



# ENERGETIKA

---

Studij: Kemijsko inženjerstvo (V semestar)

prof. dr. sc. Igor Sutlović

Prirodni plin nije jedino plinovito gorivo koje se koristi. U upotrebi se mogu naći i drugi plinovi. Jedan od najčešćih je propan-butan ili ukapljeni naftni plin. Na tržištu se pojavljuje u bocama i spremnicima.

### Plin u bocama



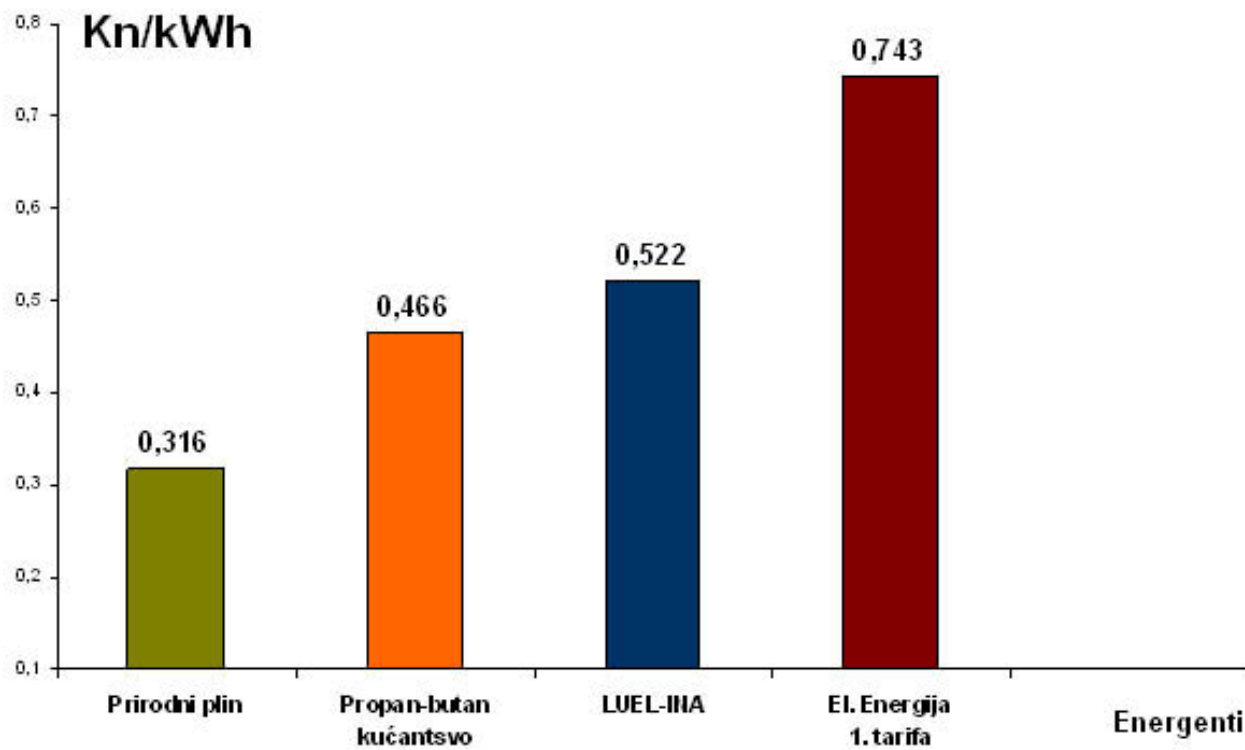
7,5, 10, 35kg

### Nadzemni spremnici



Volumen: 1750, 2700, 4850 litara

## Usporedne cijene pojedinih energenata u Hrvatskoj (Proplin d.o.o.)



# Tri sata topline na dan 3.000 kuna mjesečno

Korisnici se osjećaju prevarenima, privlačilo ih se niskom cijenom UNP-a, koji je u pet godina poskupio s 3,36 kuna na 7,87 kuna

