

# OPŠTA ENERGETIKA

## AUDITORNE VEŽBE

### 1. Elektrane (ugalj, nafta i gas)

1.1 Karnoova toplotna mašina prima 1000 kJ/s toplote od toplotnog izvora temperature 600°C i prosleđuje deo te toplote toplotnom ponoru čija je temperatura 20°C.

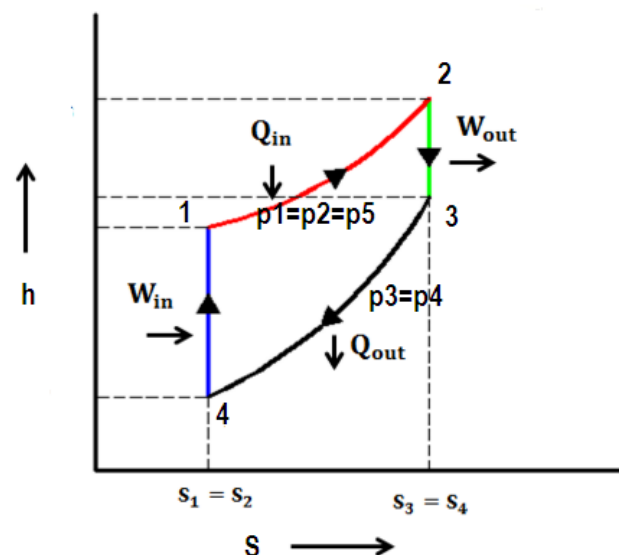
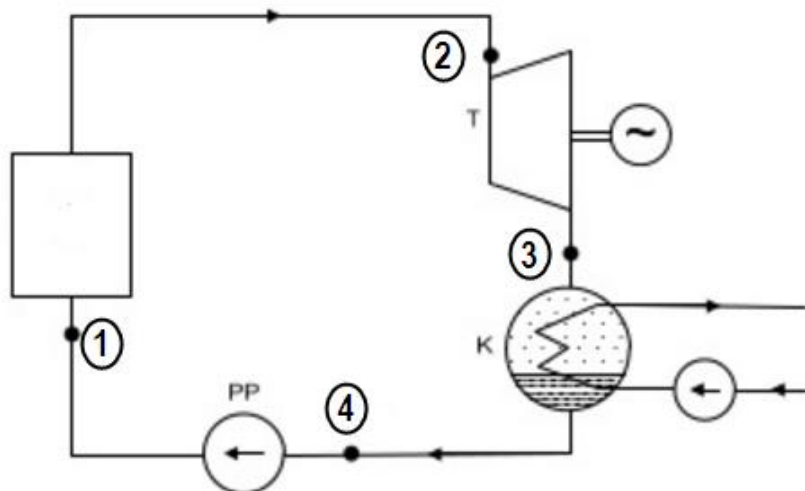
- Koja je termička efikasnost ove mašine  $\eta = ?$
- Koliki rad se isporučuje generatoru  $W = ?$
- Koliko toplote odlazi toplotnom ponoru  $Q_c = ?$
- Kolika je promena entropije toplotnog ponora?

1.2 Toplotna mašina navodno prima 500kJ/s od toplotnog izvora koji je na 1100 K i prosleđuje 300kJ/s ka toplotnom ponoru čija je temperatura 300K.

- Da li je ovo moguće?
- Kolika bi bila ukupna promena entropije za ovaj proces?

1.3 Kilogram idealnog gasa ( $R=287\text{J/kgK}$  i  $k=1,4$ ), pritiska 1,5 bara i temperature 200°C, posmatrajte kao zatvoreni mirujući sistem koji se, pri konstantnom pritisku, 1,5bar, hladi do 100°C. Odrediti mehanički rad zatvorenog sistema i toplotnu energiju koju pritom sistem razmenjuje sa okolinom pritiska 1 bar i temperature 20°C.

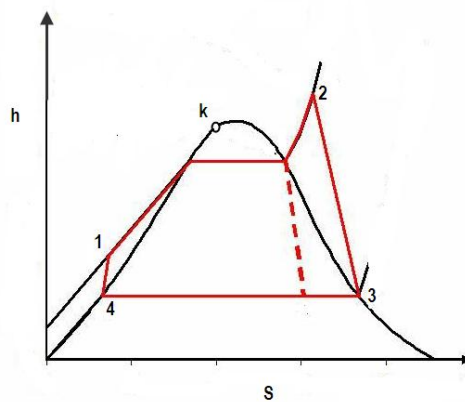
1.4 U termoelektrani sa parnom turbinom odvija se idealni Rankineov kružni proces. Na ulazu u turbinu parametri pare su: pritisak 6,89MPa, temperatura 516°C i entalpija 3449,3kJ/kg. Protok pare je 136kg/s. Na izlazu iz turbine parametri mokre pare su: pritisak 20,68kPa i entalpija 2262,54kJ/kg. Entalpija vode na ulazu u kotao iznosi 261,4kJ/kg. Odrediti stepen korisnog dejstva kružnog procesa i snagu turbine? Proračun izvršiti s konstantnom specifičnom zapreminom kondenzata (vode)  $v = 0,001\text{m}^3/\text{kg}$ .



Slika

1.5 Izračunati stepen korisnog dejstva Rankineov-og kružnog procesa u termoelektrani u čijoj se turbini odvija realan proces. Pritisak pare na ulazu u turbinu je 150 bara, a temperatura 560°C. Pritisak u kondenzatoru je 40 kPa. Para u turbini ekspandira do linije zasićenja. Iz parnih tablica su očitane sledeće karakteristične vrednosti:

- za pritisak 40kPa:  $h'=317,7\text{kJ/kg}$ ,  $h''=2637\text{kJ/kg}$ ,  $s'=1,026\text{kJ/kgK}$ ,  
 $s''=7,671\text{kJ/kgK}$ ,  $v'=0,001\text{m}^3/\text{kg}$ ;
- za pritisak 15 MPa i temperaturu 560 °C:  $h = 3475 \text{ kJ/kg}$ ,  
 $s = 6,554 \text{ kJ/kgK}$ .



