



FKITMCMXIX

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilište u Zagrebu

Preddiplomski studij **KEMIJSKO INŽENJERSTVO**

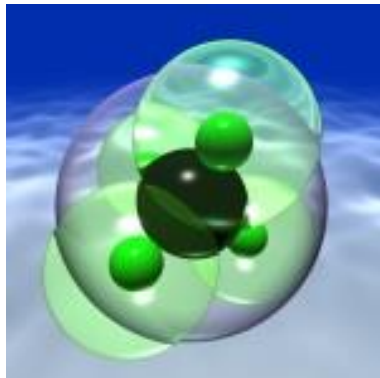
Kolegij: Procesi preradbe nafte



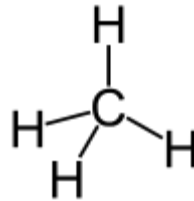
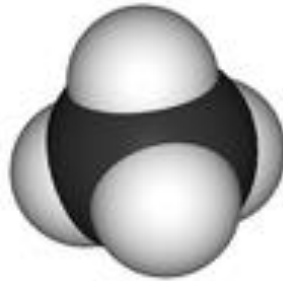
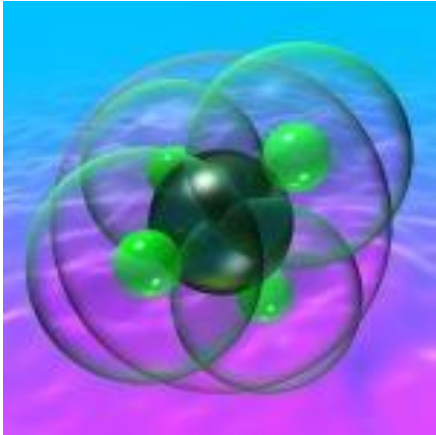
Prirodni ili zemni plin

Prof. dr. sc. Ante Jukić

Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju / Savska cesta 16 / ajukic@fkit.unizg.hr



Prirodni plin - smjesa nižih ugljikovodika i anorganskih primjesa; temeljni sastojak je metan, **CH₄**, s udjelom > 70 %.



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

Uporaba prirodnog plina

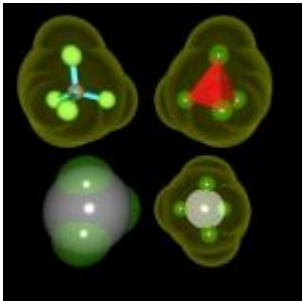
1. Energent (gorivo), > 90 %

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



2. Petrokemijska sirovina

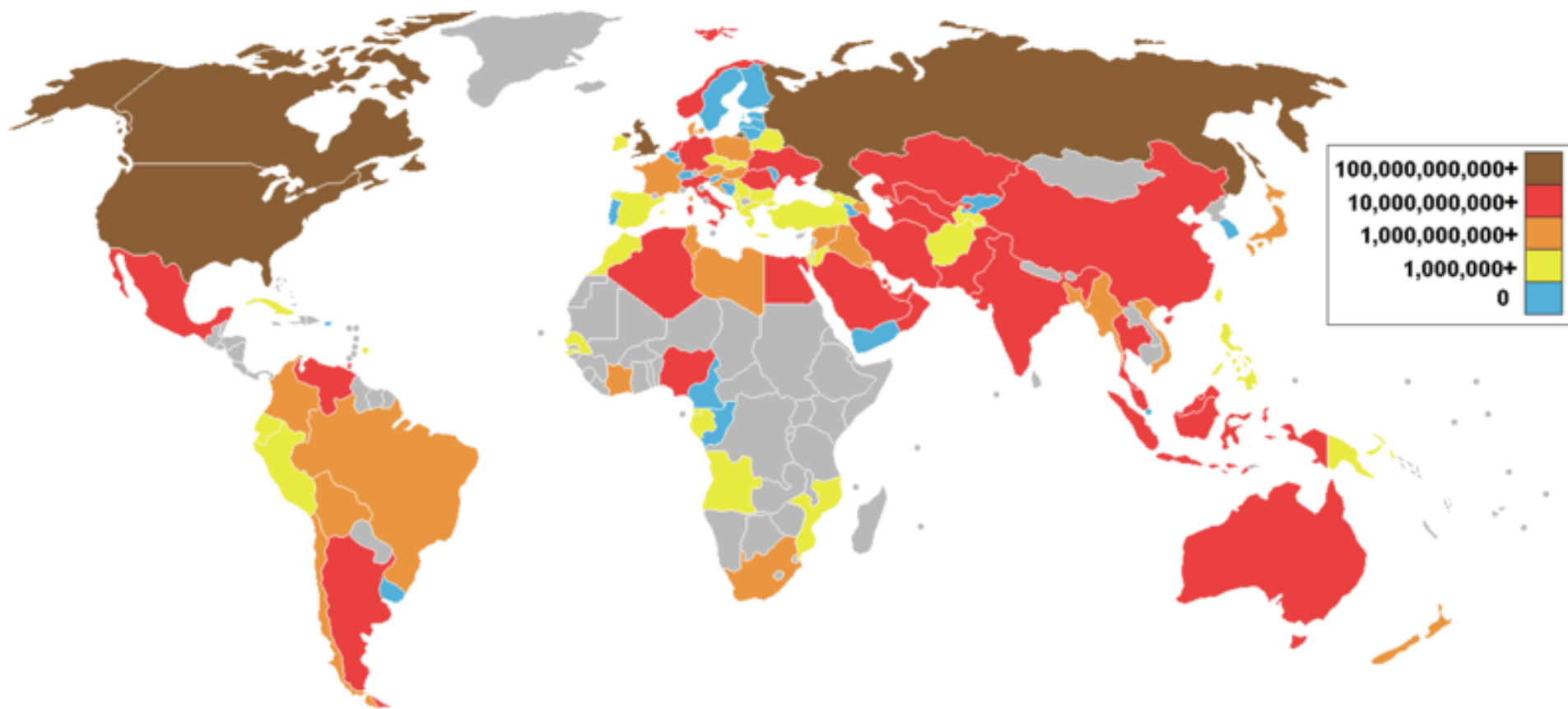
- sintezni plin (sintetska goriva), vodik, amonijak, urea, metanol i derivati ...



