^3

κ – adijabatski eksponent

n – politropski eksponent

ZADATAK 25.

Koliko se povećala unutarnja energija 12 kg zraka uslijed povećanja temperature od 25°C na 100°C ?

Zadano:

$$m = 12 \text{ kg}$$

$$\vartheta_1 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Rješenje:

$$U_2 - U_1 = c_v \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} * m * (\vartheta_2 - \vartheta_1) \text{ (J)}$$

$$c_v \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = c_p \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} - R \text{ (J/kgK)}$$

iz tablice 6. za zrak slijedi: $R = 287 \text{ (J/kgK)}$

$$c_p \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \frac{c_p \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} \cdot \vartheta_2 - c_p \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} \cdot \vartheta_{21}}{\vartheta_2 - \vartheta_{12}} \text{ (J/kgK)}$$

iz tablice 7. slijedi $c_p \frac{100}{0} = 1,012 \text{ (kJ/kgK)}$ odnosno $c_p \frac{25}{0} = 1,007 \text{ (kJ/kgK)}$

$$c_p \frac{\vartheta_{100}}{\vartheta_{25}} = \frac{1,012 \cdot 100 - 1,007 \cdot 25}{100 - 25} = 1,0137 \text{ (kJ/kgK)}$$

$$c_v \frac{\vartheta_{100}}{\vartheta_{25}} = 1013,7 - 287 = 726,667 \text{ (J/kgK)}$$

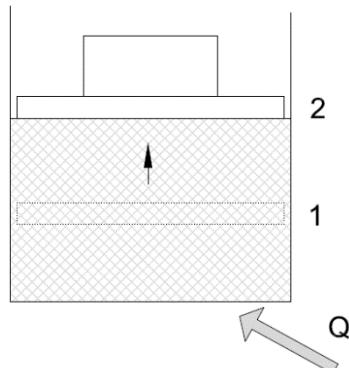
$$U_2 - U_1 = 726,667 * 12 * (100 - 25) = 654 \ 000 \text{ J} = 654 \text{ kJ}$$

ZADATAK 26.

Koliko se povećala unutarnja energija 20 kg zraka uslijed povećanja temperature od 0°C na 100°C ?

ZADATAK 27.

U cilindru na slici 16 nalazi se 9 kg zraka kojem se dovodi toplina od 500 kJ. U stanju 1. temperatura zraka iznosi 25°C dok u stanju 2. ona iznosi 100°C . Izračunajte dobiveni rad.



Slika 16. Zadatak 27

Zadano:

$$Q = 500 \text{ kJ}$$

$$\vartheta_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_2 = 100^{\circ}\text{C}$$

$$m = 9 \text{ kg}$$

Rješenje

Uslijed dovođenja topline Q dolazi do povećanja unutarnje energije i vršenja rada.

$$Q = (U_2 - U_1) + W \text{ (J)} \rightarrow W = Q - (U_2 - U_1) \text{ (J)}$$

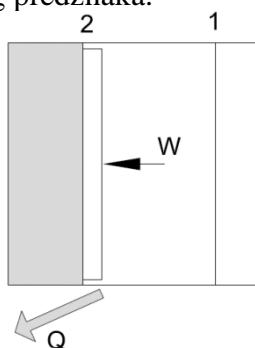
$$c_v^{\vartheta_{100}} = 1013,7 - 287 = 726,667 \text{ (J/kgK)}$$

$$U_2 - U_1 = 726,667 * 9 * (100 - 25) = 490\ 500,2 \text{ J} = 490,5 \text{ (kJ)}$$

$$W = 500 - 490,5 = 9,5 \text{ (kJ)}$$

ZADATAK 28.

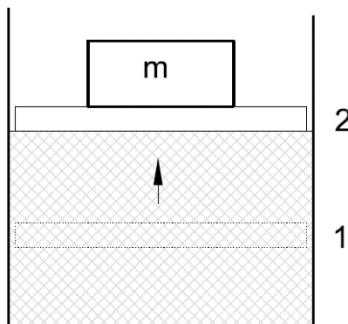
Utroškom rada od 400 kJ u cilindru se komprimira zrak mase 2 kg, pri tome se povećava temperatura zraka od 25°C na 100°C . Izračunajte razmijenjenu toplinu sa okolinom.
Uputa: rad se dovodi pa je negativnog predznaka.



Slika 17. Zadatak 28.

ZADATAK 29.

Usljed dovođenja topline stap cilindra na slici 18. pomiče se iz pozicije 1 u poziciju 2. Temperatura plina u poziciji 1, stanju 1, iznosi 60°C . Volumen plina u stanju 2, veći je 80% u odnosu na stanje 1. Masa m tereta je konstantna. Izračunajte temperaturu u stanju 2, te nacrtajte p-V dijagram.



Slika 18. Zadatak 29.

Zadano:

$$\vartheta_1 = 60^{\circ}\text{C}$$

$$V_2 = 1,8 * V_1$$

$$m = \text{const.}$$

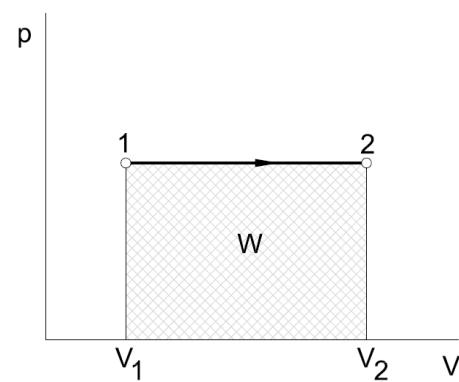
Rješenje

Iz slike 17. slijedi da je masa tereta konstantna odnosno jednaka. Iz ove činjenice zaključujemo da je tlak u stanju 1 jednak tlaku u stanju 2. Dakle, ovdje se radi o izobarnoj promjeni stanja plina.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{T_1 * V_2}{V_1}$$

$$T_2 = \frac{333,15 * 1,8 * V_1}{V_1} = 599,67 \text{ K}$$

$$\vartheta_2 = 326,52^{\circ}\text{C}$$



5. IZGARANJE

5.1. Plinovita goriva

$$q_V = \frac{\Phi}{H_{dp}} * \frac{1}{3600} \quad (39)$$

pri čemu su:

q_V – volumni protok plinovitog goriva, m^3/s

Φ – toplinski tok, kW

H_{dp} – donja ogrjevna vrijednost plinovitog goriva, kWh/m^3

Tablica 8. Standardna kvaliteta zemnog plina [NN br. 158/13]

Sve vrijednosti odnose se na obujam plina od 1 m^3 pri absolutnom tlaku plina 101.325 Pa (1,01325 bar) i temperaturi plina 288,15 K (15°C).

PRIRODNI PLIN		
A. Kemijski sastav, mol %		
Metan (CH_4)	minimalno	85
Etan (C_2H_6)	maksimalno	7
Propan (C_3H_8) i viši ugljikovodici	maksimalno	6
Dušik (N_2)	maksimalno	3
Ugljični dioksid (CO_2)	maksimalno	2,5
Kisik (O_2)	maksimalno	0,001
B. Sadržaj sumpora, mg/m³		
Sumpor ukupni (S)	maksimalno	30
Sumporovodik i karbonil sulfid ukupno ($\text{H}_2\text{S}+\text{COS}$)	maksimalno	5
Merkaptani (RSH)	maksimalno	6
C. Gornja ogrjevna vrijednost H_g, kWh/m³		
	minimalno	10,28
	maksimalno	12,75
D. Donja ogrjevna vrijednost H_d, kWh/m³		
	minimalno	9,25
	maksimalno	11,47
E. Gornji Wobbe – indeks W_g, kWh/m³		
	minimalno	12,75
	maksimalno	15,81
F. Donji Wobbe – indeks W_d, kWh/m³		
	minimalno	11,48
	maksimalno	14,23
G. Relativna gustoća d		
	minimalno	0,56
	maksimalno	0,70
H. Točka rosišta, °C pri tlaku od 70 bar		
vode		-8
ugljikovodika		-2
I. Plin neodoriziran (osim plina u distribucijskom sustavu), bez mehaničkih primjesa, smola ili spojeva koji tvore smolu		

$$PE = \Phi * t \quad PE = H_d / 3,6$$

(40)

pri čemu su:

Hd – donja ogrjevna vrijednost goriva, MJ/kg

t – vrijeme, h

PE – potrošnja energije, kWh

5.2. Kruta goriva - drvo

$$JC = \frac{3,6}{H_{dk}} * JC_m \quad (41)$$

$$H_{dk} = \frac{H_{dk0} * (100 - w) - 2,44 * w}{100} \quad (42)$$

$$JC_m = \frac{JC_V}{\rho_g} \quad (43)$$

$$\rho_g = \frac{\rho_{g0} * 100}{100 - w} \quad (44)$$

$$V_{cjepanice-1} \approx V_d / 0,7 \quad (45)$$

$$JC_V \approx \frac{JC_{Vcjepanica}}{0,7} \quad (46)$$

$$w = \frac{m_w - m_o}{m_w} * 100 \quad (47)$$

pri čemu su:

JC –	jedinična cijena energije, KN/kWh
H _{dk} –	donja ogrjevna vrijednost krutog goriva, vlažnog drveta, MJ/kg
JC _m –	jedinična cijena kilograma goriva, KN/kg
H _{dk0} –	donja ogrjevna vrijednost absolutno suhog drveta, MJ/kg
w –	vlažnost drveta, %
JC _V –	jedinična cijena krutog goriva po volumenu, KN/m ³
ρ _g –	gustoća goriva, kg/m ³
ρ _{g0} –	gustoća absolutno suhog drveta, kg/m ³
V _{cjepanice-1} –	volumen cjepanica drva dužine 1m, m ³
V _d –	volumen drva (punog) iz kojeg su nastale cjepanice, m ³
JC _{Vcjepanice-1} –	jedinična cijena cjepanica duljine 1m, KN/m ³
m _w –	masa vlažnog drveta, kg
m _o –	masa absolutno suhog drveta, kg

Tablica 9. Srednja gustoća suhog drva, ρ_{g0} (kg/m³), (ÖNORM* B 3012)

Listače		Četinjače	
Naziv	Gustoća, kg/m ³	naziv	gustoća, kg/m ³
Obični grab	750	Crni bor	560
Turski hrast	740	Ariš	550
Crni rogač	730	Škotski bor	510
Bukva	680	Duglazija	470
Hrast	670	Norveška smreka	430
Jasen	670	Srebrna jela	410
Brijest	640	Švicarski bor	400
Breza	640		
Javor	590		
Ljeska	560		
Lipa	520		
Vrba	520		
Joha	490		
Topola	450		
Jablan	410		

Tablica 10. Ogrjevne vrijednosti suhog drva, H_{dk0} (MJ/kg)

Naziv	Donja ogrjevna vrijednost, MJ/kg
Smreka (s korom)	18,8
Bukva / Hrast (s korom)	18,4
Jablan	18,5
Vrba	18,4
Kora (Crnogorično drveće)	19,2
Drvo vinove loze	19,8

Tablica 11. Stope konverzije trupci/cjepanice/drvna sječka, ÖNORM M7132 i M7133

Vrste	Trupci	Cjepanice od 1 metra	Irezane cjepanice		Drvna sječka	
			složeni	nasipni	fino (G30)	srednje (G50)
			m ³	prostorni m ³	prostorni m ³	nasipni m ³
1 m ³ trupaca	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 prostorni m ³ cjepanica od 1 metra	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 prostorni m ³ izrezanih cjepanica	0,85	1,2	1	1,7		
1 nasipni m ³ izrezanih cjepanica	0,5	0,7	0,6	1		
1 nasipni m ³ fine drvne sječke	0,4	(0,55)			1	1,2
1 nasipni m ³ srednje drvne sječke (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Napomena: 1 tona drvne sječke G30 s M35% odgovara približno 4 nasipna m³ drvne sječke smreke i 3 nasipna m³ drvne sječke bukve.



