



Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilište u Zagrebu

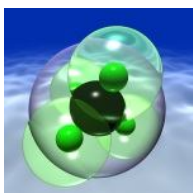
Diplomski studij **KEMIJSKO INŽENJERSTVO**

Kolegij: Naftno - petrokemijsko inženjerstvo

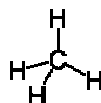
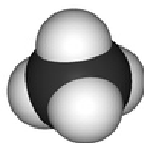
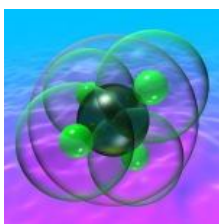
# PRIRODNI PLIN

Prof. dr. sc. Ante Jukić

Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju / Savska cesta 16 / tel. 01-4597-128 / ajukic@fkit.hr



**Prirodni plin** - smjesa nižih ugljikovodika i anorganskih primjesa; temeljni sastojak je metan,  $\text{CH}_4$ , s udjelom  $> 70\%$ .



Anorganski sastojci prirodnoga plina pretežito su *ugljkov dioksid* i *dušik*, te *sumporovodik*.

## Uporaba prirodnog plina

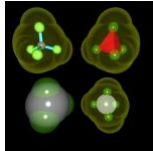
### 1. Energent (gorivo), > 90 %

- industrija, elektrane, domaćinstva (gradski plin), vozila (CNG) ...



### 2. Petrokemijska sirovina

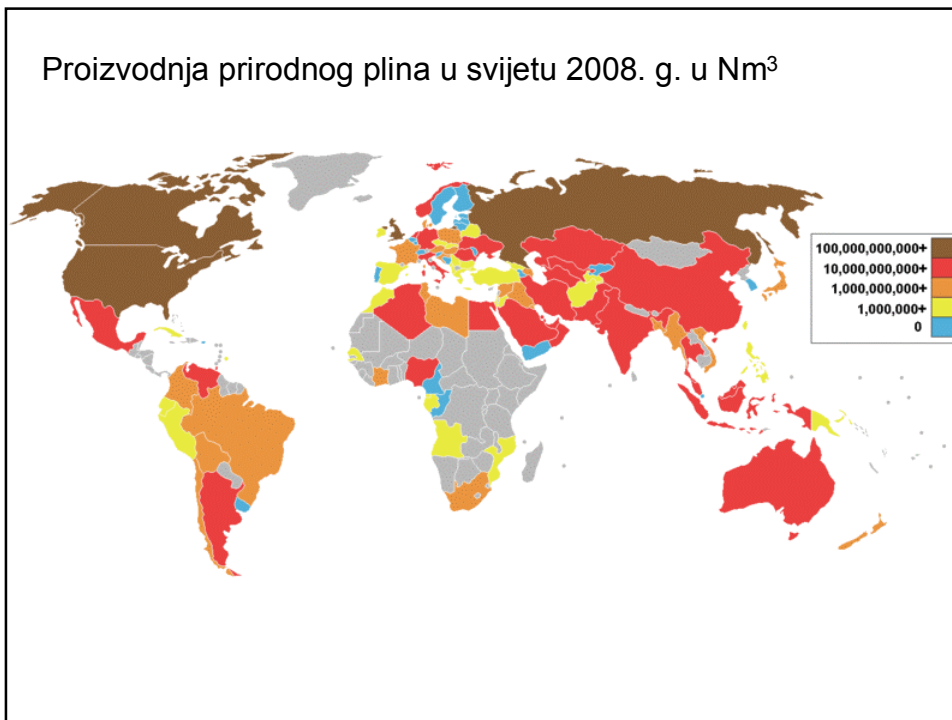
- sintezni plin (sintetska goriva), vodik, amonijak, urea, metanol i derivati ...



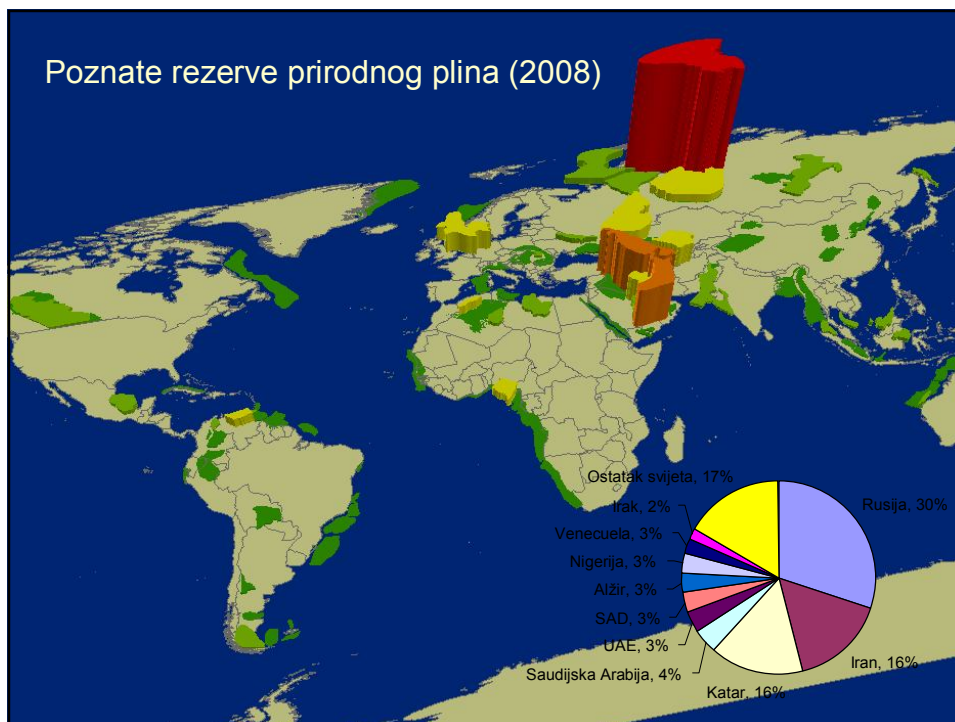
## Proizvodnja i rezerve prirodnog plina