**ZAGREB** » »Prije pet i više godina nas se poticalo na ugradnju i najam UNP-a za grijanje, čija je cijena tada bila 3,36 kuna po kilogramu, da bi danas ta cijena bila za 134 posto viša, 7,87 kuna po kilogramu, plus trošak najma spremnika. Vlada itekako mora o ovome povesti računa, budući da se na ukapljeni naftni plin, kojeg Hrvatska sama proizvodi u suvišku, grije 220.000 građana, i to pretežno u Dalmaciji, Istri, na Kvarneru, u Lici, Baranji i dijelu Slavonije, odnosno najviše u krajevima s nižim BDP-om po glavi stanovnika«, stoji u pismu grupe građana iz Makarske, korisnika UNP-a za male spremnike, našem listu. Ovaj je energent, kojem se cijena mijenja svakog zadnjeg dana u mjesecu, napominju, neznatno pojeftinio u veljači, no prije toga je samo poskupljivao, u prosincu prošle godine za više od 30 posto.

## Vrtoglave brojke

Kako je izračunala obitelj Mileta iz Makarske, koja kuću od 120 četvornih metara grije na UNP, za samo dva i pol, do najviše tri sata upaljenog grijanja dnevno, mjesečni račun im je oko tri tisuće kuna, odnosno oko 15.000 kuna za cijelu sezonu grijanja, dok njihova rodbina iz Varazdina, koja ima isti toliki životni prostor, ali i grijanje na prirodni plin, grija nje plaća 8.500 kuna godišnje.

– Rad kotla na UNP u trajanju od dva sata dnevno kroz pet mjeseci znači trošak od 10.100 kuna. Ako kotao radi, recimo, četiri sata, trošak



Potrošači traže razumniju cijenu za plin kojeg Hrvatska proizvodi u dovoljnim količinama

će se popeti na 20.150 kuna, i tako dalje. Samo najam spremnika, osim toga, stoji još 133 kune na mjesec, odnosno 1.596 kuna godišnje, ističe Bojan Mileta, napominjući kako ne treba posebno računati u kakvom su se položaju našli građani koji su UNP odabrali kao energent za grijanje svog doma, a koje se na prelazak na UNP pri-

vlačilo niskim cijenama.

## Pad potražnje

Posljedice dosadašnjeg stalnog poskupljenja UNP-a, napominje, trpe i proizvođači opreme, montažeri i serviseri, jer već sada se osjeća pad potražnje za tom opremom, što ima za posljedicu gubitak radnih mjesta, neisplatu plaća i ostalo. Već je dvoje njegovih

susjeda, zaključuje Mileta, odustalo od grijanja na UNP, koji im je postao preskup. Riječ je, podsjeća, o kućanstvima u Splitsko-dalmatinskoj županiji, čiji je BDP po glavi stanovnika 10.882 eura, za čak 10.132 eura manji od BDP-a u Zagrebu.

– Hrvatska ima viška UNP-a, pa nam se čini da ćemo ga radije ispustiti u zrak nego pronaći razumniju cijenu koja može odgovarati i proizvođačima i kupcima, zaključuju Makarani u svom pismu našem listu. Kako podsjećaju iz Udruge za UNP, Hrvatska je 2006. godine na Svjetskoj UNP konferenciji u SAD-u dobila čak i priznanje za poticanje i iznimni rast potrošnje autoplina i plina za male spremnike, da bi iste te godine, promjenom poslovne politike i uprave u »Proplinu«, krenulo postupno zaustavljanje rasta primjene UNP-a, i njegovo poskupljenje.

Bojana MRVOŠ PAVIĆ

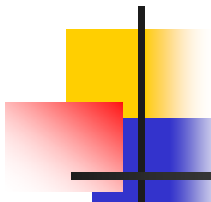
## Trošak grijanja i tople vode za kuću od 120-150 m<sup>2</sup> u kontinentalnoj Hrvatskoj

### TRAVANJ 2008. (podaci Proplina)

- » LOŽ-ULJE – 6,60 kn/l
- » UNP za grijanje – 2,30 kn/l
- Spremnik od 3.000 litara (1.680 kg)
- trošak za lož ulje 19.800 kuna, UNP 6.810 kuna