Količina CO₂ nastala **potpunim** izgaranjem krutog goriva:

$$\text{CO}_2 = 44,01 * 0,0833 * c * q_{\text{mkg}} \text{ (kg CO}_2 \text{/s)} \quad (48)$$

pri čemu su:

- CO₂ - količina CO₂, izražena u kg/s
 q_{mkg} - maseni protok krutog goriva, kg/s
 c - maseni udio ugljika u krutom gorivu, kg/kg

Tablica 12. Kemijski sastav krute biomase, CEN/TS 14961:2005 Kruta biogoriva – Specifikacije i klase goriva – Dodatak C

Naziv	C	H	O	N	K	S	Cl
Smreka (s korom)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,015	0,005
Bukva (s korom)	47,9	6,2	43,3	0,22	0,22	0,015	0,006
Kora (Crnogorično drveće)	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	0,085	0,019
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Crnogorično drveće	47–54	5,6–7,0	40–44	<0,1–0,5		<0,01–0,05	<0,01–0,03
Uobičajene vrijednosti za materijale od neprerađenog drva Listopadno drveće	48–52	5,9–6,5	41–45	<0,1–0,5		<0,01–0,05	<0,01–0,03
Ugljen	72,5	5,6	11,0	1,30		0,940	0,1

Donja ogrjevna vrijednost krutog goriva ovisno o kemijskom sastavu:

$$H_{dk} = 34,1 * c + 119,7(h - \frac{o}{8}) + 10,5 * s - 2,5(w + f) \quad (49)$$

pri čemu su:

- H_{dk} – gornja ogrijevna vrijednost krutog goriva, MJ/kg
 h – maseni udio vodika u krutom gorivu, kg/kg
 o – maseni udio kisika u krutom gorivu, kg/kg
 s – maseni udio sumpora u krutom gorivu, kg/kg
 w+f – maseni udio grube i fine vlage u gorivu, kg/kg
 Napomena: udjeli su izraženi po kg goriva.

ZADATAK 30.

Izračunajte donju ogrjevnu vrijednost suhe bukve koristeći izraz (49) i tablicu 12, te dobiveni rezultat usporedite sa tablicom 10.

Rješenje

Račun će biti izrađen za potpuno suho drvo, tj. $w+f=0$. Iz tablice 12. slijede maseni udjeli: $c=0,479$; $h=0,062$; $o=0,433$; $s=0,00015$.

$$H_{dk} = 34,1 * 0,479 + 119,7(0,062 - \frac{0,433}{8}) + 10,5 * 0,00015 - 2,5(0) = 17,28 \text{ MJ/kg}$$

Bukva iz tablice 10. $H_{dk} = 18,4 \text{ MJ/kg}$

razlika : 6,1%

Napomena: komentirajte rezultate zadatka 30.

ZADATAK 31.

Cijena hrastovih cjepanica duljine 1m iznosi 30 EUR/m³. Cjepanice su boravile u šumi dvije godine te je njihov udio vlage 30%. Izračunajte jediničnu cijenu energije ovog drveta EUR/kWh.

Zadano:

$$JC_{Vcjepanice-1} = 30 \text{ EUR/m}^3$$

$$w = 30 \%$$

$$H_{dk0} = 18,4 \text{ MJ/kg, tablica 10}$$

$$\rho_{g0} = 670 \text{ kg/m}^3, \text{ tablica 9}$$

Rješenje

1. Gustoća punog drveta sadržaja vlage 30% :

$$\rho_g = \frac{\rho_{g0} * 100}{100 - w} = \frac{670 * 100}{100 - 30} = 957,14 \text{ kg/m}^3$$

2. Donja ogrjevna vrijednost drva sadržaja vlage 30% :

$$H_{dk} = \frac{H_{dk0} * (100 - w) - 2,44 * w}{100} = \frac{18,4 * (100 - 30) - 2,44 * 30}{100} \\ = 12,148 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

3. Jedinična cijena krutog goriva – kao puno drvo:

$$JC_V \approx \frac{JC_{Vcjepanica}}{0,7} = 30/0,7 = 42,86 \text{ EUR/m}^3$$

4. Jedinična cijena punog drveta po kilogramu:

$$JC_m = \frac{JC_V}{\rho_g} = \frac{42,86}{957,14} = 0,045 \text{ EUR/kg}$$

5. Jedinična cijena energije:

$$JC = \frac{3,6}{H_{dk}} * JC_m = \frac{3,6}{12,148} * 0,045 = 0,0133 \text{ EUR/kWh}$$

ZADATAK 32.

Stupanj iskorištenja kotla na drva iznosi 71%. Izračunajte jediničnu cijenu energije za zagrijavanje prostora pomoću navedenog kotla. Koristite podatke iz zadatka 31.

ZADATAK 33.

Cijena hrastovih cjepanica duljine 1m iznosi 220 KN/m³ (2016). Cjepanice su boravile u šumi te je njihov udio vlage 40%. Izračunajte jediničnu cijenu energije ovog drveta KN/kWh.

Zadano:

$$JC_{Vcjepanice-1} = 220 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 40 \%$$

$$H_{dk0} = 18,4 \text{ MJ/kg}$$

$$\rho_{g0} = 670 \text{ kg/m}^3$$

Rješenje

1. Gustoća punog drveta sadržaja vlage 40% :

$$\rho_g = \frac{\rho_{g0} * 100}{100 - w} = \frac{670 * 100}{100 - 40} = 1116,67 \text{ kg/m}^3$$

2. Donja ogrjevna vrijednost drva sadržaja vlage 40% :

$$H_{dk} = \frac{H_{dk0} * (100 - w) - 2,44 * w}{100} = \frac{18,4 * (100 - 40) - 2,44 * 40}{100} = 10,064 \text{ MJ/kg}$$

3. Jedinična cijena krutog goriva – kao puno drvo:

$$JC_V \approx \frac{JC_{Vcjepanica}}{0,7} = 220/0,7 = 314,286 \text{ KN/m}^3$$

4. Jedinična cijena punog drveta po kilogramu:

$$JC_m = \frac{JC_V}{\rho_g} = \frac{314,286}{1116,67} = 0,281 \text{ KN/kg}$$

5. Jedinična cijena energije:

$$JC = \frac{3,6}{H_{dk}} * JC_m = \frac{3,6}{10,064} * 0,281 = 0,1005 \text{ KN/kWh}$$

Napomena: Istražite cijene i izračunajte zadatku sa valutom EUR.

ZADATAK 34.

Za grijanje obiteljske kuće zemnim plinom ukupno je utrošeno 12000 KN (2016) godišnje. Cijena zemnog plina iznosi 0,40 kn/kWh. Izračunajte koliko bi se novaca uštedjelo zamjenom plinskog kotla stupnja iskorištenja 0,91 sa kotлом na drvo stupnja iskorištenja 0,72. Jedinična cijena energije dobivene iz drveta iznosi 0,1005 KN/kWh.

Zadano:

$$C(\text{plin}) = 12\ 000 \text{ KN}$$

$$JC(\text{plin}) = 0,40 \text{ KN/kWh}$$

$$JC(\text{drva}) = 0,1005 \text{ KN/kWh}$$

$$\eta_{\text{plin}} = 0,91$$

$$\eta_{\text{drvo}} = 0,72$$

Rješenje

1. Potrošena energija plina PE (plin):

$$PE(\text{plin}) = C(\text{plin}) / JC(\text{plin}) = 12\ 000 / 0,4 = 30\ 000 \text{ kWh}$$

2. Potrebna energija za zagrijavanje obiteljske kuće - godišnje:

$$PE(\text{kuće}) = \eta_{\text{plin}} * PE(\text{plin}) = 30\ 000 * 0,91 = 27\ 300 \text{ kWh}$$

3. Potrebna energija drva PE(drva):

$$PE(\text{drva}) = PE(\text{kuće}) / \eta_{\text{drvo}} = 37\ 916,66 \text{ kWh}$$

4. Cijena drveta C (drva) :

$$C(\text{drva}) = PE(\text{drva}) * JC(\text{drva}) = 37\ 916,66 * 0,1005 = 3.810,63 \text{ kn}$$

5. Ušteda:

$$12\ 000 - 3.810,63 = 8.189,37 \text{ KN}$$

Istražite cijene drveta, skupite račune za zemni plin iz prethodne godine te izradite izračun uštede zamjenom energenta za vašu stambenu jedinicu.

ZADATAK 35.

U katalogu trgovačkog lanca (2021) nalaze se sljedeći podaci:

⑥ Ogrijevno drvo <ul style="list-style-type: none">• 100 % bukva• d 25 - 33 cm• paleta 1 x 1 x 1 m• vlažnost 24 - 45 %• kal. vrijednost 1.850 kWh/pm 24751256 699,- 22877800	⑤ Drveni briketi 'Premium' <ul style="list-style-type: none">• 10 kg• bukva• u foliji• kalorijska vrijednost 18 MJ/kg• udio pepela 0,53 %• udio vlage 8 %• 1 paleta sadrži 96 kom. 26883085 19,90	Peleti 'Premium' <ul style="list-style-type: none">• 15 kg • A1• 100 % smreka• energetska vrijednost 18 MJ/kg• udio pepela 0,5 % (prema EN PLUS A1 ≤ 0,7 %)• udio vlage 6,5 % (prema EN PLUS A1 ≤ 10 %)• CO₂ neutralan• u PVC vrećici• 1 paleta = 72 paketa 34,90
--	---	---

Slika 19. Cijene biomase trgovačkog centra

Izračunajte najpovoljniji energet.

Uputa: za procjenu je relevantna jedinična cijena energije.

Rješenje

1. Ogrjevno drvo

$$JC = \frac{699}{1850} = 0,378 \text{ HRK/kWh}$$

2. Drveni briketi

Donja ogrjevna vrijednost:

$$H_d = \frac{18}{3,6} = 5 \text{ kWh/kg}$$

Cijena 1kg briketa: 1,99 HRK/kg

$$JC = \frac{1,99}{5} = 0,398 \text{ HRK/kWh}$$

3. Peleti Premium

Donja ogrjevna vrijednost:

$$H_d = \frac{18}{3,6} = 5 \text{ kWh/kg}$$

Cijena 1kg briketa: 2,53 HRK/kg

$$JC = \frac{2,53}{5} = 0,506 \text{ HRK/kWh}$$

Najjeftinije je ogrjevno drvo, međutim nejasna je vlažnost drveta koja se odnosi na oglašenu ogrjevnu vrijednost (kalorična vrijednost).

Napomena: Istražite nove cijene i izradite analizu. Komentirajte dobivene rezultate.

ZADATAK 36.

Obiteljska kuća grijana je plinskim atmosferskim bojlerom stupnja iskorištenja $\eta_{AB} = 0,89$. Ukupni godišnji računi za zemni plin iznose (2020) 11 500 KN. Izračunajte vrijeme povrata investicije ukoliko se atmosferski bojler zamijeni kondenzacijskim bojlerom stupnja iskorištenja $\eta_{KB} = 0,98$ čija cijena zajedno sa ugradnjom iznosi 15 000 KN. Cijena plina iznosi 0,4 kn/kWh.

Pretpostavka: kondenzacijski bojler kontinuirano radi u kondenzacijskom modu.

Zadano:

$$C(\text{plin}) = 11\ 500 \text{ kn}$$

$$JC(\text{plin}) = 0,40 \text{ kn/kWh}$$

$$\eta_{AB} = 0,89$$

$$\eta_{KB} = 0,98$$

Rješenje

1. Potrošena energija plina PE (atmosf.):

$$PE(\text{atmosf.}) = C(\text{plin}) / JC(\text{plin}) = 11\ 500 / 0,4 = 28\ 750 \text{ kWh}$$

2. Potrebna energija za zagrijavanje obiteljske kuće - godišnje:

$$PE(\text{kuće}) = \eta_{AB} * PE(\text{atmosf.}) = 0,89 * 28750 = 25\ 587,5 \text{ kWh}$$

3. Potrebna energija za zagrijavanje upotrebom kondenzacijskog bojlera PE(kond.):

$$PE(\text{kond.}) = PE(\text{kuće}) / \eta_{KB} = 25\ 587,5 / 0,98 = 26\ 109,69 \text{ kWh}$$

4. Ušteda na energiji:

$$\Delta PE = PE(\text{atmosf.}) - PE(\text{kond.}) = 28\ 750 - 26\ 109,69 = 2\ 640,31 \text{ kWh}$$