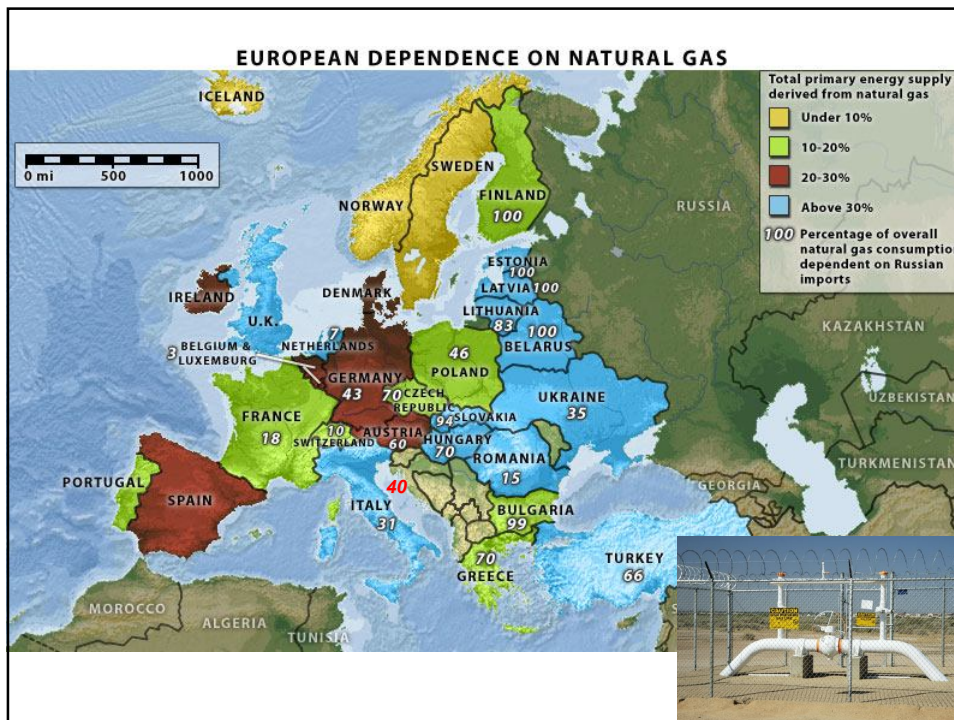


Proizvodnja prirodnog plina u svijetu 2008. g. u Nm<sup>3</sup>

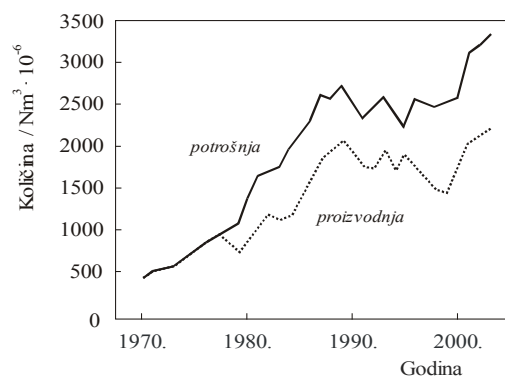


Poznate rezerve prirodnog plina (2008)





### Proizvodnja i potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj



#### Pričuve prirodnoga plina u RH:

geološke pričuve  $44 \cdot 10^9 \text{ Nm}^3$ , a dostupne  $17,5 \cdot 10^9 \text{ Nm}^3$

- najveće nalazište je polje Molve u Podravini (od 1981)
- sjeverni Jadran (INA & ENI), veliki maseni udjel metana = 99,0 %

### Potrošnja prirodnoga plina u RH:

toplane i termoelektrane (41,0 %), široka potrošnja (23,1 %), industrija (14,5 %), petrokemija - proizvodnja mineralnih gnojiva (13,0 %), ostalo (8,4 %).

S udjelom od 25,8 % prirodni plin je iza naftnih proizvoda (48 %) najznačajniji primarni izvor energije.



### Tipičan je sastav prirodnoga plina:

*ugljkovodici:*  $\text{CH}_4 > 70 \%$ ,  $\text{C}_2 < 15 \%$ ,  $\text{C}_3 < 9 \%$ ,  $\text{C}_4 < 4 \%$ ,  $\text{C}_{5+} < 2 \%$

*neugljkovodici:*  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ , ...

plemeniti plinovi He, Ar, Ne, ... do 0,1 %, u rijetkim slučajevima i elementarna živa.

### Prema udjelu viših ugljikovodika u prirodnom plinu, razlikuje se:

a) suhi plin: bez viših ugljikovodika,  $\text{C}_{4+} < 15 \text{ mg kg}^{-1}$

b) mokri (vlažni) plin:  $\text{C}_{4+} > 40 \text{ mg kg}^{-1}$

c) kiseli plin:  $\text{CO}_2 > 3 \%$  i  $\text{H}_2\text{S} > 7 \text{ mg kg}^{-1}$

**Prema podrijetlu prirodni se plin razvrstava u dvije skupine:**

1) *slobodni plin* (zemni, prirodni, engl. *non-associated gas*), nalazi se u vlastitim plinskim izvorištima i čini oko 95 % udjela u ukupnim zalihama

2) *naftni plin* (kaptažni, engl. *associated gas*) s oko 5 % udjela od ukupne količine prirodnoga plina i dolazi zajedno s naftom iz naftnih ležišta.

*Plinski kondenzat* - smjesa viših ugljikovodika ( $C_5 \dots C_{30}$ ) - česti pratilac prirodnoga plina, posebice iz tzv. plinsko-kondenznih ležišta, s udjelima do oko 20 %.

Razdvaja se na uporabive frakcije, destilacijom pri atmosferskom tlaku, a najčešće se upotrebljava kao "laki benzin" ili petrokemijska sirovina.

