



# APSORPCIJA VLAGE IZ PRIRODNOG GASA POMOĆU TRIETILENGLIKOLA

## NATURAL GAS DEHYDRATION WITH TRIETHYLENE GLYCOL

Branislava NIKOLOVSKI<sup>1)</sup>, Svetlana KUZMINAC<sup>1)</sup>, Nevena BLAGOJEVIĆ<sup>1)</sup>, Biljana MILJKOVIĆ<sup>2)</sup>,  
Momčilo SPASOJEVIĆ<sup>2)</sup>, Milan SOVILJ<sup>1)</sup>

1) University of Novi Sad, Faculty of Technology Novi Sad;

2) University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences Novi Sad.

[barjakkb@uns.ac.rs](mailto:barjakkb@uns.ac.rs)





## Šta je prirodni gas i za čega se koristi?

Kombinacija alkana  
(metana -  $C_1$ ; etana -  $C_2$ ; propana -  $C_3$ ;  
butana -  $C_4$   
(n-butan; izo-butan);  
pentana -  $C_5$ )  
Većina prirodnih gasova  
se sastoji se:  
60-80 vol% metana,  
5-9 vol% etana,  
3-18 vol% propana i  
2-4 vol% viših  
ugljovodonika

prateće komponente:  
inertni gasovi (ugljendioksid  $CO_2$  i azot -  $N_2$ ),  
gorive primese (vodonik i  
ugljenmonoksid), sumporvodonik ( $H_2S$ ),  
voda/ vodena para ( $H_2O$ ),  
Sastav prirodnog gasa<sup>2</sup>  
i njegova toplotna moć  
zavise od geografskog  
porekla, i toga da li  
potiče iz gasnih,  
kondenzatnih ili naftnih  
ležišta.

### Trenutno

od osnovnih energetske potreba u svetu, prirodni gas obezbeđuje oko **20%** (21% u 2010.), a prema predviđanjima do 2040 oko **25%** (24% u 2040.). (EIA - Energy Information Administration)  
Smatra se da će do 2035. godine **80% električne energije** dobijati iz prirodnog gasa.



# Šta je prirodni gas i za čega se koristi?

## Upotreba

- sagoreva u gorionicima (peći, bojleri)
- za dobijanje električne energije (električni generatori u energetske sistemima zasnovanim na gasnom procesu, na parno-gasnom procesu (kombinovanom ciklusu), kao i kogeneracijskim energetske sistemima, u koje spadaju i kogeneracijski sistemi sa gorivim ćelijama),
- za dobijanje pare i subkritične vode (petrohemijska, prehrambena industrija, industrija papira, rafinerijame)
- Kao sirovina, prirodni gas se koristi za dobijanje metanola, đubriva i plastičnih materijala, ali i za proizvodnju vodonika i tečnih goriva, kao i u postupcima termičke obrade čelika (cementiranje) [1].

Prirodni gas koji se predaje potrošačima mora ispuniti uslove u pogledu sastava, toplotne vrednosti, pritiska,

Wobbe indeksa, kao pokazatelja toplotnog opterećenja gorionika..., Tabela 1.

## Trenutno

od osnovnih energetske potreba u svetu, prirodni gas obezbeđuje oko **20%** (21% u 2010.), a prema predviđanjima do 2040 oko **25%** (24% u 2040.). (EIA - Energy Information Administration)

Smatra se da će do 2035. godine **80% električne energije** dobijati iz **prirodnog gasa**.

Tabela 1. Uslovi koje mora da ispuni prirodni gas namenjen potrošačima [1]

[1] Priprema gasa za operatere 4. i 5. kategorije, Naftna Industrija Srbije, Gazprom Neft.

Svojstvo	Propisana vrednost	
Hemijski sastav	$C_1$	min 90 mol%
	$C_2$	max 4 mol%
	$C_3, C_4$	max 2 mol%
	$N_2 + CO_2$	max 5 mol%
	$H_2S$	max 5 mg/m <sup>3</sup>
Sadržaj sumpora	Sumpor iz merkaptana	max 5,6 mg/m <sup>3</sup>
	Ukupni sumpor	max 20 mg/m <sup>3</sup>
Tačka rose vode	-5 (na 40 bar)	
Donja toplotna vrednost	33500 ±100 0kJ/Nm <sup>3</sup>	

Donja toplotna moć prirodnog gasa je orijentaciono oko 34 MJ/m<sup>3</sup>, pri čemu nekada može da dostigne i vrednost od 41 MJ/m<sup>3</sup>