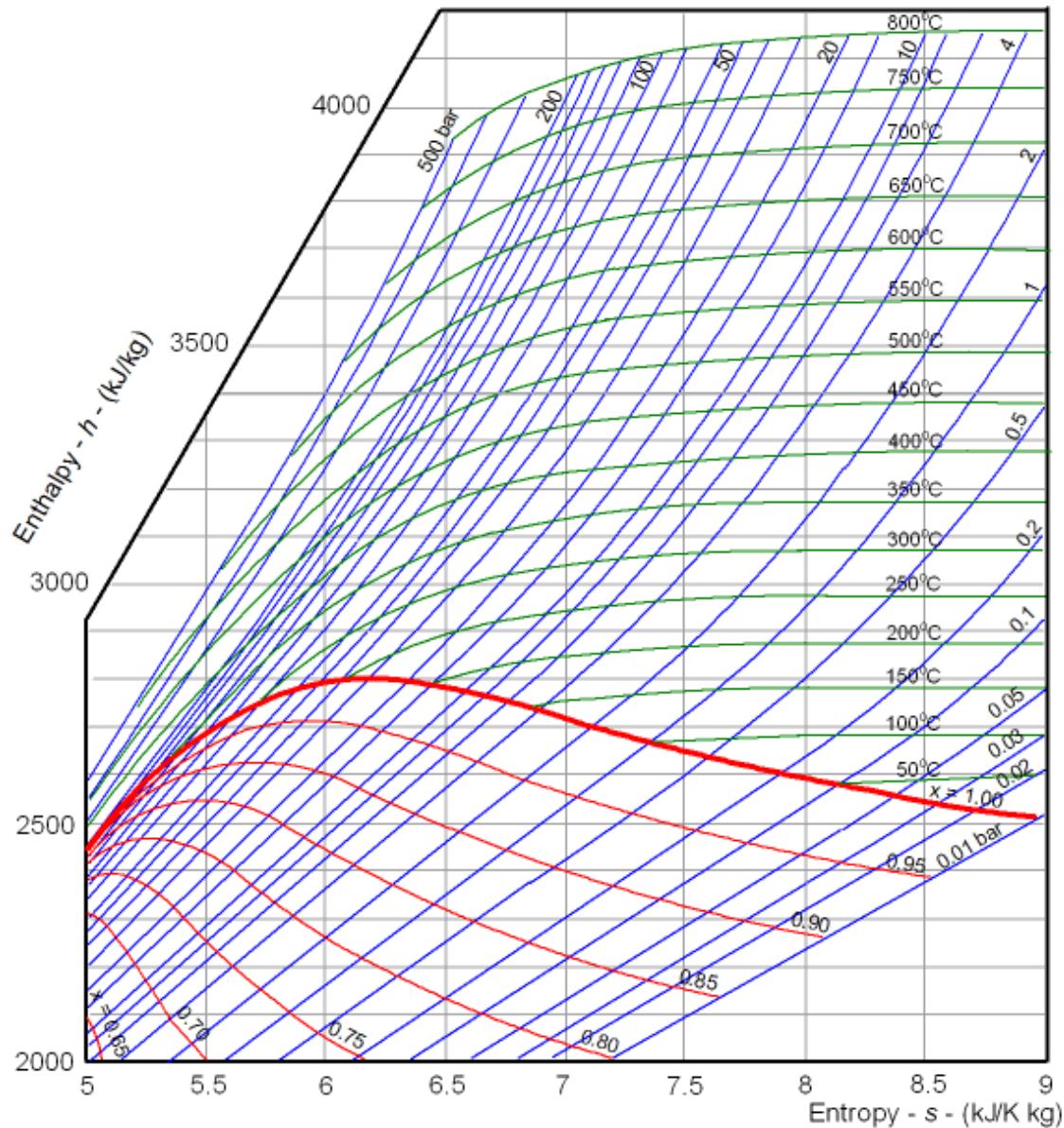
5. Ušteda u kunama:

$$\Delta C = \Delta PE * JC = 2\ 640,31 * 0,4 = 1\ 056,12 \text{ kn}$$

6. Povrat investicije:

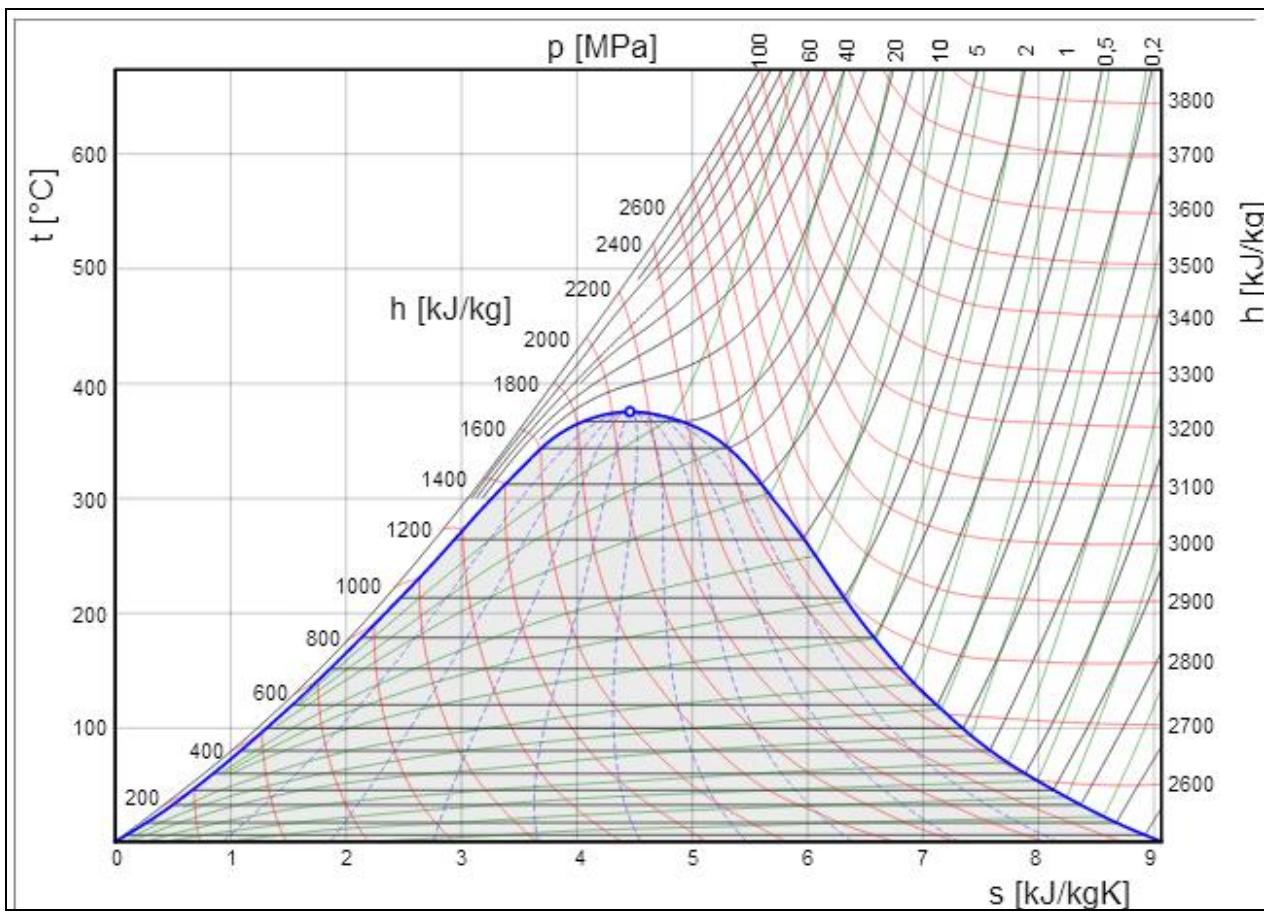
$$15\ 000 / 1\ 056,12 = 14,2 \text{ godine}$$

7. PRIMJENA VODENE PARE



Slika 20. h-s dijagram vodena para

Izvor: https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d_308.html



Slika 21. T-s dijagram vodena para

Izvor: https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d_308.html

Simboli

	Napojna pumpa – povisuje tlak vode(kapljivena)
	Parni kotao – dovodenjem topline vodena para isparava do stanja SUHOZASIČENE PARE
	Pregrijач vodene pare – izmjenjivač topline u suhozasičena vodena para dovođenjem topline prelazi u stanje pregrijane vodene pare
	Turbina – pregrijanja vodena para ADIJABATSKI ($\Delta s=0$, vertikalna linija h-s dijagram) ekspandira do stanja mokre pare.
	Kondenzator – mokra para, odvođenjem topline, prelazi u stanje kapljevine.

Snaga turbine:

$$P_T = D * (h_3 - h_4) * \eta_{mehanički} * \eta_{termički} \quad (48)$$

pri čemu su:

P _T -	snaga turbine, kW
D -	maseni protok vodene pare, kg/s
η _{termički} -	termički stupanj djelovanja turbine
η _{mehanički} -	mehanički stupanj djelovanja turbine
h ₃ -	entalpija vodene pare na ulazu u turbinu, kJ/kg
h ₄ -	entalpija vodene pare na izlazu iz turbine, kJ/kg

Potrebna toplina nastala izgaranjem goriva:

$$\Phi_{goriva} = \Phi / \eta_{kotla} \quad (49)$$

pri čemu su:

Φ _{goriva} -	toplinski tok nastao izgaranjem goriva, kW
Φ -	toplinski tok potreban za isparavanje vode u kotlu, kW
η _{kotla} -	stupanj iskorištenja kotla

Toplina potrebna za isparavanje vode u kotlu:

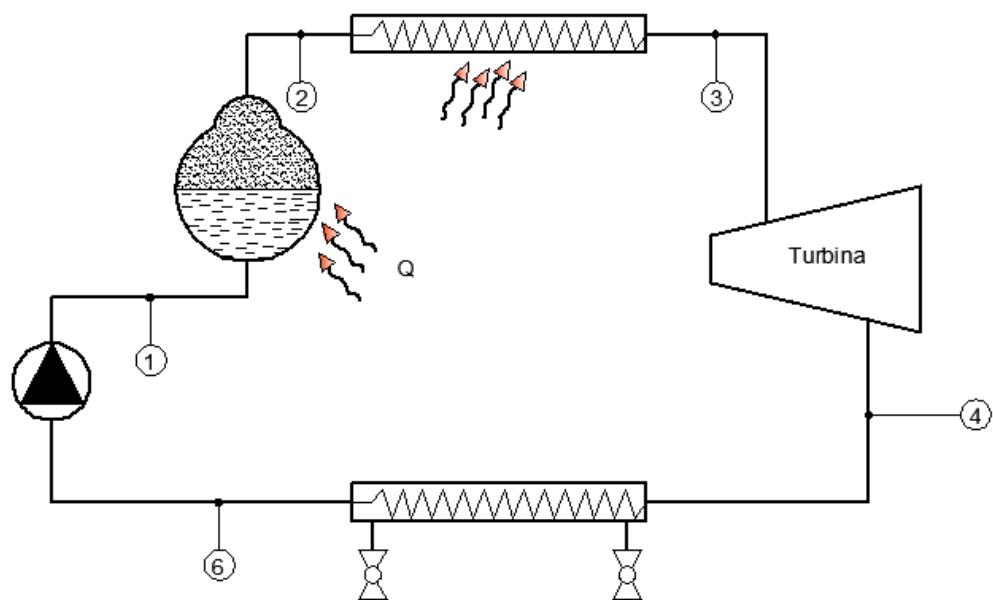
$$\Phi = (h_2 - h_1) * D \quad (50)$$

Toplina koja se predaje u kondenzatoru:

$$\Phi_{kond} = (h_6 - h_4) * D * \eta_{kond} \quad (51)$$

pri čemu su:

h ₁ , h ₂ , h ₃ , h ₄ , h ₆ -	entalpije vode, kJ/kg
η _{kond} -	stupanj iskorištenja kondenzatora



Slika 22. Kružni ciklus sa vodom

ZADATAK 38.

10000kg/h pregrijane vodene pare stanja 45bar i 380°C ulazi u turbinu te ekspandira do tlaka od 1.9 bar. Termički stupanj djelovanja turbine iznosi $\eta_{\text{termički}} = 0,7$ dok je mehanički stupanj djelovanja $\eta_{\text{mehanički}} = 0,9$.

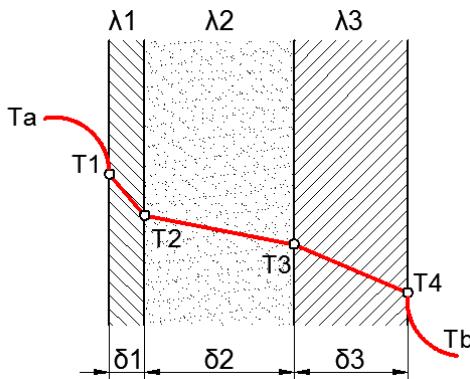
1. Izračunajte el.snagu turbine.
2. Izračunajte temperaturu kondenzacije.
3. Prikažite proces ekspanzije u h-s i T-s dijagramu.
4. Komentirajte dobivene rezultate.

ZADATAK 39.

Prilikom kondenzacije pare iz zadatka 38. (nakon izlaska iz turbine) oslobađa se toplina koja se može iskoristiti za zagrijavanje stambenih objekata.