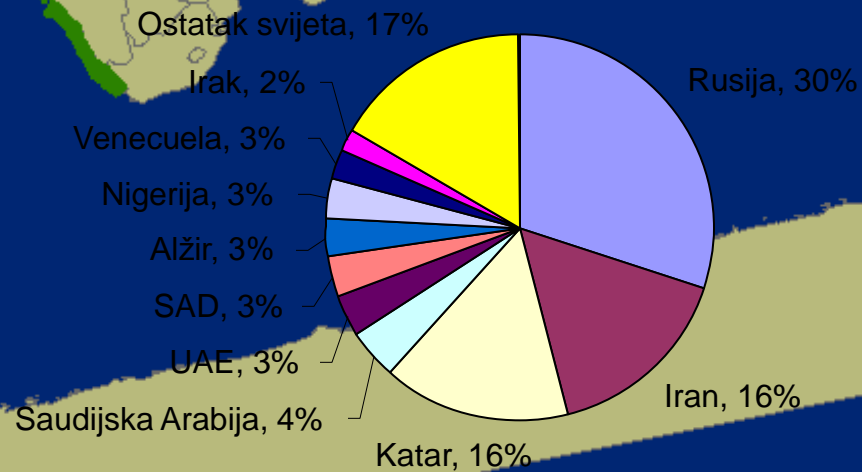
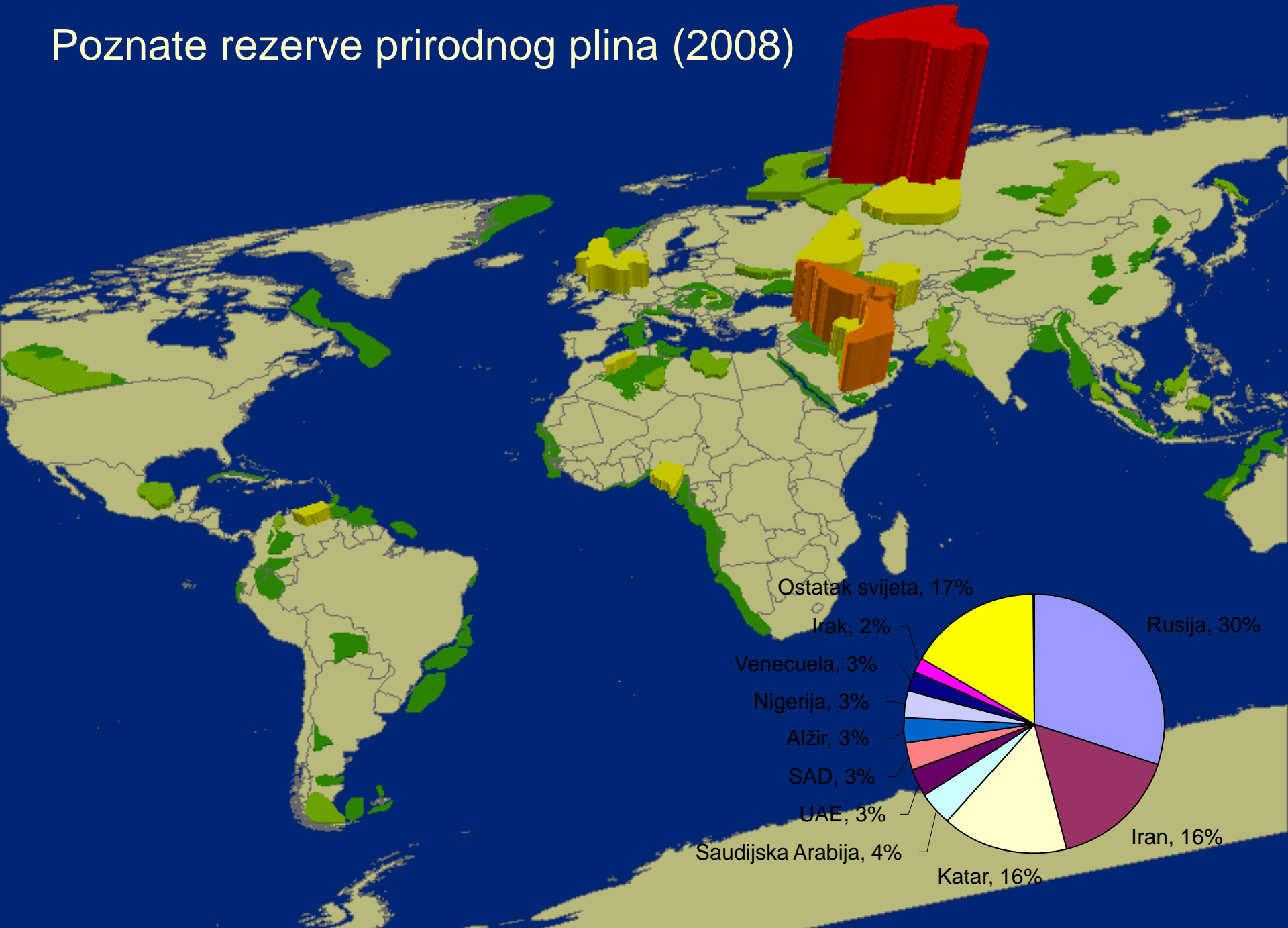
Proizvodnja i rezerve prirodnog plina



Proizvodnja prirodnog plina u svijetu 2008. g. u Nm³



Poznate rezerve prirodnog plina (2008)



EUROPEAN DEPENDENCE ON NATURAL GAS



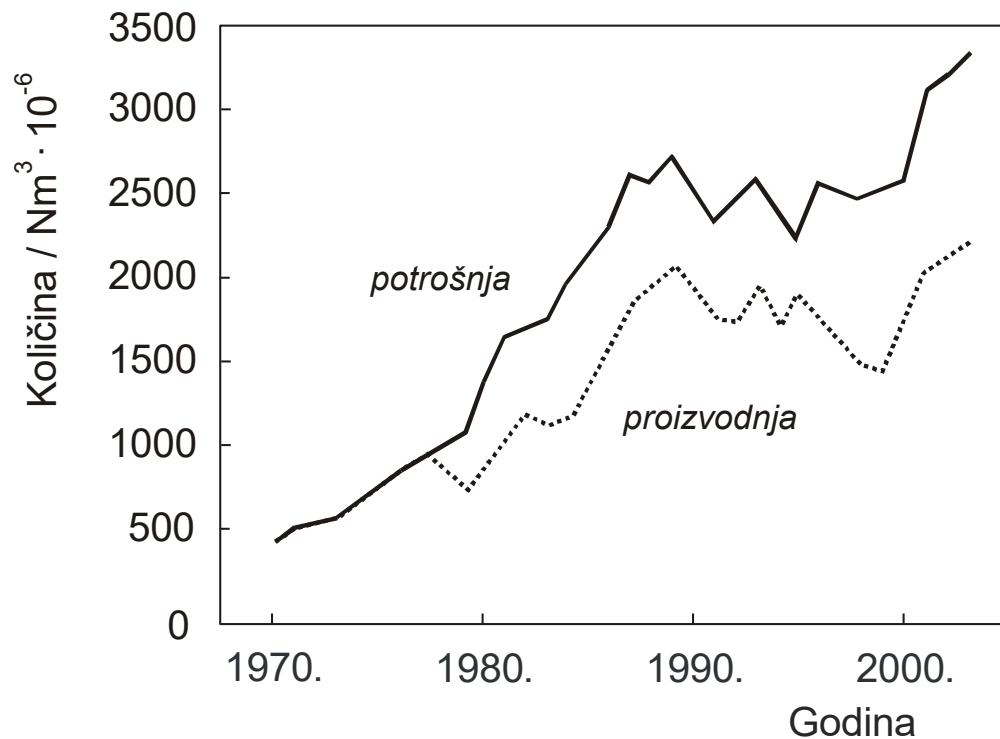
Total primary energy supply derived from natural gas

- Under 10%
- 10-20%
- 20-30%
- Above 30%

100 Percentage of overall natural gas consumption dependent on Russian imports



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:

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

neugljikovodici: CO_2 , H_2S , COS , H_2O , 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 ($C_5 \cdots C_{30}$) - 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.