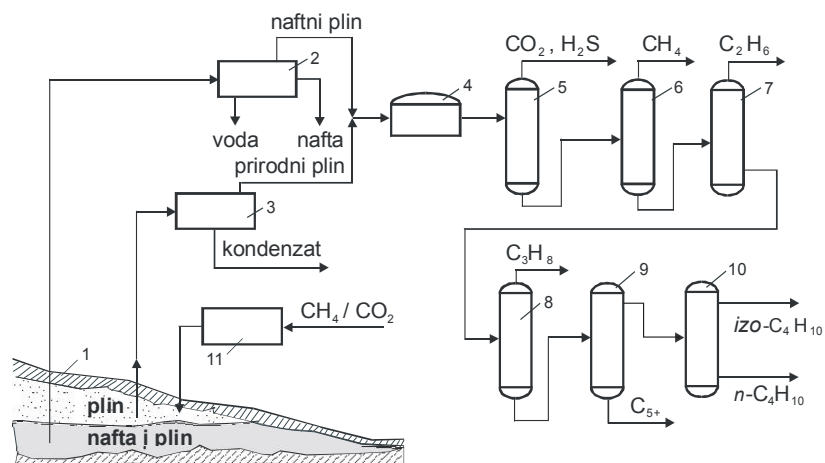
**Prosječni sastavi prirodnog plina u ovisnosti o ležištu**

Sastav / volumni udjel, %	Slobodni plin			
	Molve	Kalinovac	Alžir	Texas
CH <sub>4</sub>	70,0	75,0	83,0	76,2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,5	7,0	7,2	6,4
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,0	3,5	2,3	3,8
C <sub>4+</sub>	1,2	1,7	1,3	3,1
CO <sub>2</sub>	23,0	12,5	0,2	0,2
H <sub>2</sub> S / mg kg <sup>-1</sup>	65,0	80,0		
Hg / mg m <sup>-3</sup>		0,1...1,0		
H <sub>2</sub> O / g m <sup>-3</sup>		30...45		

C<sub>4+</sub> označava butan (C<sub>4</sub>) i sve više ugljikovodike

## Shema proizvodnje i preradbe prirodnoga plina

- 1 – naftna i plinska bušotina, 2 – odvajač nafte, naftnog plina i vode,  
 3 – odvajač prirodnoga plina i kondezata, 4 – plinska stanica,  
 5 – odvajanje kiselih plinova, 6 – odvajanje metana, 7 – odvajanje etana,  
 8 – odvajanje propana, 9 – odvajanje benzina (C<sub>5+</sub>),  
 10 – odvajanje butana, 11 – utiskivanje plinova (sekundarni iscrpak)



## OBRADBA PRIRODNOG PLINA

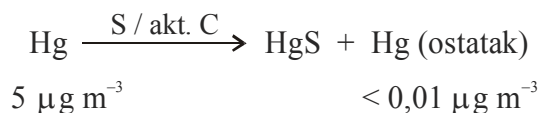
### A. Uklanjanje kiselih plinova (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COS) i tragova žive

Kiseli su plinovi nepoželjni jer su pretežito otrovni i korozivni:

CO<sub>2</sub> – smanjuje toplinu izgaranja, pod tlakom i nižim temperaturama je krut,  
 H<sub>2</sub>S – otrovan, korozivan, COS (karbonil sulfid) – otrovan

Hg – vrlo otrovna i premda se nalazi u malim udjelima, potrebno ju je potpuno ukloniti.

Uklanja se prolaskom plina kroz posebne filtre ispunjene aktivnim ugljenom impregniranim sa sumporom (oko 15 %). Nastaje stabilan živin sulfid, koji se iz filtracijskog uređaja povremeno odvaja, zajedno s adsorbensom.



## OBRADBA PRIRODNOG PLINA

### B. Pretvorba sumporovodika u elementarni sumpor

### C. Uklanjanje vlage (H<sub>2</sub>O)

Voda u prirodnom plinu, pod određenim je uvjetima veoma korozivna, a s ugljikovodicima pri većim tlakovima i nižim temperaturama stvara krute hidrate (npr. CH<sub>4</sub> · 6 H<sub>2</sub>O).

Ugljikovodični hidrati su nepoželjni jer otežavaju transport i skladištenje.

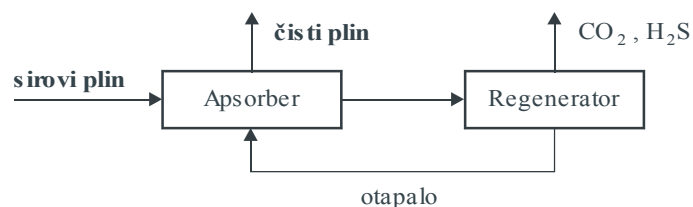
### D. Odvajanje metana od viših ugljikovodika, C<sub>2+</sub> (degazolinaža)

Viši ugljikovodici upotrebljavaju se kao zasebne sirovine:  
etan, propan/butan, pentan, ...

## A. Uklanjanje kiselih plinova

1. **apsorpcija s kemijski aktivnim otapalima**
2. **apsorpcija s fizikalno aktivnim otapalima**
3. **adsorpcija s čvrstim adsorbensima**

Procesi apsorpcije s otapalima provode se u kolonama s 20...25 plitica ili kolonama punjenima s prokapnim tijelima, protustrujno, pri određenoj temperaturi i tlaku:



Procesi adsorpcije čvrstofaznim adsorbensima također se provode u kolonama i adsorbens obnavlja zagrijavanjem.



## A1. Procesi apsorpcije s kemijski aktivnim otapalima

(engl. Chemical Solvent Process)

Otapalo reagira u povrativoj ili nepovrativoj reakciji s kiselim plinovima pri nižim, a oslobađa se pri višim temperaturama.

Najznačajnija otapala, odnosno njihove vodene otopine jesu:

kalijev karbonat (aq), tzv. Benfieldov proces

natrijev hidroksid (aq)

amini: monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA),

metil-dietanolamin (MDEA), diglikolamin (DGA)

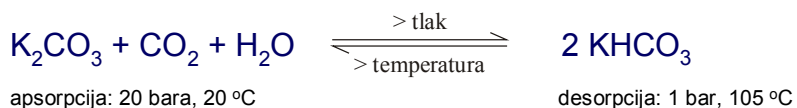
## A1. Procesi apsorpcije s kemijski aktivnim otapalima

### A1-1. Benfieldov proces

Povrativa kemijska reakcija apsorpcije kiselih plinova s vodenom otopinom kalijeva karbonata i zatim obnavljanje zasićene otopine desorpcijom. Najčešće se primjenjuje pri višim udjelima CO<sub>2</sub> u plinu.