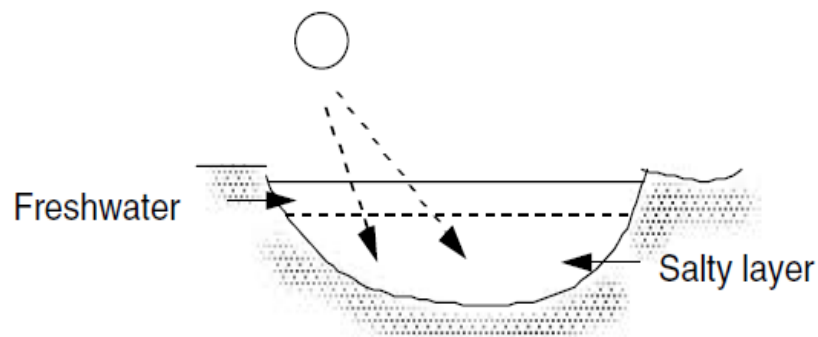
Slika

**1.6** U termoelektrani snaga parne turbine je 500MW, a snaga pumpe 6MW. U kotlu se radnom fluidu dovodi toplotna snaga 1300MJ/s. Izračunati električnu snagu na priključcima generatora ako je mehanički stepen korisnog dejstva turbine 0,92, a stepen korisnog dejstva generatora 0,97.

**1.7** Termoelektrana kao gorivo koristi ugalj toplotne moći 26MJ/kg sa sadržajem sumpora od 1%. Snaga generatora iznosi 400MW, efikasnost konverzije toplotne energije u električnu 33% i faktor opterećenja je 0,74. Kolika je masa sumpordioksida ( $\text{SO}_2$ ) ispuštenog iz elektrane tokom jedne godine uz pretpostavku da je sagorevanje potpuno?

**1.8** Solarno jezero se sastoji od tankog sloja sveže vode koja pluta po površini gušćeg sloja slane vode. Kada se sunčeva toplota apsorbuje ona se zadržava slojem sveže vode. Da nema sloja sveže vode gusta slana voda bi izašla na površinu i odala toplotu u atmosferu. Temperatura skalarnih jezera može biti i do 100°C viša od temperature okoline.

- Kolika je maksimalna termička efikasnost ako je temperatura solarnog jezera 120°C na dan kada je temperatura okoline 20°C?
- Ako u realnosti ovakvo jezero može da ostvari polovinu efikasnosti Karnoovog ciklusa koliko kWh dnevno može biti generisano iz jezera površine  $100\text{m} \times 100\text{m}$  koje može da apsorbuje i zadrži 50% od  $7\text{kWh}/\text{m}^2$  sunčevog zračenja koje pada na njegovu površinu?
- Za kuću koja zahteva 500kWh za mesec dana jezero koje površine je potrebno?



Slika

**1.9** Elektrana sa kombinovanim ciklusom prirodnog gasa ima efikasnost od 52%. Gustina prirodnog gasa je 55340 kJ/kg, a oko 77% goriva je ugljenik.

- Koliki je toplotni (termički) koeficijent ove elektrane izražen u kJ/kWh i Btu/kWh?
- Odrediti koeficijent emisije ugljenika (kg C/kWh) i ugljendioksida (kg  $\text{CO}_2$ /kWh).

**1.10** Nova termoelektrana koja radi na sagorevanje uglja ima termički koeficijent 9000 Btu/kWh i sagoreva ugalj energetske gustine 24000 kJ/kg. Ugalj sadrži 62% C, 2% S i 10% nesagorive materije – pepela.

- Koliko iznosi koeficijent emisije ugljenika (kg C/kWh)?
- Koliko iznosi nekontrolisana emisija sumpora (g S/kWh)?
- Ako se 70% pepela oslobodi od dela pepela koji je ostatak odrediti njegov koeficijent emisije (g/kWh).
- Ako je aktom o čistoći vazduha dozvoljena emisija 130g  $\text{SO}_2$  na  $10^6$  kJ toplote u termoelektrani kolika treba da je efikasnost prečišćevača?
- Koliko treba smanjiti emisiju pepela kako bi se zadovoljio standard koji iznosi maksimalnih  $13\text{g}/10^6\text{kJ}$ ?

## 2. Energetska ekonomija i planiranje

2.1 Upotrebom priložene **Tabele 1** izračunati cene električne energije za zadate tipove elektrana, usvajajući da je fiksna kamatna stopa  $FCR = 0,14$  1/god.

- Termoelektrana sa mlevenim ugljem sa faktorom opterećenja, kapaciteta,  $CF = 0,7$ .
- Termoelektrana sa kombinovanim ciklusom na gas sa  $CF = 0,5$ .
- Termoelektrana sa turbinama koje se pokreću sagorevanjem gasa sa  $CF = 0,2$ .
- Vetrogenerator sa parametrima  $CC = 800$ \$/kW,  $CF = 0,37$ ,  $O\&M = 0,6$ ¢/kWh.