1. Izračunajte broj objekata koji se mogu zagrijavati toplinom kondenzacije ako je toplina potrebna za zagrijavanje stambenih objekata u najnepovoljnijem zimskom periodu 25kW. Upute: prepostavite da mokra para tlaka 1.9 bara kondenzira do stanja vrele kapljevine te da $\eta_{\text{kond}} = 0,9$.
2. Proces prikažite u T-s dijagramu.
3. Komentirajte dobivene rezultate.

8. PRIJELAZ TOPLINE KROZ RAVNU STIJENKU



Slika 23. Prolaz topline kroz ravnu stijenku

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (52)$$

pri čemu su:

U – koeficijent prolaza topline, $\text{W/m}^2\text{K}$

α_1 – koeficijent konvekcije na strani prostorije = 7,7, $\text{W/m}^2\text{K}$

α_2 – koeficijent konvekcije na vanjskoj strani = 25, $\text{W/m}^2\text{K}$

δ – debljina komponente zida, m

λ – koeficijent toplinske vodljivosti, W/mK

$$\Phi = U * A * (\vartheta_a - \vartheta_b) \quad (53)$$

pri čemu su:

Φ – toplinski tok, W

A – površina zida, m^2

ϑ_a – temperaturna zraka u prostoriji, $^\circ\text{C}$

ϑ_b – vanjska temperaturna zraka, $^\circ\text{C}$

8.1. Transmisijski gubici

$$\Phi_T = H_T * (\vartheta_a - \vartheta_b) \quad (54)$$

$$H_T = U * A \quad (55)$$

pri čemu su:

H_T – koeficijent transmisijskog gubitka, W/K

Φ_T – transmisijski gubitak topline, W

Tablica 15. Koeficijent toplinske vodljivosti nekih materijala

Naziv materijala		λ (W/mK)																																								
	Porotherm 38 s plus (38x25x23,8cm, m=17 kg)	0,14																																								
	Ekoblok (25×19×19 cm, m=6,6 kg)	0,28																																								
	Knauf Insulation višenamjenska ploča DP 5 otpor difuziji vodene pare =1 <table border="1" data-bbox="377 557 838 871"> <thead> <tr> <th>Debljina (mm)</th> <th>Širina (mm)</th> <th>Duljina (mm)</th> <th>m²/paket</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>30</td><td>600</td><td>1000</td><td>9,00</td></tr> <tr><td>40</td><td>600</td><td>1000</td><td>8,40</td></tr> <tr><td>50</td><td>600</td><td>1000</td><td>6,00</td></tr> <tr><td>60</td><td>600</td><td>1000</td><td>4,80</td></tr> <tr><td>80</td><td>600</td><td>1000</td><td>3,60</td></tr> <tr><td>100</td><td>600</td><td>1000</td><td>2,40</td></tr> <tr><td>120</td><td>600</td><td>1000</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>140</td><td>600</td><td>1000</td><td>1,80</td></tr> <tr><td>160</td><td>600</td><td>1000</td><td>1,80</td></tr> </tbody> </table>	Debljina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	m ² /paket	30	600	1000	9,00	40	600	1000	8,40	50	600	1000	6,00	60	600	1000	4,80	80	600	1000	3,60	100	600	1000	2,40	120	600	1000	3,00	140	600	1000	1,80	160	600	1000	1,80	0,035
Debljina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	m ² /paket																																							
30	600	1000	9,00																																							
40	600	1000	8,40																																							
50	600	1000	6,00																																							
60	600	1000	4,80																																							
80	600	1000	3,60																																							
100	600	1000	2,40																																							
120	600	1000	3,00																																							
140	600	1000	1,80																																							
160	600	1000	1,80																																							
	stiroporom – EPS-F-ploča plus otpor difuziji vodene pare =0,4	0,032																																								

Izvor: <http://www.knaufinsulation.hr/sites/hr.knaufinsulation.net/files/ki-dp5-tehnicki-list.pdf>, <http://www.wienerberger.hr/newsfeed/u%C5%A1teda-energije-porotherm.html>, <http://www.eko.hr/opeka/nosivi-zidovi>, http://www.baumit.hr/front_content.php?idcat=846

8.2. Ventilacijski gubici

$$\Phi_V = H_V * (\vartheta_a - \vartheta_b) \quad (56)$$

$$H_V = V_i * \rho * c_p \approx V_i * 0,34 \quad (57)$$

$$V_i = V * n_{min} \quad (58)$$

Tablica 16. Minimalni broj izmjena zraka

Vrsta prostorije	Minimalni broj izmjena zraka n_{min} (1/h)
Prostorije za stanovanje, kancelarije	0,5
Kuhinja $<20\text{ m}^2$	1,0
WC ili kupaona s prozorom	0,5
Sporedne, unutrašnje prostorije	0,0

Izvor: Recknagel, str. 1064. Tabela 2.4.1-5

pri čemu su:

H_V – koeficijent ventilacijskog gubitka, W/K

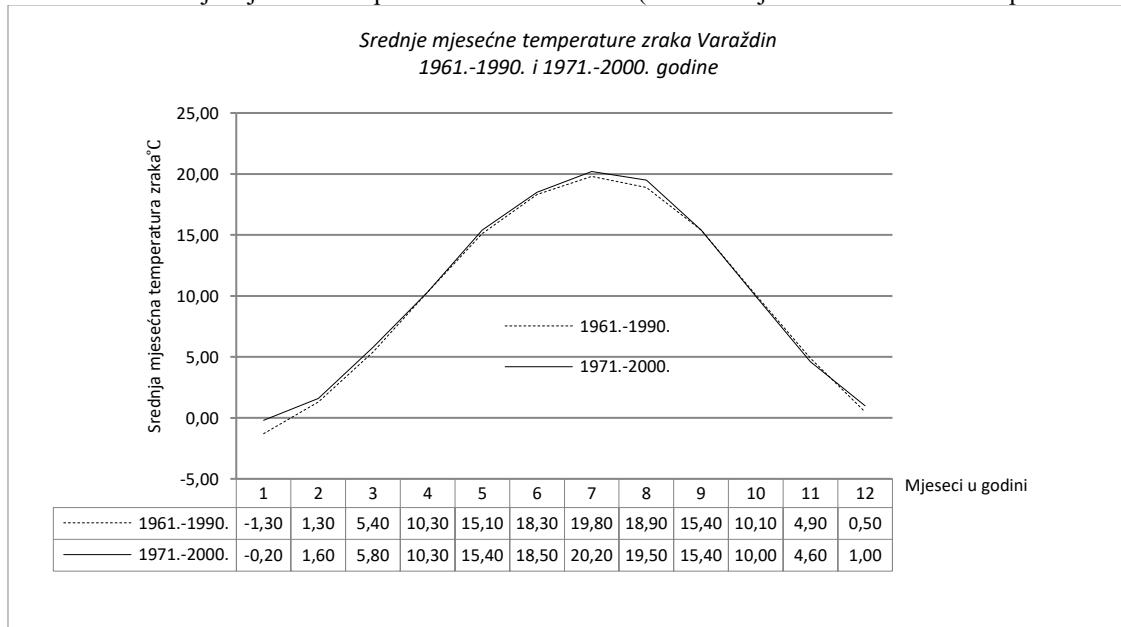
Φ_V – ventilacijski gubitak topline, W

V – volumen prostorije, m^3

n_{min} – minimalni broj izmjena zraka, 1/h

V_i – izmjena zraka, m^3/h

Tablica 17. Srednje mjesecne temperature zraka Varaždin (stvarne vrijednosti meteoroloških parametara)



Izvor: Horvat, M.; Kompresijske dizalice topline zrak-voda, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta, godina 5, broj 2, 2014.

Tablica 18. Referentne vrijednosti meteoroloških parametara za kontinentalnu Hrvatsku, ulazni podaci u proračun energetskog certifikata

Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Temperatura °C	0,3	3,2	7,5	11,8	15,9	19,2
Ozračenost kWh/m ²	31,94	48,61	94,44	128,06	170,00	181,11
J	43,61	57,78	86,11	83,61	87,78	83,61
I, Z	23,61	35,56	66,94	86,39	110,56	116,11
S	14,17	20,00	35,00	45,28	57,78	59,44
Stupanj-dan	607	467	385	234	0	0
Mjesec	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Temperatura °C	21,1	20,1	16,4	11,7	6,5	1,8
Ozračenost kWh/m ²	187,78	159,44	118,61	74,44	34,72	24,17
J	90,28	94,17	99,72	88,06	45,56	32,22
I, Z	121,94	106,94	84,72	55,56	25,56	17,22
S	59,44	51,67	37,78	26,67	15,28	11,39
Stupanj-dan	0	0	0	245	401	561

Izvor: *Priručnik za energetsko certificiranje zgrada, 2010.*, Program Ujedinjenih naroda za razvoj - UNDP

Ukupni gubici topline (mjesečna metoda) pri kontinuiranom grijanju

$$Q_{uk} = (H_{T,uk} + H_{V,uk}) * (\vartheta_a - \vartheta_b) * t - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad (59)$$

pri čemu su:

Q_{uk} – ukupna potrošnja energije za zagrijavanje, bez toplinskih dobitaka, kWh

ϑ_b – srednja mjesečna temperatura zraka, °C

t – proračunski vremenski period, ukupan broj sati u mjesecu, h

Napomena: podaci se ne mogu koristiti za energetski certifikat jer nisu upotrijebljene referentne vrijednosti za kontinentalnu Hrvatsku

Q_{int} – unutarnji toplinski dobici od ljudi, uređaji, rasvjeta..., kWh

Q_{sol} – toplinski dobici od Sunčevog zračenja, kWh

$$SD = \sum (\vartheta_a - \vartheta_{dan}) \quad (60)$$

$$Q_{uk,ref} = (H_{T,uk} + H_{V,uk}) * SD * 0,024 - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad (61)$$

pri čemu su:

SD (engl. HDD) – stupanj dan grijanja, K dan/godina

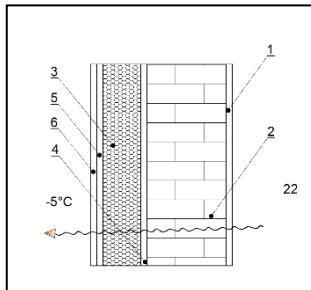
ϑ_{dan} – srednja dnevna temperatura zraka u danu grijanja, K

$Q_{uk,ref}$ – ukupna potrošnja energije za zagrijavanje, bez toplinskih dobitaka, izračunata metodologijom stupanj dan, kontinuirano 24 satno grijanje, kWh

ZADATAK 40.

Sastav zida dat je donjom slikom. Izračunajte koeficijent prolaza topline zida, te koeficijent transmisijskog gubitka. Visina zida iznosi 3m a dužina 10m.

br.	naziv	debljina (cm)	λ (W/mK)
1	žbuka	2	1
2	šuplji blokovi od gline	30	0.5
3	toplinska izolacija MW	10	0.048
4	polimerno cementno lijepilo	0,5	0.4
5	polimerno cementno lijepilo	0,5	0.4
6	silikatna žbuka	2	1
7.	$\alpha_v=25(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$		
8.	$\alpha_d=7,7(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$		



Slika 24. Zadatak 40

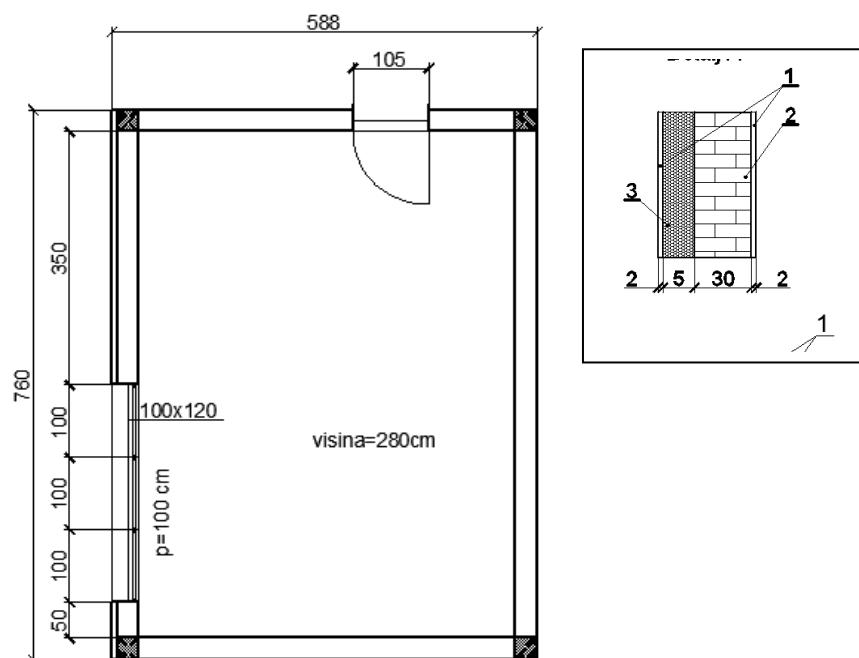
ZADATAK 41.

