

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

## GOSPODARENJE PLINOVIMA 2



Predavanje:

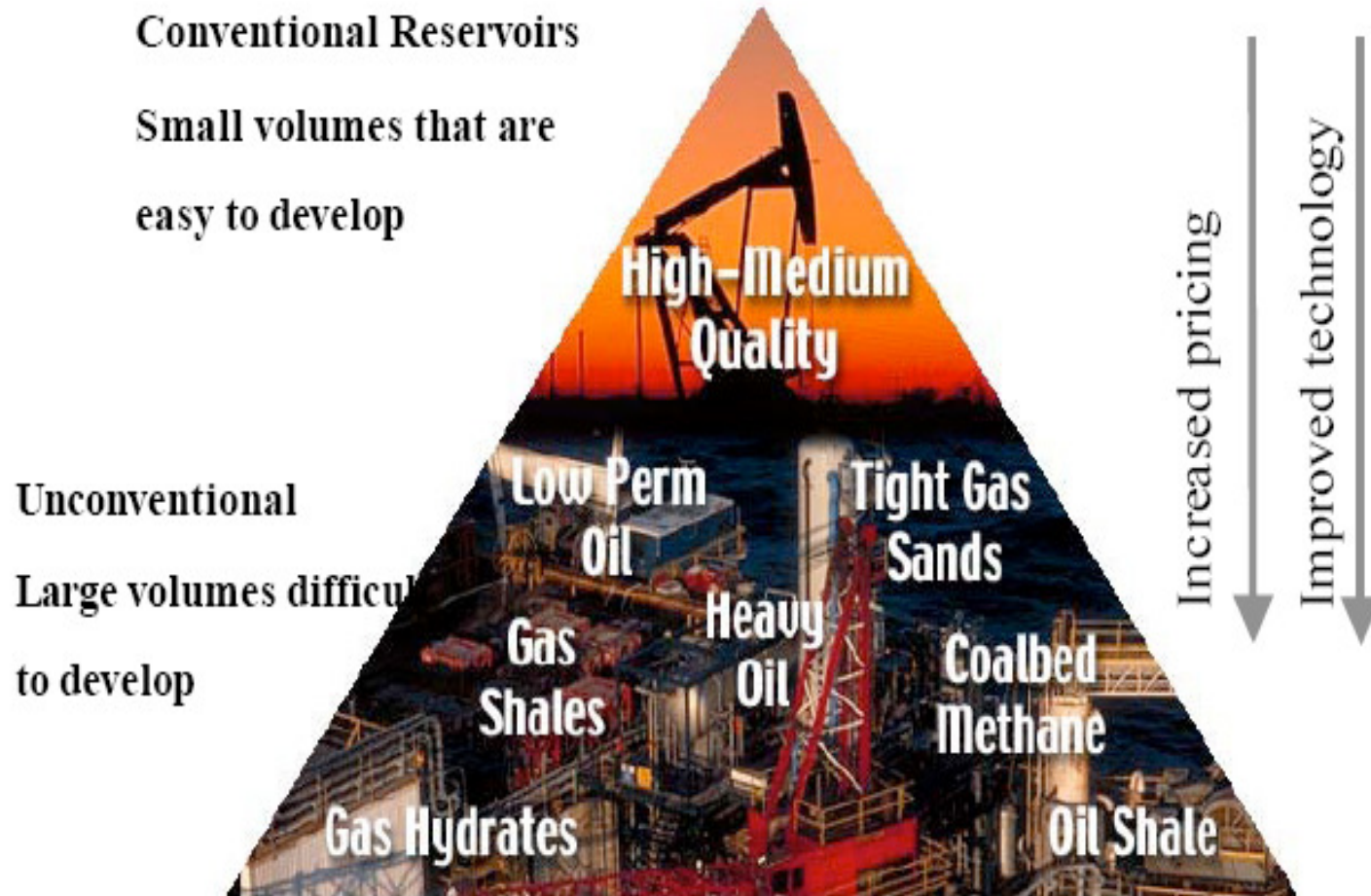
### **NEKONVENCIONALNI IZVORI PRIRODNOG PLINA**