Proces se sastoji u protustrujnom ispiranju plina u koloni s vodenom otopinom K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (5·10 %), pri tlaku 20·70 bara i temperaturi ~ 20 °C.

Otopina se obnavlja zagrijavanjem, najčešće vodenom parom, pri normalnom tlaku:



## A1. Procesi apsorpcije s kemijski aktivnim otapalima

### A1-2. Natrijev hidroksid

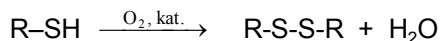
Uklanjanje kiselih plinova vodenom otopinom natrijeva hidroksida nepovrativa je reakcija:



Ispiranje se provodi protustrujno (~ 15 bara, 45 °C) u nekoliko kolona s postupnim povećanjem koncentracije NaOH, i na kraju s vodom (neutralizacija):

**kiseli plin** → 0,5 % NaOH → 3 % NaOH → 10 % NaOH → voda → **čisti plin**

Meraptani se često uklanjaju zasebnim procesom, najčešće oksidacijom sa zrakom u vodenoj otopini natrijeva hidroksida (tzv. *Merox* proces), uz katalizator (kobaltove soli) te nastajanje netopljivih disulfida:



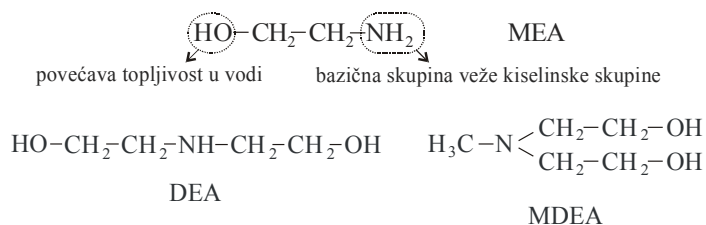
## A1. Procesi apsorpcije s kemijski aktivnim otapalima

### A1-3. Aminske otopine

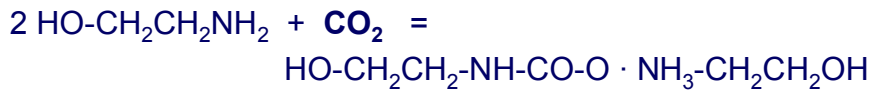
Određeni amini, posebice etanolamini, imaju veliki apsorpcijski kapacitet za kisele plinove ( $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ), a mali za ugljikovodike i druge primjese. Vrlo čestoaminski proces služi za tzv. sekundarno odvajanje ostatka  $\text{CO}_2$  nakon drugih procesa, primjerice Benfieldova karbonantnog postupka, jer odvaja zaostali  $\text{CO}_2$  do koncentracija nižih od  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  i  $\text{H}_2\text{S}$  do nekoliko  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Najdjelotvorniji:

monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA) i metil-dietanolamin (MDEA) u obliku vodenih otopina (15...20 %).



### Reakcije:



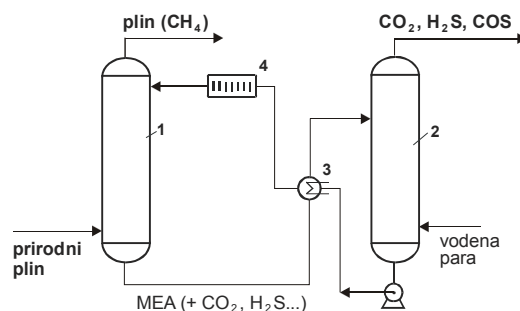
Obje su reakcije povratne, a ravnoteža ovisi o temperaturi i parcijalnom tlaku plinova ( $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) u otopini.

Apsorpcija se zbiva pri kemijskoj reakciji amina i kiselih plinova pri nižim temperaturama ( $\sim 20\text{ }^\circ\text{C}$ ), uz nastajanje slabih soli;

desorpcija se odvija razgradnjom nastalih slabih soli pri višim temperaturama ( $> 80\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Upotrebljava se najčešće 15...20 %-tna vodena otopina MEA, jer je tada najveća djelotvornost apsorpcije i najmanja korozija postrojenja.

### Shema postupka uklanjanja kiselih plinova iz prirodnog plina vodenom otopinom monoetanolamina



1 – apsorber, 2 – regenerator, 3 – izmjenjivač topline, 4 – hladnjak

Pročišćeni plin ( $\text{CH}_4$ ) izdvaja se s vrha kolone, a aminska otopina s apsorbiranim kiselim plinovima odvodi u kolonu za regeneraciju. Ta kolona je slične izvedbe kao apsorpcijska kolona, a otopina se zagrijava, uobičajeno s pregrijanom vodenom parom do oko  $130\text{ }^\circ\text{C}$  pri  $0,3\text{--}1,0$  bara.

S vrha kolone odvede se desorbirani plinovi. Aminska otopina hladi se prvo preko izmjenjivača topline (s otopinom iz apsorbera), a zatim s hladnom vodom protokom kroz hladnjak i ponovno dozira u reaktor.

## A2. Procesi apsorpcije fizikalnim djelovanjem otapala


(engl. Physical Solvent Process)

Otapala selektivno apsorbiraju kisele plinove iz plinske smjese, a zagrijavanjem ih oslobađaju.

Najznačajnija otapala su:

dimetil-eter-poli(etilen-glikol) (Selexol proces)

propilen karbonat

smjesa sulfolana i DEA (Sulfinol proces) (*sulfolan*, )

metanol (pod tlakom) (Rectisol, proces tvrtke Lurgi, Njemačka)

## A3. Procesi adsorpcije čvrstofaznim adsorbensima

Najznačajniji adsorbensi:

zeoliti – molekularna sита

aktivni ugljen

Fe – piljevina

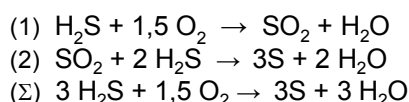
cinkov oksid

## B. Oksidacija sumporovodika

Ugljični dioksid i sumporovodik izdvojeni aaminskim ili drugim postupcima, iz kiselih se plinova odvođe u postrojenje u kojem se H<sub>2</sub>S prevodi oksidacijom u elementarni sumpor, dok se ugljikov dioksid najčešće ispušta u atmosferu.