### PROSINAC 2010.

- » LOŽ-ULJE – 5,29 kn/l
- UNP za grijanje – 3,37 kn/l
- Spremnik od 3.000 litara (1.680 kg)
- trošak za lož ulje 15.870 kuna, UNP 10.080 kuna



Ukapljeni naftni plin (UNP, engl. LPG-Liquified Petroleum Gas) posebno je pogodan energent jer se dobiva ili u rafinerijskim postupcima prerade nafte (atmosferska destilacija) ili obradom sirovog prirodnog plina iz ležišta

---

Ukapljeni naftni plin (LPG-Liquified Petroleum Gas) najčešće je u omjeru propan(35%)/butan(65%), pri standardnim uvjetima je u plinovitom stanju, a pri povišenim tlakovima u kapljevitom. Pri normalnim uvjetima UNP je plinovit i teži od zraka, a ukapljuje se pri prilično niskim tlakovima, od 1.7 do 7.5 bar. Tlak ukapljivanja izravno ovisi o smjesi ( čisti butan se ukapljuje već pri 2.2 bar, a propan pri 22 bar). Ukapljeni naftni plin nema boje ni mirisa, stoga mu se dodaju odoranti kako bi se mogao otkriti u slučaju njegovog istjecanja. Kao energent može se koristiti energent na dva načina:

1. Kao čisti ukapljeni naftni plin (LPG-Liquified Petroleum Gas) propan/butan s time da prema standardu DIN 51622 ne smije biti udio butana preko 60%.
2. Kao miješani plin. Miješani plin je smjesa zraka (45%) i ukapljenog naftnog plina (55%) ali može biti drugi omjer. Miješani plin može poslužiti kao zamjensko (supstitucijsko) gorivo za prirodni plin u slučaju nestašice prirodnog plina ili kao prethodnica uvođenju i korištenju prirodnog plina. Njegov omjer daje (približno) istu vrijednost Wobbeovog broja pa nije potrebna preinaka ni instalacije ni ložišta.

<b>Naziv</b>	<b>Propan</b>	<b>Butan</b>
Formula	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$
Molarna masa M, kg/kmol	44,096	58,123
Plinska konstanta R, J (kg K)	188,5	143,18
Maseni udio ugljika %	81,71	82,66
Maseni udio vodika %	18,28	17,34
Vrelište $t_{vr}$ °C	- 42	- 0,5
Kritična temperatura $t_{kr}$ °C	96,8	153,2
Kritični tlak $p_{kr}$ , bar	42,46	36,48
Specifični volumen u plinovitom stanju (pri 15 °C) $v_{pl}$ , m <sup>3</sup> /kg	0,521	0,381
Specifični volumen u kapljevitom stanju (pri 15 °C) $v_{kap}$ , l/kg	1,972	1,71
Gustoća u plinovitom stanju (pri normalnim uvjetima) $\rho_{pl}$ , kg/m <sup>3</sup>	2,011	2,709
Gustoća u kapljevitom stanju (pri 15 °C) $\rho_{kap}$ , kg/l	0,507	0,585
Specifični toplinski kapacitet u kapljevitom stanju (pri 0°C) $c_{kap}$ , kJ (kg K)	2,43	2,26
Relativna gustoća d	1,555	2,095
Gornja toplinska vrijednost $H_g$ , kWh/kg, (kWh/m <sup>3</sup> )	14 (28,28)	13,77 (37,22)
Donja toplinska vrijednost $H_d$ , kWh/kg, (kWh/m <sup>3</sup> )	12,87 (25,99)	12,69 (34,31)
Omjer toplinskih vrijednosti $H_d / H_g$	0,919	0,934



## Mogu li se na istom trošilu koristiti različite vrste plinovitih goriva i pod kojim uvjetima?

---

- Na istom trošilu se mogu koristiti različita plinovita goriva koja imaju istu vrijednost Wobbeovog broja. To znači da nije potrebno raditi preinaku trošila odn. plamenika. Ista vrijednost Wobbeovog broja znači isto toplinsko opterećenje plamenika.
- U slučaju korištenja plinovitih goriva različitih vrijednosti Wobbeovog broja, a da bi se zadržalo isto toplinsko opterećenje plamenika, potrebno je napraviti preinake na trošilu. Prvenstveno se to odnosi na promjenu promjera mlaznice (sapnice, dize) ili na promjenu priključnog tlaka (pretlaka)