**Doc. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar**  
Zagreb, 2010.



**RGNF**

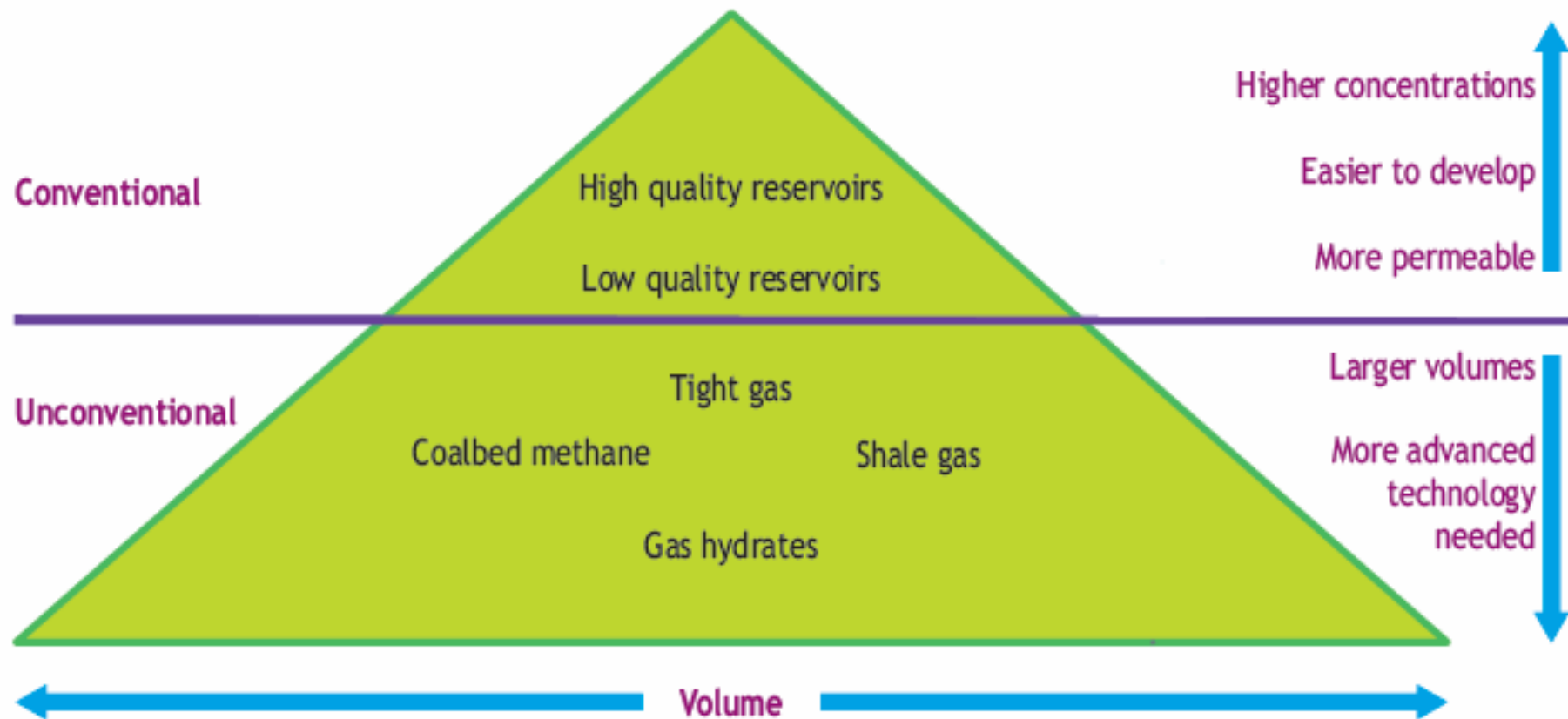
# PRINCIP TROKUTA RESURSA ZA NAFTNA I PLINSKA LEŽIŠTA





# PRINCIP TROKUTA RESURSA ZA PLINSKA LEŽIŠTA

RGNF





RGNF

# NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA

- Pad konvencionalne proizvodnje plina
- Povećanje potražnje za prirodnim plinom
- **Nekonvencionalna ležišta plina** - prirodni plin koji je nemoguće proizvesti uz dostatan dotok ili u ekonomskim količinama klasičnim tehnologijama bez stimulacije ležišta hidrauličkim frakturiranjem, horizontalnim bušenjem, multilateralnim bušenjem ili drugim tehnikama.
- Tehnološki razvoj i cijene plina – utječu na ekonomsku prihvatljivost proizvodnje iz nekonvencionalnih izvora