Dva najvažnija postupka su *Clausov* i *kelatni*.

### B1. Clausov postupak



Proces se provodi u dva stupnja:

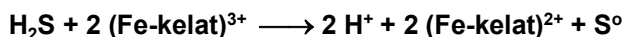
- (1) izgaranje sumporovodika u Clausovoj peći,
- (2) uz katalizator Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> postiže se konverzija viša od 98 %.

Clausov proces se najviše upotrebljava za oksidaciju sumporovodika u procesima hidrodesulfurizacije i hidroobradbe naftnih prerađevina.

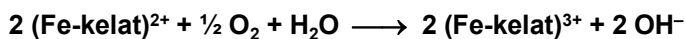
### B2. Kelatni postupak

- vrlo djelotvoran, oksidacija se zbiva u jednoj reakciji (LO-CAT<sup>®</sup> proces, ARI Technologies Inc., SAD).

H<sub>2</sub>S se oksidira u elementarni sumpor, u vodenom mediju uz katalizator Fe-kelat:



Katalizator se obnavlja oksidacijom sa zrakom:



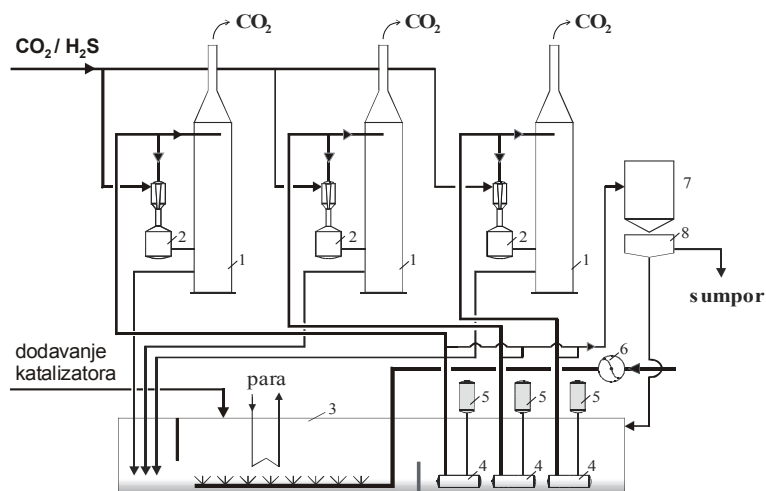
Prednosti kelatnog postupka, odnosno njegove bitne značajke jesu potpuna pretvorba H<sub>2</sub>S u sumpor i lako obnavljanje katalizatora.

#### Proces

Proces se provodi u dva stupnja:

- a) oksidacija (S<sup>2-</sup> → S<sup>0</sup>), b) obnavljanje katalizatora (Fe<sup>2+</sup> → Fe<sup>3+</sup>).

Plinska smjesa dozira se Venturijevom crpkom u reaktor (najčešće tri reaktora) i protustrujno ispire vodenom otopinom katalizatora. Reaktor je ispunjen punilima, prstenovima od nehrđajućeg čelika. Kemijski reagira H<sub>2</sub>S i zaostaje u otopini, a odvojeni CO<sub>2</sub> ispušta se u atmosferu. Vodena otopina s dispergiranim sumporom odvodi se u oksidator katalizatora i u taložnik sumpora. Filtriranjem se odvaja sumpor, dok se vodena otopina obnovljenog katalizatora odvodi ponovno u reaktor.



**Shema procesa oksidacije sumporovodika iz otpadnih plinova**

- 1 – apsorber, 2 – Venturijeva crpka, 3 – oksidacijska komora,  
 4 – odvajanje elementarnog sumpora, 5 – crpka, 6 – zračni kompresor,  
 7 – taložnik sumpora, 8 – filter

Zakonom i ekolojskim normama (ISO 14000) određene su najviše vrijednosti štetnih sastojaka u otpadnim plinovima procesa izgaranja.

**Najviše dozvoljene koncentracije štetnih sastojaka u otpadnim gorivim plinovima**

Tvar	Koncentracija / mg m <sup>-3</sup>	Tvar	Koncentracija / mg m <sup>-3</sup>
H <sub>2</sub> S	5	CO <sub>2</sub>	bez ograničenja
SO <sub>2</sub>	500	Hg	1

## C. Uklanjanje vlage

Voda je u prirodnom plinu nepoželjna iz nekoliko razloga;

(a) uzrokom je *povećanoga korozijskog djelovanja*,

(b) pri višim tlakovima (plinovod) s ugljikovodicima stvara *čvrstofazne komplekse, hidrate*  $C_nH_m \cdot H_2O$  (npr.  $CH_4 \cdot 6 H_2O$ ), što otežava njihov transport cjevovodima.

Uklanjanje vlage iz plinskih smjesa:

### C1. Proces s tekućim apsorbensom (ispiranje)

Metoda za veće količine vlage. Pretežito se upotrebljavaju glikoli, najčešće:

HO-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-OH etilen-glikol, HO-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-OH dietilen-glikol (DEG),

i trietilen-glikol (TEG). Viši glikoli imaju viša vrelišta i stoga niži tlak para, ali su manjega apsorpcijskog učinka. Postupak se provodi protustrujno u kolonama s pliticama ili prokapnim tijelima.