## Wobbeov broj-definicija

---

$$W_g = \frac{H_g}{\sqrt{d}} \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right] \text{ ili } \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_d = \frac{H_d}{\sqrt{d}} \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right] \text{ ili } \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]$$

Uobičajeno je koristiti gornji Wobbeov broj

$d$  – relativna gustoća plina u odnosu na zrak, [-]  $d = \frac{\rho_{\text{pl}}}{\rho_{\text{zr}}}$

Prošireni Wobbeov broj – uz pretpostavku istog toplinskog opterećenja (snagu) trošila

$$W \cdot \sqrt{p_m} \cdot D^2 = \text{konst}$$

$D$  – promjer otvora mlaznice na trošilu, [m]



Iz posljednje relacije moguće je u slučaju korištenja plinova različitih vrijednosti Wobbeovog broja odrediti:

Omjer promjera:

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{\frac{W_{g1}}{W_{g2}}} \quad [\text{m}]$$

Omjer pretlaka na trošilu:

$$p_{m2} = p_{m1} \cdot \left( \frac{W_{g1}}{W_{g2}} \right)^2 \quad [\text{Pa}]$$

Wobbeov broj smjese plinova:

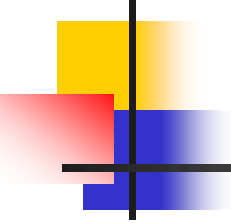
$$W_g = \frac{H_g}{\sqrt{d}} = \frac{r_1 \cdot (H_{g1} - H_{g2}) + H_{g2}}{\sqrt{r_1(d_1 - d_2) + d_2}}$$

Tipično je da se neki plinoviti energent miješa sa zrakom (indeks 2) pa je tada:

$$d_2 = 1 \quad H_{g2} = 0$$

a Wobbeov broj takve smjese je:

$$W_g = \frac{H_g}{\sqrt{d}} = \frac{r_1 \cdot H_{g1}}{\sqrt{r_1(d_1 - 1) + 1}}$$



Na temelju ovog izraza moguće je odrediti udio  $r_1$  dopunskog (supstitucijskog) plina kako bi se njegovim miješanjem dobio plin koji može zamijeniti osnovni plin uz kriterij nepromijenjene vrijednosti Wobbeovog broja

---

$$r_1 = \left[ \left( \frac{W_g}{H_{g1}} \right)^2 \cdot \frac{d_1 - 1}{2} \right] \pm \sqrt{\left[ \left( \frac{W_g}{H_{g1}} \right)^2 \cdot \frac{d_1 - 1}{2} \right] \pm \left( \frac{W_g}{H_{g1}} \right)^2}$$

## Tablica usporednih vrijednosti pojedinih vrsta plinovitog goriva

Plin	Formula	Vol. udio, %	H <sub>d</sub> , MJ/m <sup>3</sup>	H <sub>g</sub> , MJ/m <sup>3</sup>	H <sub>d</sub> , kWh/m <sup>3</sup>	H <sub>g</sub> , kWh/m <sup>3</sup>	W <sub>g</sub> , MJ/m <sup>3</sup>	W <sub>g</sub> , kWh/m <sup>3</sup>	Gustoća ρ, kg/m <sup>3</sup>	Rel. gustoća d, -
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	100	93	101	25,8	28,06	80,7	22,42	2,011	1,565
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	100	123,8	134	34,39	37,22	92,6	25,72	2,708	2,094
Propan/Butan		35/65	113,02	122,45	31,39	34,01	88,69	24,64	2,464	1,906
Miješani plin Propan-butanol/zrak		<b>55/45</b>	62,61	67,35	17,39	18,71	55,03	15,28	1,937	1,498
Miješani plin Propan-butanol/zrak		<b>50/50</b>	56,51	61,23	15,7	17,0	54,76	15,21	1,615	1,249
Priradni plin <sup>1</sup>			33,338	37,010	9,26	10,28	49,0	13,6	0,731	0,57
Prir. plin L <sup>2</sup>	CH <sub>4</sub>	82	31,8	35,2			44,0	12,2		0,64
Prir. plin H <sup>2</sup>	CH <sub>4</sub>	93	37,3	41,3			52,88	14,7		0,61