# Zašto se vlaga uklanja iz

## prirodnog gasa?

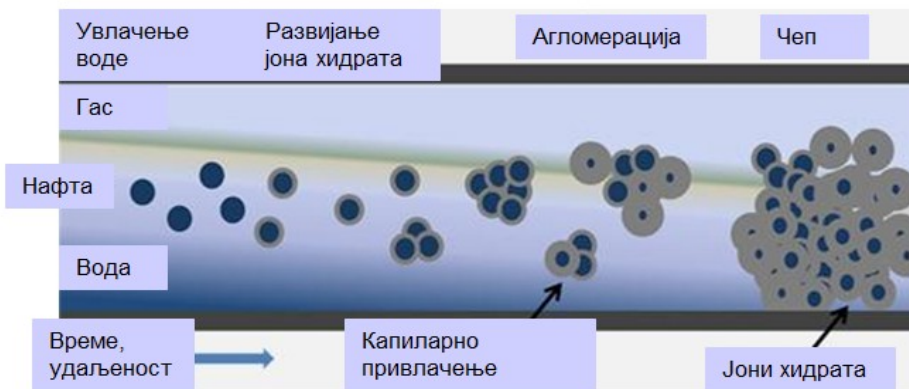
Prilikom transporta gasa u prisustvu vlage na niskim temperaturama i visokim pritiscima mogu se formirati hidrati, kristalne formacije slične ledu. Hidrati se nagomilavaju na unutrašnjim zidovima gasovoda, zaustavljajući transport gasa i izazivajući oštećenja filtera, ventila i kompresora, a u krajnjoj instanci, pucanje cevovoda.

Prisustvo vlage u gasu omogućuje stvaranje korozije u kontaktu sa  $CO_2$  (slatka korozija) i  $H_2S$  (kisela korozija), a korozija je direktno odgovorna za skraćenje veka upotrebe [1] <http://www.hkdivedi.com/2016/02/corrosion-in-oil-and-gas-industry-> [2] <http://www.caspiansteel.ir/EN/Article/Details/41>



**Slika 1.** Kisela islatka korozija [1, 2]

Prilikom transporta gasa u prisustvu vlage na niskim temperaturama i visokim pritiscima mogu se formirati hidrati, kristalne formacije slične ledu. Hidrati se nagomilavaju na unutrašnjim zidovima gasovoda, zaustavljajući transport gasa i izazivajući oštećenja filtera, ventila i kompresora, a u krajnjoj instanci, pucanje cevovoda.



Gasni hidrati- molekuli gasa ( $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$ ; ili  $CO_2$ ) zarobljeni su u šuplinama formiranim od molekula vode (fizičko vezivanje).

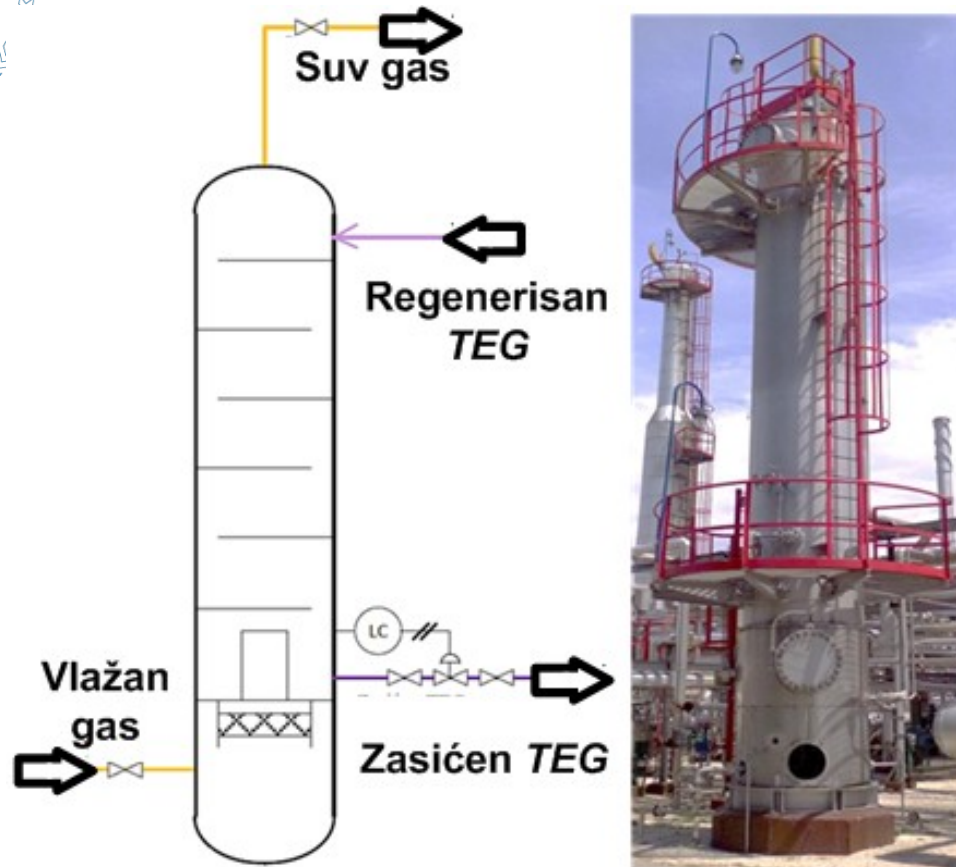
**Slika 2.** Način formiranja i izgled hidrata u gasovodima [3,