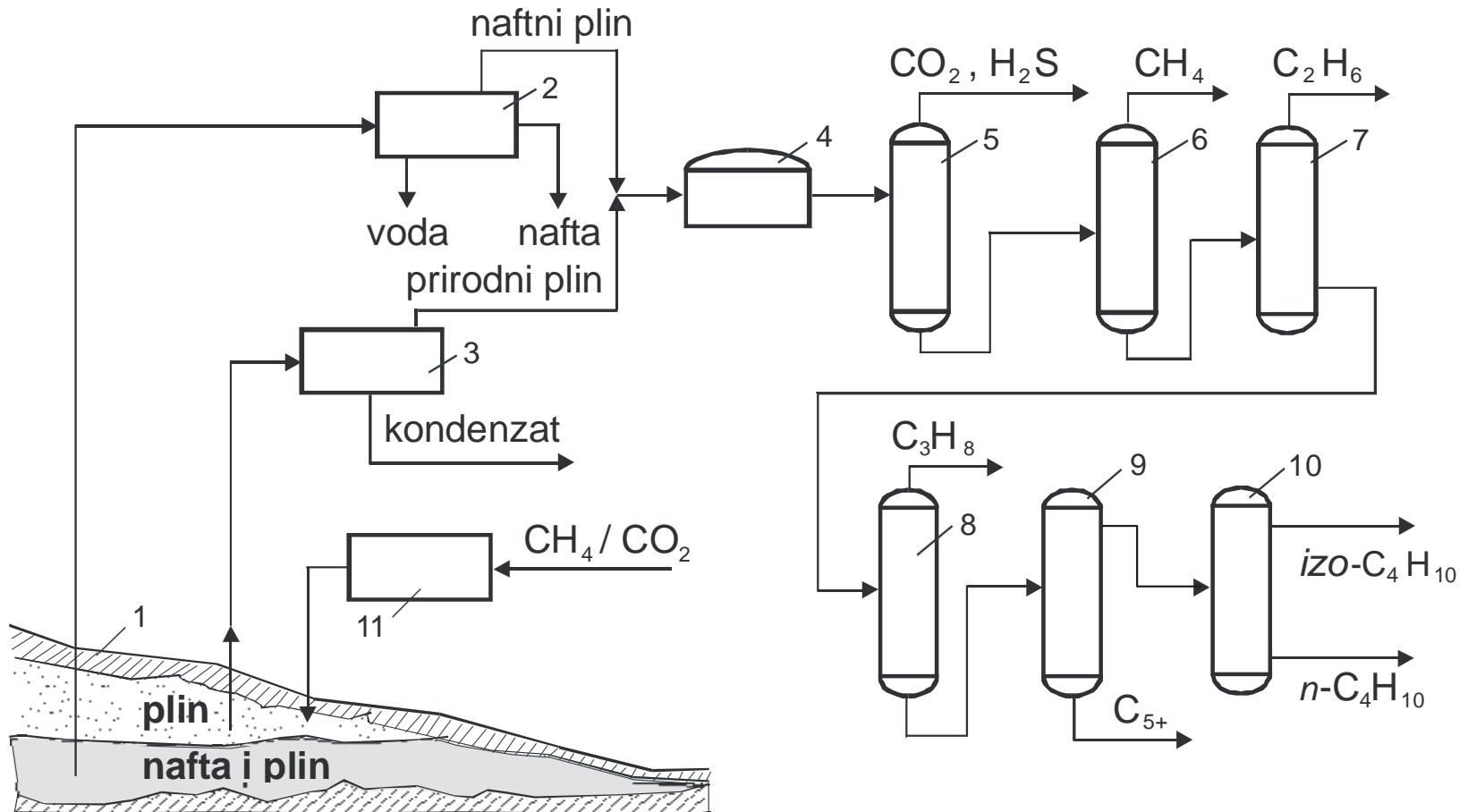
Prosječni sastavi prirodnog plina u ovisnosti o ležištu

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

C₄₊ označava butan (C₄) 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 kondenzata,
- 4 – plinska stanica,
- 5 – odvajanje kiselih plinova,
- 6 – odvajanje metana,
- 7 – odvajanje etana,
- 8 – odvajanje propana,
- 9 – odvajanje benzina (C_{5+}),
- 10 – odvajanje butana,
- 11 – utiskivanje plinova (sekundarni iscrpak)



OBRADBA PRIRODNOG PLINA

A. Uklanjanje kiselih plinova (CO_2 , H_2S , COS) i tragova žive

Kiseli su plinovi nepoželjni jer su pretežito otrovni i korozivni:

CO_2 – smanjuje toplinu izgaranja, pod tlakom i nižim temperaturama je krut,

H_2S – 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_2O)

Voda u prirodnom plinu, pod određenim je uvjetima veoma korozivna, a s ugljikovodicima pri većim tlakovima i nižim temperaturama stvara krute hidrate (npr. $CH_4 \cdot 6 H_2O$).

Ugljikovodični hidrati su nepoželjni jer otežavaju transport i skladištenje.

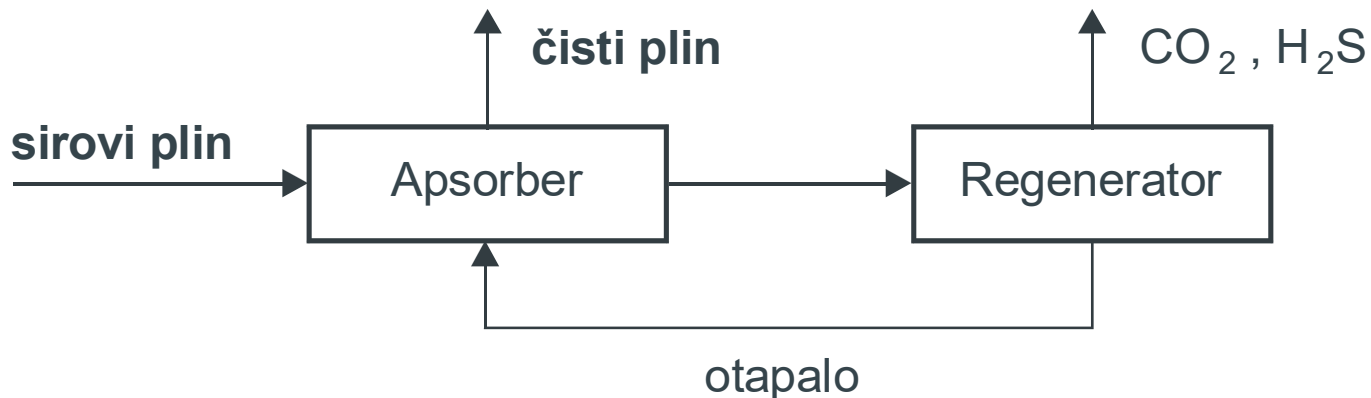
D. Odvajanje metana od viših ugljikovodika, C_{2+} (degazolinaža)

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

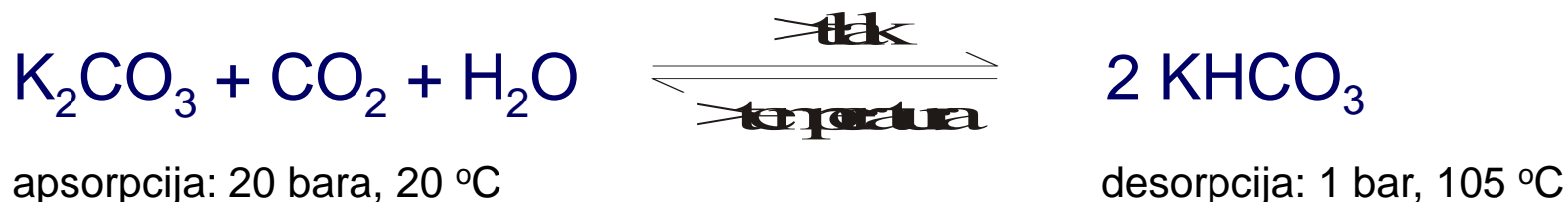
A1-1. Benfieldov proces

Povrativa kemijska reakcija apsorpcije kiselih plinova s vodenom otopinom kalijeva karbonata i zatim obnavljanje zasićene otopine desorpcijom.

Najčešće se primjenjuje pri višim udjelima CO₂ u plinu.