Gustoća zraka  $\rho_{zr}=1,293\text{kg/m}^3$  (Strelec: Plinarski priručnik), ostale gustoće isto

<sup>1</sup>Vrijednosti za prirodni plin GP Zagreb

<sup>2</sup>priradni plin koji se koristi u Njemačkoj, ovdje dan samo radi usporedbe (Recknagel, Sprenger, Schramek: Heizung und Klimatechnik)

## Ostale vrste plinovitih goriva- nastaju kao nus produkt u tehnološkim procesima ili preradom nekih vrsta fosilnih goriva

Izvor plina	Vrsta plina	Volumni udio pojedinih sastojaka, %							Donja ogrjevna vrijednost $H_d$ , MJ/m <sup>3</sup>	
		H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>		
Zemlja	Prirodni(*)	-	-	96,3	1,92	0,92	0,93	-	35,6	
Prerada nafte i ugljena	Prerada ugljena	Gradski	45	10	27	-	10	7,8	0,2	16,3
		Koksni	56	5,5	23,7	2,3	2,1	10,0	0,4	17,58
		Generatorski, miješani	12	28	3	0,2	3	53,8	-	35,6
		Generatorski, zračni	6	23	3,4	0,2	5	62,4	-	4,81
	Generatorski, vodeni	49	42	0,5	-	5,3	3,2	-	10,8	
	Prerada nafte	Ukapljeni naftni (propan + butan)	(prema DIN 51 622)							
Tehnološki i drugi proces	Rafinerijski	(ovisno o sastavu)								
	Grotleni	2	30	-	-	8	60	-	3,98	
	Bioplin	-	-	75	-	25	-	-	25	

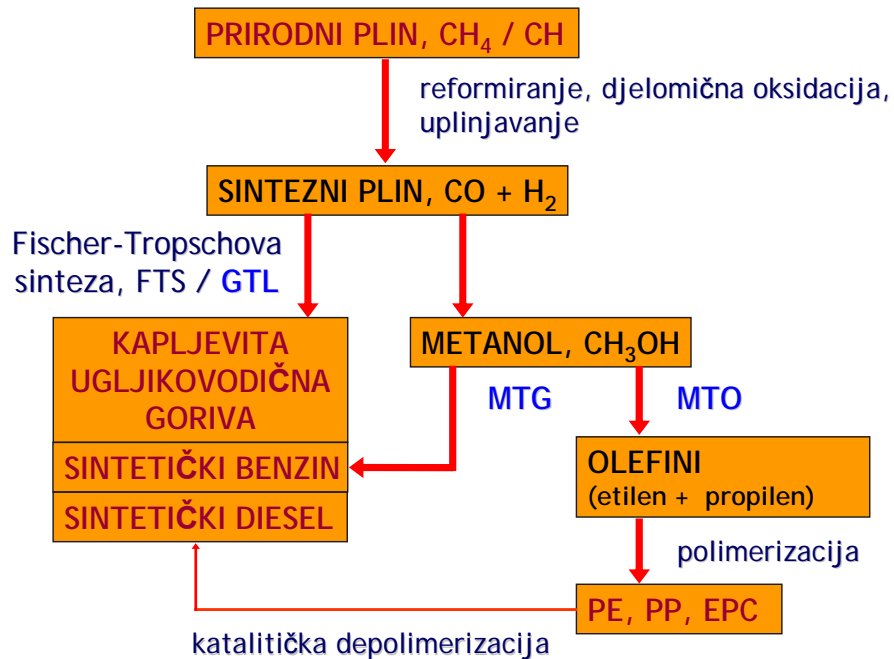
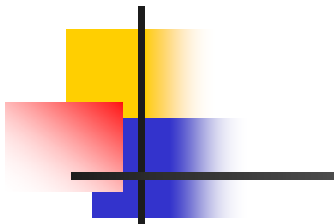
(\*) prosječne vrijednosti