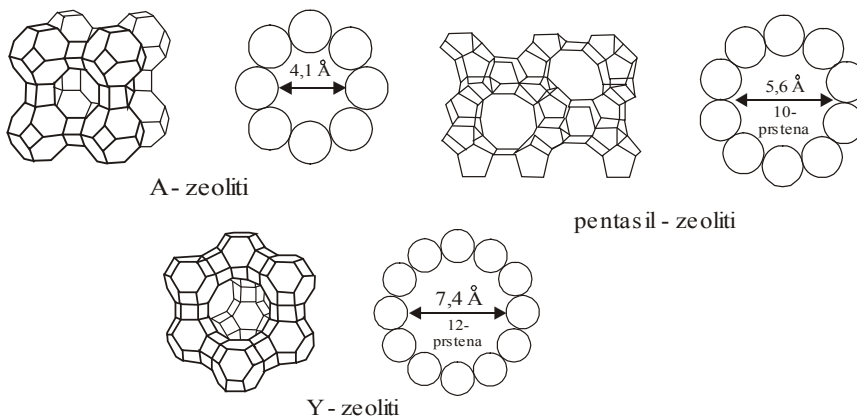
### C2. Proces s čvrstim adsorbensom (sušenje)

Najčešće upotrebljavani adsorbensi:

*zeoliti-molekulna sita, aluminijev oksid i silikagel.*

*Molekulna sita* su sintetički kristalni alumosilikati veličine pora od 0,4...1,2 nm.

## Struktura zeolitnih adsorbensa



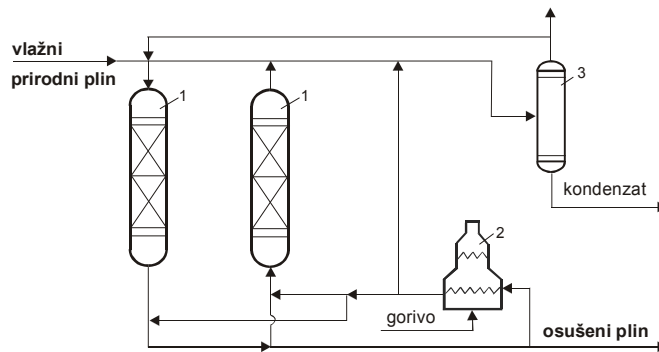
Opća formula:



Zahvaljujući poroznoj strukturi, specifična im je površina vrlo velika i iznosi 800...1000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, pa im je i veoma velika adsorpcijska djelotvornost.

Sušenje molekulnim sitima - najmanje dvije kolone ispunjene granulama adsorbensa, a radni ciklus adsorpcije i desorpcije naizmjenice se ponavlja (8 + 8 sati).

Vlažni plin struji s vrha prema dnu adsorpcijske kolone i nakon odvajanja vlage (do  $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ) odvodi u spremnik. Dio suhoga plina zagrijava se prolazom kroz posebne cijevne peći (do  $300 \text{ °C}$ ), prolazi kroz kolonu za obnavljanje ispirući adsorbens s dna prema vrhu kolone, hladi, odlazi u odvajač kondenzirane vode i priključuje vlažnom plinu.



**Shema postrojenja za sušenje prirodnoga plina molekulnim sitima**  
1 - sušionik, 2 - peć, 3 - odvajač vodenog kondenzata

### **Prednosti molekulnih sita za sušenje plinova:**

- velika djelotvornost sušenja ( $< 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$  vlage)
- visoka temperatura obnavljanja adsorbensa
- brzo obnavljanje (8 sati adsorpcije, 8 sati desorpcije)
- dugotrajnost
- osim vlage, služe i za adsorpciju:  $\text{H}_2\text{S}$ , RSH, COS.

Nedostatak je uporabe molekulnih sita u postupcima sušenja njihova razmjerno visoka cijena.





## D. Izdvajanje viših ugljikovodika (degazolinaža)

Prirodni plin s većim udjelom viših ugljikovodika prerađuje se njihovim odvajanjem posebnim postupcima, pri čemu se, uz metan, dobivaju:

etan, propan, *n*-butan, izobutan i C<sub>5+</sub> (pentan i viši ugljikovodici).

Smjesa alkana, C<sub>2</sub>...C<sub>10</sub>, u naftnoj terminologiji naziva se **gazolin**.

Primjena izdvojenih ugljikovodika:

- *etan* je sirovina u procesu proizvodnje *etilena* pirolitičkom dehidrogenacijom,
- smjesa *propan* / *butan*, najčešće u omjeru 35/65, pri standardnim je uvjetima u plinovitom stanju, dok je pri povišenom tlaku kapljevinna = *ukapljeni naftni plin* (UNP) (engl. *Liquidified Petroleum Gas*, LPG).

Gorivo za industriju i domaćinstva. Za uporabu u domaćinstvima najčešće se dostavlja u plinskim bocama pri tlaku 20...25 bara. Smanjenjem tlaka na atmosferski, kapljevinna ponovno prelazi u plin i izgara u ložištu.

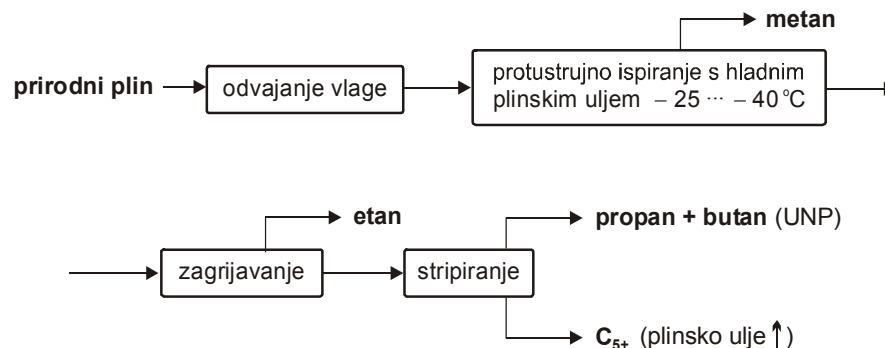
- viši ugljikovodici, C<sub>5+</sub>, benzin (stabilizirani gazolin), dodaje se kao sastavnica motornim benzinima.