[3] <http://cbe.kaist.ac.kr/ab-1104-23>

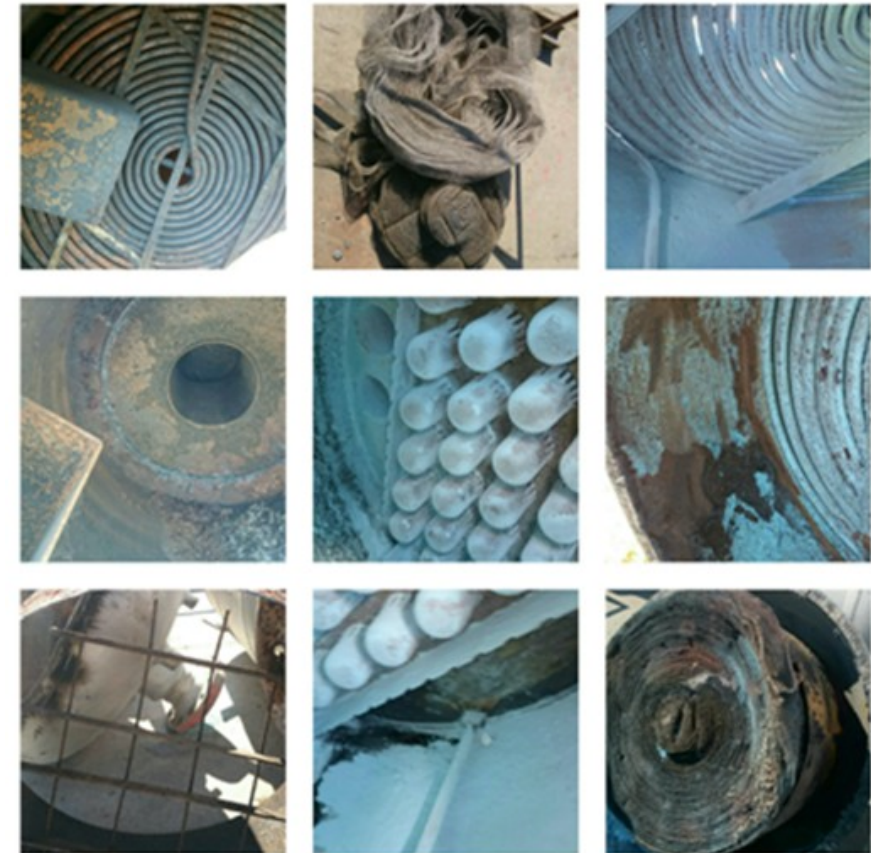
[4] <http://m.bcs-express.ru/novosti-i-analitika/novaia-uglevodorodnaia-revoliutsiia>



# Šta je apsorpcija?



*Slika 3 Prikaz Apsorpciona kolona sa podovima.*

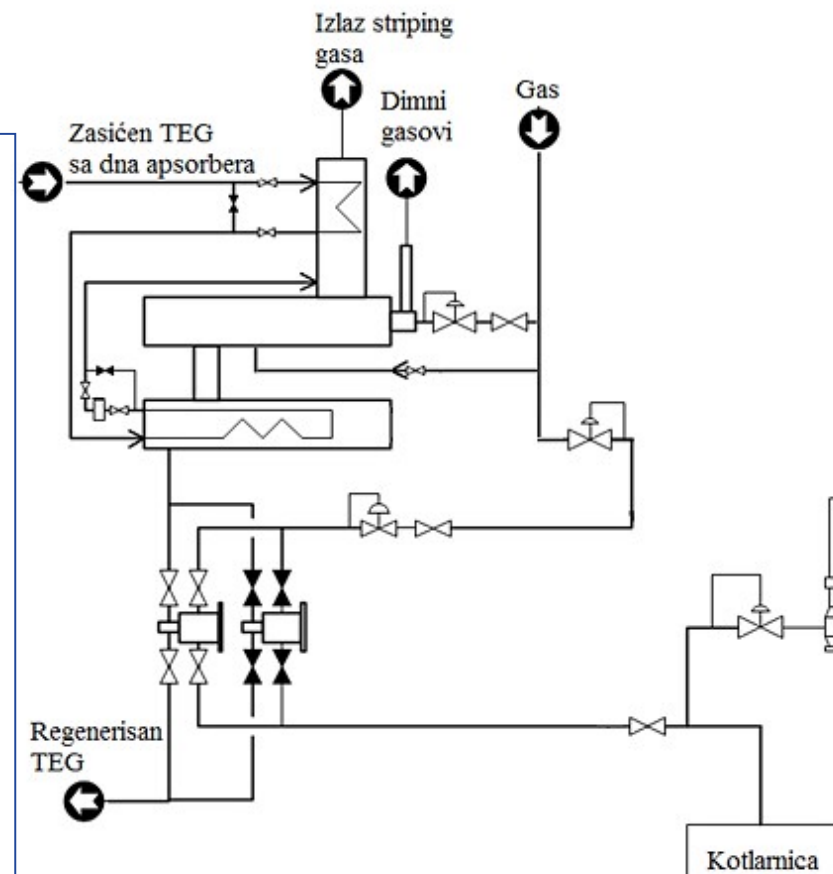


*Slika 4. Unutrašnji elementi apsorpcione kolone sa podovima (razmenjivač toplote, demister, rešetka, zvana).*

## Zašto baš trietilenglikol (TEG)?



- Izuzetna higroskopnost;
- mogućnost lake regeneracije do 99 mas.%, uz male gubitke (zbog relativno visoke temperature ključanja od 285°C);
- veliko sniženje tačke rose;
- stabilnost na radnoj temperaturi u prisustvu sumpora, kiseonika i ugljendioksida;
- ne kristališe iz koncentrovanih rastvora (tačka topljenja -7°C)



Slika 5. Kolona za regeneraciju TEG-a

Slika 6. Šematski presek regeneratora TEG-a

[5].

