

# Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji

DK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Bogdan Sicherl, D. Vodeb, N. Zakonjšek

## II. del: Sprememba pogojev pretoka ter plinski sistemi pri zamenjavanju in kombiniranju kurilnih plinov v industriji.

Za pogoje zamenljivosti so obdelani podatki plinskih mešanic ter spremembe volumskih deležev kurilnega plina in plina zamenjevalca v primeru redukcije kurilnega plina. Analizirane so spremembe pretočnih volumnov kurilnega plina in porabe zraka za zgorevanje ter prikazane spremembe na skalah merilnikov pretoka z zaježitvijo pretočnega prereza. Spremembe navedenih količin vplivajo na preračun cevovodov in plinskih gorilnikov kot pretvornikov kemijsko vezane notranje energije v toplotno energijo.

Cena zemeljskega plina je funkcija porabe toplote in je optimalna pri porabi v pasu. Obdelani primeri interpretirajo spremembe teh vrednosti.

Linijski sistem napajanja in napajanja v zanki v sklopu z glavnimi merilnimi in reducirnimi postajami so podani in obravnavani s pripadajočimi armaturami in načinom mešanja kurilnega plina ter plina zamenjevalca v mešalnih postajah.

### 1.0 Pogoji zamenljivosti

Pri zamenjavanju kurilnih plinov v industriji — konkretno pri zamenjavanju zemeljskega plina ali njegove mešanice z zrakom s plinsko mešanico plinske faze tekočega naftnega plina z zrakom, torej

ZP ali ZPZ  $\rightleftharpoons$  PBZ

dobimo ob upoštevanju dveh osnovnih pogojev:

a) enake toplotne obremenitve, torej

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 \text{ kJ/h (kcal/h)}$$

in

doc. dr. Bogdan Sicherl dipl. ing. met., predstojnik katedre za toplotno tehniko in energetiko, TOZD Montanistika, FNT Ljubljana

Dušan Vodeb dipl. ing. stroj., energetik za toplotne projekte, Železarna Ravne

Niko Zakonjšek dipl. ing. met., vodja TOZD Energetika, Železarna Štore

b) nespremenjenega tlaka v plinskem sistemu (v plinski mreži porabnika), torej

$$p_1 = p_2 \text{ N/m}^2$$

pri pogojih zamenljivosti za osnovne povprečne kemijske sestave kurilnega plina (ZP) in plina zamenjevalca (TNP + ZRAK = PBZ) zamenljive mešanice, ki so navedene v tabeli I.

V tabeli I smo upoštevali dejansko stanje, ki bo nastopilo, ko bo zaradi prekoračitve pogodbenega odvzema zemeljskega plina znotraj lastnega plinskega sistema ali v primeru redukcije dobave ZP iz kateregakoli razloga (npr. prekoračitev celokupne pogodbene dobave v okviru republike ali celo izpada ZP) potrebno dodajati v lastni plinski sistem mešanico PBZ plina kot plina zamenjevalca.

Pri računu podatkov v tabeli I smo izhajali iz sedanjega stanja, ko že obratujejo mešalne postaje za PBZ plin (kurilna vrednost med 5000 do 8000 kcal/m<sup>3</sup>), zato so v tabeli bolj zaokrožene vrednosti kurilnosti za PBZ plin.

Za obravnavo je najzanimivejše območje kurilnosti ZPZ za variante od 1 do 6, tj. za tiste porabnike, katerih plinski sistemi že sedaj obratujejo z mešalnimi postajami za PBZ plin. Ostali, ki bodo pričeli uvajati porabo plinske energije z zemeljskim plinom na novo, pa bodo lahko uporabljali varianto 10.

V primeru redukcije ZP, in s tem seveda tudi ZPZ, sledi iz prej omenjenega takojšnji dodatek PBZ plina v lastno plinsko omrežje.

Ker izhajamo iz osnovnega pogoja, tj. da morajo biti tudi v primeru redukcije vsi agregati v obratu kalorično enako oskrbovani, se bodo razmere pri pretoku v cevovodih in pri gorilnikih spremenile. Dobilj bomo zmes dveh plinov ZPZ + PBZ, oz. ZP + PBZ ali kot pravimo — rezultirajočo plinsko mešanico RPM, ki bo odvisno od stopnje redukcije imela različno sestavo ter bo tudi volumsko spremenjena.

V tabeli II., III. in IV. so navedeni podatki za oba ekstremna primera (varianti 1 in 10) ter za srednjo vrednost (varianta 5), ki pridejo v poštev.

Podatki so podani kot specifični, tj. v m<sup>n</sup><sup>3</sup>/1000 kJ ali m<sup>n</sup><sup>3</sup>/1000 kcal. Ker je pri prekoračenju porabe v pasu, t.j. pogodbene količine, posledica enaka — sledi omejitev volumskega pretoka ZP ali redukcija. Enako sledi redukcija pri zmanjšanju dobave ZP iz kateregakoli razloga. Za praktično rabo je za-

Tabela 1: Zamenljive mešanice kurilnih plinov in njih specifični parametri pri popolni zamenjavi

Kurilni plin	Plin zamenjevalec	$H_{sp}$ kJ/m <sup>3</sup> (kcal/m <sup>3</sup> )	$\rho_n$ kg/m <sup>3</sup>	Delež v mešanici m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>		$Z_n$ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>	$D_{st}$ m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>	$Z'_i$ (m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal) m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ	d	varianta
				$V_{PB}$ ; $V_{LP}$	$V_z$					
ZPZ		15973 (3815)	1,0672	0,4324	0,5676	3,70	4,7	0,2316 (0,9698)	0,8254	1
	PBZ	18840 (4500)	1,4853	0,1697	0,8303	3,94	5,21	0,2091 (0,8755)	1,1485	
ZPZ		18870 (4507)	1,026	0,5108	0,4892	4,55	5,58	0,2411 (1,009)	0,7935	2
	PBZ	23074 (5500)	1,5279	0,2074	0,7926	5,05	6,37	0,2188 (0,9182)	1,1817	
ZPZ		21583 (5155)	0,9878	0,5843	0,4157	5,35	6,38	0,2479 (1,0378)	0,7639	3
	PBZ	27214 (6500)	1,5706	0,2451	0,7549	6,15	7,54	0,2259 (0,9461)	1,2147	
ZPZ		24120 (5761)	0,9521	0,6529	0,3471	6,1	7,14	0,2529 (1,0588)	0,7363	4
	PBZ	31401 (7500)	1,6134	0,2828	0,7172	7,26	8,70	0,2312 (0,968)	1,2478	
ZPZ		25330 (6050)	0,9349	0,6857	0,3143	6,45	7,49	0,2546 (1,066)	0,7230	5
	PBZ	33494 (8000)	1,6347	0,3016	0,6984	7,81	9,28	0,2331 (0,976)	1,2643	
ZPZ		27637 (6601)	0,9023	0,7482	0,2518	7,13	8,18	0,2579 (1,0801)	0,6978	6
	PBZ	37681 (9000)	1,6774	0,3394	0,6606	8,91	10,44	0,2364 (0,99)	1,2973	
ZPZ		29802 (7118)	0,8717	0,8067	0,1933	7,77	8,83	0,2607 (1,092)	0,6742	7
	PBZ	41868 (10000)	1,7202	0,3771	0,6229	10,02	11,61	0,2393 (1,002)	1,3304	
ZPZ		31845 (7606)	0,8328	0,8621	0,1379	8,37	9,43	0,2628 (1,100)	0,6518	8
	PBZ	46055 (11000)	1,7629	0,4148	0,5852	11,12	12,77	0,2414 (1,011)	1,3635	
ZPZ		33767 (8065)	0,8157	0,9141	0,0859	8,94	10,00	0,2647 (1,108)	0,6308	9
	PBZ	50242 (12000)	1,8056	0,4525	0,5475	12,23	13,93	0,2434 (1,019)	1,3964	
ZP		36940 (8823)	0,7708	1,0	—	9,875	10,95	0,2673 (1,119)	0,5961	10
	PBZ	57719 (13786)	1,8819	0,5198	0,4802	14,2	16,0	0,246 (1,03)	1,4554	

Tabela 2: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilnega plina (ZPZ). Baza je enaka toplotna obremenitev.

Primer za varianto 1: ZPZ  $\rightleftharpoons$  PBZOsnovni podatki: ZPZ  $H = 15973 \text{ kJ/m}_n^3 = 3815 \text{ kcal/m}_n^3$  (kurilnost)PBZ  $H = 18840 \text{ kJ/m}_n^3 = 4500 \text{ kcal/m}_n^3$  (kurilnost)

Stopnja redukcije R %	Rezultirajoča plinska mešanica RPM				Volumen kurilnega plina ali RPM $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	$H_{\text{kuril}}$ $\text{kJ/m}_n^3$ ( $\text{kcal/m}_n^3$ )	$Z_c$ $m_n^3/m_n^3$	$Z_c'$ $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	Sestava kurilnega plina ali RPM v $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )			Sestava kurilnega plina ali RPM v %			$\rho_v$ kurilni plin ali RPM $\text{kg/m}_n^3$	d		
	$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$					$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$	$V_Z$	$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$	$V_Z$			$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$
	$m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )		%															
0	0,06261 (0,26212)	—	100	—	0,06261 (0,26212)	15973 (3815)	3,7	0,2316 (0,96985)	0,027071 (0,113341)	—	0,035535 (0,148779)	43,24	—	56,76	1,067	0,8252		
10	0,05634 (0,23591)	0,00531 (0,02222)	91,39	8,61	0,06165 (0,25813)	16219 (3874)	3,72	0,22935 (0,96025)	0,024365 (0,102013)	0,000899 (0,003768)	0,036387 (0,152348)	39,52	1,46	59,02	1,103	0,8531		
20	0,05009 (0,20969)	0,01062 (0,04445)	82,51	17,49	0,060700 (0,25414)	16475 (3935)	3,74	0,22700 (0,95044)	0,021658 (0,090677)	0,001803 (0,007548)	0,037239 (0,155915)	35,68	2,97	61,35	1,140	0,8817		
30	0,04382 (0,18348)	0,01592 (0,06667)	73,35	26,65	0,059747 (0,25015)	16737 (3998)	3,76	0,22465 (0,94047)	0,018952 (0,079347)	0,002701 (0,011307)	0,038094 (0,159496)	31,72	4,52	63,76	1,1784	0,9113		
40	0,03756 (0,15727)	0,02123 (0,08889)	63,89	36,11	0,058794 (0,2462)	17008 (4062)	3,79	0,22285 (0,93304)	0,016245 (0,068014)	0,003604 (0,015089)	0,038945 (0,163056)	27,63	6,13	66,24	1,2182	0,9422		
50	0,03130 (0,13106)	0,02654 (0,1111)	54,12	45,88	0,057842 (0,24217)	17288 (4130)	3,82	0,22092 (0,94294)	0,013535 (0,055668)	0,004506 (0,018865)	0,039801 (0,166637)	23,40	7,79	68,81	1,2591	0,9737		
60	0,02504 (0,10485)	0,03184 (0,13333)	44,02	55,98	0,05688 (0,23818)	17578 (4198)	3,84	0,21848 (0,91472)	0,010824 (0,04532)	0,005405 (0,02263)	0,040658 (0,17023)	19,03	9,50	71,47	1,3013	1,0062		
70	0,01878 (0,07864)	0,03715 (0,15555)	33,58	66,42	0,055935 (0,23419)	17878 (4270)	3,86	0,21591 (0,90398)	0,008122 (0,034004)	0,006304 (0,026393)	0,041509 (0,173792)	14,52	11,27	74,21	1,3448	1,0401		
80	0,01252 (0,05242)	0,04246 (0,17778)	22,77	77,23	0,05498 (0,23020)	18187 (4344)	3,89	0,21388 (0,89548)	0,005416 (0,022668)	0,007203 (0,030169)	0,042364 (0,177366)	9,84	13,11	77,05	1,3899	1,0749		
90	0,00626 (0,026212)	0,04777 (0,2000)	11,59	88,41	0,05403 (0,22621)	18510 (4421)	3,91	0,21136 (0,88441)	0,002707 (0,011334)	0,008106 (0,03394)	0,04322 (0,180938)	5,01	15,00	79,99	1,4368	1,1112		
100	— (0,22222)	—	—	100	— (0,22222)	18841 (4500)	3,94	0,20912 (0,87555)	—	0,009007 (0,03771)	0,044069 (0,18451)	—	16,97	83,03	1,485	1,1485		

to zanimiv prikaz spremembe parametrov RPM ob dodajanju PBZ plina ali celo pri popolnem prehodu na PBZ plin.

V prikazu izhajamo iz istih pogojev kot poprej, t. j.  $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$  in  $p_1 = p_2$ , le s to razliko, da upošteva-

mo z  $1 \text{ m}^3$  ZP ali ZPZ kot osnovnim nosilcem toplotne energije v eni uri na gorilniku dovedeno toploto. V tabelah V., VI. in VII. so obravnavane iste kombinacije t. j. 1,5 in 10 iz tabele I.