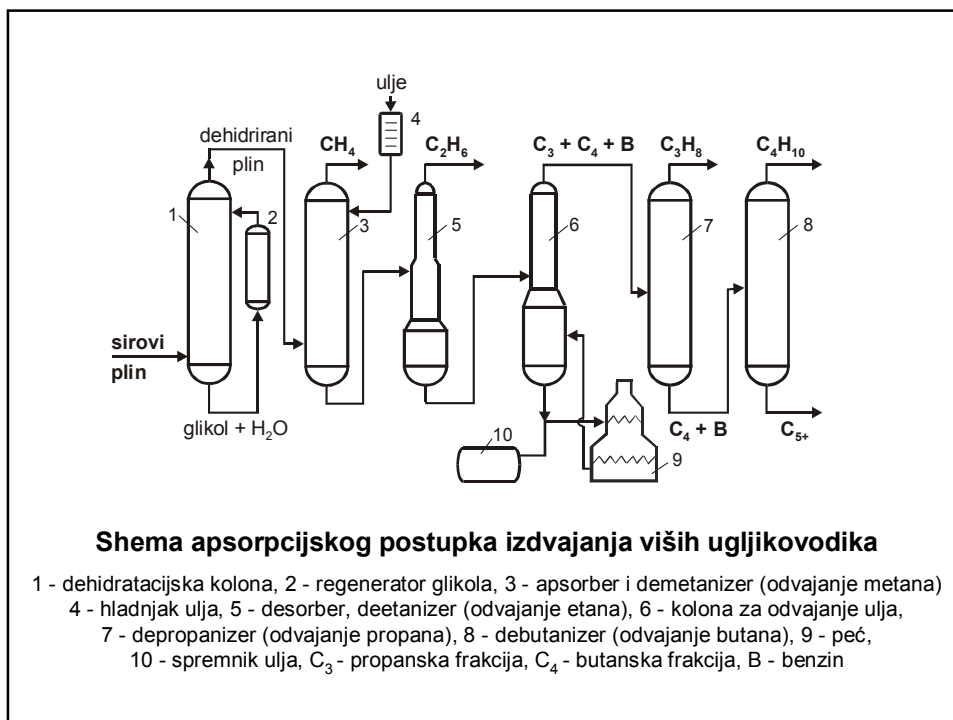
Postupci izdvajanja navedenih alkana iz prirodnog plina:

- 1) **apsorpcijski**, 2) **ekspanzijski**.

## D1. Apsorpcijski postupak

- stariji od ekspanzijskoga, temelji se na apsorpciji sastavnica prirodnoga plina, prethodno očišćenog od kiselih plinova, u plinskom ulju (naftna frakcija vrelišta 220...360 °C) pri niskim temperaturama i zatim njegovom postupnom odvajanju uz zagrijavanje destilacijskim postupcima





## D2. Ekspanzijski postupak

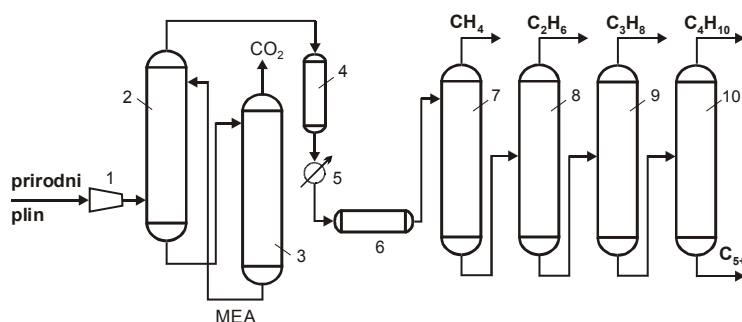
Temelji se na izdvajanju prethodno ukapljenih viših ugljikovodika, a plin se hladi adijabatskom ekspanzijom.

Proces započinje uklanjanjem kiselih plinova i vlage:

Sastav	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Volumni udjel / %	85,4	6,8	2,9	1,5	0,7	1,6	1,1

Plin se tlači na oko 40 bara, a zatim hladi, najčešće preko izmjenjivača topline s tekućim propanom (pri -40 °C) i expandira na oko 10 bara, pri čemu se ohladi na oko -100 °C.

Metan se odvaja (demetanizacija), a kondenzirani sastojci, uz postupno smanjenje tlaka od 30 → 17 → 6 bara, frakcijski se odvajaju: *etan, propan, butan* i C<sub>5+</sub> (primarni laki benzin).



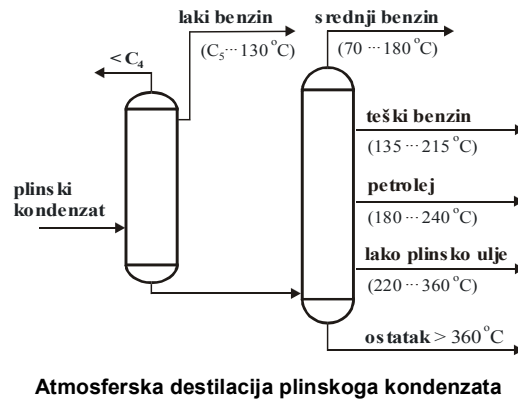
### Ekspanzijski postupak odvajanja sastavnica prirodnoga plina

- 1 – kompresor, 2 – apsorpcijska kolona (CO<sub>2</sub>), 3 – regeneratorski uređaj MEA,
- 4 – apsorpcija H<sub>2</sub>O, 5 – rashladni uređaj (-60 °C), 6 – ekspander,
- 7 – destilacijska kolona (metan), 8 – destilacijska kolona (etan),
- 9 – destilacijska kolona (propan), 10 – destilacijska kolona (butan)

## Plinski kondenzat

Plinski kondenzat smjesa je ugljikovodika s oko 5...30 C-atoma, a dobiva se kao popratni proizvod u postupku dobivanja prirodnoga plina iz tzv. plinsko-kondenznih ležišta.