**RGNF**

# NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA

## **Nema tipičnih karakteristika ležišta:**

- Plitka i duboka ležišta
- Visoki i niski tlakovi
- Visoka i niska temperatura
- Različiti oblici ležišta
- Homogena i prirodno frakturirana ležišta
- Jednoslojna ili višeslojna ležišta



**RGNF**

# **NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA (UNCONVENTIONAL GAS)**

- 1. SLABOPROPUSNI PJEŠČENJACI**
- 2. FRAKTURIRANI ŠEJLOVI**
- 3. PLIN IZ LEŽIŠTA UGLJENA**
- 4. METAN OTOPLJEN U DUBOKIM  
AKVIFERIMA**
- 5. LEŽIŠTA HIDRATA**



RGNF

# NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA

- Značajne količine plina
- Trenutno vrlo mala proizvodnja – ekonomski razlozi
- Korištenje najmodernijih tehnologija u naftnom rudarstvu
  - (3D seizmika, bušotinska karotaža, cementacija, simulacije ležišta, stimulacije, razrada, bušenje)
- Većina svjetske proizvodnje – SAD
- CH<sub>4</sub> anorgansko podrijetla – duboko u Zemljinoj kori??? – spekulativna teorija <sup>7</sup>



# REZERVE PLINA U NEKONVENCIONALNIM LEŽIŠTIMA

10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	Tight gas	Coalbed methane	Shale gas	Total
Middle East and North Africa	23	0	72	95
Sub-Saharan Africa	22	1	8	31
Former Soviet Union	25	112	18	155
Asia-Pacific	51	49	174	274
<i>Central Asia and China</i>	10	34	100	144
<i>OECD Pacific</i>	20	13	65	99
<i>South Asia</i>	6	1	0	7
<i>Other Asia-Pacific</i>	16	0	9	24
North America	39	85	109	233
Latin America	37	1	60	98
Europe	12	8	16	35
<i>Central and Eastern Europe</i>	2	3	1	7
<i>Western Europe</i>	10	4	14	29
World	210	256	456	921