Za nazornost prikaza uporabnosti tabel naj služi naslednji primer:

Tabela 3: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev

Primer za varianto 5: ZPZ ↔ PBZ

Osnovni podatki: ZPZ H = 25330 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>PBZ H = 33494 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Stopnja redukcije R %	Rezultirajoča plinska mešanica RPM				Volumen kurilnega plina ali RPM m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal)	H <sub>0PM</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Z <sub>c</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>e</sub> <sup>3</sup>	Z <sub>c</sub> ' m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal) (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal)	Sestava kurilnega plina ali RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ; (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal)			Sestava kurilnega plina ali RPM v %			e <sub>n</sub> kurilni plin ali RPM kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	d
	V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>	V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>					V <sub>ZP</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>ZP</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>		
	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal; (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal)	%														
0	0,03948 (0,16529)	—	100,00	—	0,03948 (0,16529)	25330 (6050)	6,45	0,2546 (1,066)	0,02707 (0,11334)	—	0,01241 (0,05195)	68,57	—	31,43	0,9349	0,7230
10	0,03553 (0,14876)	0,00298 (0,0125)	92,25	7,75	0,03852 (0,16126)	25962 (6201)	6,55	0,25246 (1,0563)	0,02437 (0,1020)	0,00091 (0,00377)	0,01323 (0,0554)	63,30	2,30	34,4	0,9885	0,7645
20	0,03158 (0,13223)	0,00597 (0,025)	84,10	15,90	0,03755 (0,15723)	26628 (6360)	6,666	0,25031 (1,04811)	0,02166 (0,9067)	0,00180 (0,00754)	0,01409 (0,05902)	57,67	4,79	37,54	1,0461	0,8090
30	0,02763 (0,11570)	0,00896 (0,0375)	75,52	24,48	0,03659 (0,15320)	27327 (6527)	6,783	0,24821 (1,03922)	0,01895 (0,07933)	0,00270 (0,01131)	0,01494 (0,06256)	51,78	7,38	40,84	1,1062	0,8555
40	0,02368 (0,09917)	0,01194 (0,0500)	66,48	33,52	0,03563 (0,14917)	28067 (6704)	6,905	0,24598 (1,02998)	0,01624 (0,06800)	0,0036 (0,01508)	0,01578 (0,06609)	45,58	10,11	44,31	1,1695	0,9045
50	0,01974 (0,08264)	0,01493 (0,0625)	56,94	43,06	0,03467 (0,14514)	28845 (6890)	7,035	0,24388 (1,02104)	0,01354 (0,05667)	0,00450 (0,01885)	0,01663 (0,06962)	39,05	12,99	47,97	1,2362	0,9561
60	0,01579 (0,06612)	0,01791 (0,075)	46,85	53,15	0,03370 (0,14112)	29669 (7086)	7,173	0,24171 (1,01228)	0,01083 (0,04534)	0,00540 (0,02262)	0,01747 (0,07316)	32,13	16,03	51,84	1,3068	1,0107
70	0,01184 (0,04959)	0,02090 (0,0875)	36,17	63,83	0,03274 (0,13709)	30541 (7295)	7,318	0,23961 (1,00315)	0,00812 (0,034)	0,00630 (0,02639)	0,01832 (0,07669)	24,81	19,25	55,94	1,3816	1,0685
80	0,00789 (0,03306)	0,02388 (0,1000)	24,84	75,16	0,03177 (0,13306)	31466 (7516)	7,472	0,23746 (0,99414)	0,00541 (0,02267)	0,00720 (0,03016)	0,01916 (0,08023)	17,04	22,66	60,30	1,4608	1,1297
90	0,00395 (0,01653)	0,02687 (0,1125)	12,81	87,19	0,03082 (0,12903)	32448 (7750)	7,636	0,23533 (0,9853)	0,00271 (0,01133)	0,00810 (0,03393)	0,02001 (0,08377)	8,78	26,30	64,92	1,5451	1,1949
100	—	0,02986 (0,1250)	—	100,00	0,02986 (0,1250)	33494 (8000)	7,81	0,2331 (0,97625)	—	0,00901 (0,0377)	0,02085 (0,0873)	—	30,16	69,84	1,6347	1,2643

Osnovni kurilni plin: ZPZ, kurilnost 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 Plin zamenjevalec: PBZ, kurilnost 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

ZPZ plin pridobivamo v mešalni postaji iz ZP s kurilnostjo 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>; PBZ plin prav tako v mešalni postaji iz TNP (PB) s kurilnostjo 26521 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>. Pogodbena dobava ZP: 20 000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h.

Poraba toplotne energije v vseh obratih:  $\dot{Q}_1 = 20\,000 \cdot 8823 = 176,46 \cdot 10^6$  kcal/h.

Potrebni volumen ZPZ plina:

$$V_{ZPZ} = \frac{\dot{Q}_1}{H_{ZPZ}} = \frac{176,46 \cdot 10^6}{6,05 \cdot 10^3} = 29167 \text{ m}_n^3/\text{h}$$

Tabela 4: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilne plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev.

Primer za varianto 10: ZP  $\rightleftharpoons$  PBZ

Osnovni podatki: ZP  $H = 36940 \text{ kJ}/m_n^3 = 8823 \text{ kcal}/m_n^3$  (kurilnost)

PBZ  $H = 57719 \text{ kJ}/m_n^3 = 13786 \text{ kcal}/m_n^3$  (kurilnost)

Stopnja redukcije	Rezultirajoča plinska mešanica RPM			Volumen kurilnega plina ali RPM		$H_{\text{RPM}}$ kJ/ $m_n^3$ (kcal/ $m_n^3$ )		$Z$ , $Z'$ $m_n^3/m_n^3$ , $m_n^3/1000 \text{ kJ}$		Sestava kurilnega plina ali RPM v $m_n^3/1000 \text{ kcal}$		Sestava kurilnega plina ali RPM v %		$\rho_n$ kurilni plin ali RPM kg/ $m_n^3$	d
	$V_{\text{ZPZ}}$ $m_n^3/10^3 \text{ kJ}$	$V_{\text{ZPZ}}$ %	$V_{\text{ZPZ}}$ $m_n^3/10^3 \text{ kcal}$	RPM $m_n^3/10^3 \text{ kJ}$	RPM $m_n^3/10^3 \text{ kcal}$	$Z$	$Z'$	$V_Z$	$V_{Z'}$	$V_{ZP}$	$V_{Z'}$	$V_{ZP}$	$V_{Z'}$		
0	0,02707 (0,11334)	—	100	—	0,02707 (0,11334)	36940 (8823)	9,875 (1,11923)	0,2673 (0,11334)	—	—	100	—	—	0,7708	0,5961
10	0,02436 (0,10201)	0,001732 (0,00725)	93,36	6,64 (0,10926)	0,02609 (0,10926)	38320 (9152)	10,162 (1,11029)	0,2652 (0,102)	0,0009 (0,0038)	0,0083 (0,0035)	93,36	3,45	3,19	0,8445	0,6532
20	0,02165 (0,090672)	0,00346 (0,014507)	86,21	13,79 (0,10518)	0,02512 (0,10518)	39804 (9507)	10,471 (1,10139)	0,26304 (0,09067)	0,0018 (0,00754)	0,0166 (0,00697)	86,21	7,17	6,62	0,9240	0,7146
30	0,018949 (0,07933)	0,005197 (0,02176)	78,48	21,52 (0,10109)	0,02414 (0,10109)	51512 (9891)	10,805 (1,09241)	0,260917 (0,079338)	0,0027 (0,011311)	0,02496 (0,010449)	78,48	11,18	10,34	1,0099	0,7811
40	0,016242 (0,06800)	0,00693 (0,02902)	70,09	29,91 (0,09702)	0,023172 (0,09702)	43153 (10307)	11,168 (1,08354)	0,25887 (0,068004)	0,0036 (0,014082)	0,0333 (0,013933)	70,09	15,55	14,36	1,1031	0,8531
50	0,013542 (0,0567)	0,00866 (0,03626)	60,98	39,02 (0,09296)	0,022203 (0,09296)	45048 (10759)	11,562 (1,07464)	0,25666 (0,0567)	0,0045 (0,01885)	0,0416 (0,01742)	60,99	20,28	18,73	1,2043	0,9314
60	0,01083 (0,04534)	0,01039 (0,04352)	51,02	48,98 (0,08886)	0,02122 (0,08886)	47118 (11254)	11,993 (1,06566)	0,25451 (0,04534)	0,00541 (0,02263)	0,0498 (0,02089)	51,02	25,47	23,51	1,3150	1,0170
70	0,00812 (0,03400)	0,01212 (0,05077)	40,11	59,89 (0,08477)	0,02024 (0,08477)	49385 (11795)	12,465 (1,05680)	0,25241 (0,0340)	0,00630 (0,02639)	0,0582 (0,02438)	40,11	31,13	28,76	1,4362	1,1107
80	0,00541 (0,03366)	0,01386 (0,05803)	28,09	71,91 (0,08069)	0,01927 (0,08069)	51882 (12392)	12,985 (1,04785)	0,25026 (0,02266)	0,00720 (0,03016)	0,0666 (0,02787)	28,08	37,38	34,54	1,5697	1,2139
90	0,00271 (0,01133)	0,01559 (0,06528)	14,79	85,21 (0,07661)	0,01829 (0,07661)	54646 (13052)	13,569 (1,03892)	0,24818 (0,01133)	0,00810 (0,03393)	0,0748 (0,03135)	14,79	44,29	40,92	1,7176	1,3284
100	—	0,01733 (0,07254)	—	100 (0,07254)	0,01733 (0,07254)	57719 (13786)	14,2 (1,03)	0,2460 (1,03)	—	0,00910 (0,03771)	—	51,98	48,02	1,8819	1,4554

Tabela 5: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za 1 m<sup>3</sup> kurilnega plina (K. P.) ali RPM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 1: ZPZ ⇌ PBZ;

ZPZ H = 15973 kJ/m<sup>3</sup> = 3815 kcal/m<sup>3</sup> (kurilnost)

PBZ H = 18841 kJ/m<sup>3</sup> = 4500 kcal/m<sup>3</sup> (kurilnost)

Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>RPM</sub> m <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K. P. dovedena toplota Q <sub>RPZ</sub> kJ/h, (kcal/h)	Volumska sestava RPM v m <sup>3</sup> /h				Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>ZPZ</sub>	Q <sub>PBZ</sub>		V <sub>ZPZ</sub>		V <sub>ZPZ</sub>		Z <sub>c</sub> m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> za V <sub>RPM</sub>	δ <sub>8</sub> kg/m <sup>3</sup>		
							V <sub>ZP</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>RP</sub>	V <sub>Z</sub>				
0	1	0	1	15973 (3815)	0	15973 (3815)	0,4324	0,5676	0	0	3,7	3,7	1,067	0,8252
10	0,9	0,08478	0,98478	14376 (3433,5)	1597 (381,5)	16220 (3874)	0,38916	0,51084	0,01439	0,07039	3,72	3,664	1,1029	0,8531
20	0,8	0,16955	0,96955	12778 (3052)	3195 (763)	16475 (3935)	0,34592	0,45408	0,02877	0,14078	3,742	3,628	1,1401	0,8817
30	0,7	0,25433	0,95433	11181 (2670,5)	4792 (1144,5)	16737 (3997,5)	0,30268	0,39732	0,04316	0,21117	3,764	3,592	1,1784	0,9113
40	0,6	0,33911	0,93911	9584 (2289)	6389 (1526)	17007 (4062)	0,25944	0,34056	0,05755	0,28156	3,787	3,556	1,2182	0,9422
50	0,5	0,42389	0,92389	7987 (1907,5)	7986 (1907,5)	17288 (4130)	0,2162	0,2838	0,07193	0,355195	3,801	3,512	1,2591	0,9737
60	0,4	0,50866	0,90866	6389 (1526)	9584 (2289)	17578 (4198,5)	0,17296	0,22704	0,08632	0,42234	3,834	3,484	1,3013	1,0062
70	0,3	0,59344	0,89344	4792 (1144,5)	11181 (2670,5)	17877 (4270)	0,12972	0,17028	0,10071	0,49273	3,859	3,447	1,3448	1,0401
80	0,2	0,67822	0,87822	3195 (763)	12778 (3052)	18187 (4344)	0,08648	0,11352	0,11509	0,56313	3,885	3,412	1,3899	1,0749
90	0,1	0,763	0,8630	1597 (381,5)	14376 (3433,5)	18510 (4421)	0,04324	0,05676	0,12948	0,63352	3,912	3,376	1,4368	1,1112
100	0	0,8478	0,8478	0	15973 (3815)	18841 (4500)	0	0	0,14387	0,70393	3,940	3,340	1,4850	1,1485

Konstantino 36940 kJ/m<sup>3</sup>, (8823 kcal/m<sup>3</sup>)

Po tabeli III. sledi:

Sestava ZPZ: V<sub>ZP</sub> = 68,57 %

V<sub>Z</sub> = 31,43 %

Volumen ZP:  $\dot{V}_{ZP} = V_{ZPZ} \cdot 0,6857 = 29167 \cdot 0,6875 = 20\ 000\ m_3/h$

$\dot{V}_Z = V_{ZPZ} \cdot 0,3143 = 29167 \cdot 0,3143 = 9\ 167\ m_3/h$

Obratovalni pogoji, ki smo jih navedli, so vnaprej znani, oz. določeni v slehernem energetskega gospodarstvu. Pri določeni stopnji redukcije, n.pr. R = 30 %, sledi (gl. tab. III.)