Na donjoj slici nalazi se tlocrt učionice koja se nalazi na prvom katu zgrade koja ima tri kata, učionica je okružena sa tri strana ostalim učionicama. Sastav vanjskih zidova dat je slikom. Koeficijent prolaza topline prozora iznosi $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Minimalni broj izmjena zraka učionice iznosi 1. Sezona grijanja je 10,11,12,1,2,3 i 4 mjesec. Unutarnja projektna temperatura zraka iznosi 20°C .

Izračunajte:

1. Gubitak topline učionice (proračun raditi za najekstremniji uvjet vanjske temperature od -21°C), uzimajući u obzir *vanjske mjere grubo obrađenih površina zidova, kao i svijetle otvore prozora*.
2. Potreban broj radijatora za zagrijavanje učionice (proračun raditi za najekstremniji uvjet vanjske temperature od -20°C). Koristiti podatke iz slike 21.
3. Potrošnju energije (kWh) za mjesec u kojim radi grijanje uzimajući u obzir srednje mjesecne temperature za Varaždin.
4. Cijenu grijanja ako je energet zemni plin.

U izračunima zanemariti gubitke topline cijevne mreže te stupanj iskorištenja kotla.



Slika 25. Zadatak 41.

solar		350/80	500/80	600/80	700/80
A Visina članka	mm	426	576	676	776
B Priklučna mjera	mm	350	500	600	700
C Širina članka	mm	81	81	81	81
D Ugradbena dubina	mm	80	80	80	80
Masa članka	kg	1,02	1,25	1,44	1,75
Sadržaj vode u članku	l	0,30	0,34	0,38	0,43
Ogrjevna površina	$\text{m}^2/\text{čl.}$	0,29	0,41	0,49	0,58
Toplinski učinak 90/70/ 20°C $\Delta T 60$	W/čl.	111	147	168	190
Toplinski učinak 75/65/ 20°C $\Delta T 50$	W/čl.	88	116	132	149
Toplinski učinak 55/45/ 20°C $\Delta T 30$	W/čl.	45	60	68	76
Eksponent toplinskog učinka	n	1,29	1,30	1,31	1,32

Ugradnja na otvoreni ravni zid

Slika 26. Učinak radijatora

Izvor: <http://www.lipovica.hr/hr/radijator-solar.html>

1. Transmisijski gubici topline

Proračun koeficijenta prolaza topline vanjskog zida:

br.	naziv	debljina (cm)	λ (W/mK)
1	žbuka	2	1
2	šuplji blokovi od gline	30	0.5
3	toplinska izolacija MW	5	0.048
	$\alpha_v=25(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$		
	$\alpha_u=7,7(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$		

$$U_{zid} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{2\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{7,7} + \frac{2 * 0,02}{1} + \frac{0,3}{0,5} + \frac{0,05}{0,048} + \frac{1}{25}} = 0,5401 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

Tablica 19. Pojednostavljeni proračun transmisijskih gubitaka topline (DIN4701), sivo – podaci uz vanjske projektne temperature

1	2	3	4	(5)=2x3x4	6	(7)=5-6	8	(9)=8x7	10	11	(12)=11-10	(13)=12x9
Naziv elementa	Broj	Širina	Dužina/visina	Brutto površina	Površina umanjenja	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Unutarnja temperatura	Vanjska projektna temperatura	Razlika temperature	Transmisijski gubitak topline
		(m)	(m)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	U(W/m ² K)	H _T (W/K)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)
prozor	3,00	1,00	1,20	3,6	0	3,6	1,20	4,32	20,00	-20,00	40,00	172,80
S-zid	1,00	7,60	2,80	21,28	3,6	17,68	0,54	9,55	20,00	-20,00	40,00	381,89
Ukupni koeficijent transmisijskog gubitka topline								13,87	Ukupni transmisijski gubitak topline			554,69

Napomena: proračun je rađen bez dodatka za toplinske mostove, $\Delta U_w = 0,05 \text{ (W/m}^2\text{K)}$, te korekcijskih faktora prema negrijanim prostorima i zemlji.

2. Ventilacijski gubici topline

Tablica 20. Pojednostavljeni proračun ventilacijskih gubitaka topline (DIN4701), sivo – podaci uz vanjske projektne temperature

1	2	3	4	(5)=2x3x4	(6)	(7)=5x6	8=0,34x(7)	9	10	(11)=9-10	(12)=11x8
Naziv elementa	Dužina	Širina	Visina	Volumen	Broj izmjena zraka	Volumni protok zraka	Koeficijent ventilacijskog gubitka	Unutarnja temperatura zraka	Vanjska projektna temperatura	Razlika temperature	Ventilacijski gubitak
	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(1/h)	(m ³ /h)	H _V (W/K)	(°C)	(°C)	(°C)	Φ _V (W)
učionica	7	5,07	2,80	99,372	1	99,372	33,786	20	-20	40	1351,44

Napomena: proračun je rađen samo temeljem satnih izmjena zraka i služi kao orientacijska vrijednost

Ukupni gubici topline u najekstremnijem slučaju:

$$\Phi_{UK} = \Phi_T + \Phi_V = 554,69 + 1351,44 = 1906,13(\text{W})$$

Tablica 21. Pojednostavljeni proračun radijatora za vanjsku projektну temperaturu

1	2	3	4	5	(6)=5/4	(7)=4x6
Tip radijatora	Režim grijanja	Dimenzije radijatora	Toplinski učinak za režim grijanja	Ukupni toplinski gubitak	Broj članaka (cjelobrojni)	Instalirana snaga radijatora
			(W/čl)	(W)	(čl.)	(W)
Lipovica „Solar“ 700/80	75°C /65°C /20°C	776x81x80	149	1906,13	13	1937

Tablica 22. Pojednostavljeni proračun potrošnje energije- mjeseca metoda bez toplinskih dobitaka, kontinuirano grijanje

1	2	3	(4)=3-2	5	6	(7)=5+6	(8)=7x4	9	10	(11)=10x9	(12)=11x8	13	(14)=13x12
Mjesec u godini	Srednja mjeseca temperatura zraka (Varaždin)	Unutarnja temperatura zraka	Razlika temperature	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Koeficijent ventilacijskog gubitka topline	Ukupni koeficijent gubitaka topline	Gubitak topline	Broj dana grijanja	Dnevno sati grijanja	Ukupno sati grijanja mjesечно	Potrošnja energije	Jedinična cijena energenta	Trošak energije
	(°C)	(°C)	(°C)	H _{T,uk} (W/K)	H _{V,uk} (W/K)	H _{uk} (W/K)	(W)	-	(h)	(h)	(kWh)	(kN/kWh)	(KN)
Siječanj	-1,30	20,00	21,30	13,87	33,79	47,65	1015,05	31,00	24,00	744,00	755,20	0,40	302,08
Veljača	1,30	20,00	18,70	13,87	33,79	47,65	891,15	28,00	24,00	672,00	598,85	0,40	239,54
Ožujak	5,40	20,00	14,60	13,87	33,79	47,65	695,76	31,00	24,00	744,00	517,65	0,40	207,06
Travanj	10,30	20,00	9,70	13,87	33,79	47,65	462,25	30,00	24,00	720,00	332,82	0,40	133,13
Listopad	10,10	20,00	9,90	13,87	33,79	47,65	471,78	31,00	24,00	744,00	351,01	0,40	140,40
Studeni	4,90	20,00	15,10	13,87	33,79	47,65	719,59	30,00	24,00	720,00	518,10	0,40	207,24
Prosinac	0,50	20,00	19,50	13,87	33,79	47,65	929,27	31,00	24,00	744,00	691,38	0,40	276,55
Godišnja potrošnja energije za grijanje:											3765,01		1506,00

Napomena: podaci se ne mogu koristiti za energetski certifikat jer nisu upotrijebljene referentne vrijednosti za kontinentalnu Hrvatsku i služe kao orijentacijske vrijednosti

Godišnja potrošnja energije učionice po m² : 3765,01/35,49 = **106,09 kWh/m²a**

1. Povećanje debljine izolacije na 15 cm.

$$U_{zid} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{2\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{7,7} + \frac{2 * 0,02}{1} + \frac{0,3}{0,5} + \frac{0,15}{0,048} + \frac{1}{25}} = 0,2541 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

1	2	3	4	(5)=2x3x4	6	(7)=5-6	8	(9)=8x7	10	11	(12)=11-10	(13)=12x9
Naziv elementa	Broj	Širina	Dužina/visina	Brutto površina	Površina umanjenja	Neto površina	Koeficijent prolaza topline	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Unutarnja temperatura	Standardna vanjska temperatura	Razlika temperature	Transmisijski gubitak topline
		(m)	(m)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	U(W/m ² K)	H _T (W/K)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)
prozor	3,00	1,00	1,20	3,6	0	3,6	1,20	4,32	20,00	-20,00	40,00	172,80
S-zid	1,00	7,60	2,80	21,28	3,6	17,68	0,2541	4,49	20,00	-20,00	40,00	179,70
<i>Ukupni koeficijent transmisijskog gubitka topline</i>							8,81	<i>Ukupni transmisijski gubitak topline</i>			352,50	

Napomena: proračun je raden bez dodatka za toplinske mostove, $\Delta U_w = 0,05$ (W/m²K), te korekcijskih faktora prema negrijanim prostorima i zemlji

1	2	3	(4)=3-2	5	6	(7)=5+6	(8)=7x4	9	10	(11)=10x9	(12)=11x8	13	(14)=13x12
Mjesec u godini	Srednja mješevina temperaturne razlike zraka (Varaždin)	Unutarnja temperatura zraka	Razlika temperature	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Koeficijent ventilacijskog gubitka topline	Ukupni koeficijent gubitaka topline	Gubitak topline	Broj dana grijanja	Dnevno sati grijanja	Ukupno sati grijanja mjesечно	Potrošnja energije	Jedinična cijena energenta	Trošak energije
	(°C)	(°C)	(°C)	H _{T,uk} (W/K)	H _{V,uk} (W/K)	H _{uk} (W/K)	(W)		(h)	(h)	(kWh)	(HRK/kWh)	(KN)
Siječanj	-1,30	20,00	21,30	8,81	33,79	42,60	907,35	31,00	24,00	744,00	675,07	0,40	270,03
Veljača	1,30	20,00	18,70	8,81	33,79	42,60	796,59	28,00	24,00	672,00	535,31	0,40	214,12
Ožujak	5,40	20,00	14,60	8,81	33,79	42,60	621,94	31,00	24,00	744,00	462,72	0,40	185,09
Travanj	10,30	20,00	9,70	8,81	33,79	42,60	413,21	30,00	24,00	720,00	297,51	0,40	119,00
Listopad	10,10	20,00	9,90	8,81	33,79	42,60	421,73	31,00	24,00	744,00	313,76	0,40	125,51
Studeni	4,90	20,00	15,10	8,81	33,79	42,60	643,24	30,00	24,00	720,00	463,13	0,40	185,25
Prosinac	0,50	20,00	19,50	8,81	33,79	42,60	830,67	31,00	24,00	744,00	618,02	0,40	247,21
Godišnja potrošnja energije za grijanje:											3365,52		1346,21

Napomena: podaci se ne mogu koristiti za energetski certifikat jer nisu upotrijebljene referentne vrijednosti za kontinentalnu Hrvatsku i služe kao orientacijske vrijednosti