- Količina rezervi - spekulativna kategorija
- Određena vjerojatnost

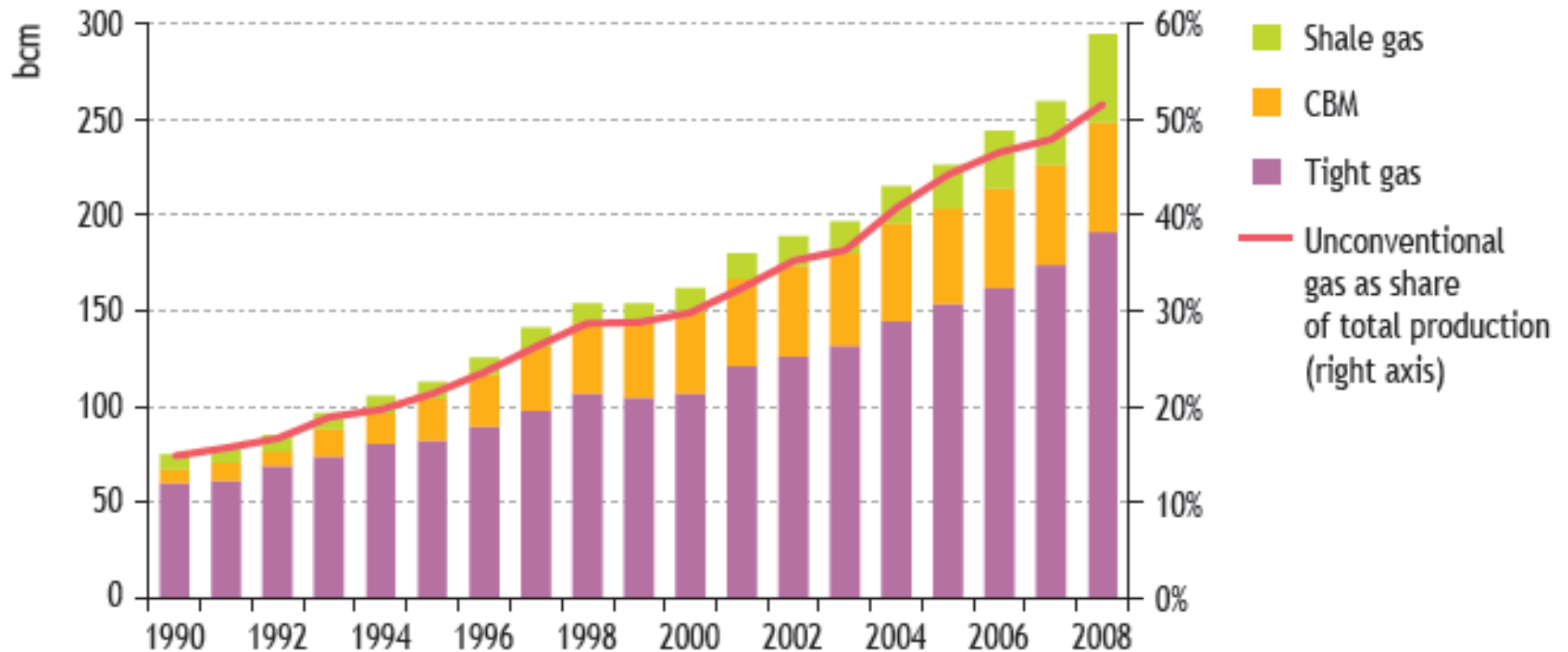
- **Rezerve hidrata** - 5000 puta više plina u metanskim hidratima nego u konvencionalnim rezervama plina
  - 5000 – 12×10<sup>6</sup> Tcf - permafrost
  - 30 000 – 49×10<sup>6</sup> Tcf – rubni dijelovi oceana