[5] <http://www.hydrocarbons-technology.com/contractors/processing/rosetti-marino/>

[6].

[6] Glycol-type gas dehydration and hydrate inhibition systems, Design and engineering practice used by companies of the royal dutch/shell group



Proces pripreme gasa niskog i srednjeg pritiska na gasnom delu jedne sabirne gasno-naftne stanice, sa akcentom na apsorpcionu kolonu za dehidrataciju prirodnog gasa.

Na kompresorskoj stanici vrši se separacija i komprimovanje gasa, koji se nakon sušenja u apsorpcionoj koloni otprema u magistralni cevovod, prema rafineriji gasa.

Na kompresorsku stanicu dopremaju se gas niskog pritiska (kaptažni gas), **GNP** i gas srednjeg pritiska (prirodni gas iz bušotine), **GSP**.

**SIMULACIJA - programski paket Aspen Hysys.** Za opisivanje ravnoteže para/tečno u sistemu korišćena je Peng-Robinson jednačina stanja.

#### Ulazni podaci:

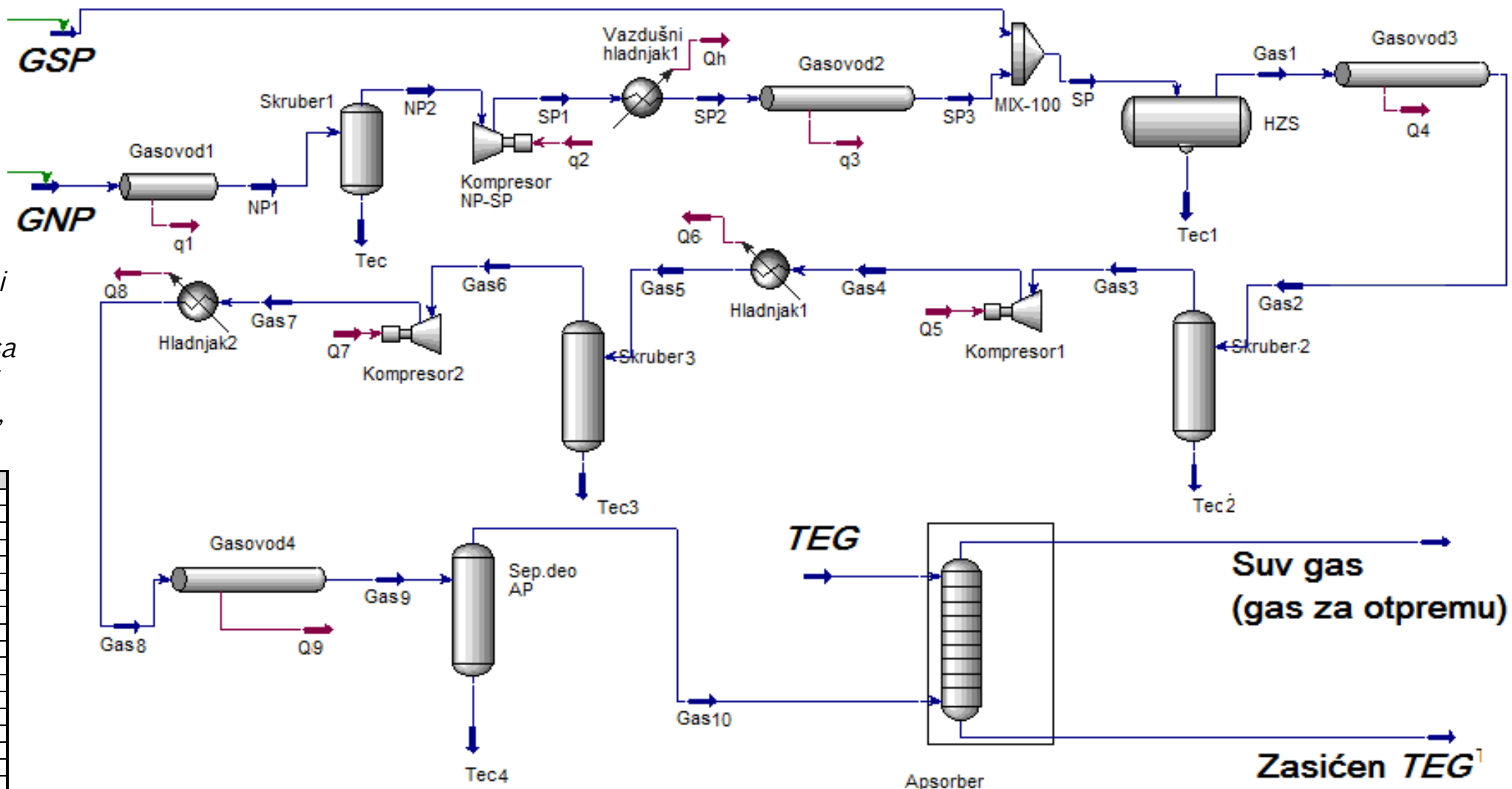
- komponentni sastav i ulazni protok struja *GNP* i *GSP* (Tabela 2).
- sistemski pritisak,
- temperatura u apsorpcionoj koloni,
- proizvodni kapacitet po danu,
- specifičan recirkulacioni protok *TEG* [*kg TEG/kg* uklonjene vode], pri čemu je standardna praksa da se za ovu vrednost uzima 35 *kg TEG/ kg* uklonjene vode.
- Prema projektnim specifikacijama gas zasićen vodom ulazi blizu dna kolone za sušenje na temperaturi oko 40°C i manometarskom pritisku 34.8 bar (max.).
- Regenerisani *TEG*, ima 0,05 mol % (40°C i 35 barg).