- **Sintetički prirodni** plin-po svojstvima je veoma sličan prirodnom plinu. Proizvodi se iz kamenog ugljena ili lignita (rasplinjavanje), u blizini samih nalazišta odakle se plinovodima dovodi do potrošača.
- Gradski – njegova se primjena posvuda napušta. Proizvodio se isplinjavanjem (suhom destilacijom kamenog ugljena) pri temperaturama od 900 do 1100 °C. Danas se proizvodi termokatalitičkim procesima iz ugljikovodika (nafta, prirodni ili ukapljeni naftni plin). Gradski plin sadrži vodik (manje od 50 %), ali je vrlo otrovan zahvaljujući sadržaju ugljičnog monoksida od 10 %.

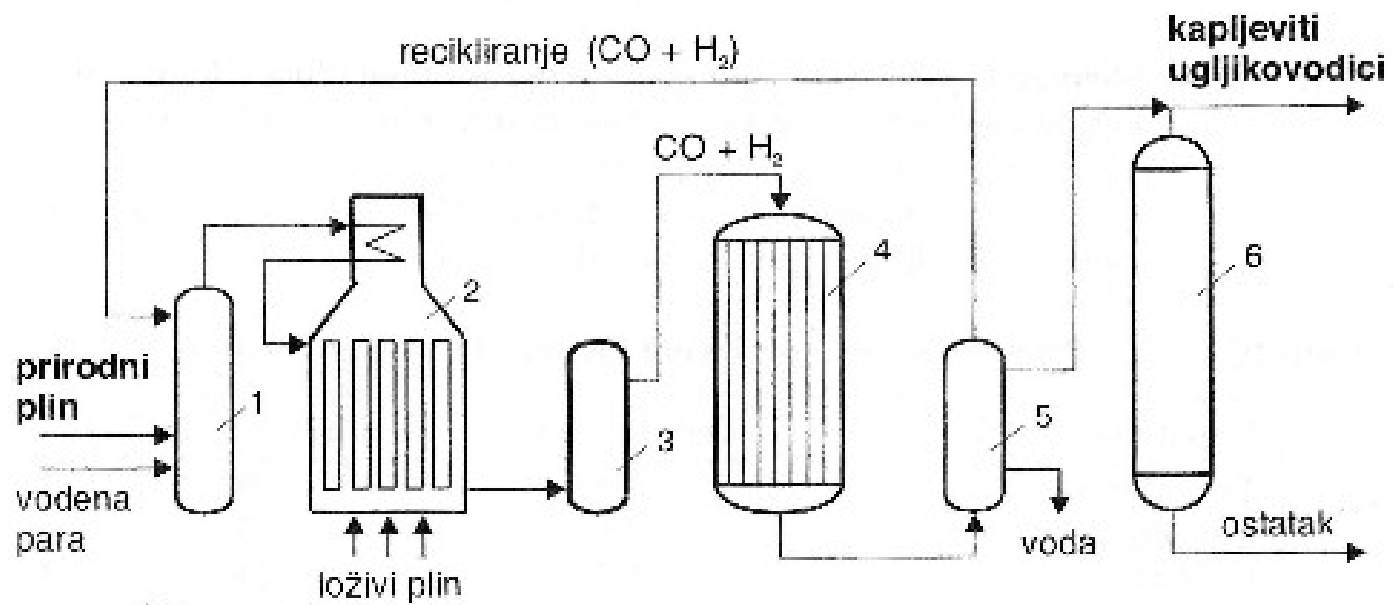
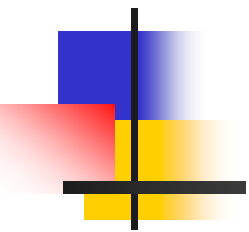
**Generatorski plin-** koristi se isključivo u iznimnim slučajevima. Dobiva se nepotpunim izgaranjem (isplinjavanjem) kamenog ili mrkog ugljena, a po načinu proizvodnje, dijeli se na:

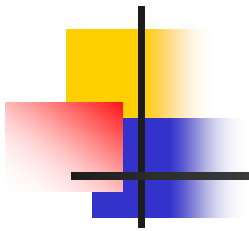
- zračni (pri proizvodnji mu se dodaje zrak i ima mali udio vodika)
- vodeni (pri proizvodnji mu se dodaje vodena para i ima veliki udio vodika)
- miješani (pri proizvodnji mu se dodaju zrak i vodena para, a osnova mu je CO pa je veoma otrovan).