Poraba mešanice zemeljskega plina in zraka se mora zmanjšati na:

$$\dot{V}_{ZPZR} = \frac{\dot{Q}_1}{10^3} \cdot 0,1157 = \frac{176,46 \cdot 10^6}{10^3} \cdot 0,1157 = 20417\ m_3\ ZPZ/h$$

kar ustreza volumnu ZP:

$\dot{V}_{ZP} = 20416 \cdot 0,6857 = 14000\ m_3/h$  (0,6857 — po tabeli I., varianta 5)

(30 % redukcija od 20.000 m<sup>3</sup>/h da resnično 20000 · 0,7 = 14000 m<sup>3</sup>/h)

Kot nadomestilo pričnemo dodajati plin zamenjevalec, t. j. PBZ, katerega količina znaša po tabeli III.:

$$\dot{V}_{PBZ} = \frac{\dot{Q}_1}{10^3} \cdot 0,0375 = \frac{176,46 \cdot 10^6}{10^3} \cdot 0,0375 = 6617\ m_3/h$$

Sestava PBZ (glej tabelo III) je pri kurilnosti 8000 kcal/m<sup>3</sup> 30,16 % PB + 69,84 % Z.

Potrebni dodatek plinske faze TNP (t. j. PB) je enak:

$\dot{V}_{PB} = 6617 \cdot 0,3016 = 1995,7\ m_3/h$  (0,3016 — po tabeli I., varianta 5)

Tabela 6: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za  $1 m_n^3$  kurilnega plina (K.P.) ali RPM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 5: ZPZ  $\leftrightarrow$  PBZ; ZPZ H = 25330 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 PBZ H = 33494 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>RPM</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K.P. dovedena toplota Q <sub>RPM</sub> kJ/h, (kcal/h)	H <sub>RPM</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Volumska sestava RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h				Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>ZPZ</sub>	Q <sub>PBZ</sub>			V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>	V <sub>ZP</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>		Z <sub>1</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> za V <sub>RPM</sub>
0	1	0	1	25330 (6050)	0	25330 (6050)	25330 (6050)	0,6857	0,3143	0	0	6,45	6,45	0,9349	0,7230
10	0,9	0,07563	0,97563	22797 (5445)	2533 (605)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,61713	0,28287	0,02281	0,05282	6,555	6,395	0,989	0,7649
20	0,8	0,015125	0,95125	20264 (4840)	5066 (1210)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,54856	0,25144	0,04562	0,10563	6,666	6,341	1,0461	0,809
30	0,7	0,22688	0,92688	17731 (4235)	7599 (1815)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,47999	0,22001	0,06843	0,15845	6,783	6,287	1,1062	0,8555
40	0,6	0,3025	0,9025	15198 (3630)	10132 (2420)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,41142	0,18858	0,09123	0,21127	6,906	6,233	1,1695	0,9045
50	0,5	0,37813	0,87813	12665 (3025)	12665 (3025)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,34285	0,15715	0,11405	0,26408	7,036	6,178	1,2362	0,9561
60	0,4	0,45375	0,85375	10132 (2420)	15198 (3630)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,27428	0,12572	0,13685	0,31690	7,173	6,124	1,3068	1,0107
70	0,3	0,52937	0,82937	7599 (1815)	17731 (4235)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,20571	0,09429	0,15966	0,36971	7,318	6,069	1,3816	1,0685
80	0,2	0,6050	0,805	5066 (1210)	20264 (4840)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,13714	0,06286	0,18247	0,42253	7,472	6,015	1,4608	1,1297
90	0,1	0,68063	0,78063	2533 (605)	22797 (5445)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,06857	0,03143	0,20528	0,47535	6,636	5,961	1,5451	1,1949
100	0	0,75625	0,75625	0	25330 (6050)	25330 (6050)	25330 (6050)	0	0	0,3016	0,6984	7,81	5,906	1,6347	1,2643

Volumen rezultirajoče plinske mešanice pri 30 % redukciji pa bo enak:

$$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZ} + \dot{V}_{PBZ} = 20416 + 6617 = 27033 m_n^3/h$$

ali z uporabo tabele (stolpec V<sub>RPM</sub>/1000 kcal!) krajše:  $\dot{V}_{RPM} = 0,15320 \cdot Q_1 = 0,15320 \cdot 176,46 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 27034 m_n^3/h$

Za dispečerja je še prikladnejša raba tabel, kjer so podani volumni obeh plinov ob redukciji v m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h. Za prej obravnavani primer sledi ob uporabi tabele VI:

Pogodbena dobava ZP: 20000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h, kurilnost 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Kot kurilni plin enako kot prej: ZPZ, kurilnost 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

$$\text{Sestava } V_{ZP} = 68,57 \% \\ V_Z = 31,43 \%$$

$$\dot{V}_{ZPZ} = \frac{\dot{V}_{ZP}}{0,6857} = \frac{20000}{0,6857} = 29167 m_n^3/h$$

pri normalnem obratovanju in polnem pogodbenem odvzemu.

Pri redukciji R = 30 % sme znašati poraba ZP:

$$\dot{V}_{ZPR} = \dot{V}_{ZP} \cdot 0,7 = 20000 \cdot 0,7 = 14000 m_n^3/h$$

Volumen ZPZ plina po redukciji:

$$\dot{V}_{ZPZR} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,7 = 29167 \cdot 0,7 = 20417 m_n^3/h$$

Ostalo toplotno energijo moramo dovesti s PBZ plinom (kurilnost 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>)

Sestava V<sub>PB</sub> = 30,16 % (V<sub>Z</sub> = 69,84 %); po tabeli VI. sledi:

$$\dot{V}_{PBZ} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,22688 = 29167 \cdot 0,22688 = 6617 m_n^3/h$$

Volumen rezultirajoče plinske mešanice po redukciji je enak:

Tabela 7: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za 1 m<sub>n</sub><sup>3</sup> kurilnega plina (K.P.) ali RpM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 10: ZP ⇌ PBZ      ZP H = 36940 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 PBZ H = 57719 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 13786 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

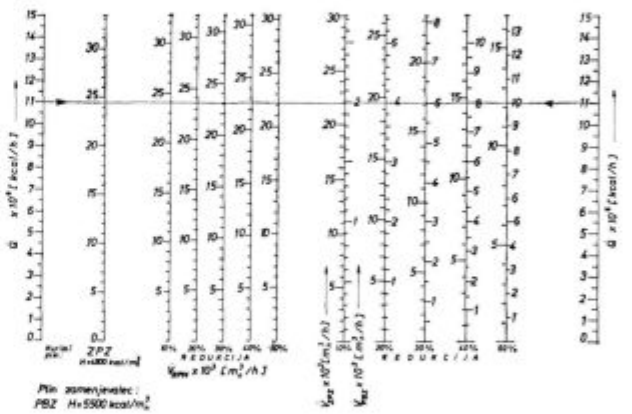
Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>ARM</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K.P. dovedena toplota Q <sub>ARM</sub> kJ/h, (kcal/h)	H <sub>ARM</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Volumska sestava RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h			Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>ZPZ</sub>	Q <sub>PBZ</sub>			V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>	V <sub>Z</sub>	Z <sub>1</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> za V <sub>RPM</sub>	δ <sub>n</sub> kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>		
0	1	0	1	36940 (8823)	0	36940 (8823)	36940 (8823)	1	0	0	9,875	9,875	0,7708	0,5961
10	0,9	0,0640	0,9640	33247 (7941)	3693 (882)	38320 (9152)	38320 (9152)	0,9	0,03327	0,03073	10,162	9,763	0,8445	0,6532
20	0,8	0,12799	0,92799	29550 (7058)	7390 (1765)	39806 (9507)	39806 (9507)	0,8	0,06653	0,06146	10,471	9,717	0,924	0,7146
30	0,7	0,19199	0,89199	25858 (6176)	11082 (2647)	41412 (9891)	41412 (9891)	0,7	0,09979	0,09220	10,805	9,638	1,0099	0,7811
40	0,6	0,25599	0,85599	22165 (5294)	14775 (3529)	43155 (10307)	43155 (10307)	0,6	0,13306	0,12293	11,168	9,559	1,1031	0,8531
50	0,5	0,31999	0,81999	18470 (4411,5)	18470 (4411,5)	45048 (10759,5)	45048 (10759,5)	0,5	0,16633	0,15366	11,562	9,481	1,2043	0,9314
60	0,4	0,38399	0,78399	14775 (3529)	22165 (5294)	47118 (11254)	47118 (11254)	0,4	0,19960	0,18439	11,993	9,402	1,315	1,017
70	0,3	0,44799	0,74799	11082 (2647)	25858 (6176)	49385 (11795)	49385 (11795)	0,3	0,23287	0,21512	12,465	9,324	1,4362	1,1107
80	0,2	0,51199	0,71199	7390 (1765)	29550 (7058)	51882 (12392)	51882 (12392)	0,2	0,26613	0,24586	12,985	9,245	1,5697	1,2139
90	0,1	0,57599	0,67599	3693 (882)	33247 (7941)	54646 (13052)	54646 (13052)	0,1	0,29940	0,27659	13,560	9,166	1,7176	1,3284
100	0	0,63999	0,63999	0	36940 (8823)	57719 (13786)	57719 (13786)	0	0,33267	0,30732	14,2	9,088	1,8819	1,4554

Konstantno 15973 kJ/h; (3815) kcal/h

$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZR} + \dot{V}_{PBZ} = 20417 + 6617 = 27034 \text{ m}_n^3/\text{h}$   
 ali krajše z uporabo tabele VI:

$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,92688 = 29167 \cdot 0,92688 = 27034 \text{ m}_n^3/\text{h}$

Za posamezne kombinacije je za grobo orientacijo možno sestaviti preprost nomogram, kot je prikazan na sl. 1. Narisani primer obravnava plinski sistem, ki bi obratoval kot varianta 2. Kurilni plin ZPZ ima H<sub>sp</sub> = 4500 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>; torej je potrebni urni pretok pri toplotni obremenitvi Q<sub>1</sub> = 11 · 10<sup>6</sup> kcal/h, V<sub>1</sub> = 2444,4 ~ 2445 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h (prva kolona od leve proti desni na sl. 1). Količina V<sub>RPM</sub> v m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h v odvisnosti od stopnje redukcije lahko odberemo v drugem skupu skal, poleg tega pa v tretjem skupu skal še parcialne volumne V<sub>ZPZ</sub> in V<sub>PBZ</sub> kot plina zamenjevalca. Za hitro orientacijo so taki prikazi praktiku lahko dobrodošli pripomoček.



Slika 1  
 Nomogram za odbiranje volumskih pretokov V<sub>RPM</sub> v odvisnosti od potrebne količine dovedene toplotne energije  
 Fig. 1  
 Nomogram for reading flow rates, V<sub>RPM</sub>, depending on the needed amount of thermal energy



## 2.0. Spremembe pogojev pretoka

Iz tabel II., III. in IV. sledi nazorno (posamezne vrednosti podane na enoto potrebne dovedene toplotne energije), da moramo računati pri redukcijah na spremembo nekaterih parametrov plina RPM, predvsem: volumna RPM, gostote (in s tem relativne gostote), teoretično potrebne količine zraka za zgorevanje in kinematične, oz. dinamične viskoznosti RPM.

Pri tem bodo razlike opazne pri:

a) klasičnih merilnikih pretoka z zoženjem prereza (zaslonke, Venturijeve cevi) in s tem pri regulatorjih konstantnega razmernika zraka.

b) pri gorilnikih in njihovi plamenski sliki (spremenjena temperatura gorenja, lega temperaturnega maksima plamena ter dolžina plamena)

Manjše ali za prakso nepomembne difference lahko pričakujemo pri turbinskih merilnikih pretoka in njim priključenim regulatorjem.

Za obravnavane variante 1, 5 in 10 so spremembe posameznih veličin prikazane v naslednjih tabelah (VII, VIII, IX in X).

Volumen RPM se z večjim % redukcije ZP zmanjšuje, in sicer povprečno za  $0,04 \text{ m}_n^3/1000 \text{ kcal}$  (od  $R = 0$  do  $R = 100$  %), kar pomeni izraženo v %:

pri varianti 1 — 15,22 %

pri varianti 5 — 24,37 %

pri varianti 10 — 36 %

Iz tabele VIII. sledi, da se gostota z večjim % redukcije spreminja tako, da narašča zaradi dodatka PBZ, in sicer pri:

varianta 1: + 39,20 %

varianta 5: + 74,80 %

varianta 10: + 135,10 %

Spremembe so, z ozirom na vpliv na merilnike pretoka, ki delujejo na podlagi zoženja pretočnega prereza, zelo velike.