Proces se sastoji u protustrujnom ispiranju plina u koloni s vodenom otopinom K₂CO₃ (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**

Merkaptani 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:



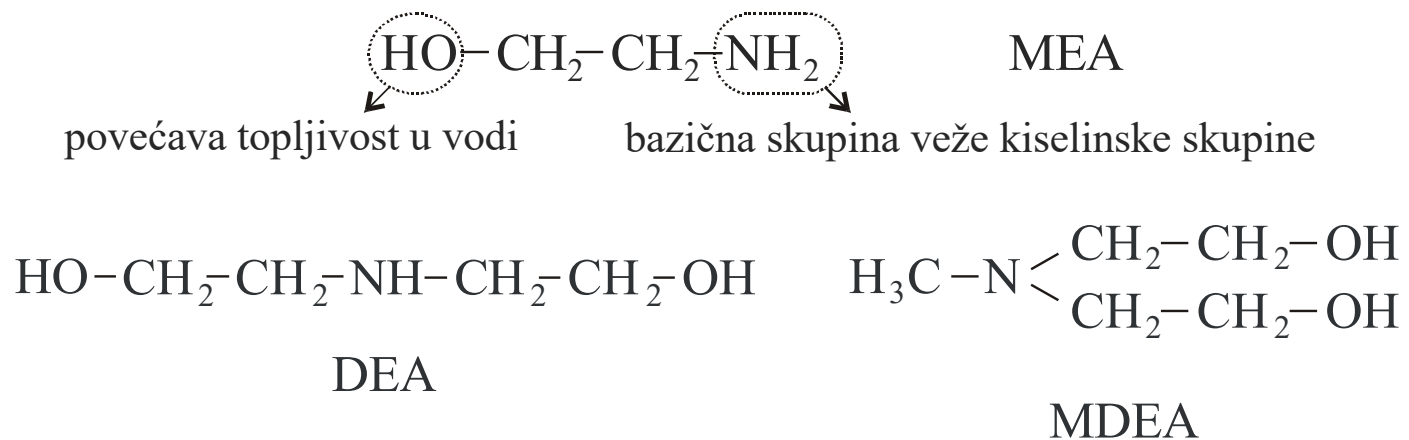
A1. Procesi apsorpcije s kemijski aktivnim otapalima

A1-3. Aminske otopine

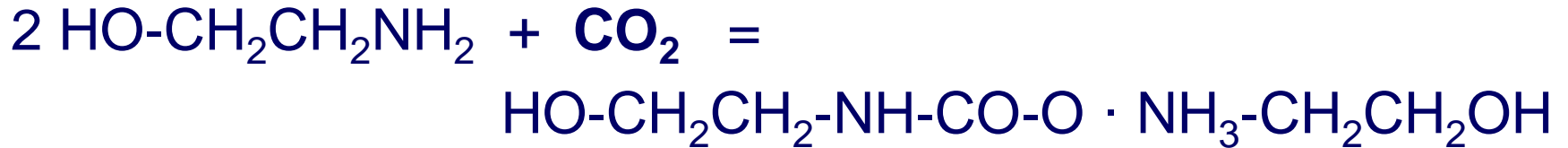
Određeni amini, posebice etanolamini, imaju veliki apsorpcijski kapacitet za kisele plinove (CO_2 i H_2S), a mali za ugljikovodike i druge primjese. Vrlo čestoaminski proces služi za tzv. sekundarno odvajanje ostatka CO_2 nakon drugih procesa, primjerice Benfieldova karbonantnog postupka, jer odvaja zaostali CO_2 do koncentracija nižih od 500 mg kg^{-1} i H_2S do nekoliko mg kg^{-1} .

Najdjelotvorniji:

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



Reakcije:



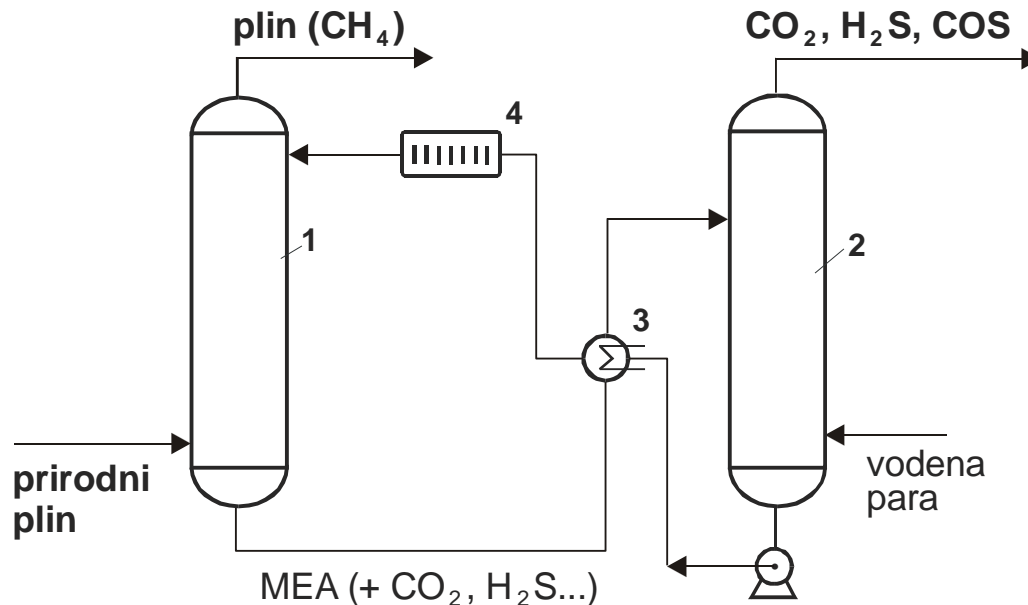
Obje su reakcije povratne, a ravnoteža ovisi o temperaturi i parcijalnom tlaku plinova (CO_2 i H_2S) u otopini.

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 – regenerators, 3 – izmjenjivač toplote, 4 – hladnjak

Pročišćeni plin (CH₄) izdvaja se s vrha kolone, aaminska 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 °C pri 0,3...1,0 bara.

S vrha kolone odvede se desorbirani plinovi. Aaminska otopina hladi se prvo preko izmjenjivača toplote (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 sita

aktivni ugljen

Fe – piljevina

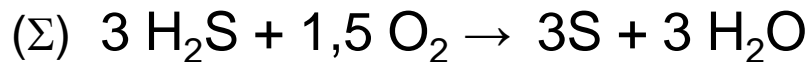
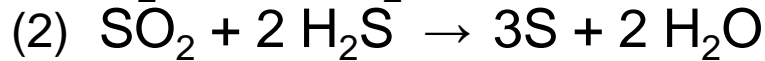
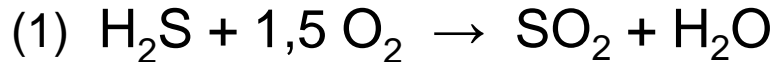
cinkov oksid

B. Oksidacija sumporovodika

Ugljični dioksid i sumporovodik izdvojeni aaminskim ili drugim postupcima, iz kiselih se plinova odvođe u postrojenje u kojem se H_2S 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:

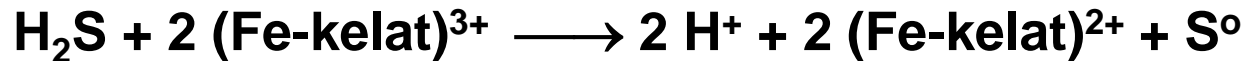
- (1) izgaranje sumporovodika u Clausovoj peći,
- (2) uz katalizator Al_2O_3 postiže se konverzija viša od 98 %.