**Tabela 1** Troškovi termoelektrana

Tehnologija	gorivo	CC[\$/kW]	TK[Btu/kWh]	FC[\$/milijon]	O&M[¢ /kWh]
Mleveni ugalj	ugalj	1400	9700	1,5	0,43
Napredna the.	ugalj	1600	8800	1,5	0,43
Nafta i gas	nafta/gas	900	9500	4,6	0,52
Kombinovani Ciklus	prirodni gas	600	7700	4,5	0,37
Gasne turbine	prirodni gas	400	11400	4,5	0,62
STIG turbine	prirodni gas	600	9100	4,5	0,5
Hidroelektrane	voda	1900	/	/	0,3

**CC**- (capital cost) kapitalni troškovi

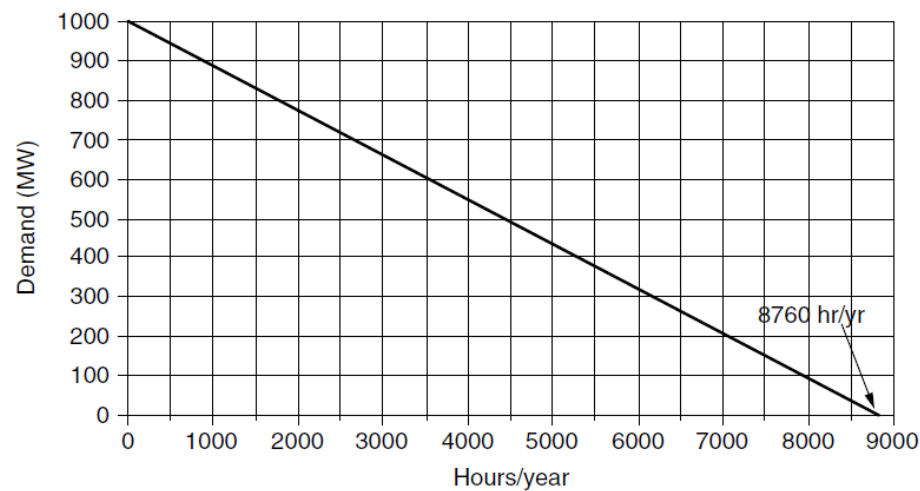
**TK**- termički koeficijent

**FC**- (fuel cost) cena goriva, derivata

**O&M**- (operation & maintenance) troškovi održavanja i pokretanja

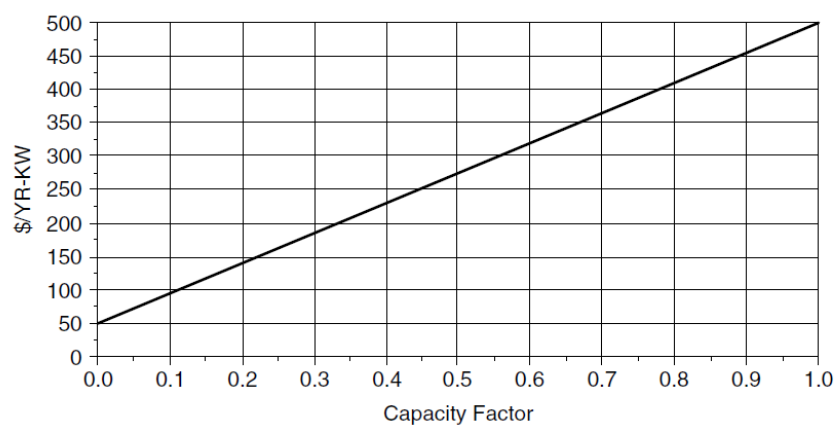
2.2 Potrebno je objasniti dati dijagram trajanja opterećenja.

- Koliko časova godišnje je opterećenje manje od 200MW?  
1760h
- Koliko je časova opterećenje između 300 i 600MW?  
2500h
- Koliko iznosi CF za elektranu na ugalj snage 500MW?  
 $CF = 0,757$
- Koliko kWh električne energije elektrana dostavi po godini?



Dijagram trajanja opterećenja

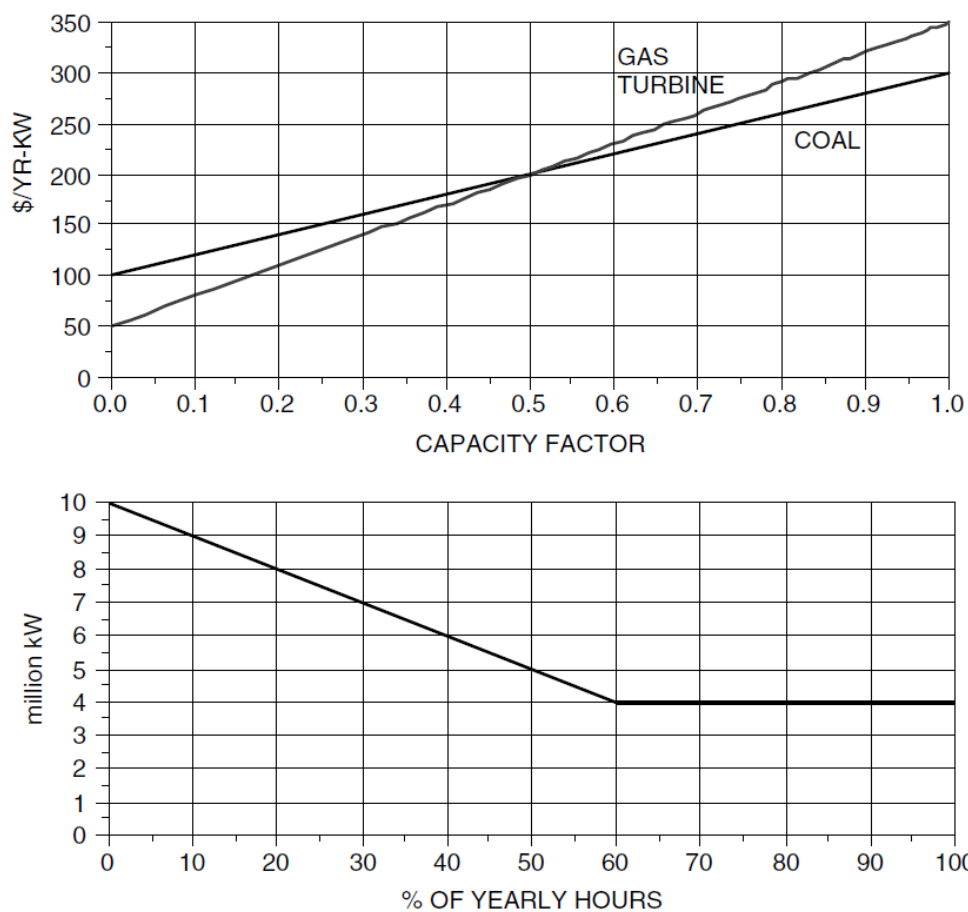
2.3 Za elektranu snage 400MW data je ekonomska kriva. Ako je dijagram trajanja opterećenja kao u prethodnom zadatku odrediti prosečnu cenu električne energije.