Table 2. Vrednosti osnovnih parametara i komponentni sastav materijalnih struja gasa niskog pritiska, GNP, i gasa srednjeg pritiska, GSP.

ULAZNI PODACI	GNP	GSP
Temperatura [°C]	30	30
Pritisak (manometarski) [bar]	2	7
Zapreminski protok [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	8995,7	43425,7
Maseni protok [kg/h]	317,6	1299,7
Zapreminski protok $H_2O$ [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	3995,7	13425,7
Maseni protok $H_2O$ [kg/h]	126,9	426,2
Sastav		
$C_1$	43,89	66,94
$C_2$	2,34	1,44
$C_3$	3,03	0,02
$i-C_4$	0,48	0,01
$n-C_4$	1,25	0,00
$i-C_5$	0,42	0,00
$n-C_5$	0,36	0,00
$CO_2$	0,73	0,25
$n-C_6$	0,34	0,00
$N_2$	2,74	0,42
$H_2O$	44,42	30,92



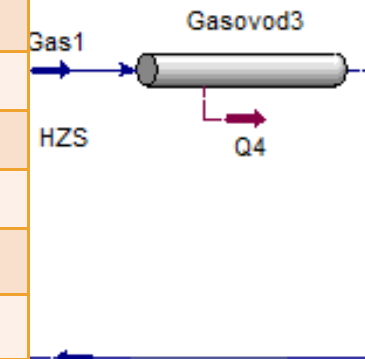
Slika 7. Prikaz šeme procesnih tokova u Aspen HYSYS. Proces pripreme gasa niskog (GNP) i srednjeg pritiska (GSP) na gasnom delu sabirne gasno-naftne stanice, koji podrazumeva separaciju i komprimovanje gasa, a zatim i njegovo sušenje u apsorpcionoj koloni TEG-om.



Table 2. Vrednosti osnovnih parametara i komponentni sastav materijalnih struja gasa niskog pritiska, GNP, i gasa srednjeg pritiska, GSP.