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

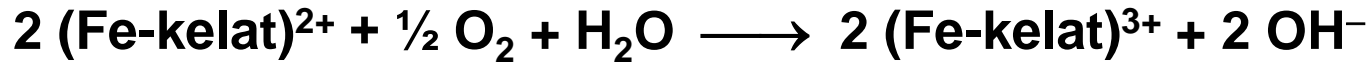
B2. Kelatni postupak

- vrlo djelotvoran, oksidacija se zbiva u jednoj reakciji (LO-CAT[®] proces, ARI Technologies Inc., SAD).

H₂S 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 H₂S u sumpor i lako obnavljanje katalizatora.

Proces

Proces se provodi u dva stupnja:

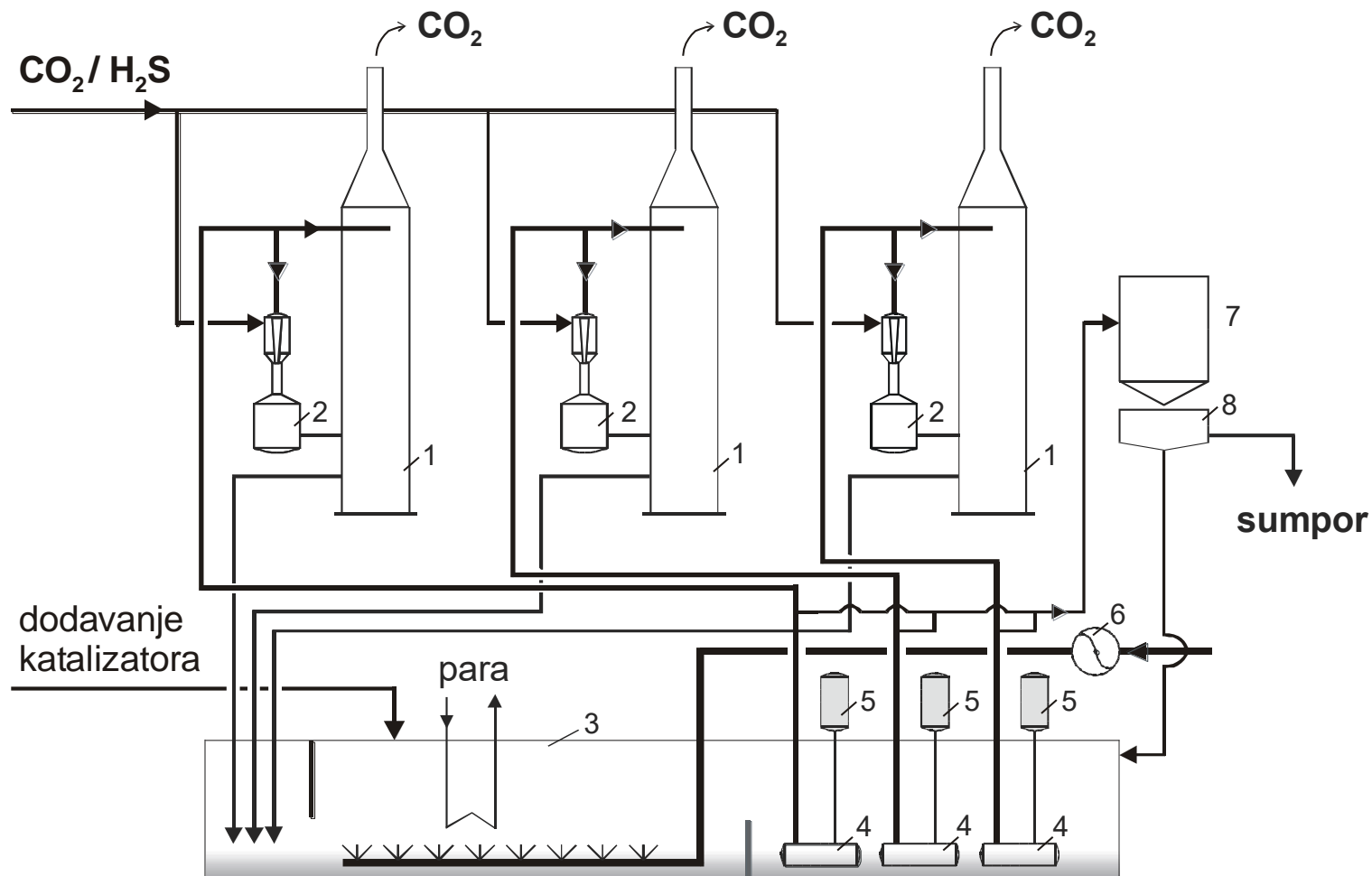
a) oksidacija (S²⁻ → S⁰), b) obnavljanje katalizatora (Fe²⁺ → Fe³⁺).

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 H₂S i zaostaje u otopini, a odvojeni CO₂ 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 ekolozijskim 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⁻³	Tvar	Koncentracija / mg m⁻³
H ₂ S	5	CO ₂	bez ograničenja
SO ₂	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-CH₂CH₂-OH *etilen-glikol*, HO-CH₂CH₂-O-CH₂CH₂-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.

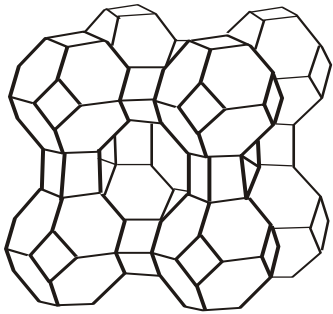
C2. Proces s čvrstim adsorbensom (sušenje)

Najčešće upotrebljavani adsorbensi:

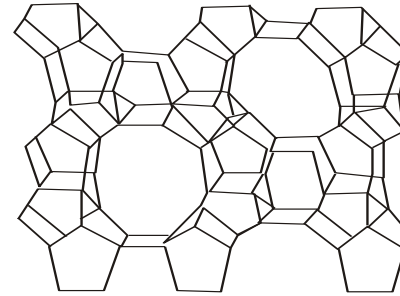
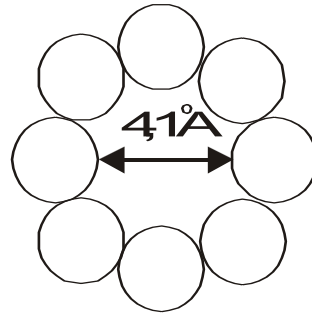
zeoliti-molekulna sita, aluminijev oksid i silikagel.

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

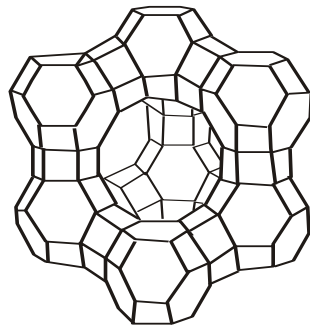
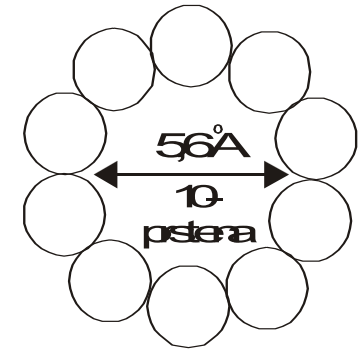
Struktura zeolitnih adsorbensa