Ekonomska kriva

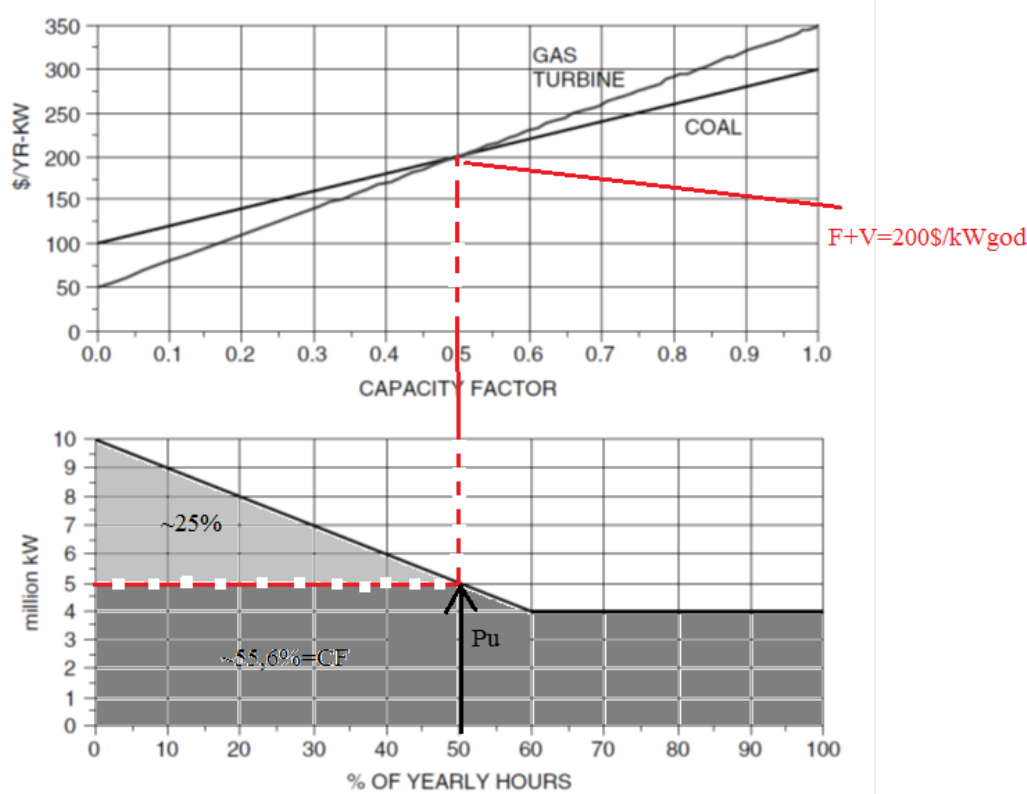
2.4 Uporediti ekonomske krive za elektranu sa gasnim turbinama i elektranu sa sagorevanjem uglja koje su date zajedno sa dijagramom trajanja opterećenja.

- a) Za koju kombinaciju rada elektrana se dobija najniža cena električne energije i koliko kWh daje svaka elektrana u takvom režimu rada?
- b) Kolika je cena električne energije ( \$/kWh) za elektranu sa gasnim turbinama iz tačke a)?



**Rešenje:**

Sve vreme kao bazna elektrana radi elektrana na uglj jer je njen nagib ekonomske krive manji. Da bi se dijagram opterećenja popunio 50% od ukupnog vremena radi elektrana sa gasnim turbinama.



2.5 Prognoza: Potrošnja energije u jednom elektroenergetskom sistemu, zabeležena u sedam uzastopnih godina, prikazana je u tabeli II.11. Primenjujući metodu minimuma sume kvadrata odstupanja na aproksimaciju zadatih opservacija, treba:

- a) logaritamskom parabolom izraziti zavisnost potrošnje energije u vremenu i odrediti konstante a, b i c;
- b) izračunati standardnu devijaciju;
- c) izvršiti prognozu potrošnje za godinu broj 10 i godinu broj 15, koristeći prethodno određenu logaritamsku parabolu;
- d) naći godišnju stopu porasta potrošnje  $p_t$  u godini  $t$ , za  $t=3$  i za  $t=6$

Tabela II.11

$t$	1	2	3	4	5	6	7
$W$ (GWh)	40	50	70	80	90	100	160

**Rešenje:**

a,b) Sistem jednačina se rešava po konstantama a, b i c, po Cramer-ovom postupku.