- **Rafinerijski plin-**nastaje u rafinerijama kao nusproizvod prerade nafte. Ima visoku toplinsku vrijednost. Koristi se kao gorivo u tehnološkim procesima same rafinerije ili kao sirovina za daljnju preradu. U smjesi s prirodnim plinom može se koristiti i za opskrbu potrošača.
- **Grotleni plin-** nastaje pri proizvodnji željeza, u visokim pećima te se koristi odmah u tehnološkim procesima. Sastoji se od vodika i ugljičnog monoksida, zbog čega je vrlo otrovan.
- **Bioplin-**ubraja se u obnovljive izvore energije tako da u posljednjem desetljeću sve više dobiva na značaju. U bliskoj budućnosti se očekuje njegova sve veća primjena. U skupinu bioplinova spadaju deponijski i svi plinovi koji nastaju procesima biološke razgradnje tvari, životinjskog ili biljnog podrijetla. Deponijski plin nastaje na deponijama. U najvećem dijelu, sastoji se od metana (cca 65 %), ugljičnog dioksida (cca 35 %), a ostatak čine vodena para i drugi, veoma štetni plinovi sa smetlišta. Klasični bioplin nastaje kontroliranom proizvodnjom iz otpada životinjskog ili biljnog podrijetla.
- **Sintezni plin** -Smjesa ugljikovog monoksida i vodika, u različitim omjerima – najčešće  $\text{CO} / \text{H}_2 = 1/2$  (eng. synthesis gas, syn-gas). Naziv mu potječe od njegove uporabe u brojnim sintezama kemijskih proizvoda. Izravno, najviše služi za dobivanje metanola ( $\text{CO} / \text{H}_2 = 1/2$ ), zatim, u procesima hidroformilacije (okso-alkoholi,  $\text{CO} / \text{H}_2 = 1/1$ ) kao i za dobivanje smjesâ ugljikovodika, Fischer-Tropschovom sintezom ( $\text{CO} / \text{H}_2 = 2/1$ ). Također, može se razdvojiti u sastavnice, vodik i ugljikov monoksid. Vodik najviše služi za proizvodnju amonijaka ( $\text{N}_2 / \text{H}_2 = 1/3$ ) i u rafinerijskoj preradi nafte, dok se izdvojeni ugljikov monoksid najviše upotrebljava u procesima karbonilacije (octena kiselina, polikarbonati, diizocijanati). Sastav sinteznog plina izravno ovisi o sirovini, s tim da je najveći prinos na vodik u pri preradi metana.



Sirovina (proces)	Sastav sinteznog plina					
	H <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> / CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> + Ar	CH <sub>4</sub>
Metan (parno reformiranje)	75,7	15,5	5	8,1	0,2	0,5
Teško plinsko ulje (djelomična oksidacija)	46,7	47,3	1	4,3	1,4	0,3
Ugljen (uplinjavanje)	31	68	0,5	1,0	-	-





Uvjeti i proizvodi	Sasol proces (Lurgi)	Synthol proces (Kellog Co.)
Temperatura / °C	225	330
Konverzija / %	65	85
H <sub>2</sub> / CO	1,7	2,8
C <sub>1</sub> ...C <sub>4</sub>	21,1	51,0
C <sub>5</sub> ...C <sub>12</sub>	19,0	31,0
C <sub>13</sub> ...C <sub>18</sub>	15,0	5,0
C <sub>19</sub> ...C <sub>31</sub> (teško ulje)	41,0	6,0
Kisikovi spojevi	3,9	7,0