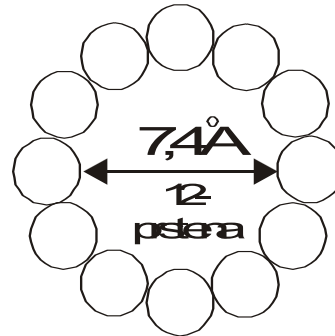
A-zeoliti



pentasil-zeoliti



Y-zeoliti



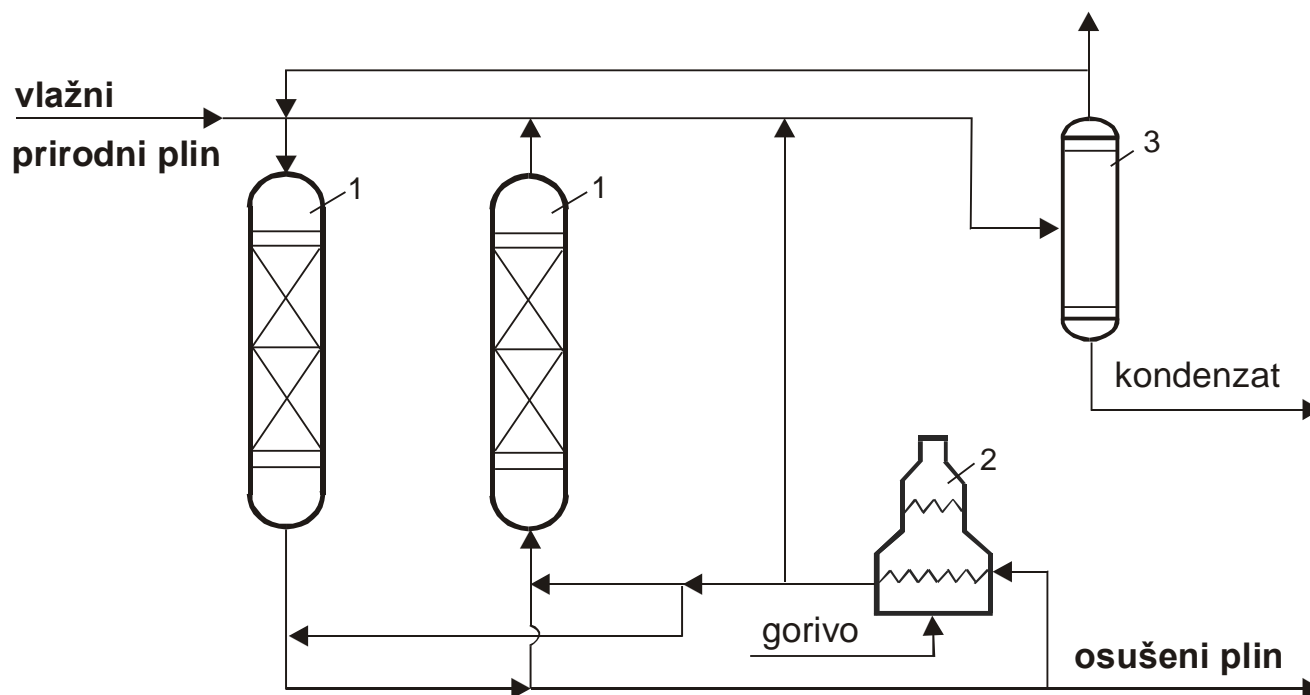
Opća formula:



Zahvaljujući poroznoj strukturi, specifična im je površina vrlo velika i iznosi $800 \dots 1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, 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 $300 \text{ }^\circ\text{C}$), 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 molekularnih 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: H_2S , RSH , COS .

Nedostatak je uporabe molekularnih 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 C₅₊ (pentan i viši ugljikovodici).

Smjesa alkana, C₂···C₁₀, 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 kapljevina = *ukapljeni naftni plin* (UNP) (engl. *Liquified 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, kapljevina ponovno prelazi u plin i izgara u ložištu.

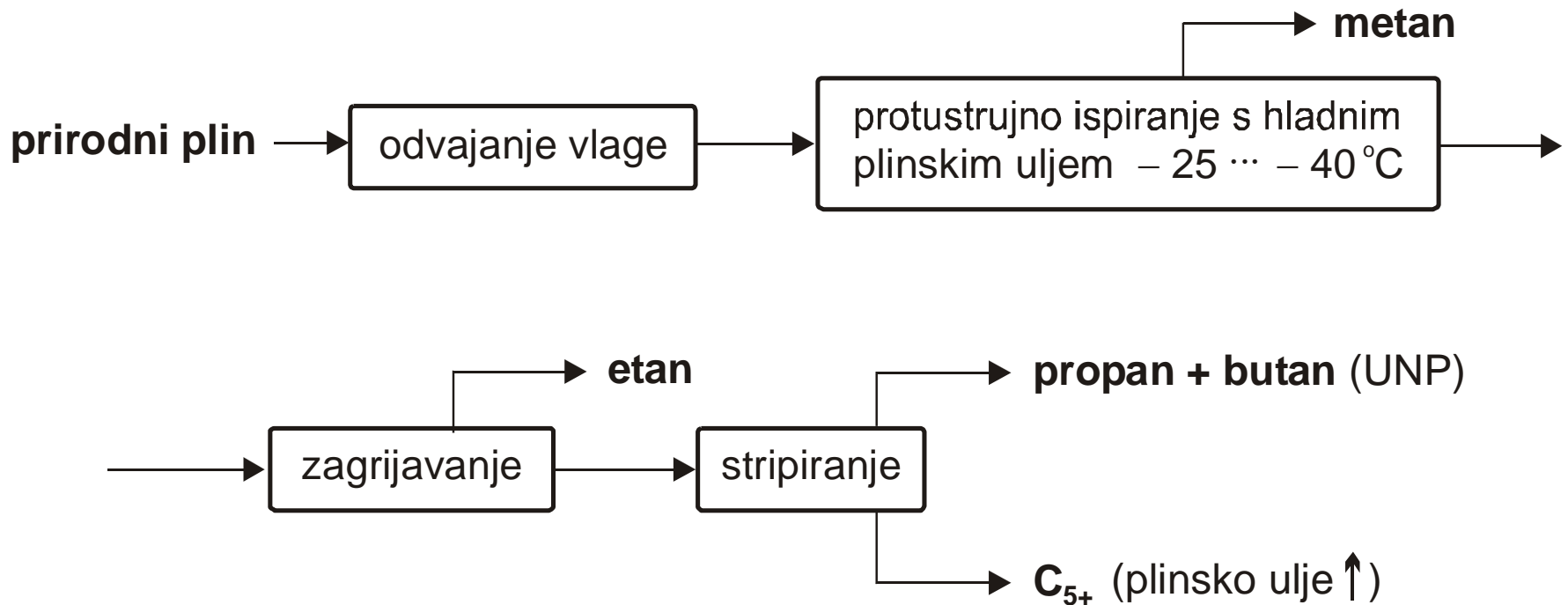
- viši ugljikovodici, C₅₊, benzin (stabilizirani gazolin), dodaje se kao sastavnica motornim benzinima.