$$aN + bS_1 + cS_2 = S_5$$

$$aS_1 + bS_2 + cS_3 = S_6$$

$$aS_2 + bS_3 + cS_4 = S_7$$

$$\Delta = NS_2S_4 + 2S_1S_2S_3 - S_2^3 - NS_3^2 - S_1^2S_4$$

$$\Delta_a = S_2S_4S_5 + S_2S_3S_6 + S_1S_3S_7 - S_2^2S_7 - S_3^2S_5 - S_1S_4S_6$$

$$\Delta_b = NS_4S_6 + S_1S_2S_7 + S_2S_3S_5 - S_2^2S_6 - S_1S_4S_5 - NS_3S_7$$

$$\Delta_c = NS_2S_7 + S_1S_3S_5 + S_1S_2S_6 - S_2^2S_5 - S_1^2S_7 - NS_3S_6$$

Tabela II.12

<i>t</i>	<i>t</i> <sup>2</sup>	<i>t</i> <sup>3</sup>	<i>t</i> <sup>4</sup>	<i>W</i>	<i>logW</i>	<i>tlogW</i>	<i>t</i> <sup>2</sup> <i>logW</i>
(god)				(GWh)			
1	1	1	1	40	1,60206	1,60206	1,60206
2	4	8	16	50	1,69897	3,39794	6,79588
3	9	27	81	70	1,845098	5,5352941	16,605882
4	16	64	256	80	1,90309	7,6123599	30,44944
5	25	125	625	90	1,9542425	9,7712125	48,856063
6	36	216	1296	100	2	12	72
7	49	343	2401	160	2,20412	15,42884	108,00188
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	N	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
28	140	784	4676	7	13,207581	55,347706	284,3112
Δ	Δ <sub>a</sub>	Δ <sub>b</sub>	Δ <sub>c</sub>		a	b	c
16464	25191,6	1448,050	4,022		1,5301021	0,0879525	0,0002443

Tabela II.13

<i>t</i>	<i>a+bt+ct</i> <sup>2</sup>	<i>10</i> <sup><i>a+bt+ct</i><sup>2</sup></sup>	<i>e=W-10</i> <sup><i>a+bt+ct</i><sup>2</sup></sup>	<i>e</i> <sup>2</sup>
(god)		(GWh)		
1	1,6182988	41,523962	1,5239617	2,3224591
2	1,706984	50,931216	0,9312157	0,8671626
3	1,7961578	62,539994	-7,460006	55,651692
4	1,8858202	76,8812	-3,1188	9,7269108
5	1,975971	94,6174	4,6173996	21,320379
6	2,0666104	116,57633	16,576333	274,77482
7	2,1577383	143,79318	-16,20682	262,66086
			$\sigma = \sqrt{(\sum e^2/N)}$	$\sum e^2$
			9,4666654	627,32428
10	2,4340532	271,67722	(GWh)	
15	2,9043487	802,32199		

c) Prognoza potrošnje za godinu broj 10 i godinu broj 15 (tabela II.13) daje

$$W_{10} = 271,7 \text{ GWh}$$

$$W_{15} = 802,3 \text{ GWh}$$

d) Godišnja stopa porasta potrošnje  $p_t$  u godini  $t$ , za  $t=3$  i za  $t=6$

$$p_t = 10^{b+c(2t-1)} - 1$$

$$p_3 = 10^{0,0879525+0,0002443(6-1)} - 1$$

$$p_3 = 0,227931$$

$$p_3 = 22,79\%$$

$$p_6 = 10^{0,0879525+0,0002443(12-1)} - 1$$

$$p_3 = 0,23208$$

$$p_3 = 23,21\%$$

**2.6 Korelacija:** U tabeli II.14 prikazani su podaci o bruto nacionalnom dohotku (BND) jedne države u NJ (novčana jedinica=milijarde u domaćoj valuti), (promenljiva x) i ukupnoj potrošnji energije W, (promenljiva y), u GWh, u periodu od pet uzastopnih godina.

a) Ako se pretpostavi da važi zakonitost promene veličina x i y sa vremenom t, tako da je  $x=a_x+b_x t$ , odnosno  $y=a_y+b_y t$ , odrediti  $a_x$ ,  $b_x$ ,  $a_y$ , i  $b_y$ , koristeći metodu minimuma sume kvadrata odstupanja.

b) Pod pretpostavkom da veličine bruto nacionalnog dohotka i ukupne potrošnje energije koreliraju po zakonitosti korelacione prave,  $y=a+bx$ , naći koeficijente a i b, koristeći metodu minimuma sume kvadrata odstupanja.

c) Odrediti parove veličina x i y za godine 10 i 15: (x10, y10) i (x15, y15), koristeći modele određene u tački a. Zamenom u model određen tačkom b, pod pretpostavkom da je (x10, x15) tačno određeno, naći (y10, y15).

d) Izračunati standardnu devijaciju  $\sigma_x$ , i  $\sigma_y$ , kao i koeficijent korelacije r između veličina x i y

Tabela II.14

Godina	1	2	3	4	5
x: BND (NJ)	16	18	22	25	30
y: W (GWh)	10	12	13	15	18

**Rešenje:**

a) Prave  $x=a_x+b_x t$ , i  $y=a_y+b_y t$ , odnosno koeficijente pravih  $a_x$ ,  $b_x$ ,  $a_y$ , i  $b_y$ , ćemo odrediti iz poznatog, tabelarnog postupka. Rezultati su prikazani u narednoj tabeli.