Kot srednjo vrednost difference  $Z_t'$  max in  $Z_t'$  min lahko upoštevamo  $0,091 \text{ m}_n^3/1000 \text{ kcal}$ . Z rastočim dodatkom PBZ pri povečevanju redukcije se specifična poraba zraka za zgorevanje zmanjšuje! Razlika v procentih je naslednja:

varianta 1: — 9,7 %

varianta 5: — 8,4 %

varianta 10: — 7,9 %

Z drugimi besedami: če je zgorevanje v neki peči zregulirano tako, da pri  $R = 0$  % poteka s teoretično potrebno količino zraka, dobimo pri  $R = 100$  % zgorevanje s prebitkom, in sicer:

pri varianti 1:  $n = 1,107$  ali 10,7 %

pri varianti 5:  $n = 1,0919$  ali 9,2 %

pri varianti 10:  $n = 1,086$  ali 8,6 %

Ker pri dodajanju PBZ plina, ki pri zgorevanju še bolj teži k spajanju kot ZP je povečanje faktor-

Tabela 7: Sprememba volumna RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	$V_{RPM}$ v $\text{m}_n^3/1000 \text{ kcal}$										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0,26212	0,25813	0,25414	0,25015	0,24616	0,24217	0,23818	0,23419	0,23020	0,22621	0,22222
5	0,16529	0,16126	0,15723	0,15320	0,14917	0,14514	0,14112	0,13709	0,13306	0,12903	0,1250
10	0,11334	0,10926	0,10518	0,10109	0,09702	0,09296	0,08886	0,08477	0,08069	0,07661	0,07254

Tabela 8: Sprememba gostote in relativne gostote RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	Vrednost	Stopnja redukcije R %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	$\rho$	1,0670	1,1030	1,1401	1,1784	1,2182	1,2591	1,3013	1,2448	1,3899	1,4368	1,485
	d	0,8252	0,8531	0,8817	0,9113	0,9422	0,9737	1,0062	1,0401	1,0749	1,1112	1,1485
5	$\rho$	0,9349	0,9885	1,0461	1,1062	1,1695	1,2362	1,3068	1,3816	1,4608	1,5451	1,6347
	d	0,7230	0,7645	0,8090	0,8555	0,9045	0,9561	1,0107	1,0685	1,1297	1,1949	1,2643
10	$\rho$	0,7708	0,8445	0,9240	1,0099	1,1031	1,2043	1,3150	1,4362	1,5697	1,7176	1,8819
	d	0,5961	0,6532	0,7146	0,7811	0,8531	0,9314	1,0170	1,1107	1,2139	1,3284	1,4554

Tabela 9: Spremembe specifične teoretične količine zraka za zgorevanje v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	Količina zraka za zgorevanje v $m_n^3/1000 \text{ kcal} = Z_t'$										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0,96985	0,96025	0,95044	0,94047	0,93304	0,92494	0,91472	0,90398	0,89548	0,88441	0,87555
5	1,0660	1,05628	1,04811	1,03922	1,02998	1,02104	1,01228	1,00315	0,99414	0,98529	0,97625
10	1,11923	1,11029	1,10139	1,09241	1,08354	1,07464	1,06566	1,05680	1,04785	1,03892	1,03000

Tabela 10: Sprememba dinamične viskoznosti RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)  $10^6 \cdot \eta_n \text{ kg/ms}$ 

Varianta	Dinamična viskoznost RPM $10^6 \cdot \eta_n \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	14,36	14,00	13,71	13,46	13,24	13,06	12,91	11,83	12,67	12,60	12,53
5	12,46	11,92	11,52	11,21	10,98	10,81	10,68	10,61	10,58	10,58	10,62
10	10,15	9,51	9,09	8,82	8,66	8,58	8,59	8,65	8,78	8,96	9,20

ja zračnega prebitka v bistvu ugodno. Neprijetno se bo odrazilo le pri pečeh, ki jih namerno kurimo reduktivno.

Kakšne bodo potrebne korekture pri merjenju pretoka z merilniki z zoženjem prereza? Če izhajamo iz osnovne enačbe pretoka, ki ga merimo z zaslonko, je:

$$\dot{V}_1 = 0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{P_1}{T_1}} \cdot \frac{1}{(\sqrt{\rho_{o1}} + f_1)(0,804 + f_1)} \cdot \sqrt{h_1} \text{ m}_n^3/\text{h} \quad (1)$$

Vsi indeksi 1 se nanašajo na osnovni kurilni plin. Za plin zamenjevalec — indeks 2 — v tem primeru RPM z fizikalnimi lastnostmi, ki so odvisne od stopnje redukcije — sledi:

$$\dot{V}_2 = 0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{T_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho_{o2}} + f_2)(0,804 + f_2)} \cdot \sqrt{h_2} \quad (2)$$

Ker smo za osnovni pogoj že v prvem delu razprave postavili, da ostane tlak plina konstanten, torej

$$P_1 = P_2 \text{ (pri tem je } P = p + b!), \quad (3)$$

dalje lahko predpostavimo, da ostane temperatura obeh plinov praktično nespremenjena, torej

$$T_1 = T_2 \text{ (} T = \vartheta + 273 \text{ K)} \quad (4)$$

ob upoštevanju nespremenjene vlažnosti obeh plinov (v zimskem času bodo potrebne dodatne korekture!), torej  $f_1 = f_2$

ter dejstvu, da ostane vedno geometrija zaslonke in cevovoda ista, torej  $0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 = \text{konst} = K$  bomo dobili pri enakem diferenčnem tlaku na zaslonki, torej

$$h_1 = h_2 \quad (5)$$

v prvem približku, da je ob pogoju  $\rho_{o1} > f_1$  in  $\rho_{o2} > f_2$ :

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{K \sqrt{P_2/T_2}}{K \sqrt{P_1/T_1}} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_{o1} + f_1)(0,804 + f_1)}{(\rho_{o2} + f_2)(0,804 + f_2)}} \cdot \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (6)$$

in po krajšanju odvisnost

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \sqrt{\frac{\rho_{o1}}{\rho_{o2}}} = k \quad (7)$$

Torej bo pri istem merilniku pretoka

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot k \text{ m}_n^3/\text{h} \quad (8)$$

Za obdelane variante 1, 5 in 10 dobimo vrednosti  $k$  v odvisnosti od stopnje redukcije  $R = 0$  do 100 %, kot so navedeni v tabeli XI.

Tabela 11: Vrednosti korekturnega faktorja za merjenje pretoka RPM z merilniki z zoženjem prereza v odvisnosti od stopnje redukcije (0 do 100 %)

Varianta	k										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1	0,1835	0,96741	0,95156	0,93589	0,92056	0,90550	0,89074	0,87617	0,86617	0,84765
5	1	0,97251	0,94536	0,91932	0,89409	0,86964	0,84582	0,82261	0,79999	0,77786	0,75625
10	1	0,95537	0,91334	0,87364	0,83592	0,80002	0,76561	0,73259	0,70075	0,66989	0,63999

Maksimalne razlike, ki nastopajo pri popolni zamenjavi kurilnega plina in plina zamenjevalca, so torej:

varianta 1: — 15,23 %

varianta 5: — 24,37 %

varianta 10: — 36,00 %

kar odgovarja realnim vrednostim zmanjšanja pretočnega volumna RPM, kot smo jih prikazali v tabeli VII.

Ker je sprotno preračunavanje pri merjenju pretoka s klasično zaslonko ali Venturijevo cevjo preveč zamudno, bo energetik — toplotni tehnik v prvi fazi lahko uporabil korigirano skalo instrumenta za merjenje pretoka osnovnega kurilnega plina. Slika 2 kaže način konstrukcije in korekturo za primer — varianta 1. Osnovni kurilni plin je ZPZ, plin zamenjevalec pa PBZ. Osnovna delitev skale za pretok  $2000 \text{ m}^3 = V_1$ , t. j. ZPZ preračunano na PBZ in skalo razdelimo, kot kaže primer na sliki 2. Za hitro korekturo pretoka je ob upošteva-

nju prej navedenih pogojev tak način prikladen, za primer, ko pa se spreminjata še vlažnost in temperatura, bo potrebno vrednosti sproti preračunavati.

Za industrijske plinske sisteme v kontinuirni rabi bo zato potrebno, zlasti če bo priključena avtomatska regulacija peči, uporabiti pri meritvah pretoka z zoženjem prereza merilnike s korigiranimi vrednostmi za temperaturo in gostoto (ev. vlažnost) pretočnega medija. Sistem pretvornikov in korektorji diferenčnega tlaka<sup>2</sup> so že v rabi.

Hkrati se ob tem ponuja misel o uvedbi procesnega računalnika, ki bi zlasti prišel v poštev pri večjih odjemalcih.

Že danes je potrebno posebej poudariti to dejstvo in prilagajati plinske sisteme tako, da bo mogoče ob uporabi računalnika dejansko dispečersko službo povsem avtomatizirati.

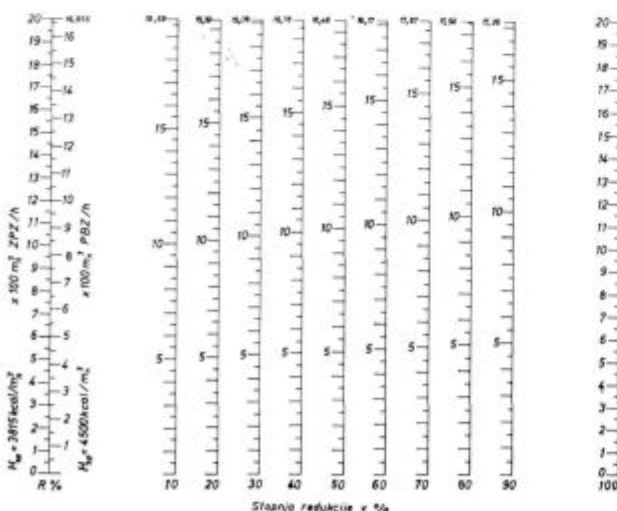
V ta namen kot ilustracija nekaj osnovnih misli:

Kot bistvena vhodna veličina je pogodbeni odzem zemeljskega plina, ki ga sproti korigira avtomatski kalorimeter tako, da je maksimalna količina dovedene toplote vedno čim bolj konstantna. Hkrati je vhod tudi temperatura in gostota plina. Sleherno spremembo porabe kot sumarno porabo ZP in s tem tudi ZPZ ter PBZ računalnik sproti korigira ter v mešalni postaji daje impulze posameznim mešalnikom za vklop in izklop ob hkratni regulaciji pretočnih volumnov.

Ker je na tak način možno priključiti posamezne obrate (TOZDE) z njihovo specifično porabo kot posebnim vhodnim signalom na računalnik, je evidentno, da nudi tak način ne le zelo učinkovit sistem dispečerstva, temveč hkrati že vodi do sorazmerno visoke stopnje optimizacije energijske porabe.

### 3.0. PRERACUN CEVOVODOV ZA PLINSKO MEŠANICO RPM

Toplotni agregat je dimenzioniran za določeno toplotno obremenitev, ki mora ostati konstantna. Dovodno in razdelilno cevno omrežje je dimenzionirano za obstoječo plinsko mešanico in določeno toplotno obremenitev.



Slika 2

Način konstrukcije in uporabnost grafikona v primeru različnih stopenj redukcije osnovnega kurilnega plina za varianta 1 — potrebni korekturni faktorji in spremenjena skala

Fig. 2

Construction and application of the graph for various degrees of reduction of the basic fuel gas, case 1 — necessary correction factors and corrected measuring scale.

Pri kombiniranem kurjenju moramo raziskati tlačne razmere v cevovodih pri konstantni obremenitvi toplotnega agregata.

Tlačni padec v cevovodu, če ne upoštevamo višinske razlike, je<sup>3</sup>

$$\frac{dp}{\rho_{RPM}} = -(\lambda_R + \lambda_B) \frac{P}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot dL \text{ N/m}^2 \quad (22)$$

Za izotermični tok plina se enačba (22) glasi

$$P_1 - P_2 = P_1 \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \lambda_R \frac{\rho_{RPM}}{P_1} \cdot \frac{P}{L} \cdot \frac{w_1^2}{2}} \right) \text{N/m}^2 \quad (23)$$

V enačbi (23) se nam s spreminjanjem sestave rezultirajoče plinske mešanice spreminja  $\lambda_R$ ,  $\rho_1$ ,  $w_1$ , začetni tlak  $P_1$  je konstanten.

Koeficient trenja za ravno hrapavo cev določimo po enačbi Colebrook.<sup>3</sup>

$$\frac{1}{\lambda_R} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_R}} + \frac{k}{3,72 d} \right) \quad (24)$$

Enačbo (24) zapišemo tudi v naslednji obliki<sup>3</sup>

$$\lambda_R = A \cdot d^B \cdot Re^C \quad (25)$$

Za ravne hrapave jeklene cevi je

$$\begin{aligned} A &= 0,094 \\ B &= -0,055 \\ C &= -0,14 \end{aligned} \quad (26)$$

Reynoldsovo število izračunamo po enačbi

$$Re = \frac{w \cdot d}{\eta_{RPM}} \cdot \rho_{RPM} \quad (27)$$

Če upoštevamo, da je hitrost plinske mešanice

$$w = \frac{\dot{V}_{RPM} \cdot 4}{\pi \cdot d^2}; \quad \dot{V}_{RPM} = \frac{\dot{Q}}{H_{RPM}} \text{ m}^3/\text{s} \quad (28)$$

izrazimo Reynoldsovo število

$$Re = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\rho_{RPM}}{\eta_{RPM}} \cdot \frac{1}{d} \cdot \dot{V}_{RPM} \quad (29)$$

Če vstavimo enačbo (29), (28) in (25) v enačbo (23) dobimo tlačni padec v cevovodu kot funkcijo sestave plinske mešanice pri konstantni toplotni obremenitvi.

$$P_1 - P_2 = P_1 (1 - \sqrt{1 - 0,14732 \cdot E \cdot F}) \quad (30)$$

V enačbi (30) pomeni

$$E = \frac{1}{P_1} \cdot d^{-4,915} \quad (31)$$

$$F = \rho_{RPM} \cdot \dot{V}_{RPM}^{1,86} \cdot \left( \frac{\eta_{RPM}}{\rho_{RPM}} \right)^{0,14}$$

Za vsak računski primer je člen E konstanten, člen F pa se spreminja s sestavo rezultirajoče plinske mešanice RPM.