Godišnja potrošnja energije učionice po m² : 3365,52/35,49 = **94,83 kWh/m²a**

Godišnja ušteda: 1506,00-1346,21=159,79 HRK

2. Povećanje debljine izolacije na 15 cm + prozori U=0,6 8W/m²K

$$H_{T,uk} = 6,65 \text{ W/K}$$

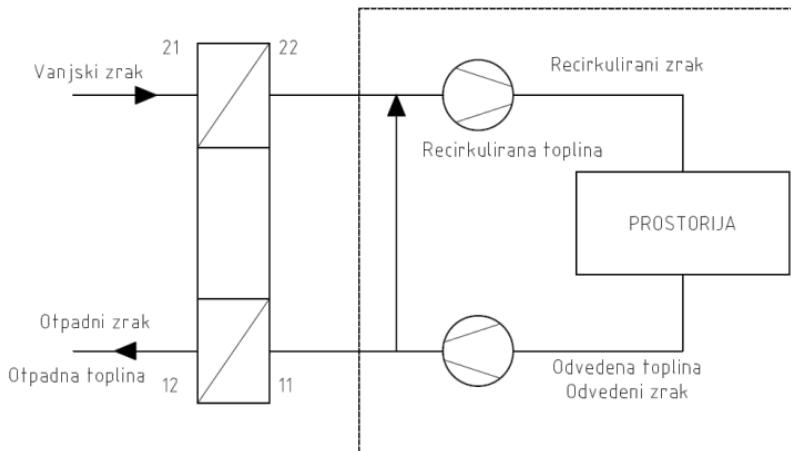
1	2	3	(4)=3-2	5	6	(7)=5+6	(8)=7x4	9	10	(11)=10x9	(12)=11x8	13	(14)=13x12
Mjesec u godini	Srednja mješevina temperature zraka (Varaždin)	Unutarnja temperatura zraka	Razlika temperature	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Koeficijent ventilacijskog gubitka topline	Ukupni koeficijent gubitaka topline	Gubitak topline	Broj dana grijanja	Dnevno sati grijanja	Ukupno sati grijanja mješevno	Potrošnja energije	Jedinična cijena energenta	Trošak energije
	(°C)	(°C)	(°C)	H _{T,uk} (W/K)	H _{V,uk} (W/K)	H _{uk} (W/K)	(W)		(h)	(h)	(kWh)	(HRK/kWh)	(KN)
Siječanj	-1,30	20,00	21,30	6,65	33,79	40,44	861,34	31,00	24,00	744,00	640,84	0,40	256,33
Veljača	1,30	20,00	18,70	6,65	33,79	40,44	756,20	28,00	24,00	672,00	508,17	0,40	203,27
Ožujak	5,40	20,00	14,60	6,65	33,79	40,44	590,40	31,00	24,00	744,00	439,26	0,40	175,70
Travanj	10,30	20,00	9,70	6,65	33,79	40,44	392,25	30,00	24,00	720,00	282,42	0,40	112,97
Listopad	10,10	20,00	9,90	6,65	33,79	40,44	400,34	31,00	24,00	744,00	297,85	0,40	119,14
Studeni	4,90	20,00	15,10	6,65	33,79	40,44	610,62	30,00	24,00	720,00	439,65	0,40	175,86
Prosinac	0,50	20,00	19,50	6,65	33,79	40,44	788,55	31,00	24,00	744,00	586,68	0,40	234,67
Godišnja potrošnja energije za grijanje:											3194,87		1277,95

Napomena: podaci se ne mogu koristiti za energetski certifikat jer nisu upotrijebljene referentne vrijednosti za kontinentalnu Hrvatsku i služe kao orijentacijske vrijednosti

Godišnja potrošnja energije učionice po m² : 3194,87/35,49 = **90,02 kWh/m²a**

Godišnja ušteda: 1506,00-1277,95=228,05 HRK

8.1. Rekuperacija



Slika 27. Princip rada rekuperatora

Stupanj rekuperacije Φ_R na strani vanjskog zraka:

$$\Phi_R = \frac{\vartheta_{22} - \vartheta_{21}}{\vartheta_{11} - \vartheta_{21}} \quad (62)$$

1	2	3	4	(5)=2x3x4	(6)	(7)=5x6	8=0,34x(7)	9	10	(11)=9-10	(12)=11x8	13	(14)=12x13	(15)=14-12
Naziv elementa	Dužina	Širina	Visina	Volumen	Broj izmjena zraka	Volumni protok zraka	Koeficijent ventilacijskog gubitka	Unutarnja temperatura zraka	Vanjska temperatura zraka	Razlika temperature	Ventilacijski gubitak	Stupanj rekuperacije, povrata topline	Povrat topline	Ventilacijski gubitak sa rekuperacijom
	(m)	(m)	(m)	(m³)	(1/h)	(m³/h)	H _V (W/K)	(°C)	(°C)	(°C)	Q _V (W)	Φ _R	Q _{V,pov}	Q _{VR}
učionica	7	5,07	2,80	99,372	1	99,372	33,786	20	-21	41	1385,246	0,6	831,148	554,098

Tablica 23. Pojednostavljeni proračun potrošnje energije- mjeseca na metoda bez toplinskih dobitaka, kontinuirano grijanje, rekuperacija osjetne topline

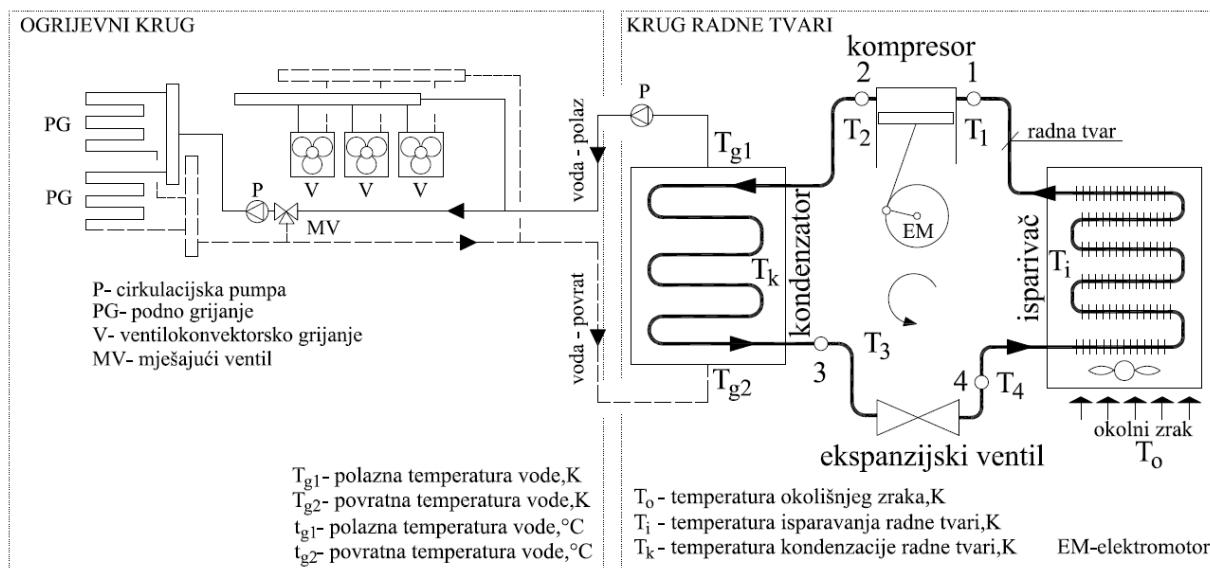
1	2	3	(4)=3-2	5	6	(7)=5+6	8	9	10	(11)=5x4x10	(12)=6x4x10 0	13	(14)=13x12	(15)=11+12- 14	15	(16)=15x14
Mjesec u godini	Srednja mjeseca temperatura zraka (Varaždin)	Unutarnja temperatura zraka	Razlika temperatura	Koeficijent transmisijskog gubitka topline	Koeficijent ventilacijskog gubitka topline	Ukupni koeficijent gubitka topline	Broj dana grijanja	Dnevno sati grijanja	Ukupno sati grijanja mješevno	Potrošnja energije transmisijski gubici	Potrošnja energije ventilacijski gubici (bez rek.)	Stupanj povrata topline (osjetne) rekuperator a	Ušteda energije uslijed rekuperacije	Potrošnja energije	Jedinična cijena energenta	Trošak energije
	(°C)	(°C)	(°C)	H _{T,uk} (W/K)	H _{V,uk} (W/K)	H _{uk} (W/K)		h	h	Φ _T (kWh)	Φ _V (kWh)	Φ	Φ _R (kWh)	Φ _{uk} (kWh)	JC(HRK/k Wh)	CE (HRK)
Siječanj	-1,30	20,00	21,30	6,65	33,79	40,44	31,00	24,00	744,00	105,42	535,48	0,60	321,29	319,61	0,40	127,85
Veljača	1,30	20,00	18,70	6,65	33,79	40,44	28,00	24,00	672,00	83,60	424,62	0,60	254,77	253,45	0,40	101,38
Ožujak	5,40	20,00	14,60	6,65	33,79	40,44	31,00	24,00	744,00	72,26	367,04	0,60	220,22	219,08	0,40	87,63
Travanj	10,30	20,00	9,70	6,65	33,79	40,44	30,00	24,00	720,00	46,46	235,99	0,60	141,59	140,86	0,40	56,34
Listopad	10,10	20,00	9,90	6,65	33,79	40,44	31,00	24,00	744,00	49,00	248,88	0,60	149,33	148,55	0,40	59,42
Studenii	4,90	20,00	15,10	6,65	33,79	40,44	30,00	24,00	720,00	72,33	367,36	0,60	220,42	219,27	0,40	87,71
Prosinc	0,50	20,00	19,50	6,65	33,79	40,44	31,00	24,00	744,00	96,51	490,23	0,60	294,14	292,60	0,40	117,04
Sume:										525,58	2669,60	-	1601,76	1593,42	-	637,37

Napomena: podaci se ne mogu koristiti za energetski certifikat jer nisu upotrijebljene referentne vrijednosti za kontinentalnu Hrvatsku i služe kao orientacijske vrijednosti

Godišnja potrošnja energije učionice po m² : 1593,42/35,49 = **44,9 kWh/m²a**

Godišnja ušteda: 1506,00-637,37=868,63 KN

9. KOMPRESIJSKE DIZALICE TOPLINE ZRAK - VODA



Slika 28. Princip rada kompresijske dizalice topline zrak-voda

$$(COP) \varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov}}{P_{el}} > 1 \quad (63)$$

pri čemu je:

ε_{DT} – faktor grijanja ili toplinski množitelj (COP engl. coefficient of performance) dizalice topline

Φ_{dov} – dovedeni toplinski tok tvodi (ogrijevog kruga), kW

P_{el} – nazivna električna snaga dizalice topline, kW

Tablica 24. Faktor grijanja dizalice topline zrak-voda proizvođača Daikin

MODEL	Izlazna temperatura vode t _{g1} , °C	Napomena: podatci za Q _{dov} izmjereni su za t _{g1} -t _{g2} =Δt=3-8 °C								
		30			45			55		
	Temperatura zraka t _o , °C	Q _{dov} , kW	P _{el} , kW	COP ε_{DT}	Q _{dov} , kW	P _{el} , kW	COP ε_{DT}	Q _{dov} , kW	P _{el} , kW	COP ε_{DT}
	-20	5,86	2,33	2,52	-	-	-	-	-	-
	-15	6,63	2,36	2,81	-	-	-	-	-	-
	-7,2	8,14	2,38	3,42	7,32	3,32	2,20	-	-	-
	-3,9	9,28	2,38	3,90	8,41	3,35	2,52	-	-	-
	2,2	10,33	2,37	4,36	9,43	3,35	2,81	8,51	4,13	2,06
	7,2	11,80	2,35	5,02	10,87	3,35	3,25	9,88	4,14	2,39
	12,2	12,80	2,29	5,60	11,89	3,29	3,62	10,90	4,08	2,67
	15	13,84	2,26	6,12	12,93	3,27	3,95	11,89	4,07	2,92
	20	15,74	2,22	7,08	14,86	3,24	4,57	13,33	4,05	3,29

Izvor:<http://thermalproductsinc.com/wp-content/uploads/2010/06/Daikin-Altherma-Engineering-Data1.pdf>

ZADATAK 36.

Grijanje nisko energetske obiteljske kuće riješeno je dizalicom topline zrak-voda. Grijanje je izvedeno:

- a) kao nisko temperaturno podno grijanje ulazne temperature vode u sistem od 45°C
- b) kao toplo zračno ventilokonvektorsko grijanje ulazne temperature vode u sistem od 30°C .

Ukupni gubici kuće u režimu vanjske temperature od -3°C iznose $9,1\text{ kW}$.

Izračunajte potrošnju električne energije dizalice topline zrak-voda za slučaj a) i b).

Zadano:

$$Q_{\text{dov}} = 9,1 \text{ kW}$$

$$t_{g1} = 45^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}$$

$$t_o = -3^{\circ}\text{C}$$

Rješenje

1. Za slučaj nisko temperaturnog podnog grijanja iz tablice 12 očitavamo:

$$\text{COP} = 2,52 \text{ (očitavamo nižu vrijednost)}$$

$$P_{\text{el}} = Q_{\text{dov}} / \text{COP} = 9,1 / 2,52 = 3,61 \text{ kW}$$

2. Za slučaj toplo zračnog ventilokonvektorskog grijanja:

$$\text{COP} = 3,9$$

$$P_{\text{el}} = Q_{\text{dov}} / \text{COP} = 9,1 / 3,9 = 2,33 \text{ kW}$$

ZADATAK 37.