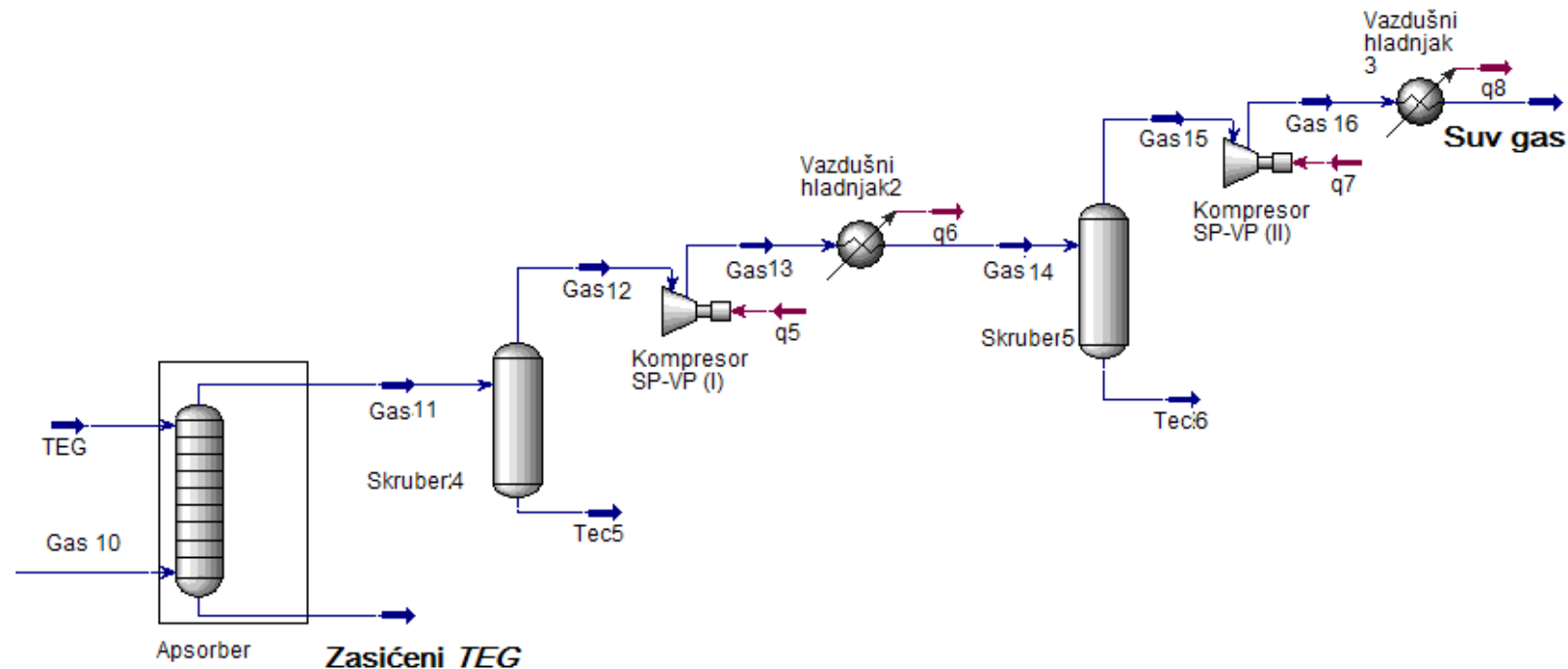
ULAZNI PODACI	GNP	GSP
Temperatura [°C]	30	30
Pritisak (manometarski) [bar]	2	7
Zapreminski protok [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	8995,7	43425,7
Maseni protok [kg/h]	317,6	1299,7
Zapreminski protok H <sub>2</sub> O [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	3995,7	13425,7
Maseni protok H <sub>2</sub> O [kg/h]	126,9	426,2
Sastav		
C <sub>1</sub>	43,89	66,94
C <sub>2</sub>	2,34	1,44
C <sub>3</sub>	3,03	0,02
i-C <sub>4</sub>	0,48	0,01
n-C <sub>4</sub>	1,25	0,00
i-C <sub>5</sub>	0,42	0,00
n-C <sub>5</sub>	0,36	0,00
CO <sub>2</sub>	0,73	0,25
n-C <sub>6</sub>	0,34	0,00
N <sub>2</sub>	2,74	0,42
H <sub>2</sub> O	44,42	30,92

ULAZNI PODACI	GNP	GSP
Temperatura [°C]	30	30
Pritisak (manometarski) [bar]	2	7
Zapreminski protok [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	8995,7	43425,7
Maseni protok [kg/h]	317,6	1299,7
Zapreminski protok H <sub>2</sub> O [ $m^3/dan_{(gas)}$ ]	3995,7	13425,7
Maseni protok H <sub>2</sub> O [kg/h]	126,9	426,2
Sastav		
C <sub>1</sub>	43,89	66,94
C <sub>2</sub>	2,34	1,44
C <sub>3</sub>	3,03	0,02
i-C <sub>4</sub>	0,48	0,01
n-C <sub>4</sub>	1,25	0,00
i-C <sub>5</sub>	0,42	0,00
n-C <sub>5</sub>	0,36	0,00
CO <sub>2</sub>	0,73	0,25
n-C <sub>6</sub>	0,34	0,00
N <sub>2</sub>	2,74	0,42
H <sub>2</sub> O	44,42	30,92



uv gas  
(gas za otpremu)