Tabela II.15

godina	t	y	t <sup>2</sup>	ty	t	x	t <sup>2</sup>	tx
1	1	10	1	10	1	16	1	16
2	2	12	4	24	2	18	4	36
3	3	13	9	39	3	22	9	66
4	4	15	16	60	4	25	16	100
5	5	18	25	90	5	30	25	150
N = 5	S <sub>1</sub> =15	S <sub>2</sub> =68	S <sub>3</sub> =55	S <sub>4</sub> =223	S <sub>1</sub> =15	S <sub>2</sub> =111	S <sub>3</sub> =55	S <sub>4</sub> =368

$$a_x = \frac{S_2 S_3 - S_1 S_4}{N S_3 - S_1^2} = 11,7$$

$$b_x = \frac{N S_4 - S_1 S_2}{N S_3 - S_1^2} = 3,5$$

$$a_y = \frac{S_2 S_3 - S_1 S_4}{N S_3 - S_1^2} = 7,9$$

$$b_y = \frac{N S_4 - S_1 S_2}{N S_3 - S_1^2} = 1,9$$

Tabela II.16

t	x	y	x <sup>2</sup>	xy	a + bx	ε	ε <sup>2</sup>
1	16	10	256	160	10,2516	0,251603	0,063304
2	18	12	324	216	11,33173	-0,66827	0,446584
3	22	13	484	286	13,49199	0,491987	0,242051
4	25	15	625	375	15,11218	0,112179	0,012584
5	30	18	900	540	17,8125	-0,1875	0,035156
N=5	S <sub>1</sub> =111	S <sub>2</sub> =68	S <sub>3</sub> =2582	S <sub>4</sub> =1577		Σ=	0,799679

$$a = \frac{S_2 S_3 - S_1 S_4}{N S_3 - S_1^2} = 1,610577$$

$$b = \frac{N S_4 - S_1 S_2}{N S_3 - S_1^2} = 0,540064$$

Korelaciona jednačina glasi:

$$y = 1,610577 + 0,540064 x$$

Standardna devijacija iznosi

$$\sigma = \sqrt{(1/5) \sum_{t=1}^5 \varepsilon^2} = \sqrt{\frac{0,799679}{5}} = 0,39992 \text{ GWh}$$

c) S obzirom na već određene prave (NJ)=f(t) i (GWh)=f(t) određene u a),

$$x = 11,7 + 3,5 t$$

$$y = 7,9 + 1,9 t$$

dobijamo sledeće prognoze za 10 godinu

$$x_{10} = 11,7 + 3,5 \cdot 10 = 46,7 \text{ NJ}$$

$$y_{10} = 7,9 + 1,9 \cdot 10 = 26,9 \text{ GWh}$$

$$x_{15} = 11,7 + 3,5 \cdot 15 = 64,2 \text{ NJ}$$

$$y_{15} = 7,9 + 1,9 \cdot 15 = 36,4 \text{ GWh}$$

Iz korelacione jednačine

$$y = 1,610577 + 0,540064 x$$

dobijamo

$$y_{10} = 1,610577 + 0,540064 x_{10}$$

$$y_{10} = 1,610577 + 0,540064 \cdot 46,7 = 26,83 \text{ GWh}$$

$$y_{15} = 1,610577 + 0,540064 x_{15}$$

$$y_{15} = 1,610577 + 0,540064 \cdot 64,2 = 36,28 \text{ GWh}$$

d) Srednje vrednosti veličina x i y nalaze se iz tabele II.16.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^5 x_t}{N} = \frac{111}{5} = 22,2 \text{ NJ}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^5 y_t}{N} = \frac{68}{5} = 13,6 \text{ GWh}$$

Tabela II.17

godina	X = x - $\bar{x}$	Y = y - $\bar{y}$	X Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	-6,2	-3,6	22,32	38,44	12,96
2	-4,2	-1,6	6,72	17,64	2,56
3	0,2	-0,6	0,12	0,04	0,36
4	2,8	1,4	3,92	47,84	1,96
5	7,8	4,4	34,32	60,84	19,36
N=5			67,4	124,8	37,2

Standardne devijacije iznose

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{t=1}^5 (x_t - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{124,8}{5}} = 4,996 \text{ NJ}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{t=1}^5 (y_t - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{37,2}{5}} = 2,728 \text{ GWh}$$

Koeficijent korelacije iznosi

$$r = \frac{\sum_{t=1}^5 X_t Y_t}{\sqrt{\sum_{t=1}^5 X_t^2 \sum_{t=1}^5 Y_t^2}} = \frac{67,4}{\sqrt{124,8 \cdot 37,2}} = 0,989$$

Koeficijent korelacije je ovde blizu jedan i korelacija je dobro izražena.

**2.7 Redosled popunjavanja konzumnog okvira:** Dnevni dijagram opterećenja jednog elektroenergetskog sistema iz tabele III.15 treba popuniti proizvodnjom elektrana istog sistema. Termoelektrana TEA treba da ispuni minimalni plan angažovanja prema tabeli III.15, ali se, prema potrebi, može računati i sa njenom većom proizvodnjom. Tabela III.16 sadrži osnovne podatke o elektranama koje treba da popune zadati konzumni okvir. Oznake indeksa: M-maksimalno, or-obrtna rezerva, tmin-tehnički minimum, r-raspoloživo, rdot-raspoloživi dotok.