Primer izračuna tlačnega padca v cevovodu dolžine 60 m in premera 100 mm, če uporabimo za osnovo čisti zemeljski plin

$$H_{ZP} = 36940 \text{ kJ/m}^3 \text{ (8823 kcal/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{ZP} = 0,7708 \text{ kg/m}^3$$

Plin zamenjevalec, plinska mešanica PBZ

$$H_{PBZ} = 57719 \text{ kJ/m}^3 \text{ (13786 kcal/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{PBZ} = 1,8819 \text{ kg/m}^3$$

Ostali podatki po tabeli IV

Dovodni cevovod vodi na peč, kjer je 40 gorilnikov z nazivno toplotno obremenitvijo  $3 \cdot 10^5$  kJ/h ( $7,2 \cdot 10^4$  kcal/h).

Nazivni dovedeni toplotni tok je

$$\dot{Q} = 40 \cdot 3 \cdot 10^5 = 1,20 \cdot 10^7 \text{ kJ/h (2,88} \cdot 10^6 \text{ kcal/h)}$$

V odvisnosti od stopnje redukcije se nam spreminjajo tlačne razmere. Rezultate podamo tabelarično v tabeli XII.

Tabela 12

Spreminjanje padca tlaka za navedeni cevovod za toplotno obremenitev  $\dot{Q}_{do} = 1,2 \cdot 10^7$  kJ/h ( $2,88 \cdot 10^6$  kcal/h) in  $P_1 = 4905$  N/m<sup>2</sup>.

R	%	0	25	50	75	100
$H_{RPM}$						
	kJ/m <sup>3</sup>	36940	42134	47329	52524	57719
	kcal/m <sup>3</sup>	8823	10065	11307	12548	13786
$\rho_{RPM}$						
	kg/m <sup>3</sup>	0,7708	1,0486	1,3264	1,6041	1,8819
$\eta_{RPM}$	$\frac{\text{kg}}{\text{ms}} \cdot 10^{-6}$	10,150	8,95	8,58	8,715	9,202
$\dot{V}_{RPM}$	m <sup>3</sup> /h	324,85	284,81	253,54	228,47	207,90
$P_1 - P_2$						
	N/m <sup>2</sup>	76,97	78,02	76,67	74,19	71,27
	mm VS	7,84	7,95	7,84	7,56	7,26
$\frac{P_1 - P_2}{P_1}$	%	1,57	1,59	1,56	1,51	1,45
$\frac{(\Delta P) \text{ min}}{\Delta P}$	%	7,99	9,47	7,58	4,09	0

Iz računskega primera je razvidno, da vpliva na tlačne in pretočne razmere v cevovodih poleg spreminjajoče se količine plinske mešanice tudi dinamična viskoznost rezultirajoče plinske mešanice.

#### 4.0 PLINSKI GORILNIK

Toplotna obremenitev plinskega gorilnika je<sup>2</sup>

$$\dot{Q}_g = H_{RPM} \cdot A \cdot \alpha \sqrt{\frac{2P}{\rho_{RPM}}} \text{ kJ/s (kcal/s)} \quad (32)$$

Upoštevamo izvajanja v I. delu, kjer smo dobili enačbo

$$\frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\rho_{RPM_1}}} \cdot H_{RPM_1} = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\rho_{RPM_2}}} \cdot H_{RPM_2} = \text{konst.} \quad (33)$$

Za določevanje variant zamenjevanja zemeljskega plina s plinom zamenjevalcem smo izhajali iz naslednjega kriterija<sup>3</sup>

$$\frac{H_{RPM_1}}{\sqrt{\rho_{RPM_1}}} = \frac{H_{RPM_2}}{\sqrt{\rho_{RPM_2}}} = \text{konst} = C_1 \quad (34)$$

ki je številčno znan za vsako obravnavano varianto zamenjevanja. Za določen plinski gorilnik lahko toplotno obremenitev plinskega gorilnika izrazimo s konstanto  $C_1$  in tlakom plinske mešanice  $p$ . Z vstavljanjem enačbe (34) v (32) dobimo

$$\dot{Q}_g = C_1 \cdot A \cdot \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot P} = C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{P} \text{ kJ/s (kcal/s)} \quad (35)$$

Konstanta  $C_2$  je definirana z enačbo

$$C_2 = A \cdot \alpha \cdot \sqrt{2} \text{ m}^2 \quad (36)$$

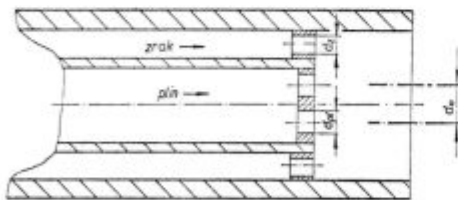
in je odvisna od dimenzij in pretočnih karakteristik gorilnika. Količino plinske mešanice RPM na plinskem gorilniku, da dobimo konstantno toplotno obremenitev gorilnika, izračunano po enačbi

$$\dot{V}_{RPM} = \frac{\dot{Q}_g}{H_{RPM}} \quad \text{m}_n^3/\text{s} \quad (37)$$

Z upoštevanjem enačbe (35) je

$$\dot{V}_{RPM} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{P}}{H_{RPM}} \quad \text{m}_n^3/\text{s} \quad (38)$$

Za izbrano kombinacijo osnovnih plinskih mešanic je volumski tok za konstantno toplotno obremenitev gorilnika in za podane tlačne razmere na gorilniku samo funkcija sestave rezultirajoče plinske mešanice.



Osnovni podatki za gorilnik

- $d_{\mu} = 8 \times 35 \text{ mm}$
- $d_s = 16 \times 50 \text{ mm}$
- $A_f A_g = 0,00007693 \text{ m}^2$
- $A_z = 0,0004071 \text{ m}^2$
- $d_w = 10 \text{ mm}$
- $\alpha_p = 0,8694$
- $\dot{Q}_p = 63,721 \text{ kW (pri } \rho_{p,298} \text{ N/m}^3, H_{p,298} = 2520 \text{ kJ/m}_n^3)$

Slika 3

Shema ustja plinskega gorilnika z oznakami in podatki

Fig. 3

Scheme of the burner opening with markings and data

Za prejšnji primer preračunano spreminjanje količine plinske mešanice za navedeni plinski gorilnik s karakteristikami, prikazanimi na sl. 3

Rezultate navajamo v tabeli XIII

Tabela 13

Preračun plinskega gorilnika  $\dot{Q}_g = 3 \cdot 10^5 \text{ kJ/h}$ ,  $P = 1962 \text{ N/m}^2$ ,  $C_1 = 42075$ ,  $C_2 = 9,589 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

R	%	0	25	50	75	100
$H_{RPM}$	kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	36940	42134	47329	52524	57719
$\dot{V}_{RPMG}$	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	17,416	15,269	13,594	12,289	11,146
$\Delta \dot{V}$	%	56,25	36,99	21,96	9,89	0

Iz tabele XIII je razvidno, da se nam za konstantno toplotno obremenitev količina rezultirajoče plinske mešanice RPM pri redukciji od 0 do 100 % spreminja od 0 do 56,25 %.

### 5.0 VPLIV STOPNJE REDUKCIJE ZEMELJSKEGA PLINA NA CENO PORABLJENE ENERGIJE

Osnova, iz katere določamo glavne pogoje za izračun cene porabljene energije, sta mesečni in dnevni diagram energije. Ta dva diagrama določimo na osnovi statističnih opazovanj porabe energije v določenih časovnih intervalih ali kontinuirano. Vsak odjemalec bo imel drugačen mesečni in dnevni digram. Primer videza mesečnega in dnevnega diagrama je prikazan na sl. 4

Pri obravnavanju cene porabljene energije na mesec ločimo dva primera

- a) porabljeno energijo pokrijemo samo z zemeljskim plinom
- b) porabljeno energijo pokrijemo z rezultirajočo plinsko mešanico RPM

Stroški porabljene mesečne energije, ki jo pokrijemo z zemeljskim plinom, znašajo

$$S_{eo} = \dot{V}_{ZPo} \cdot c_{ZPo} \quad \text{din/mesec} \quad (39)$$

$$\frac{S_{eo}}{\dot{V}_{ZPo}} = c_{ZPo}$$

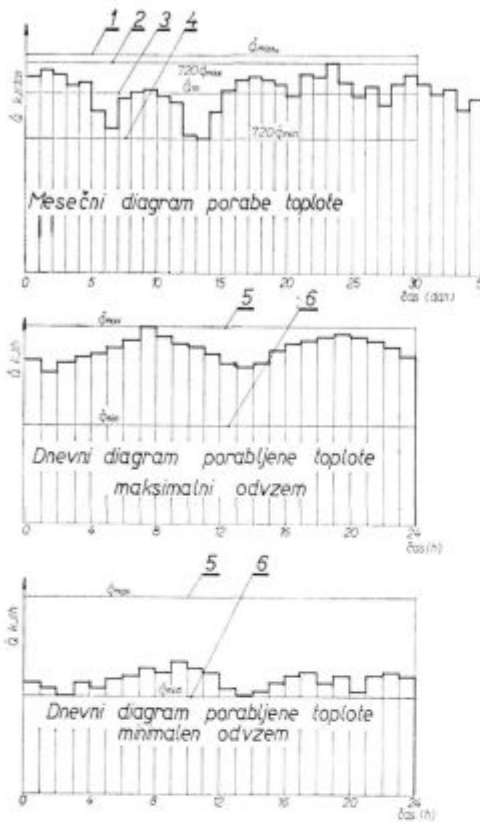
$\dot{V}_{ZPo}$  je dejansko porabljena količina zemeljskega plina na mesec, če kurimo samo z zemeljskim plinom, in je enaka:

$$\dot{V}_{ZPo} = \frac{\dot{Q}_{dej}}{H_{ZP}} \quad \text{m}_n^3/\text{mes} \quad (40)$$

Ceno zemeljskega plina izračunamo po enačbi:

$$c_{ZPo} = a \frac{K_{20}}{K_{10}} + c + b (K_{20} - 1) \quad \text{din/m}_n^3 \quad (41)$$

- 1 Planirana mesečna količina toplote
- 2  $\dot{Q}_{720}$  objena toplota pri polnem kurjenju
- 3 dejanska porabljena toplota
- 4  $\dot{Q}_{720}$  porabljena toplota pri minimalnem kurjenju
- 5 maksimalna urna poraba toplote
- 6 minimalna urna poraba toplote



Slika 4  
Mesečni in dnevni maksimalni oziroma dnevni minimalni diagram porabljene toplote  
Fig. 4  
Monthly and daily maximal and daily minimal heat consumption

Koeficienta  $K_{10}$  in  $K_{20}$  sta določena po diagramih mesečne in dnevne porabe energije. Za določenega odjemalca, ki ima svoj specifičen režim dela, sta ta dva koeficienta, če kurimo samo z zemeljskim plinom, fiksna podatka. Nanju in s tem na ugodnejšo ceno zemeljskega plina lahko vplivamo edino s spremembo režima dela, kar pa v veliko primerih ni možno.

Stroški porabljene mesečne energije, če kurimo z rezultirajočo plinsko mešanico, so

$$S_{eRPM} = S_{eZP} + S_{ePB} \quad \text{din/mes} \quad (42)$$

Stroški energije so vsota stroškov dovedene energije z zemeljskim plinom in stroškov dovedene energije s plinom zamenjevalcem.

Stroški energije, dovedene z zemeljskim plinom, so

$$S_{eZP} = \dot{Q}_{ZP} \cdot c_{eZP} = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} \quad \text{din/mes} \quad (43)$$

Stroški energije, dovedene s plinom zamenjevalcem, so

$$S_{ePB} = \dot{Q}_{PB} \cdot c_{ePB} = \dot{V}_{PB} \cdot c_{PB} \quad \text{din/mes} \quad (44)$$

Cena zemeljskega plina v enačbi (13) je definirana

$$c_{ZP} = a \frac{K_2}{K_1} + c + b(K_2 - 1) \quad \text{din/m}_n^3 \quad (45)$$

Faktorja  $K_1$  in  $K_2$  se razlikujeta od faktorjev  $K_{10}$  in  $K_{20}$ . Določimo ju na novo, pri tem pa si prizadevamo, da sta določena tako, da se cena zemeljskega plina čim bolj približuje ceni zemeljskega plina pri porabi v pasu.

Cena plina zamenjevalca propan-butana se s porabo ne spreminja.

Enačbo (42) lahko z upoštevanjem enačb (43) in (44) zapišemo

$$S_e = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} + \dot{V}_{PB} \cdot c_{PB} \quad \text{din/mes} \quad (46)$$

Dejansko porabljeno toploto na mesec izrazimo  $\dot{Q}_{dej} = \dot{V}_{ZPo} \cdot H_{ZP} = \dot{V}_{ZP} \cdot H_{ZP} + \dot{V}_{PB} \cdot H_{PB}$  kJ/mes; (47) (kcal/mes)

Faktor redukcije zemeljskega plina  $R$  definiramo z

$$r = \frac{\dot{V}_{ZP}}{\dot{V}_{ZPo}} R = 100 \cdot r \quad \% \quad (48)$$

pri čemer je  $r \leq 1$

Iz enačbe (47) z upoštevanjem enačbe (48) izrazimo  $\dot{V}_{PB}$

$$\dot{V}_{PB} = \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} \cdot \dot{V}_{ZPo} (1 - r) \quad \text{m}_n^3/\text{mes} \quad (49)$$

Enačba (46) se sedaj glasi

$$S_e = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} + \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} \dot{V}_{ZPo} (1 - r) \cdot c_{PB} \quad (50)$$

Cena energije na enoto zemeljskega plina pri kurjenju samo z zemeljskim plinom je torej:

$$c_e = \frac{S_e}{\dot{V}_{ZPo}} = R \cdot c_{ZP} + \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} (1 - r) \cdot c_{PB} \quad (51)$$

Na osnovi enačb (39), (41), (45) in (51) in s pomočjo mesečnega in dnevnega diagrama porabe energije lahko poiščemo optimalne razmere zamenjevanja zemeljskega plina s plinom zamenjevalcem (PB).