Zasićen TEG<sup>1</sup>

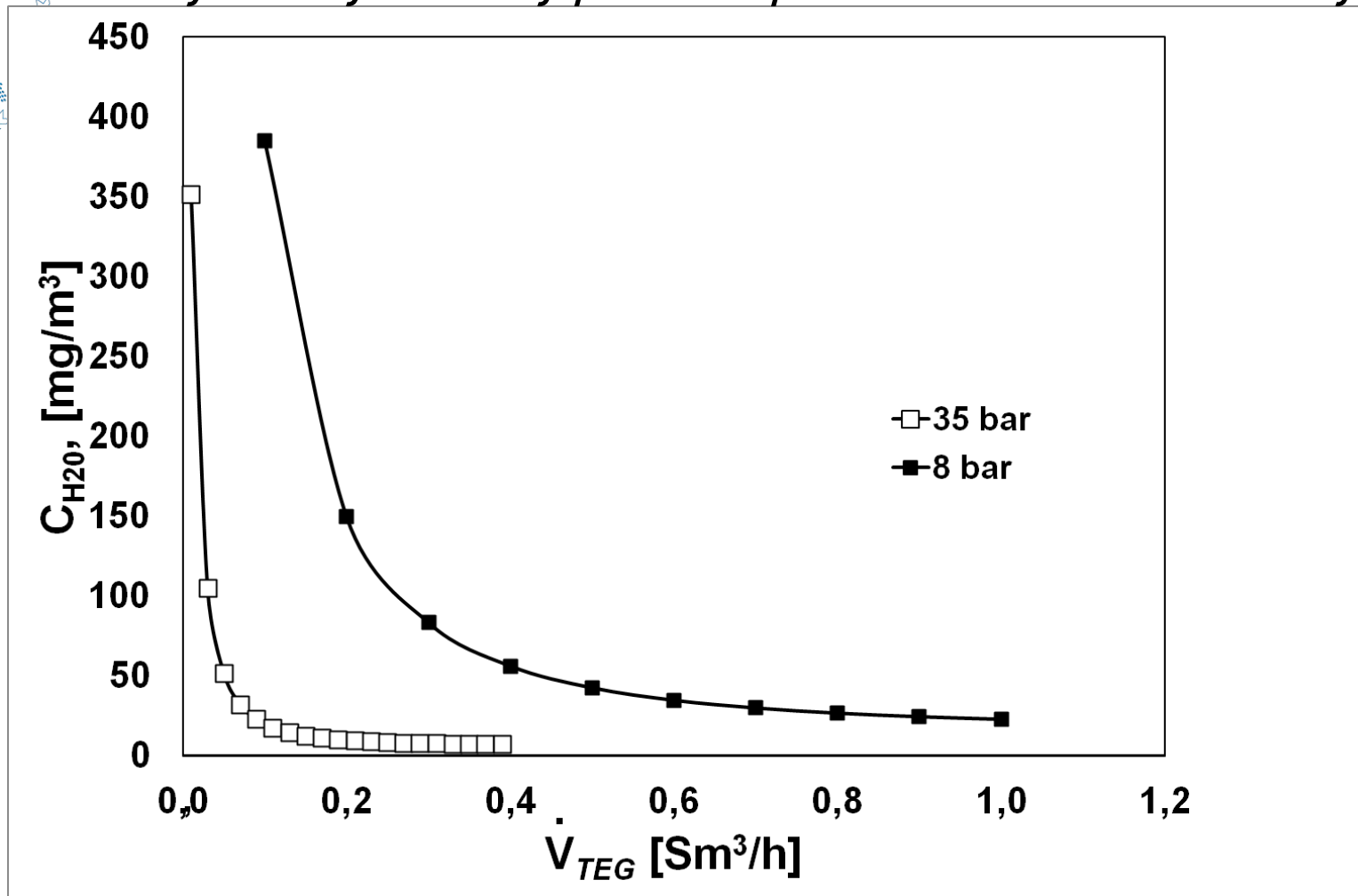


Prirodni gas koji se otprema u magistralni cevovod treba da zadovolji zahteve u pogledu sadržaja vode i  $\text{CO}_2$ , koji treba da budu manji, redom, od 100 ppmw i 3 mol %, a vrednosti temperature i manometarskog pritiska gasa ne smeju da prelaze, redom,  $50^\circ\text{C}$  i 33 bar

**Slika 8.** Prikaz dela šeme procesnih tokova Aspen HYSYS, kada se operacija apsorpcije izvodi na srednjim pritiscima.

Modifikovana šema procesnih tokova - iza apsorpcione kolone dodata je opreme za komprimovanje dehidratisanog prirodnog gasa sa srednjih na visoke pritiske, kako bi gas zadovoljio uslove potrebne za transport magistralnim cevovodom.