# PROIZVODNJA PRIRODNOG PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH IZVORA U SAD-U

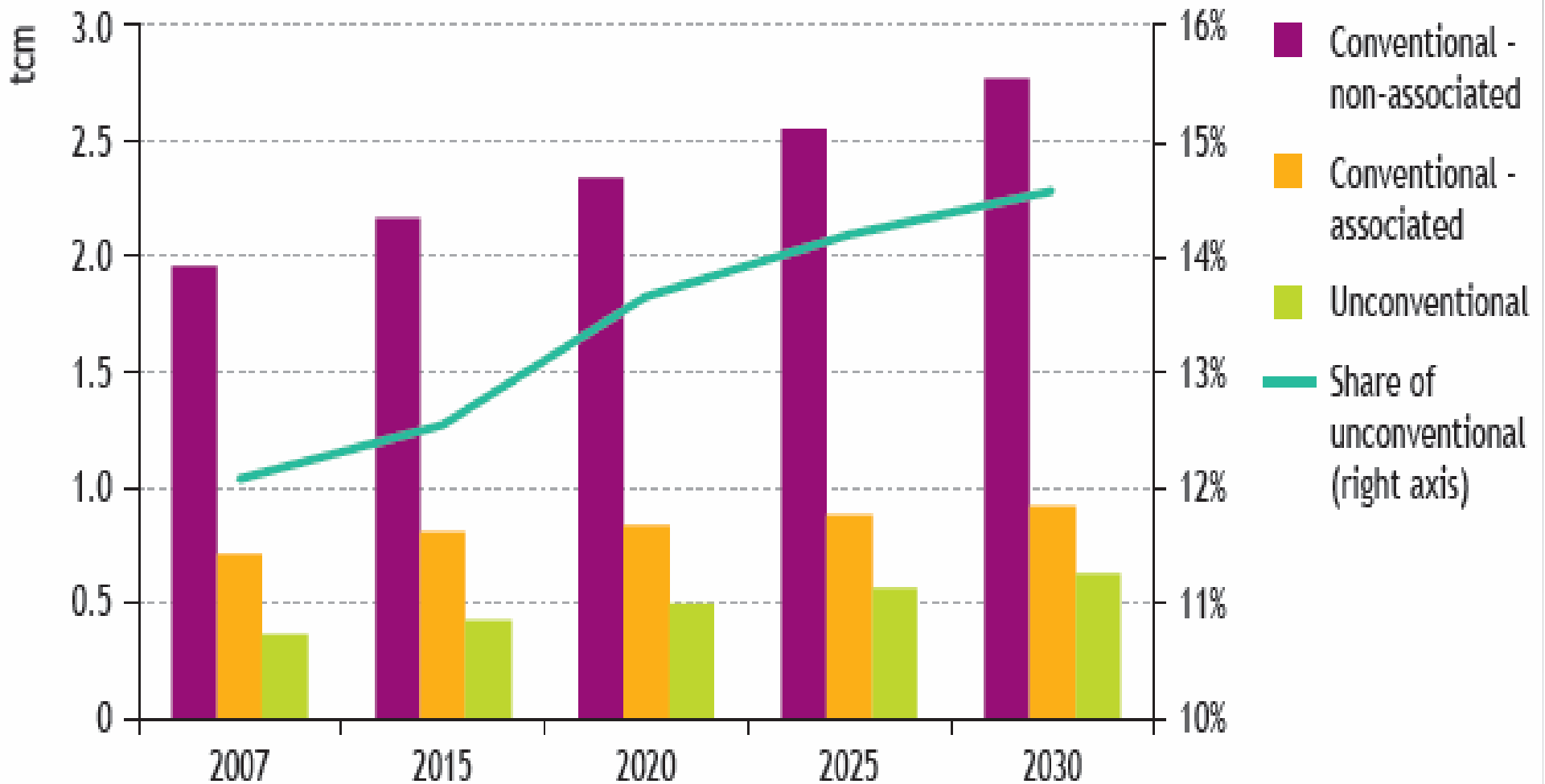
RGNF





# PROIZVODNJA PRIRODNOG PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH IZVORA U SVIJETU

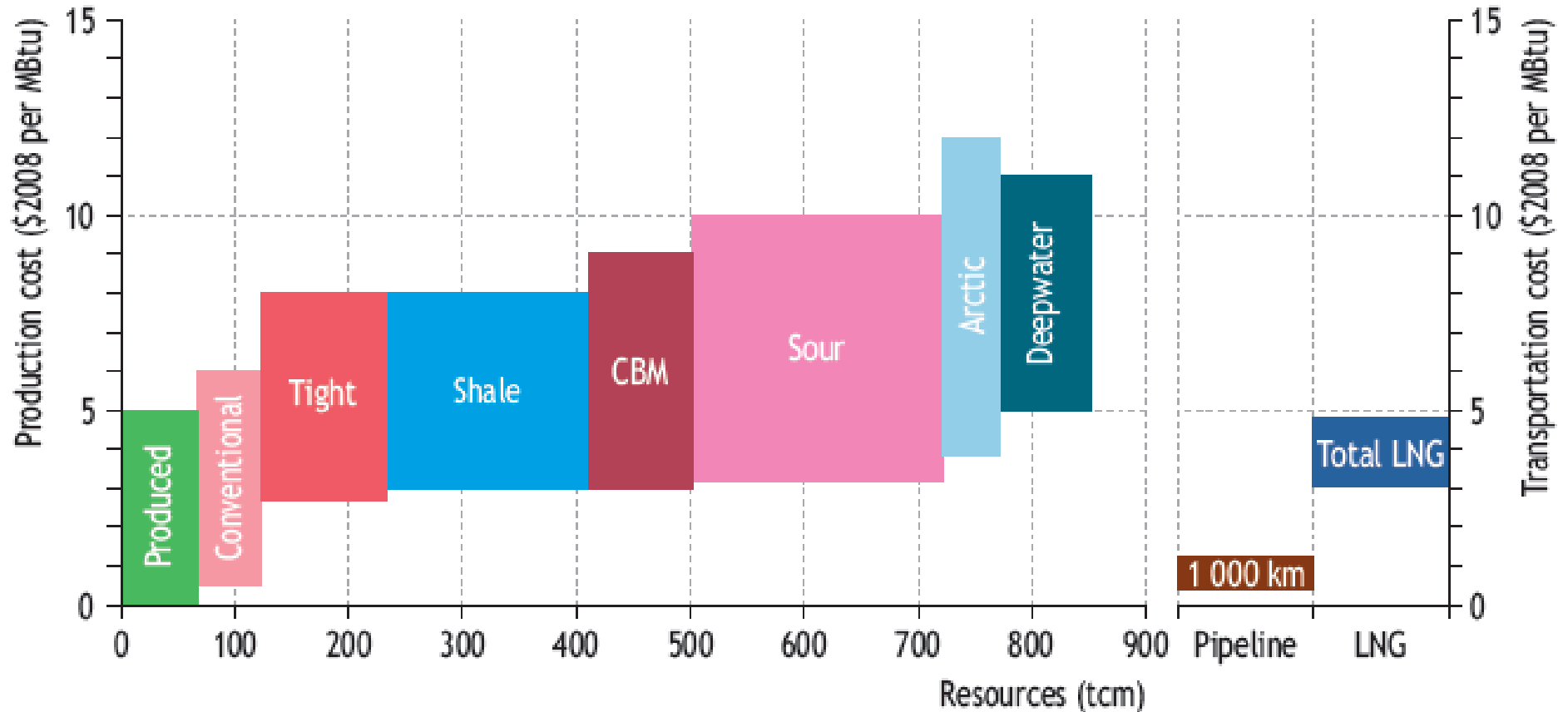
RGNF





# DUGOROČNI TROŠKOVI PROIZVODNJE

RGNF





**RGNF**

# **SLABOPROPUSNI PJEŠČENJACI (TIGHT SANDSTONE)**



RGNF

# 1. SLABOPROPUSNI PJEŠČENJACI

- Značajne ukupne količine plina –  $210 \times 10^{12} \text{m}^3$
  - Prostrana ležišta, nedefinirana, nedostatak sustavne evaluacije
  - Ležišta vrlo male propusnosti ili relativno nepropusna ležišta kod kojih je nemoguće proizvesti dostatan dotok plina klasičnim bušenjem.
    - Slaba propusnost  $< 30 \mu\text{D}$
    - Mala poroznost 7-12 %
    - Nisko zasićenje plinom  $\approx 50\%$
- Niska bušotinska produktivnost – slično kao kod ležišta s niskim tlakovima 3-4 MPa i propusnosti 3-100  $\mu\text{D}$ .



**RGNF**

# 1. SLABOPROPUSNI PJEŠČENJACI

- **Mala propusnost – uzroci:**
  - Mineraloški sastav stijene – prisutnost mješavine šejlova i sitnih sedimenata – formiranje gustog neporoznog medija.
  - Dubina ležišta je uzrokovala zbijanje pornog prostora.