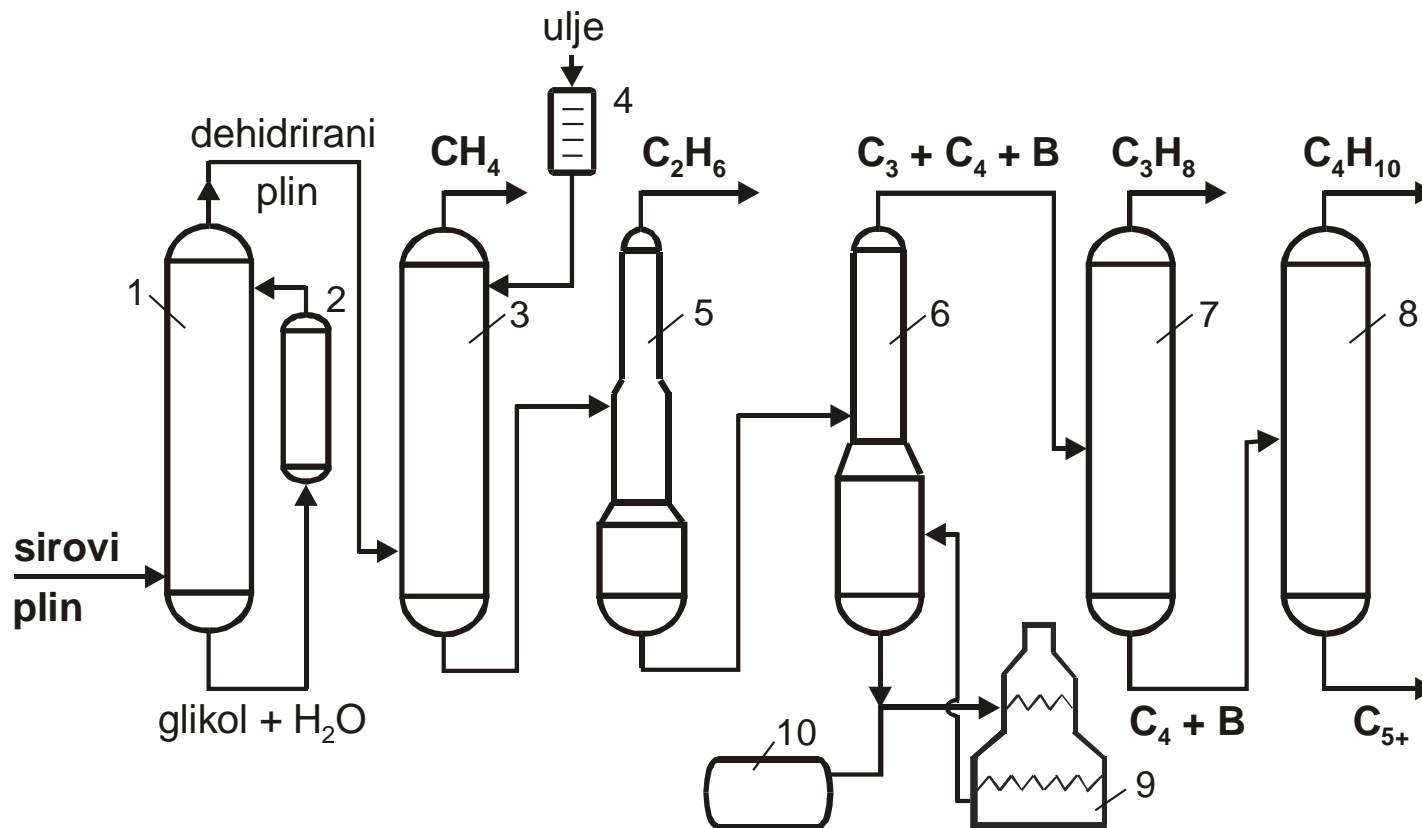
Postupci izdvajanja navedenih alkana iz prirodnog plina:

- 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





Shema apsorpcijskog postupka izdvajanja viših ugljikovodika

- 1 - dehidrationska kolona, 2 - regeneratorska kolona glikola, 3 - apsorber i demetanizer (odvajanje metana)
 4 - hladnjak ulja, 5 - desorber, deetanizer (odvajanje etana), 6 - kolona za odvajanje ulja,
 7 - depropanizer (odvajanje propana), 8 - debutanizer (odvajanje butana), 9 - peč, 10 - spremnik ulja, C₃ - propanska frakcija, C₄ - butanska frakcija, B - benzin



D2. Ekspanzijski postupak

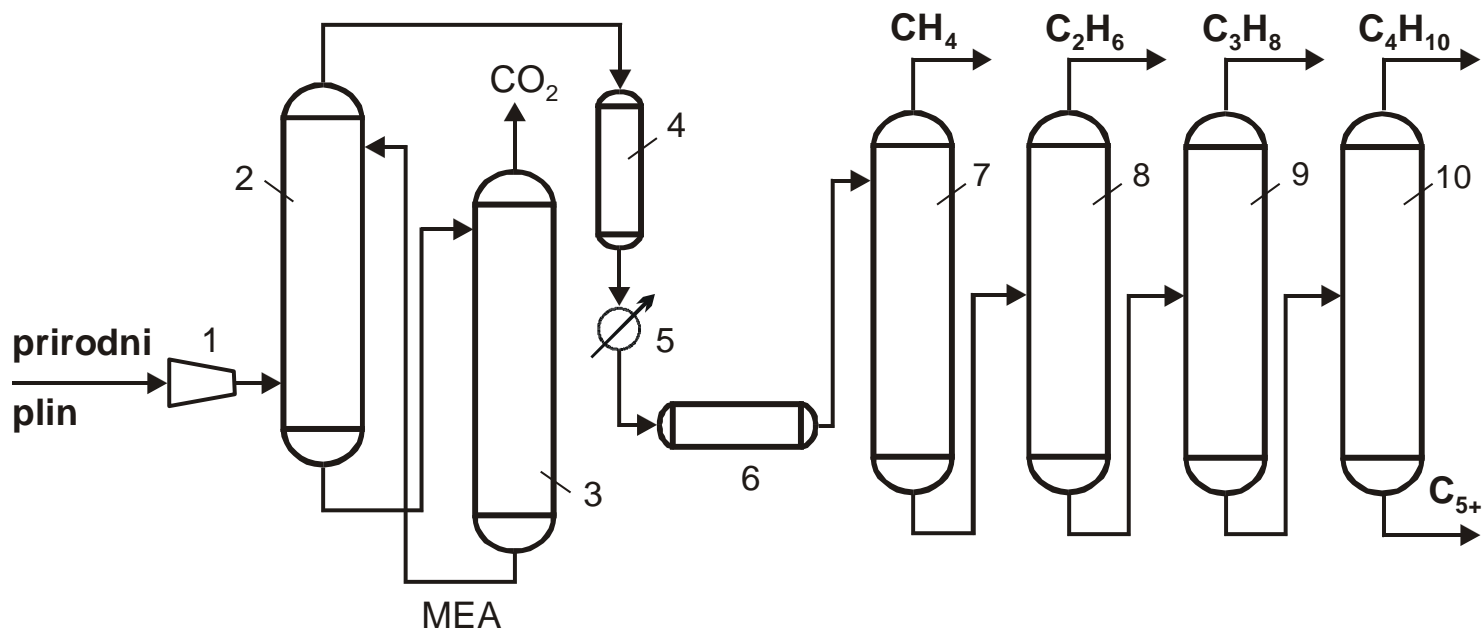
Temelji se na izdvajanju prethodno ukapljenih viših ugljikovodika, a plin se hladi adijabatskom ekspanzijom.

Proces započinje uklanjanjem kiselih plinova i vlage:

Sastav	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅₊	CO ₂	N ₂
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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) i ekspandira na oko 10 bara, pri čemu se ohladi na oko $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Metan se odvaja (demetanizacija), a kondenzirani sastojci, uz postupno smanjenje tlaka od $30 \rightarrow 17 \rightarrow 6$ bara, frakcijski se odvajaju: *etan, propan, butan* i C_{5+} (primarni laki benzin).