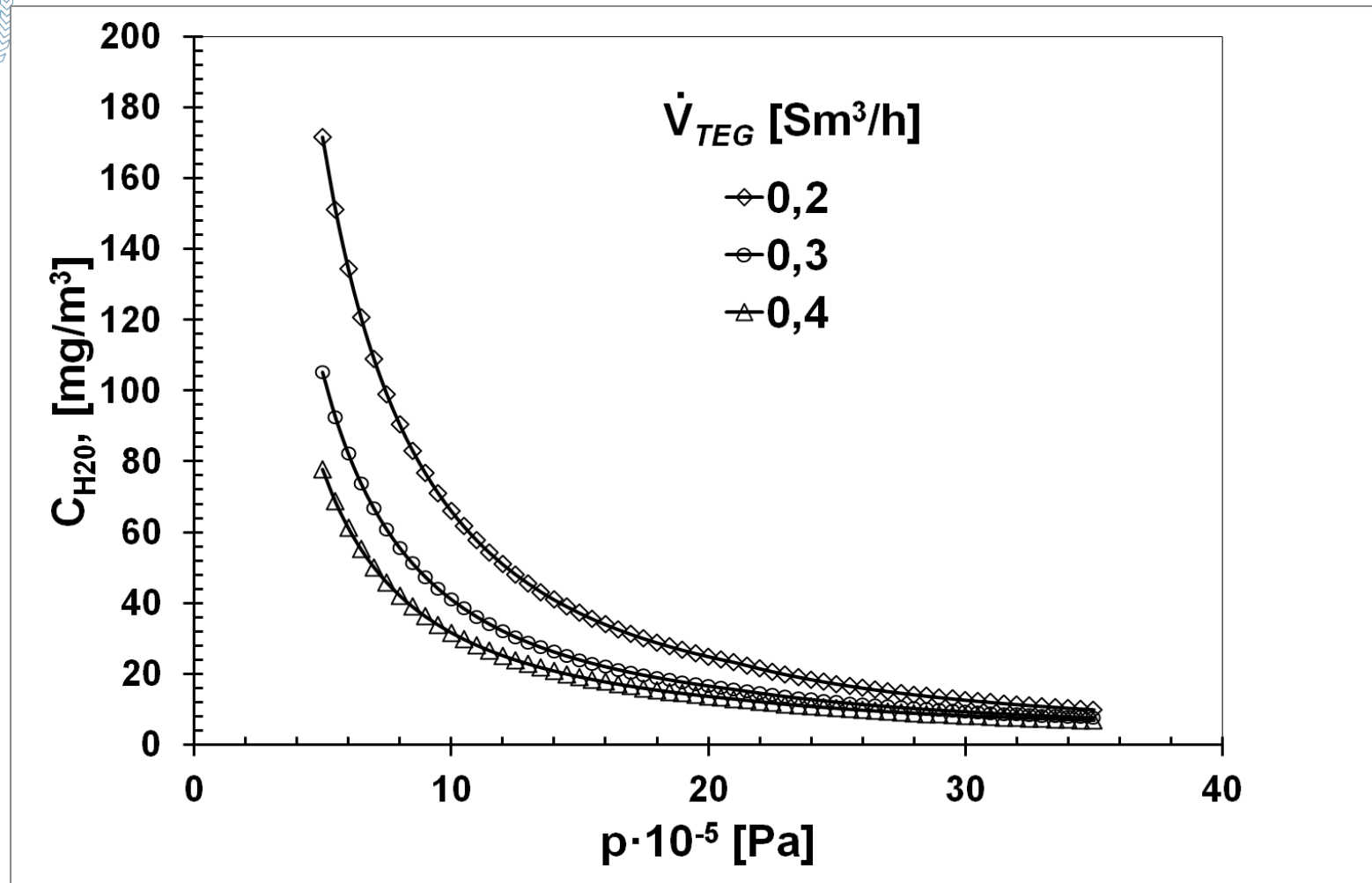
## Studija slučaja - uticaj promene protoka TEG-a na dehidraciju gasa.



Za apsorpciju na srednjim pritiscima (8 bar), drastičan pad vlage u gasu javlja se pri protoku TEG-a od 0,1 do 0,4  $m^3/h$ ;  
 -Daljim povećavanjem protoka TEG-a sadržaj vlage i dalje smanjuje, ali neznatno spram povećanja utroška TEG-a;

Slika 9. Sadržaj vlage u izlaznoj struji gasa sa promenom protoka TEG-a na srednjim pritiscima (8 bar) i na visokim pritiscima (35 bar).

## Studija slučaja-uticaj promene pritiska na dehidraciju gasa.



Vrednostima protoka TEG-a, 0,2, 0,3 i 0,4  $\text{m}^3/\text{h}$ , odgovaraju, redom, maseni protoci od 215, 327 i 440  $\text{kg}/\text{h}$

Slika 10. Sadržaj vlage u izlaznoj struji gasa sa promenom pritiska (na apscisi je prikazana vrednost manometarskog pritiska). Krive na slici dobijene su za različite protoke TEG-a.



## ZAKLJUČCI

- Proces dehidratacije prirodnog gasa u okviru pripreme gasa niskog i srednjeg pritiska na gasnom delu jedne sabirne gasno-naftne stanice uspešno je simuliran u programskom paketu Aspen Hysys;
- Ispitan je uticaj porasta protoka *TEG*-a na smanjanje sadržaja vlage u osušenom gasu na izlazu iz apsorbera, na srednjim (8 bar) i visokom pritisku (35 bar);
- Na višim pritiscima potrebne mnogo manje količine apsorbensa;
- Na pritisku apsorpcije od 35 bar, vlaga u gasu spušta na vrednost ispod 100 ppmw pri protoku *TEG*-a od 0,04 m<sup>3</sup>/h; a na pritisku 8 bar pri protocima *TEG*-a većim od 0,2 m<sup>3</sup>/h;
- Sa povećanjem pritiska gasa sadržaj vlage u izlaznom gasu se smanjuje;
- Uticaj promene pritiska je značajniji pri manjim protocima *TEG*-a;
- Drastičan pad vlage u gasu uočava se pri manometarskom pritisku gasa do  $14 \cdot 10^5$  Pa, pri svim protocima *TEG*-a;
- Daljim povećavanjem pritiska sadržaj vlage se i dalje smanjuje, ali neznatno naspram opterećenja kompresora koje on treba da podnese.



# HVALA NA PAŽNJI!

NIKOLOVSKI dr Branislava, vanredni profesor  
Katedra za Hemijsko inženjerstvo  
Tehnološki fakultet Novi Sad,  
Bulevar Cara Lazara 1,  
21000 Novi Sad  
+381214853674  
barjakb@uns.ac.rs