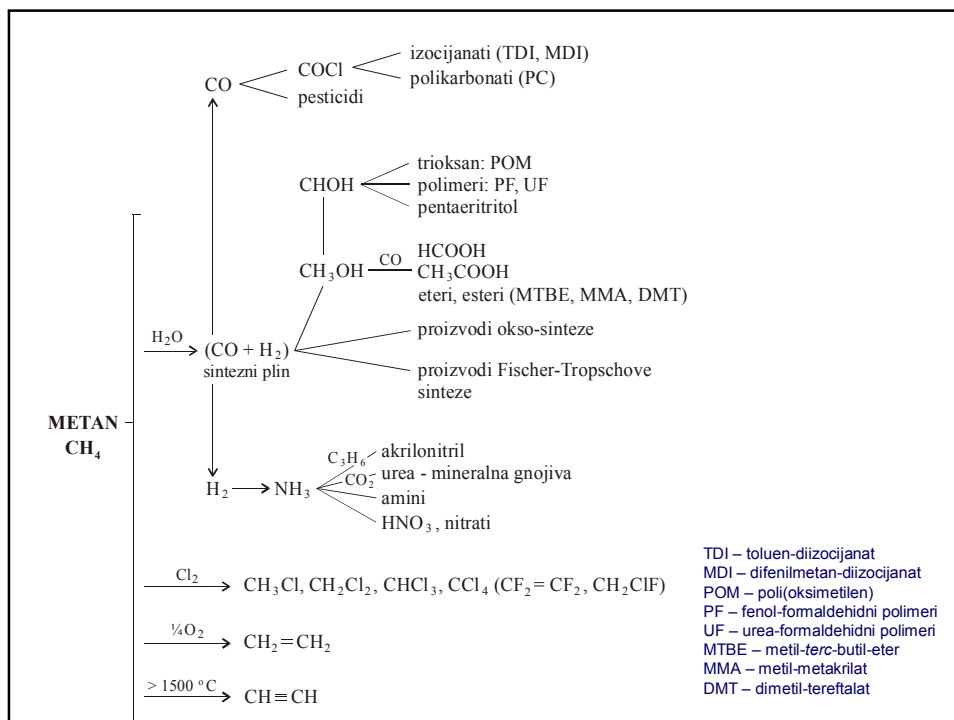
Niže frakcije, koje sadrže do 10 C-atoma često se nazivaju "sirovi gazolin" i sastavni su dio prirodnoga plina. Prirodni plin iz Panonskog bazena ima maseni udjel kondenzata i do 22 %. Nakon odvajanja lakših ugljikovodika (pretežito metana, postupkom poznatim pod nazivom "stabilizacija"), prerađuje se atmosferskom frakcijskom destilacijom.



Plinski kondenzat sadrži značajno veći udjel lakih frakcija u usporedbi s naftom i najviše se upotrebljava kao petrokemijska sirovina, ili se nakon destilacije dobivene frakcije upotrebljavaju kao gorivni naftni proizvodi.

### Usporedni sastav plinskoga kondenzata i nafte

Sastav	Plinski kondenzat	Nafta	
	Podravina	Moslavina	Slavonija
Gustoća / g cm <sup>-3</sup>	0,790	0,860	0,870
S / maseni udjel, %	0,04	0,41	0,47
Benzin (primarni), do 170 °C	40	25	14
Plinsko ulje, 175...310 °C	35	26	11
Ostatak (loživo ulje ), > 310 °C	25	49	75



## Ukapljeni prirodni plin (UPP)

### Liquefied Natural Gas (LNG)

Dobiva se ukapljivanjem vrlo čistog prirodnog plina postupkom ekspaniranja (100 bar → 4 bar) ili izravnog hlađenja (u kapljevitom stanju,  $t_v = -161\text{ }^\circ\text{C}$ ), najviše radi prijevoza prirodnog plina na velike udaljenosti, uobičajeno posebnim brodovima.

Najčešći prijevozni pravci:

iz Aljaske u druge dijelove SAD, iz Alžira i zemalja srednjeg istoka u zemlje Zapadne Europe i Japan.

1 m<sup>3</sup> ukapljenog plina = 600 Nm<sup>3</sup> plina



LNG, sastav: metan, od najmanje 90 % do gotovo 100 %; može sadržavati etan, propan i više CH. Postupkom ukapljivanja uklanjaju se O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, S-spojevi.

LNG, gustoća: oko 45 % gustoće vode.

Bezmirisan, bezbojan, nekorozivan, neotrovan.

Pare u koncentracijama od 5 – 15 % u smjesi sa zrakom gorive.

Niti LNG, niti njegove pare nisu eksplozivne na otvorenom prostoru.



### Ukapljeni naftni plin (UNP)

Liquid Petroleum Gas (LPG)

- smjese propana i butana u raznim omjerima; mogu sadržavati propilen, butilen i izo-butan.

Sastav se često prilagođava sezonskim uvjetima – zimi veći udjeli propana, ljeti butana. Tlakovi para, na 30 °C, za komercijalni propan od 10-12 barg, za komercijalni butan, 2-4 barg.



LPG u usporedbi s prirodnim plinom ima znatno manju ogrjevnu vrijednost i za dobro izgaranje zahtijeva različit omjer smjese zrak-plin (propan, 24:1; butan, 30:1).

Skladišti se kao kapljevina u tankovima pod tlakom. Ne zahtijeva skupa ulaganja u infrastrukturu kao LNG, pa je široko primjenjiv u zemljama u razvoju (Indija) i ruralnim područjima.

LPG se često naziva i autoplina, kada se upotrebljava kao gorivo za vozila.

## Stlačeni (komprimirani) prirodni plin Compressed natural gas (CNG)

- prirodni plin stlačen na tlakove do 3.600 psig; skladišti se u odgovarajuće tankove / posude.

Obično je sastava jednakog onome plina iz lokalnog plinovoda, s nešto uklonjene vode.  
Do motora se dovodi kao niskotlačni plin (300 psig).

CNG se može pripremiti iz LNG, uz niže troškove.



Prvo vozilo na prirodni plin, 1860.



### Razine emisija fosilnih goriva / funti po milijardi Btu ulazne energije

Polutant	Prirodni plin	Nafta	Ugljen
Ugljikov dioksid, CO <sub>2</sub>	117.000	164.000	208.000
Ugljikov monoksid, CO	40	33	208
Dušikovi oksidi, NO <sub>x</sub>	92	448	457
Sumporov dioksid, SO <sub>2</sub>	1	1.122	2.591
Čestice	7	84	2.744
Živa, Hg	0,000	0,007	0,016

Izvor: EIA - Natural Gas Issues and Trends 1998.