Došlo je do povećanja vanjske temperature zraka na 3°C . Pri tome ukupni gubici iznose 7 kW .

Izračunajte potrošnju električne energije dizalice topline zrak-voda u režimima kao i u

prethodnom zadatku. Komentirajte rezultate.

10. VLAŽNI ZRAK

- binarna mješavina SUHOG UZDUHA(zrak bez vode, smjesa dušika, kisika i ostalih plinova) i VLAGE.

Pojmovi: suhi zrak, sušti uzduh; vlaga; vlažni zrak; absolutna vlaga; relativna vlažnost; relativna vlažnost.

$$x = \frac{m_w}{m_u} \quad (64)$$

$$g_w = \frac{m_w}{m_w + m_u} \quad (65)$$

pri čemu su:

x – absolutna vlaga, kg_w/kg_u (suhi, sušti zrak, uzduh)

m_w – masa vlage, kg

m_u – masa suhog uzduha, suštog uzduha, kg

g_w – maseni udio vlage u vlažnom zraku, kg/kg

x – granična vlažnost (vodena para) koju zrak može sadržavati

$$\varphi = \frac{x}{x} * 100 = \frac{p_w}{p_z} \quad (66)$$

pri čemu su:

φ – relativna vlažnost, %

p_w – parcijalni tlak vodene para, Pa

p_z – parcijalni tlak vodene pare u zasićenom stanju, Pa

$$p = p_u + p_w \quad (67)$$

p – ukupni tlak vlažnog zraka, Pa

p_u – parcijalni tlak suhog uzduha, Pa

$$p_u = p - (\varphi * p_z) \quad (68)$$

Tablica 25. Stanja zasićenog vlažnog zraka kod ukupnog tlaka od ≈ 1 bar

Temperatura		Parcijalni tlak pare u zasićenom zraku	Građišna vlažnost	Entalpija zasićenog vlažnog zraka		Temperatura	Parcijalni tlak pare u zasićenom zraku	Građišna vlažnost	Entalpija zasićenog vlažnog zraka	
T K	t °C	p_z N/m ²	x' g _w /kg _u	h kJ/kg		T K	p_z N/m ²	x' g _w /kg _u	h kJ/kg	
253	-20	103	0,654	-18,4		309	36	5945	40,1	139,4
255	-18	125	0,792	-16,3		310	37	6278	42,5	146,5
257	-16	150	0,955	-13,8		311	38	6622	45,1	154,0
259	-14	180	1,150	-11,3		312	39	6995	47,8	162,0
261	-12	217	1,379	-8,8		313	40	7377	50,6	170,4
263	-10	260	1,650	-5,9		314	41	7779	53,6	179,2
265	-8	310	1,969	-3,18		315	42	8201	56,8	188,8
267	-6	368	2,343	-0,21		316	43	8643	60,1	198,4
269	-4	436	2,781	2,89		317	44	9104	63,7	208,8
271	-2	517	3,30	6,3		318	45	9584	67,4	218,9
273	0	611	3,90	9,6		319	46	10084	71,4	231,1
275	2	705	4,51	13,0		320	47	10614	75,5	243,2
277	4	813	5,20	17,2		321	48	11164	79,9	255,3
279	6	935	5,98	20,9		322	49	11743	84,6	268,7
281	8	1069	6,88	25,5		323	50	12341	89,5	282,6
283	10	1226	7,88	29,7		325	52	13616	100	313,1
284	11	1315	8,44	32,2		327	54	15009	112	346,6
285	12	1403	9,02	34,7		329	56	16510	126	385,9
286	13	1501	9,64	37,2		331	58	18148	141	427,0
287	14	1599	10,30	40,1		333	60	19924	158	474,3
288	15	1707	11,00	42,7		335	62	21847	178	529,1
289	16	1815	11,74	45,6		337	64	23917	200	590,2
290	17	1933	12,54	48,5		339	66	26153	226	659,3
291	18	2060	13,37	51,9		341	68	28567	256	741,3
292	19	2197	14,25	55,2		343	70	31166	290	833,0
293	20	2335	15,19	58,6		345	72	33972	329	941,8
294	21	2482	16,18	61,9		347	74	36974	376	1072
295	22	2639	17,24	65,7		349	76	40201	432	1218
296	23	2806	18,33	69,5		351	78	43664	499	1398
297	24	2982	19,51	73,6		353	80	47372	580	1620
298	25	3169	20,77	77,9		355	82	51346	683	1896
299	26	3365	22,09	82,0		357	84	55593	813	2248
300	27	3561	23,47	86,6		359	86	60125	986	2713
301	28	3777	24,93	91,6		361	88	64972	1219	3340
302	29	4002	26,49	97,1		363	90	70132	1559	4257
303	30	4238	28,14	102,1		365	92	75635	2092	5688
304	31	4493	29,88	107,6		367	94	81492	3050	8288
305	32	4758	31,69	113,4		369	96	87721	5250	14190
306	33	5033	33,64	119,3		371	98	94333	15600	42030
307	34	5317	35,69	125,6		373	100	101357	—	—
308	35	5621	37,9	132,3						

Izvor: Kostelić, Nauka o topolini sa zadacima, Tablice, Školska knjiga 1989.

10.1. Entalpija vlažnog zraka

$$h = h_u + h_d * x_d + h_f * x_f + h_s * x_s \text{ pri čemu su:}$$

h – ukupna entalpija zraka (kJ/kg suhog uzduha)

h_u – entalpija zraka (suhog uzduha) = $c_p \cdot t$ (kJ/kg suhog uzduha) $\sim 1 \cdot t$

h_d – entalpija vodene pare u zraku = $1,93 \cdot t + 2500$ (kJ/kg_{vode}) = entalpija pare + toplina isparavanja pare (koliko je potrebna energija za isparavanje vode)

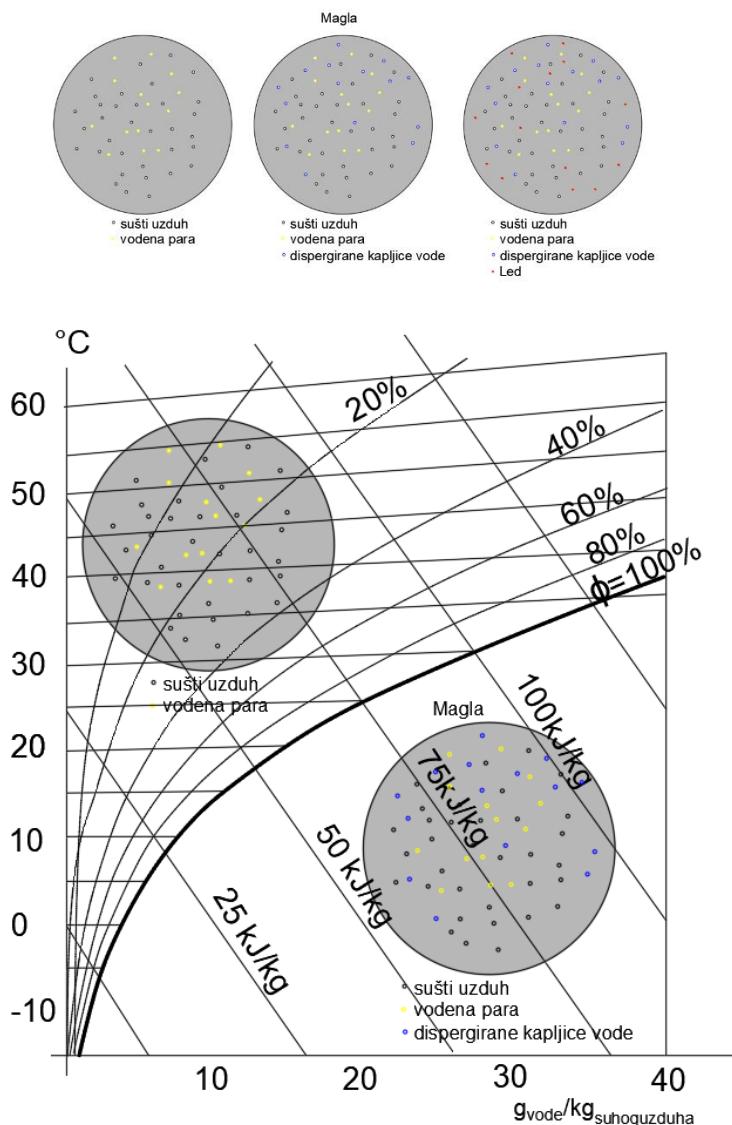
h_f – entalpija vode u zraku $\sim 4,186 \cdot t$ (kJ/kg_{vode})

h_s - entalpija leda $\sim -(335 + 2,1 \cdot t)$ gdje je 335 toplina taljenja leda a 2,1 kJ/kg specifični toplinski kapacitet leda

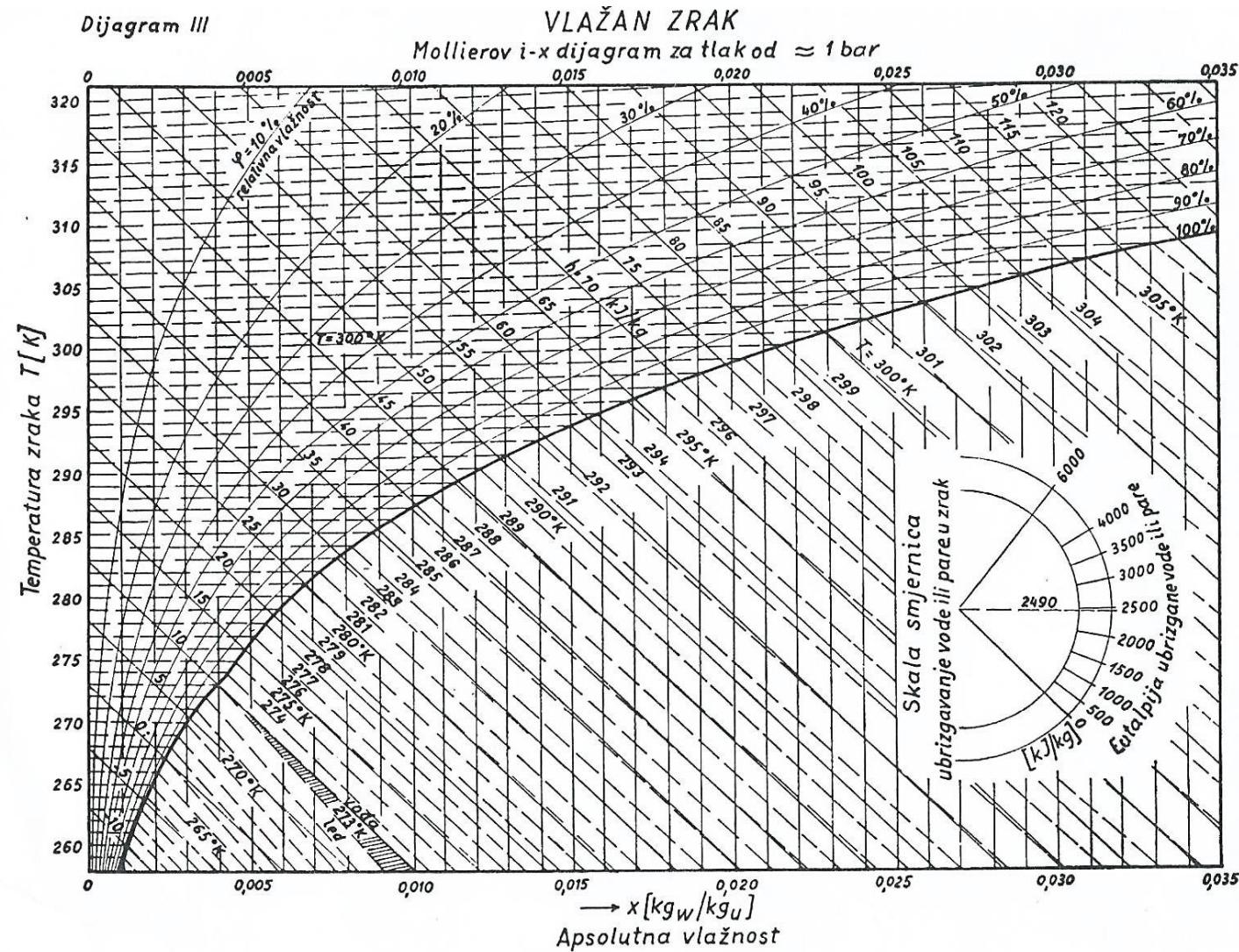
x_d - sadržaj vlage u suštom zraku (kg_{vode}/kg_{suhi zrak})

x_f - sadržaj kapljicične vlage u suštom zraku (kg_{kapljicične vlage}/kg_{suhi zrak})

x_s – sadržaj leda u suštom zraku (kg leda /kg_{suhi zrak})