Ta problem težko posplošimo, ker je potrebno pri iskanju optimalnih razmer upoštevati vse specifičnosti porabnika, ki jih ne moremo definirati v splošnem matematičnem izrazu. Kot primer izračuna navedemo naslednji primer:

Za narisani mesečni diagram (sl. 4) porabe energije dobimo s planimetriranjem dejansko mesečno porabo toplote, ki znaša

$$\dot{Q}_m = 1,39 \cdot 10^{11} \text{ kJ/mes} \quad (3,32 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Iz obeh dnevnih diagramov dobimo maksimalno dnevno porabo

$$\dot{Q}_{\max} = 5,32 \cdot 10^9 \text{ kJ/dan} \quad (12,72 \cdot 10^8 \text{ kcal/dan})$$

in minimalno dnevno porabo

$$\dot{Q}_{\min} = 3,410 \cdot 10^9 \text{ kJ/dan} \quad (8,17 \cdot 10^8 \text{ kcal/dan})$$

Osnovni podatki za izračun

Kalorična vrednost obeh plinskih mešanic

$$H_{ZPZ} = 33488 \text{ kJ/m}_n^3 \quad (8000 \text{ kcal/m}_n^3)$$

$$H_{PBZ} = 25115 \text{ kJ/m}_n^3 \quad (6000 \text{ kcal/m}_n^3)$$

Osnovni podatki za zemeljski plin in tekoči plin so navedeni v I. poglavju članka.

Planirana količina zemeljskega plina

$$\dot{Q}_{\max} = 1,67 \cdot 10^{11} \text{ kJ/mes} \quad (4,0 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Cena zemeljskega plina

$$c = 2,473 \text{ din/m}_n^3$$

Faktorja transporta in neenakomernosti odvzema

$$a = 0,3$$

$$b = 1,2$$

Cena plina zamenjevalca, še ne mešanega z zrakom

$$c_{TNP} = 2,3 \text{ din/kg}$$

Cena rezervnega kuriva, ki je navedena za tekoče stanje, preračunamo na plinsko mešanico PBZ

$$c_{PB} = c_{TNP} \frac{H_{PBZ}}{H_{TNP}} = 2,3 \frac{6000}{11000} = 1,255 \text{ din/m}_n^3$$

Obdelamo računsko oba načina kurjenja.

Kurjenje samo z zemeljskim plinom

Iz diagrama dnevne porabe toplote razberemo največjo urno porabo toplote

$$\dot{Q}_{\max} = 2,51 \cdot 10^8 \text{ kJ/h} \quad (6,0 \cdot 10^7 \text{ kcal/h})$$

Količino zemeljskega plina določimo iz mesečne porabe toplote

$$\dot{V}_{ZPo} = \frac{\dot{Q}_m}{H_{ZP}} = \frac{1,39 \cdot 10^{11}}{33488} = 4,15 \cdot 10^6 \text{ m}_n^3/\text{mes}$$

Po enačbah iz I. dela članka izračunamo faktor neenakomerne porabe in faktor dejanske porabe

$$K_{10} = 0,926$$

$$K_{20} = 1,205$$

Ceno zemeljskega plina, če kurimo samo z zemeljskim plinom, izračunamo po enačbi (11)

$$c_{ZPo} = 0,3 \frac{1,205}{0,926} + 2,473 + 1,2 (1,205 - 1)$$

$$c_{ZPo} = 3,103 \text{ din/m}_n^3$$

Za kasnejše primerjanje cen preračunamo na 1000 kcal in dobimo

$$c_{eo} = 0,388 \text{ din/1000 kcal}$$

Drugi primer kurjenja je, če konice pokrivamo z rezervnim kurivom, t.j. s plinom zamenjevalcem. V I. delu smo ugotovili, da je najugodnejši primer

takšnega kurjenja, če zemeljski plin trošimo v pasu. Za tak primer kurjenja sta faktorja

$$K_1 = K_2 = 1$$

Iz diagrama minimalne porabe dobimo

$$\dot{Q}_{\min} = 12,56 \cdot 10^7 \text{ kJ/h} \quad (3,10^7 \text{ kcal/h})$$

Količina toplote, ki jo dovedemo z zemeljskim plinom, znaša

$$\dot{Q}_{ZP} = 9,04 \cdot 10^{10} \text{ kJ/mes} \quad (2,16 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Toplota, ki jo moramo pokriti s plinom zamenjevalcem, znaša

$$\dot{Q}_{PB} = \dot{Q}_m - \dot{Q}_{ZP} = 4,86 \cdot 10^{10} \text{ kJ/mes} \quad (1,16 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Stopnja redukcije zemeljskega plina znaša po enačbi (48)

$$R = \frac{\dot{V}_{ZP}}{\dot{V}_{ZPo}} = \frac{\dot{Q}_{ZP}}{H_{ZP}} \cdot \frac{H_{ZP}}{\dot{Q}_m} = \frac{\dot{Q}_{ZP}}{\dot{Q}_m} = 0,65$$

Po enačbi (21) izračunamo ceno energije za opisani primer kurjenja

$$c_e = (0,3 + 2,473) \cdot 0,65 + \frac{8000}{6000} (1 - 0,65) \cdot 1,255 = 2,388 \text{ din/m}_n^3$$

Cena energije, preračunana na enoto 1000 kcal

$$c_e = 0,267 \text{ din/1000 kcal}$$

Razlika v ceni med najugodnejšim in najneugodnejšim primerom je

$$\Delta c = 31,18 \%$$

## 6.0 PLINSKI SISTEM V INDUSTRIJI PRI ZAMENJAVANJU IN KOMBINIRANJU PLINSKIH GORIV

Industrijski potrošniki zemeljskega plina v SR Sloveniji bodo lahko oskrbovani z zemeljskim plinom iz magistralnega plinovoda

— iz visokotlačnega omrežja

— iz srednjetačnega omrežja

Vrsto odvzema bo določala lokacija porabnika, manj pa velikost in tehnološki karakter.

Direktno oskrbovani porabniki iz visoko tlačne mreže bodo imeli urejeno reduciranje tlaka v dveh stopnjah. Te postaje imajo funkcijo reduciranja tlaka, regulacije in merjenja pretoka zemeljskega plina, imenujemo jih glavne industrijske merilno-regulacijske postaje.

Porabniki, oskrbovani iz srednje tlačne mreže, bodo opremljeni s postajami, kjer bo redukcija tlaka samo v eni stopnji.

Predredukcija tlaka bo izvedena že prej v glavni industrijski merilno-regulacijski postaji, ki bo oskrbovala širšo okolico z zemeljskim plinom srednjega tlaka. Postaja pri porabniku, ki je oskrbovan iz srednjetačnega mreže, se imenuje merilno-regulacijska postaja. Tak način je predviden za mestna področja ali večje industrijske odjemalce.

Slike 5, 6, 7 shematsko prikazujejo osnovne načine priključitve na magistralno mrežo ZP za karakteristične industrijske porabnike.



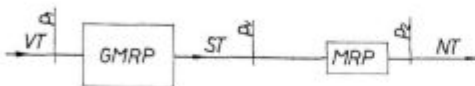
Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 1 \text{ bar}$

Slika 5

Dvostopenjska redukcija tlaka zemeljskega plina v glavni industrijsko merilno regulacijski postaji — GIMRP

Fig. 5

Double-grade pressure reduction of natural gas. In the main industrial measuring and regulation station — GIMRP



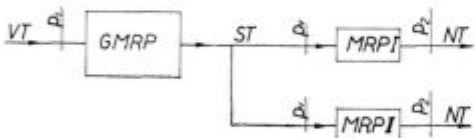
Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 10 - 5,3 \text{ bar}$   
 $p_{2m} = 1 \text{ bar}$

Slika 6

Ločena redukcija tlaka zemeljskega plina, prva stopnja redukcije v glavni merilno regulacijski postaji — GMRP in druga stopnja redukcije v merilno regulacijski postaji — MRP

Fig. 6

Separated pressure reduction of natural gas. The first reduction grade is in the main measuring and regulation station — GMRP, the second reduction grade is in the measuring and regulation station — MRP



Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 3 \text{ bar}$   
 $p_{2m} = 1 \text{ bar}$

Slika 7

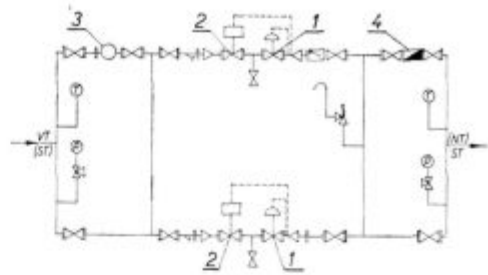
Primer oskrbe velikega porabnika, ki ima zelo oddaljena potrošna mesta

Fig. 7

Example of supply to a great consumer with very distant small consumers

Merilno-regulacijske postaje so opremljene s takole osnovno opremo:

- regulacijska oprema za enostopenjsko ali dvostopenjsko redukcijo plina,
- varnostna oprema za preprečevanje prekočitve tlaka in povratnih udarcev,
- vezna armatura (plinski ventili),
- instalacije,
- lovilnik nesnage,
- merilniki tlaka in temperature,
- merilniki pretoka plina.



- 1 Regulator
- 2 Varnostna loputa
- 3 Skruber
- 4 Mertec pretaka

Slika 8

Shema enostopenjske merilno regulacijske postaje

Fig. 8

Scheme of a single-grade measuring and regulation station

Regulacijska oprema je izvedena v dveh linijah. Ena linija je rezervna. Obe liniji sta medsebojno povezani in je možno avtomatsko aktiviranje rezervne linije. Osnovno shemo enostopenjske merilno-regulacijske postaje prikazuje slika 8.

Pri uvajanju zemeljskega plina za industrijsko porabo je pri izbiri načina odvzema ZP potrebno upoštevati tele elemente:

- obseg in način porabe ZP,
- dolgoročno pokrivanje porabe toplotne energije,
- dolgoročno oskrbovanje s toplotno energijo,
- tehnološke karakteristike potrošnih mest,
- sedanji način oskrbovanja s toplotno energijo,
- obstoječe kurilne naprave z opremo in instalacijami obstoječega plinskega sistema,
- možnosti dopolnjevanja in zamenjevanja plinske energije z drugimi plini (konične porabe, izpadi ZP, ekonomika obratovanja).

Pred odločitvijo o načinu odvzema in oskrbe z zemeljskim plinom moramo analizirati naslednje glavne elemente plinskih sistemov:

a) Sedaj uporabljamo naslednje kurilne pline:

1. generatorski plin (GP)
2. plavžni plin (PP)
3. TH — plin
4. plinsko fazo tekočega naftnega plina (PB)
5. mešanico propan-butan-zrak (PBZ)
6. mestni — plinarniški plin (MP)
7. cepljeni plin (CP)
8. porabnik brez plinske oskrbe

b) Upoštevati moramo dejstvo, da plini, ki vsebujejo CO in H<sub>2</sub>, niso zamenljivi z zemeljskim plinom pri nespremenjenih armaturah in gorilnikih.



c) Z upoštevanjem tega lahko pišemo:

- GP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PB  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- CP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PBZ  $\rightleftharpoons$  ZP . . . . . je zamenljiv
- PBZ  $\rightarrow$  ZPZ . . . . . je zamenljiv
- CP  $\nrightarrow$  ZPZ . . . . . ni zamenljiv
- MP  $\nrightarrow$  ZPZ . . . . . ni zamenljiv

Na način izbire transportiranja zemeljskega plina od merilneregulacijske postaje do porabnih mest vpliva:

- obstoječa inštalacija
- obstoječe naprave
- lokacija potrošnih mest
- velikost posameznih potrošnih mest
- način porabe posameznih potrošnih mest
- razvoj

Za oskrbovanje uporabljamo naslednje sisteme:

1. linijski sistem oskrbe
2. oskrba iz zanke
3. mešani način oskrbe

Pri izbiri načina oskrbe je najvažnejša lokacija, velikost in poraba posameznih potrošnih mest. Običajno uporabljamo linijski način in mešani način oskrbe. Pri linijskem načinu se po posameznih vejah omrežja oskrbujejo potrošna mesta iz centralne merilneregulacijske postaje. V primerih, ko se nam tlačne razmere na določenih potrošnih mestih preveč spremenijo, nastane prevelika odvisnost distribucijskega tlaka od porabe, povežemo lahko samo nekaj kritičnih potrošnih mest v zanko, ostali pa so oskrbovani linijsko. Tak način je mešani način oskrbe. Če povežemo vsa potrošna mesta, da bi izboljšali tlačne razmere na potrošnih mestih, imenujemo tak sistem oskrba iz zanke.