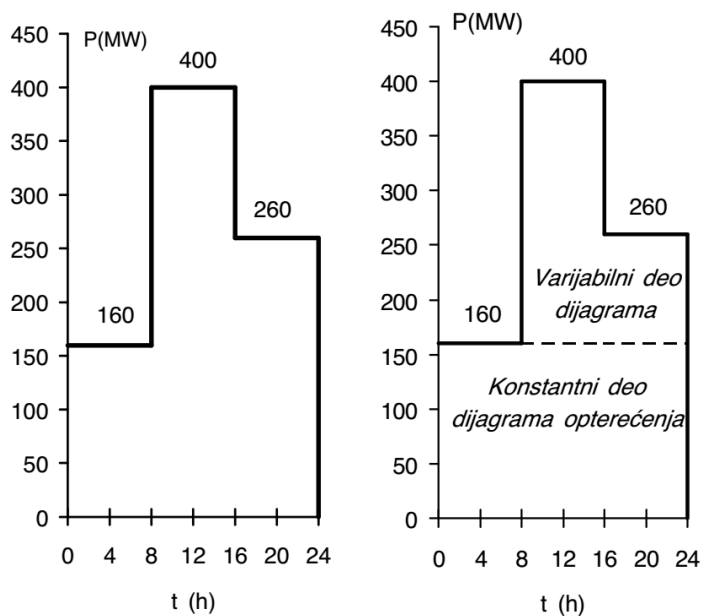
Tabela III.15

Vreme	Potrošnja	Proizvodnja TEA
(h)	(MW)	(MW)
0-8	160	40
8-16	400	80
16-24	260	60

Tabela III.16

Elektrane	$P_M$	$P_{or}$	$P_{tmin}$	$P_{rdot}$	$W_r$
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(MWh)
TEA	120	40	40	-	-
TEB	180	20	60	-	-
PHEC	80	-	-	100	-
AHED	80	-	-	-	640

**Rešenje:**



1. tehnički minimum TE
2. protočne HE
3. proizvodnja TE iznad tehničkog minimuma
4. proizvodnja AHE u zavisnosti od odnosa snaga/energija sistema
5. proizvodnja AHE u varijabilnom delu dijagrama opterećenja.

Raspoloživa snaga TEA:

$$P_A = P_{MA} - P_{OrA} = 120 - 40 = 80 \text{ MW}$$

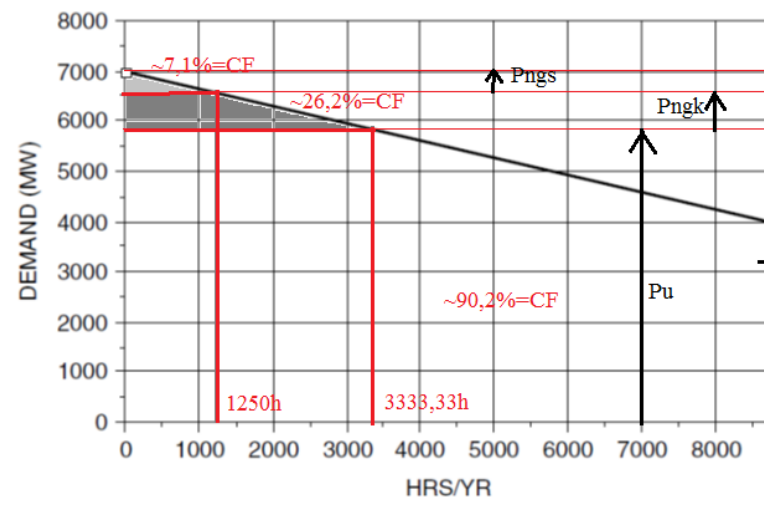
Raspoloživa snaga TEA iznad tehničkog minimuma:

$$P_{VA} = P_A - P_{tmin A} = 80 - 40 = 40 \text{ MW}$$





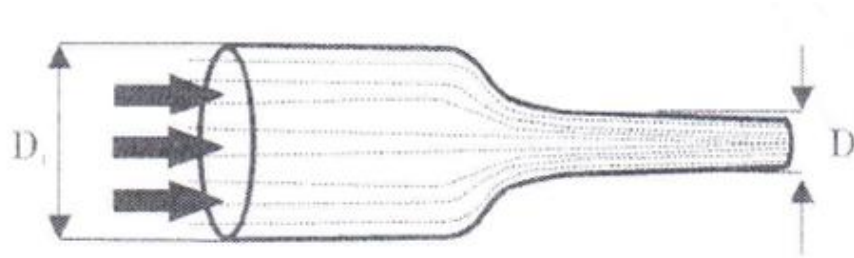
Rešenje:



### 3. Protok fluida

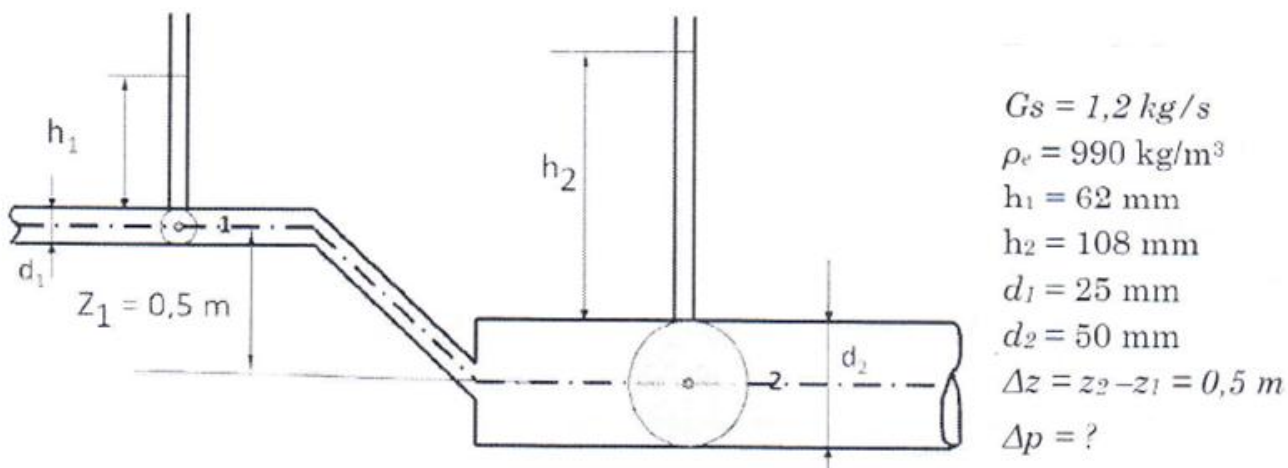
3.1 Ako kroz horizontalnu cev kružnog poprečnog preska (unutrašnji prečnik  $D_1=40$  cm) protiče sirova nafta gustine  $870$  kg/m<sup>3</sup> zapreminskim protokom  $20$  dm<sup>3</sup>/s, odrediti:

- maseni protok i srednju brzinu strujanja;
- srednju brzinu u suženju cevi (unutrašnji prečnik  $D_2=30$  cm)



Slika

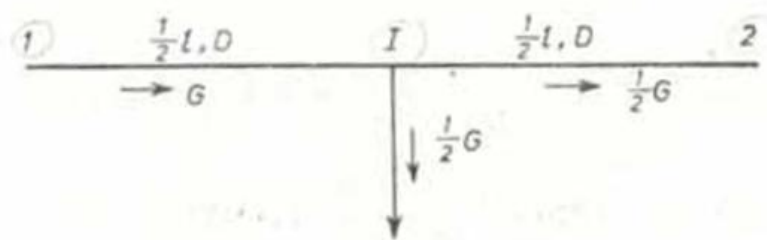
3.2 Kroz cevni vod prikazan na slici protiče  $G_s=1.2$  kg/s tečnosti gustine  $\rho=990$  kg/m<sup>3</sup>. Visina tečnosti u piezometru u tački 1 je  $h_1=62$  mm, a u tački 2 je  $h_2=108$  mm. Odrediti pad pritiska usled gubitaka između ovih tačaka, ako su prečnici cevi  $d_1=25$  mm i  $d_2=50$  mm.



Slika

3.3 Strujna mašina koja daje vazduh pod pritiskom za pneumatski transport odvojena je od bunkera horizontalnim cevovodom dužine  $l=250$  m i prečnika  $D=100$  mm. Treba odrediti pritisak koji mora da ostvari strujna mašina na početju cevovoda ako na njegovom kraju, zbog prirode transporta, pritisak treba da iznosi  $p_2=1.47$  bar. Temperatura vazduha je stalna i iznosi  $50^\circ\text{C}$ , kapacitet transporta je  $q_0=20$  m<sup>3</sup>/min vazduha i koeficijent trenja  $\lambda=0.02$ . Superstijljivost vazduha zanemariti, a lokalne otpore uzeti u obzir zbirnim koeficijentom ovih otpora  $\Sigma\zeta=10$ .

3.4 U horizontalni cevovod prečnika  $D=50$  mm ulazi  $G=410$  kg/h vazduha pritiska  $p_1=4.9$  bar. Na polovini dužine cevovoda oduzina se polovina vazduha tako da se na kraju cevovoda ostvaruje pritisak  $p_2=3.9$  bar. Izračunati dužinu cevovoda, ako je njegova hrapavost  $\delta=0.1$  mm, temperatura vazduha  $t=20^\circ\text{C}$ , i lokalni otpori se zanemaruju.



Slika

**3.5** Horizontalnim cevovodima prečnika  $D=100$  mm i dužine  $l=750$  m transportuje se  $2400 \text{ m}_n^3/\text{h}$  vazduha pritiska 2.5 bar i temperature  $20^\circ\text{C}$  radi pneumatskog transporta granula polivinilhlorida od vagon-cisterna do skladišta u jednoj fabrici. Zbog vrlo nepovoljne trase cevovoda, koji se pruža od kompresorske stanice u krugu fabrike od mesta za istovar vagon-cisterna na industrijskom koloseku, lokalni otpori su znatni i određeni zbirom  $\Sigma\zeta=20$ . Koliki mora da bude pritisak vazduha na početku cevovoda, čija se relativna hrapavost može uzeti kao  $\delta/D=0.002$ , i koliki je pad pritiska za vreme strujanja vazduha?

**3.6** Iz kompresorske stanice na površini zemlje treba da se transportuje  $G=822$  kg/h komprimovanog vazduha u šaht jednog rudnika na dubini  $H=600$  m. Prečnik cevovoda je  $D=50$  mm., dužina  $l=600$  m i relativna hrapavost 0.002. Temperatura vazduha iznosi  $20^\circ\text{C}$ . Lokalni otpor u cevovodu određeni su zbirom  $\Sigma\zeta=12$ . Izračunati pritisak vazduha na početku cevovoda ako na njegovom kraju mora da bude  $p_2=4$  bar.

**3.7** Na jednom gradilištu raspolaže se dovoljnom količinom vazduha pritiska 10 bar. Pneumatski uređaj za vreme rada zahteva  $G=0.6$  kg/s vazduha pritiska 8 bar. Od rezervoara za vazduh do ovog uređaja rastojanje u pravoj liniji iznosi  $l=1500$  m. Temperatura vazduha je stalna i iznosi  $20^\circ\text{C}$ .

Ako se još uzme prečnik cevi  $D=100$  mm, apsolutna hrapavost 0.1 mm, postavlja se pitanje da li će ovi podaci obezbediti ispravan rad pneumatskog uređaja koji se nalazi na kraju cevovoda? Ako neće, obaviti proračun tako da se obezbedi njegov ispravan rad.