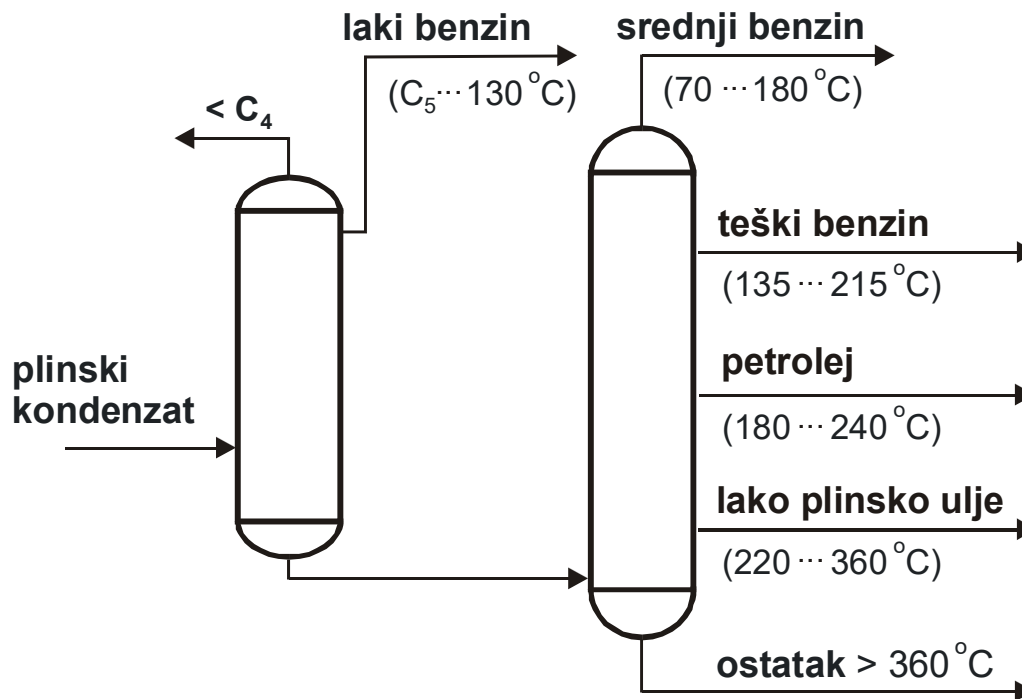
Ekspanzijski postupak odvajanja sastavnica prirodnoga plina

- 1 – kompresor, 2 – apsorpcijska kolona (CO_2), 3 – regeneratore MEA,
- 4 – apsorpcija H_2O , 5 – rashladni uređaj ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), 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.

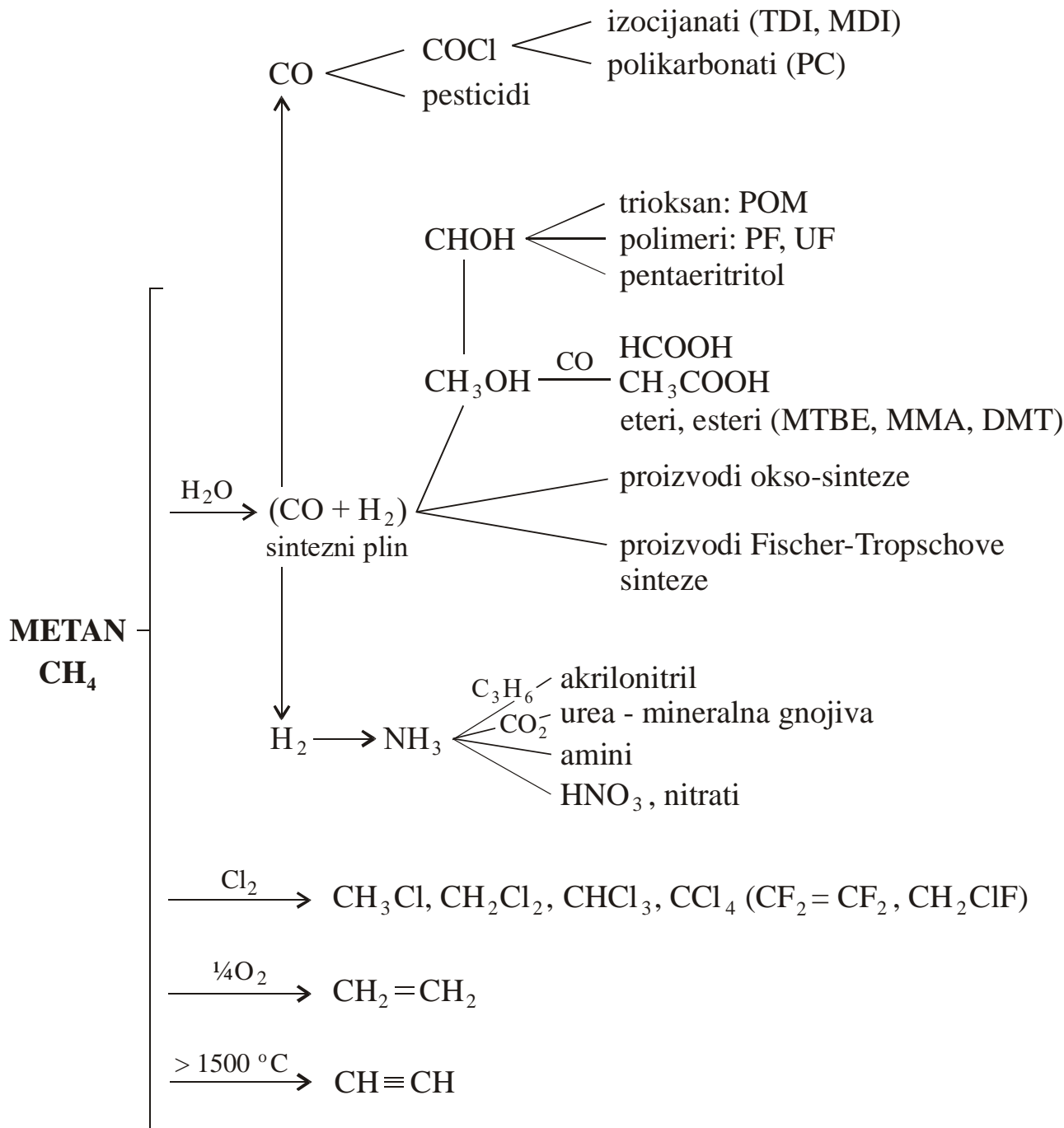


Atmosferska destilacija plinskoga kondenzata

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 ⁻³	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



TDI – toluen-diizocijanat
 MDI – difenilmetan-diizocijanat
 POM – poli(oksimetilen)
 PF – fenol-formaldehidni polimeri
 UF – urea-formaldehidni polimeri
 MTBE – metil-*terc*-butil-eter
 MMA – metil-metakrilat
 DMT – dimetil-tereftalat

Ukapljeni prirodni plin (UPP)

Liquefied Natural Gas (LNG)

Dobiva se ukapljivanjem vrlo čistog prirodnog plina postupkom ekspaniranja (100 bar \rightarrow 4 bar) ili izravnog hlađenja (u kapljevitom stanju, $t_v = -161$ °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 m³ ukapljenog plina = 600 Nm³ plina



LNG, sastav: metan, od najmanje 90 % do gotovo 100 %;
može sadržavati etan, propan i više CH.

Postupkom ukapljivanja uklanjaju se O₂, CO, H₂O, S-spojevi.

LNG, gustoća: oko 45 % gustoće vode.

Bezmirisan, bezbojan, nekorozivan, neutrovan.

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.

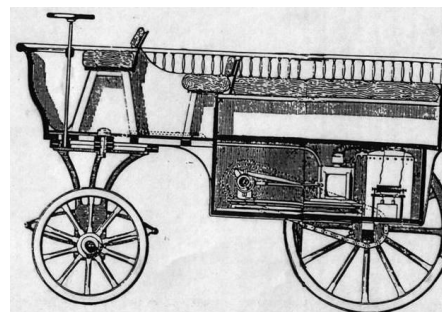
Stlačeni (komprimirani) prirodni plin

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 pripraviti 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 ₂	117.000	164.000	208.000
Ugljikov monoksid, CO	40	33	208
Dušikovi oksidi, NO _x	92	448	457
Sumporov dioksid, SO ₂	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

1 BTU (British Thermal Unit) = 1,055 kJ