Od prej naštetih pogojev je odvisen tudi tlak v razdelilnem plinskem sistemu. Po nemških normah (DVGW) ločimo naslednje tlačne režime:

1. nizekotlačni . . . . . do 4905 N/m<sup>2</sup> (500 mm H<sub>2</sub>O)
2. srednjetačni . . . . . od 4905 N/m<sup>2</sup> do 2,94 bar (500 mm H<sub>2</sub>O do ca. 3 at)
3. visokotlačni . . . . . nad 2,94 bar (nad 3 at)

Za izbrani tlačni režim, hitrost plina in prepustnost cevovodov je dejanski delovni tlak pri porabniku osnovni pokazatelj za pravilno izbiro plinskega oskrbovalnega sistema.

Za posamezne režime ločimo po velikosti naslednje tlake:

1. oskrbovalni tlak . . . . .  $p_o$  . . . . . tlak v oskrbovalnem cevovodu
2. distribucijski tlak . . . . .  $p_d$  . . . . . tlak v internem razvodu
3. tlak na potrošnem mestu . . . . .  $p_p$  . . . . . dejanski tlak pri porabniku

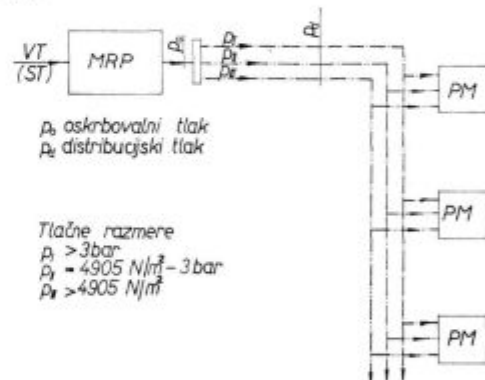
Pri prehodu na novi plinski medij moramo izvršiti še podrobno analizo stanja naprav, opreme in aparatov obstoječega plinskega sistema. Pri tem moramo podrobno obdelati:

- instalacije
- zaporne armature
- regulacijske armature
- varnostne armature
- merilno-regulacijsko opremo

V nadaljevanju bomo obdelali različne variante plinskih sistemov za različne kombinacije medsebojne uporabe zemeljskega plina ali plinske mešanice zemeljski plin-zrak s plinskimi mešanici plinske faze TNP ali PB z zrakom. Sočasno bomo upoštevali tudi različne tlačne režime in načine oskrbe.

### Plinski sistem za čisti zemeljski plin

Plinski sistem je uporaben za porabnike, ki do sedaj v svoji energetski oskrbi še nimajo plinskih goriv, in odvzemnike, ki bodo zgradili poleg obstoječe plinske mreže novo plinsko mrežo za oskrbovanje določene skupine potrošnih mest. Slika 9 prikazuje linijsko oskrbo, slika 10 pa oskrbo v zanki.

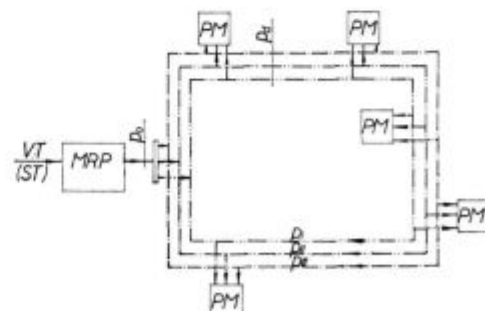


Slika 9

Linijska oskrba potrošnih mest samo z zemeljskim plinom z različnimi tlačnimi nivoji

Fig. 9

Line supply of consumers with natural gas alone, being at various pressure levels



Slika 10

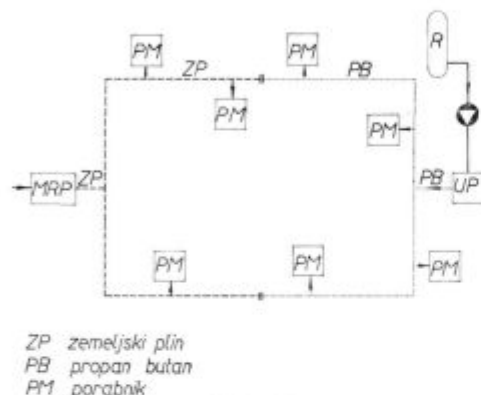
Oskrba potrošnih mest samo z zemeljskim plinom iz zanke za različne tlačne nivoje

Fig. 10

Supply of consumers with natural gas alone from the loop for various pressure levels

**Plinski sistem za čisti ZP in ločeni sistem za PB**

V bistvu obravnavamo dva ločena plinska sistema, enega za ZP in drugega za PB. Uporaben je za porabnike, ki že uporabljajo PB, vendar bodo za določeno skupino potrošnih mest uporabljali samo čisti ZP. Pri tem moramo upoštevati dvojnost sistema in nezamenljivost PB z ZP. Vpliv nihajoče in konične porabe ZP pri taki rešitvi ni možno kompenzirati brez večjih investicij. Ob izpadu enega od plinskih medijev nimamo nobene rezerve. Shema takega sistema je prikazana na sliki 11.



ZP zemeljski plin  
PB propan butan  
PM porabnik

Slika 11

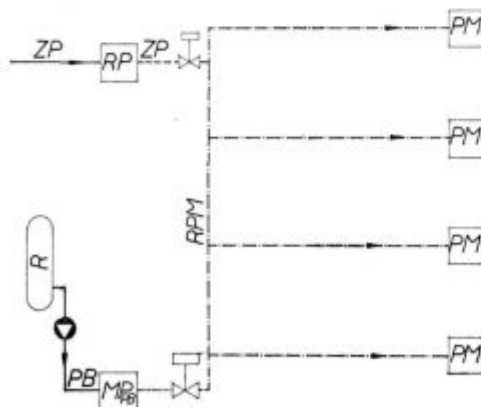
**Kombinirani sistem oskrbe potrošnih mest z zemeljskim plinom in propan-butanom, ki sta med sabo ločena**

Fig. 11

**Combined supply system with the separated natural and propane-buthane gas**

**Plinski sistem za ZP in PBZ**

Sočasna uporaba obeh plinov je možna pri uporabi plinske mešanice propan-butan-zrak (PBZ). Za tak način uporabe je potrebna mešalna naprava za mešanje PB z zrakom. Sistem oskrbujemo z ZP iz merilno-regulacijske postaje (MRP) in s PBZ iz mešalne postaje (MP). Glede na vrsto, značaj in velikost potrošnje je možen sistem v zanki (slika 13) ali linijski sistem (slika 12).

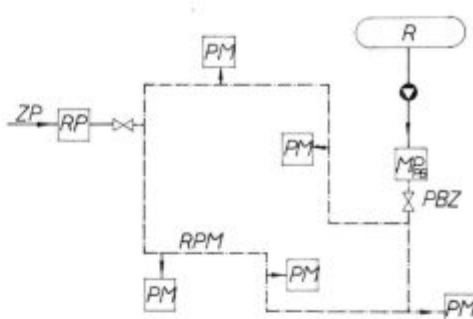


Slika 12

**Linijski sistem kombinirane oskrbe potrošnih mest z zemeljskim plinom in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 12

**Line system of the combined supply with the natural gas and the propane-buthane-air mixture**



Slika 13

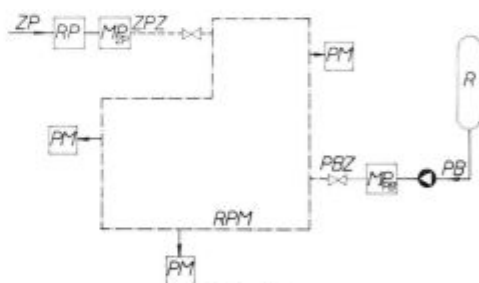
**Kombinirani sistem oskrbe iz zanke potrošnih mest z zemeljskim plinom in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 13

**Combined supply system from loop with the natural gas and the propane-buthane-air mixture.**

**Plinski sistem za ZPZ in PBZ**

Zamenljivost PBZ in ZPZ je možna v širšem območju. Rezultirajoča plinska mešanica (RPM) obeh komponent se lahko brez dodatnih omejitev uporablja na gorilnikih. Zemeljski plin se po redukciji (MRP) v mešalni postaji meša z zrakom na zahtevano kurilno vrednost in z njim napaja sistem. Enako se PB v mešalni postaji meša z zrakom na zahtevano kurilno vrednost in vodi v sistem. Tak plinski sistem je zelo elastičen; možna je kompenzacija nihajoče porabe in porabe ZP v pasu. Glede na vrsto, značaj in obseg potrošnih mest je lahko sistem izveden v zanki (slika 14) ali linijsko (slika 15).



Slika 14

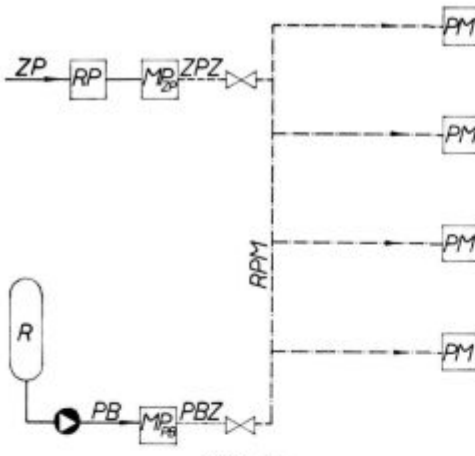
**Kombinirani sistem oskrbe iz zanke potrošnih mest s plinsko mešanico zemeljski plin-zrak in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 14

**Combined supply system from loop with the natural gas — air mixture and the propane-buthane-air mixture**

**Obratovanje plinskega sistema ZPZ in PBZ**

Porabo plinske energije (ZPZ in PBZ) diktirajo porabniki, oz. tehnološki postopki. Poraba ni enakomerna, ampak niha. Plinski sistem priredimo tako, da odvezujemo časovno konstantno količino ZP, spreminjamo pa časovno porabo tekočega naftnega plina v mešanici PBZ. S pomočjo programskega regulatorja, ki dobiva impulz z merilnega mesta na obeh oskrbovanih cevovodih plinskih medijev, ustrezno nastavljamo pretočno količino enega ali drugega plinskega medija.



Slika 15

Kombinirani linijski sistem oskrbe potrošnih mest s plinsko mešanico zemeljski plin-zrak in plinsko mešanico propan-butan-zrak

Fig. 15

Combined line supply system with the natural gas-air mixture and the propane-butane-air mixture

**Armature**

Pri plinskih sistemih uporabljamo različne armature, ki služijo za odpiranje, pripiranje in zapiranje plinskega pretoka. Uporabljamo plinske ventile, zasune (ročne ali daljinsko krmiljenje), vodne zapore in lopute. Poleg tesnosti za plin, obratovalne vzdržljivosti in konstrukcijske robustnosti zahtevamo od armature tudi, da povzročajo male padce tlaka in da imajo linearno karakteristiko pretoka plina v celem obratovalnem območju. Pomembno je, da pri uvajanju novih plinskih medijev upoštevamo za armature krivulje propustnosti in glede na tlačni režim izberemo tiste, ki nam funkcionalno najbolj ustrezajo v sistemu.

**Tlačne razmere v cevovodih**

Pri obravnavi plinskega sistema in uvajanju novih plinskih medijev moramo upoštevati vpliv fizikalnih lastnosti (gostota, viskoznost) na tlačne razmere v cevovodih. Obdelati moramo spremembo tlakov zaradi spremembe hitrosti, ki je pogojena s spremembo pretočnih volumnov, vpliv uporov armatur in merilnikov na tlačne razmere v cevovodih in izgubo tlaka zaradi trenja v cevovodih. Pri tem obravnavamo:

$$\Delta p|_o^n = \sum (\Delta p_w + \Delta p_x + \Delta p_\lambda) \dots N/m^2 \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

$\Delta p|_o^n$  — skupna sprememba tlaka v plinskem sistemu

$\Delta p_w$  — sprememba tlaka zaradi spremembe hitrosti

$\Delta p_x$  — izguba tlaka zaradi uporov armatur in merilnikov v plinskem sistemu

$\Delta p_\lambda$  — izguba tlaka zaradi trenja v plinskem sistemu

**Regulacija tlaka pri porabnikih**

Pogoj za pravilno in učinkovito zgorevanje plina na mestu porabe je, da dovajamo plin na gorilnik pri konstantnem tlaku. Ta pogoj je posebno pomemben pri uporabi ZP in mešanice ZP in PBZ. Kurilno tehnične lastnosti plinov zamenjevalcev se bistveno razlikujejo od kurilno tehničnih lastnosti »klasičnih« plinov. Zato je nujna vgradnja regulatorjev tlaka pred uporabniki. Osnovna naloga plinskega regulatorja je, da nihajoči tlak iz omrežja regulira na konstantno vrednost pri uporabniku. Pri opredelitvi in izboru regulatorjev je potrebno, da pregledamo nekatere njihove osnovne karakteristike:

Karakteristika	Razlaga	Po DIN 3380 (DVGW - G 650)
----------------	---------	----------------------------

NP — predpisani tlak za ohišje regulatorja (trdnost)

$p_{pl}$  — tlak plina pred regulatorjem

$p_{plmax}$  — maksimalni tlak plina pred regulatorjem

$p_{plmin}$  — minimalni tlak plina pred regulatorjem

$P_{opl}$  — območje nihanja tlaka plina pred regulatorjem

$p_{p2}$  — tlak plina za regulatorjem

$P_{pl-2}$  — padec tlaka v regulatorju

$p_{pr}$  — regulirani tlak plina (na regulatorju)

$P_{opr}$  — območje nihanja reguliranega tlaka plina

$p_{pz}$  — zaporni tlak regulatorja

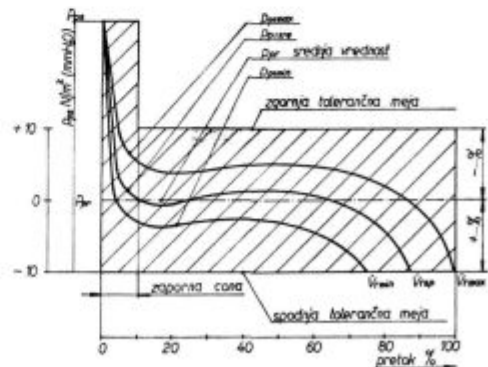
$V_r$  — kapaciteta regulatorja

$V_{rmax}$  — maksimalna kapaciteta regulatorja

$V_{rmin}$  — minimalna kapaciteta regulatorja

Po načinu delovanja ločimo regulatorje brez pomožne energije in regulatorje s pomožno energijo. Prav tako ločimo regulatorje glede na tlačne stopnje: od 0,49 bar (0,5 at), 15,69 bar (16 at), 24,52 bar (25 at), 39,23 bar (40 at) in 62,76 bar (64 at).