Slika: 29. h-x dijagram za vlažni zrak



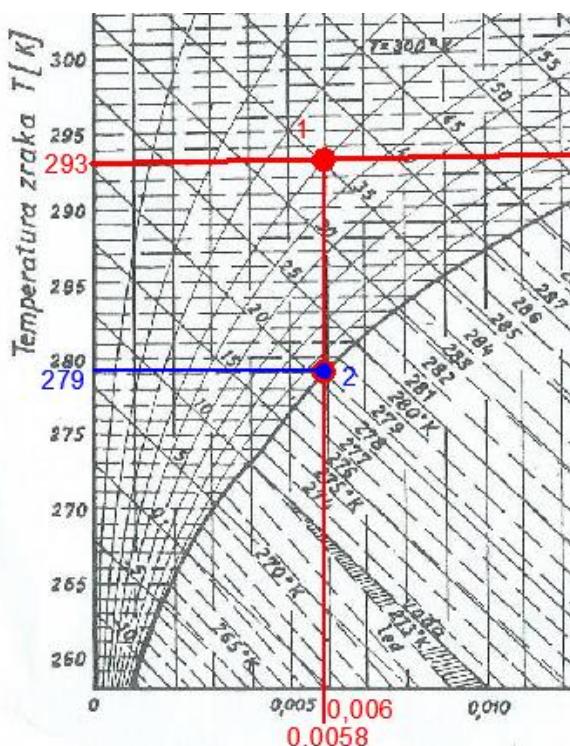
Slika 30. h-x dijagram vlažni zrak. Izvor: Kostelić,A.: Nauka o toplini sa zadacima, Tablice, Školska knjiga 1989.

ZADATAK 40.

U prostoriji dimenzija $5 \times 5 \times 3$ m nalazi se vlažni zrak ukupnog tlaka 1 bar. temperature 20°C i relativne vlažnosti 40 %. Potrebno je odrediti:

1. Sadržaj vlage tog zraka.
 2. Temperaturu rosišta tog zraka.
 3. Kolika je masa vode u obliku vodene pare koja se nalazi u zraku.
- Upute: koristiti h-x dijagram

Rješenje



1. Iz dijagraama za točku 1 očitavamo na osi x, sadržaj vlage u zraku od $0,0058 \text{ kg}_w / \text{kg}_u$
 2. Iz dijagraama na osi y, od točke 2 lijevo (plavo), očitavamo 279 K odnosno 6°C
 3. Masa vode u obliku vodene pare koja se nalazi u zraku.
- Masu suhog zraka određujemo iz jednadžbe stanja idealnog plina:

$$p_u * V = m_u * R_u * T$$

$$m_u = \frac{p_u * V}{R_u * T} = \frac{(p - (\varphi * p_z)) * V}{R_u * T} = \frac{(100000 - (0,4 * 935)) * 75}{287 * 308} = 84,53 \text{ (kg)}$$

$$m_w = m_u * x = 84,53 * 0,0058 = 0,49 \text{ (kg)}$$

10.2. Odavanje vodene pare

Ljudsko tijelo osim odavanja topline uslijed metaboličkih procesa odaje i vlagu u obliku vodene pare procesima disanja i znojenja (hlađenja).

$$\Delta m_w = G_D * n_{ljudi} * t / 1000 \quad (69)$$

pri čemu su:

Δm_w – masa vlage koju odaje čovjek, kg

G_D – odavanje vodene pare, g/h

n_{ljudi} – broj ljudi

t – vrijeme, h

Tablica 26. Odavanje topline i vodene pare čovjeka prema VDI 2078:1996-07

Aktivnost	Temperatura zraka	°C	18	20	22	23	24	25	26
Čovjek bez tjelesne aktivnosti, sa lakom aktivnošću	Φ_{suh}	W	100	95	90	85	75	75	70
	$\Phi_{vlažno}$	W	25	25	30	35	40	40	45
Rad	Φ_{UK}	W	125	120	120	120	115	115	115
U stojećem položaju	Odavanje vodene pare G_D	g/h	35	35	40	50	60	60	65

Izvor: Recknagle, 2012.

Entalpija i h-x dijagram:

Entalpije u h-x dijagramu za vlažni zrak svedene su na kg suhog (sušog) uzduha.

$$m_{vz} = m_w + m_u \quad (70)$$

$$m_{vz} = x * m_u + m_u = m_u(x+1) \quad (71)$$

$$Q_g = m_u * (h_2 - h_1) \quad (71)$$

pri čemu su:

m_{vz} – masa vlažnog uzduha, zraka, kg

Q_g – toplina potrebna za zagrijavanje vlažnog zraka, kJ

h – entalpija vlažnog zraka svedena na masu suhog uzduha, očitano iz h-x dijagrama, kJ/kg

ZADATAK 41.

U prostoriju iz zadatka 40 ušlo je 10 ljudi. Uz pomoć h-x dijagrama odredite relativnu vlažnost zraka u prostoriji nakon 1h uz pretpostavku da nije došlo do promjene temperature zraka zbog odavanja topline ljudi koji su ušli u prostor. Također, odredite temperaturu rosišta.

Rješenje

Iz tablice 22. za 20°C očitavamo odavanje vodene pare čovjeka u *stojećem položaju* od 35 g/h .

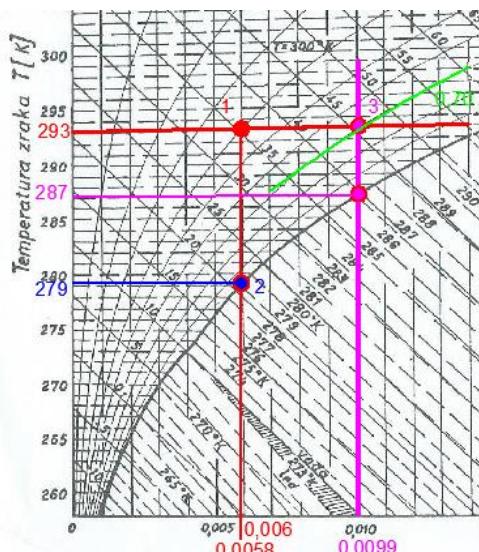
$$\Delta m_w = G_d * n_{ljudi} * t / 1000 (\text{kg}_w) = (35 * 10 * 1) / 1000 = 0,35 \text{ kg}_w$$

po kilogramu suhog uzduha:

$$\Delta x = \frac{\Delta m_w}{m_u} = \frac{0,35}{84,53} = 0,00414 (\text{kg}_w/\text{kg}_u)$$

stanje vlažnog zraka:

$$x_3 = x_1 + \Delta x = 0,0058 + 0,00414 = 0,00994 (\text{kg}_w/\text{kg}_u)$$



Za apsolutnu vlažnost $0,0099$ i temperaturu od 293 K (20°C) očitavamo relativnu vlažnost od 70% . Također očitavamo i temperaturu rosišta, (onda kada počinje rošenje na stjenkama) od 287 K (14°C).

11. LITERATURA

1. Skupina autora: Priručnik za energetsko certificiranje zgrada 1 i 2, Program Ujedinjenih naroda za razvoj – UNDP
2. B. Udovičić: Energetika, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
3. Recknagel, Sprenger, Schramek, Čeperković, Grejanje i klimatizacija, Energetika marketing 2012.
4. Skupina autora, Osnove primjene biomase, Energetika marketing 2012.
5. Skupina autora, Osnove primjene dizalica topline, Energetika marketing 2012.
6. Skupina autora, Osnove primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing 2012.
7. A. Kostelić: Nauka o toplini, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
8. I. Njire: Termodinamika, radna bilježnica, POU Zagreb, 2001.
9. Z. Guzović: Geotermalna energija i dizalice topline vježbe, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu i Srednja škola Oroslavljje, 2013.

12. Popis slika

Slika 1. Protok	9
Slika 2. Zadatak 1	10
Slika 3. Zadatak 2	11
Slika 4. Zadatak 4	12
Slika 5. Zadatak 5	12
Slika 6. Zadatak 7	13
Slika 7. Zadatak 8	14
Slika 8. Vrste tlaka	15
Slika 9. Zadatak 9	17
Slika 10. Zadatak 9	17
Slika 11. Zadatak 11	21
Slika 12. Zadatak 13	22
Slika 13. Energetske transformacije	23
Slika 14. Zadatak 17	24
Slika 15. Zadatak 20	27
Slika 16. Zadatak 27	36
Slika 17. Zadatak 28	36
Slika 18. Zadatak 29	37
Slika 19. Cijene biomase trgovackog centra	47
Slika 22. Kružni ciklus sa vodom	52
Slika 23. Prolaz topline kroz ravnu stjenku	56
Slika 24. Zadatak 40	60
Slika 25. Zadatak 41	61
Slika 26. Učinak radijatora	61
Slika 27. Princip rada rekuperatora	67
Slika 28. Princip rada kompresijske dizalice topline zrak-voda	69
Slika 29. h-x dijagram za vlažni zrak	73
Slika 30. h-x dijagram vlažni zrak..	74

13. Popis tablica

Tablica 1. Osnovne jedinice Međunarodnog sustava jedinica (SI)	7
Tablica 2. Izvedene jedinice Međunarodnog sustava jedinica (SI).....	8
Tablica 3. Gustoće nekih tvari.....	8
Tablica 4. Specifični toplinski kapacitet nekih tvari	18
Tablica 5. Volumni koeficijent temperaturnog rastezanja β , (1/K), atmosferski tlak 101325 Pa.....	19
Tablica 6. Neka toplinska svojstva plinova (pri $p=1,01235$ bar i 0°C).....	26
Tablica 7. Specifični toplinski kapacitet plinova c_p kJ/kgK 0-1 bar	33
Tablica 8. Standardna kvaliteta zemnog plina [NN br. 158/13].....	38
Tablica 9. Srednja gustoća suhog drva, ρg_0 (kg/m ³), (ÖNORM* B 3012).....	40
Tablica 10. Ogrjevne vrijednosti suhog drva, H_{dk0} (MJ/kg)	40
Tablica 11. Stope konverzije trupci/cjepanice/drvena sječka, ÖNORM M7132 i M7133	40
Tablica 12. Kemijski sastav krute biomase, CEN/TS 14961:2005 Kruta biogoriva – Specifikacije i klase goriva – Dodatak C	41
Tablica 13. Voda i pregrijana vodena para od 35-50 bar i 0-480°C	53
Tablica 14. Vrela voda i zasićena vodena para od 1.5-5 bar.....	54
Tablica 15. Koeficijent toplinske vodljivosti nekih materijala	57
Tablica 16. Minimalni broj izmjena zraka	58
Tablica 17. Srednje mjesecne temperature zraka Varaždin (stvarne vrijednosti meteoroloških parametara)	58
Tablica 18. Referentne vrijednosti meteoroloških parametara za kontinentalnu Hrvatsku, ulazni podaci u proračun energetskog certifikata.....	59
Tablica 19. Pojednostavljeni proračun transmisijskih gubitaka topline (DIN4701), sivo – podaci uz vanjske projektne temperature	63
Tablica 20. Pojednostavljeni proračun ventilacijskih gubitaka topline (DIN4701), sivo – podaci uz vanjske projektne temperature	63
Tablica 21. Pojednostavljeni proračun radijatora za vanjsku projektnu temperaturu	64
Tablica 22. Pojednostavljeni proračun potrošnje energije- mjesecna metoda bez toplinskih dubitaka, kontinuirano grijanje	64
Tablica 23. Pojednostavljeni proračun potrošnje energije- mjesecna metoda bez toplinskih dubitaka, kontinuirano grijanje, rekuperacija osjetne topline	68
Tablica 24. Faktor grijanja dizalice topline zrak-voda proizvođača Daikin	69
Tablica 25. Stanja zasićenog vlažnog zraka kod ukupnog tlaka od $\approx 1\text{bar}$	72
Tablica 26. Odavanje topline i vodene pare čovjeka prema VDI 2078:1996-07	76