Pri izboru regulatorja moramo upoštevati toleranco tlaka za regulatorjem ( $p_{p2}$ ) v odvisnosti od reguliranega tlaka ( $p_{pr}$ ). Po DIN 3380 ločimo tako



Slika 16

Karakteristika p/V tlačnega regulatorja

Fig. 16

p/V characteristics of a pressure regulator

tri skupine regulatorjev: R 3 s toleranco  $\pm 3\%$ , R 10 s toleranco  $\pm 10\%$  in R 25 s toleranco  $\pm 25\%$ . Bistvenega pomena pri izboru regulatorja je njegova karakteristika  $p/V$ , ki je prikazana na sliki 16. Tipične normirane krivulje z dovoljenim tolerančnim poljem (DIN 3380) kažejo karakteristično spremembo tlaka za regulatorjem kot funkcijo pretoka.

Uporabljene oznake:

$\dot{Q}$	— toplotna obremenitev v $\text{kJ/h}_2$ ali $\text{kcal/h}$
$p_{1,2P}$	— tlak plinskega medija v $\text{N/m}^2$ , barih ali mb
ZP	— zemeljski plin
ZPZ	— mešani plin zemeljski plin + zrak
PB	— plinska faza tekočega naftnega plina, ali propan-butan
PBZ	— mešani plin iz propana-butana in zraka
R	— stopnja redukcije v %
RPM	— rezultirajoča plinska mešanica
$\rho_0$	— gostota plinskega medija ali plinske mešanice pri normnih pogojih $\text{kg/m}_0^3$
d	— relativna gostota z ozirom na zrak $d = 1$ , premer cevovoda v m
m	— koeficient zoženja (zaslonka, Vneturijeva cev i. p.)
$\alpha$	— pretočno število
$\alpha$	— premer cevovoda mm
f	— vlažnost plina v $\text{kg/m}_0^3$
D	— diferencialni tlak
$\vartheta$	— temperatura $^\circ\text{C}$
T	— temperatura v K
$\eta$	— dinamična viskoznost $\text{kg/ms}$
H	— kurilnost plina ali plinske mešanice v $\text{kJ/m}_0^3$ ali $(\text{kcal/m}_0^3)$
$Z_t$	— teoretična poraba zraka za zgorevanje
$Z_t'$	— specifična poraba zraka
$D_{st}$	— teoretična količina vlažnih dimnih plinov
$V_{PB}$	— delež plinske faze PB v mešanem plinu PBZ ali RPM $\text{m}_0^3/\text{m}_0^3$
$V_{ZP}$	— delež zraka v mešanem plinu PBZ; ZPZ ali RPM $\text{m}_0^3/\text{m}_0^3$
$V_Z$	— delež mešanega plina ZPZ v RPM $\text{m}_0^3/\text{m}_0^3$
$V_{ZPZ}$	— delež mešanega plina PBZ v RPM $\text{m}_0^3/\text{m}_0^3$
$V_{PBZ}$	— količina zemeljskega plina $\text{m}_0^3/\text{h}$
$\dot{V}_Z$	— količina zraka $\text{m}_0^3/\text{h}$
$\dot{V}_{ZPZ}$	— količina mešanega plina ZPZ $\text{m}_0^3/\text{h}$
$\dot{V}_{PB}$	— količina plinske faze propan-butan $\text{m}_0^3/\text{h}$
$\dot{V}_{PBZ}$	— količina mešanega plina PBZ $\text{m}_0^3/\text{h}$
$\dot{V}_{RPM}$	— količina rezultirajoče plinske mešanice RPM $\text{m}_0^3/\text{h}$
KP	— kurilni plin
$V_{ZPZR}$	— reducirana količina mešanega plina ZPZ
p	— nadtlak plina $\text{N/m}^2$
b	— atmosferski tlak $\text{N/m}^2$
K	— konstanta merilnika z zoženjem prereza
k	— konstanta hrapavosti cevi
dp	— diferencialni tlak $\text{N/m}^2$
$\lambda_R$	— koeficient trenja
$\lambda_n$	— koeficient pospeševanja
dL	— diferencial dolžine m
w	— hitrost plina v cevovodu $\text{m/s}$

L	— dolžina cevovoda m
Re	— Reynoldsovo število
A	— konstanta, prerez plinskih šob $\text{m}^2$
B, C	— konstante
E, F	— konstante cevovoda
$C_1, C_2$	— konstante plinskega gorilnika
$S_{00}$	— stroški porabljene energije, ki jo pokrijemo samo z zemeljskim plinom $\text{din/mes}$
$\dot{V}_{ZPO}$	— dejansko porabljena količina zemeljskega plina na mesec, če kurimo samo z zemeljskim plinom $\text{m}_0^3/\text{mes}$
$c_{ZPO}$	— cena zemeljskega plina, če kurimo samo z zemeljskim plinom $\text{din/m}_0^3$
$K_{10}, K_{20}$	— faktorja, ki upoštevata neenakomerno porabo in dejansko porabo
$K_1, K_2$	— faktorja, ki upoštevata neenakomerno porabo in dejansko porabo
a	— faktor transporta $\text{din/m}_0^3$
b	— faktor neenakomernosti odvzema $\text{din/m}_0^3$
c	— cena zemeljskega plina na meji $\text{din/m}_0^3$
$S_{0RPM}$	— stroški porabljene energije, če kurimo z RPM $\text{din/mes}$
$S_{0ZP}$	— stroški energije dovedene z zemeljskim plinom $\text{din/mes}$
$S_{0PB}$	— stroški energije dovedene s plinom zamenjevalcem $\text{din/mes}$
$c_{ZP}$	— cena zemeljskega plina pri kombiniranem kurjenju $\text{din/m}_0^3$
$c_{PB}$	— cena plina zamenjevalca $\text{din/m}_0^3$
$c_{ZP}$	— cena energije dovedene z ZP $\text{din/kJ}$ ( $\text{din/kcal}$ )
$c_{0PB}$	— cena energije dovedene s plinom zamenjevalcem $\text{din/kJ}$ ( $\text{din/kcal}$ )
r	— faktor redukcije zemeljskega plina
$c_0$	— cena energije ( $\text{din/kcal}$ ) $\text{din/kJ}$
GP	— generatorski plin
RP	— plavžni plin
MP	— mestni — plinarniški plin
CP	— cepljeni plin
$p_0$	— oskrbovalni tlak
$p_d$	— distribucijski tlak
$p_p$	— tlak na potrošnem mestu
$\Delta p _0^*$	— sprememba tlaka v sistemu
$\Delta p_w$	— sprememba tlaka zaradi hitrosti
$\Delta p_s$	— izguba tlaka zaradi armatur
$\Delta p_\lambda$	— izguba tlaka zaradi trenja v cevovodu

Literatura:

1. B. Loriger, dipl. ing., Petrol Ljubljana, Posvetovanje o gazifikaciji Slovenije, referat, dec. 1975
2. B. Sicherl, D. Vodeb: Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji, I. del, Žel. zbornik št. 4, 1976
3. H. Richter: Rohrhydraulik, Springer Verlag 1962

Pripis fusnota k članku

Sicherl: Problematika zamenljivosti . . .

Avtorji se za posredovanje podatkov o formiranju cene ter prikazu na primerih (Železarski zbornik, letnik 10, december 1976, str. 163) zahvaljujejo Ferdu Medlu dipl. inž., direktorju tehniških služb Železarne Ravne.

## ZUSAMMENFASSUNG

In der Industriepraxis werden wir bei der Einführung des Erdgases im breiten Verbrauch mit den Verbrauchern zu tun haben, welche schon den flüssigen Erdölgas benutzen und über die Mischanlagen für die Erzeugung des gemischten Gases Propan-Butan-Luft verfügen, und anderen, welche Gas als Heizmittel erst anwenden werden.

Für beide Fälle dieser Verbraucher sind charakteristische Parameter der Gasmischungen bearbeitet worden für den Fall der Einschränkung des Erdgases als grundlegenden Heizgases. Da bei der Einschränkung der Gasmenge eine Änderung der Durchflussmenge eintritt und sich die physikalischen Eigenschaften der resultierenden Gasmischung ändern, sind die Änderungen dieser Eigenschaften und des Luftverbrauches für die Verbrennung bearbeitet worden. Die angegebenen neuen Eigenschaften äussern sich bei der Projektierung der Brenner und als Änderung der Durchflusswiderstände in Gasleitungen.

Beim Messen der Durchflussmengen der resultierenden Gasmischung mit klassischen Messgeräten mit einer Ein-

dämmung des Durchflussquerschnittes durch die Messblende, entsteht wegen der Änderung der physikalischen Eigenschaften und der tatsächlichen Änderung des Volumens eine Änderung des Differenzdruckes. Die Änderungen der Mess-skala der Messgeräte werden behandelt und die Art der Korrektur derselben ist angegeben. Angedeutet sind Elemente—Umformer des Differenzdruckes mit eingebauten Korrektoren für die Dichte, Druck und Temperatur des Gasmediums.

Der Erdgaspreis ist eine Funktion des Wärmeverbrauches und ist beim Bandverbrauch am günstigsten. Die bearbeiteten Beispiele interpretieren die Änderungen dieser Werte für den günstigsten Fall. Die Art der Versorgung der Verbraucher mit Gas aus der Hoch- oder Mitteldruckgasleitung ist für ein Liniensystem und ein Schlingensystem zusammen mit der Behandlung der zugehörigen Armaturen und Druckreglern im Niederdrucksystem bearbeitet worden.

## SUMMARY

Introduction of natural gas into industry as the most common fuel will demand two ways of solutions. Some consumers already use liquid oil gas and they have mixing stations for production of mixed propane-butane-air gas. For the other consumers, the natural gas will be the first fuel gas. Characteristic parameters of gas mixtures when the amount of natural gas as the basic fuel is reduced are described for both types of consumers. Since such a reduction means also changed flow rate, and changed physical properties of the resulting gas mixture, also properties and changed air needs for combustion are described. The mentioned new properties have influence on the burner construction and on the flow resistance in pipes. In normal measuring the flow rates of the resulting gas mixtures by

contraction of the cross section, the changed physical properties and changed volumes cause various differential pressures, therefore the measuring scales of instruments must be corrected. Additional measuring devices — converters of differential pressure with built-in correctors for gas density, pressure and temperature are proposed.

Price of natural gas is a function of the heat consumption and it is the lowest in the band consumption. The treated examples interpret the changes of these parameters for the most unsuitable and for the optimal case. Gas delivery from the high-pressure and medium-pressure pipe line is treated for the line system and loop system together with the corresponding armatures and pressure regulators for reduction to the low-pressure system.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При введении природного газа для широкого применения в промышленности будем иметь с потребителями, которые уже употребляют газовую фазу ТНП и имеют в распоряжении смешительные станции для производства смешанного газа пропан-бутан-воздух, а также и с потребителями, которые лишь начнут с употреблением природного газа как топлива. Для обоих случаев таких потребителей разработаны типичные параметры газовых смесей в случае редукции природного газа как основного топлива. Так как при редукции наступают изменения вакуумного протока, а также изменяются физические свойства полученной смеси, разработаны изменения этих свойств и определено изменение расхода воздуха необходимого для сгорания. Приведенные новые свойства учитываются при проектировании горелок и при изменениях сопротивлений в трубопроводах. При измерении расхода полученной газовой смеси с классическими измерительными приборами при

сокращении проходного сечения возникают, вследствие изменения физических свойств и фактического изменения объема, изменения дифференциального давления. Рассмотрены изменения и интерпретирован способ корректуры шкал измерительных приборов. Дано указание на элементы — преобразователи дифференциального давления с смонтированными приборами для исправления густоты, давления и температуры газовой смеси.

Стоимость природного газа представляет собой функцию расхода теплоты; при зональном расходе она оптимальна. Рассмотренные примеры объясняют изменения этих значений при самом неблагоприятном и оптимальном случае. Способы снабжения потребителей с газом из газового трубопровода высокого, отн. среднего давления разработаны для линейной системы и для системы с петлей; при этом рассмотрены также принадлежащие арматуры и регуляторы давления в трубопроводах низкого давления.