- **Veličina, lokacija, kvaliteta ležišta** – značajno variraju – samo mali dio ležišta je ekonomski prihvatljiv za pridobivanje plina uz sadašnju tehnologiju
- **Napredne tehnologije za komercijalnu proizvodnju:**
  - Obrada stijena u bušotini, cementacija, horizontalno bušenje



RGNF

## GEOGRAFSKA DISTRIBUCIJA

- Većinom istraženi onshore u SAD-u i Kanadi, Njemačka, Nizozemska, Velika Britanija, Kina i CIS
- SAD - od SZ New Mexica preko Rocky Mountainsa do sjevera
  - Razvoj proizvodnje posljednjih 30-ak godina
  - Trenutno 30% domaće proizvodnje
  - 1990-ih 80% otkrića velikih polja su bili slabopropusni pješčenjaci
- Kanada – Alberta (duboki pješčenjaci)



- Potrebna relativno složena i skupa tehnologija
- Dubina povećava troškove bušenja
- Glavne metode za povećanje produktivnosti ležišta:
  - Hidrauličko frakturiranje
  - Horizontalno bušenje





**RGNF**

# **FRAKTURIRANI ŠEJLOVI (FRACTURED SHALE)**



## ŠEJLOVI

- Nedostatna propusnost – smatrani su nepropusnim stijenama – nepropusna krovina plinskih ležišta
- Pojava prirodnog plina u prirodnim pukotinama u nekim šejlovima
- Šejl iz Devona – istok SAD-a – akumulacija prirodnog plina u prirodnim pukotinama



RGNF

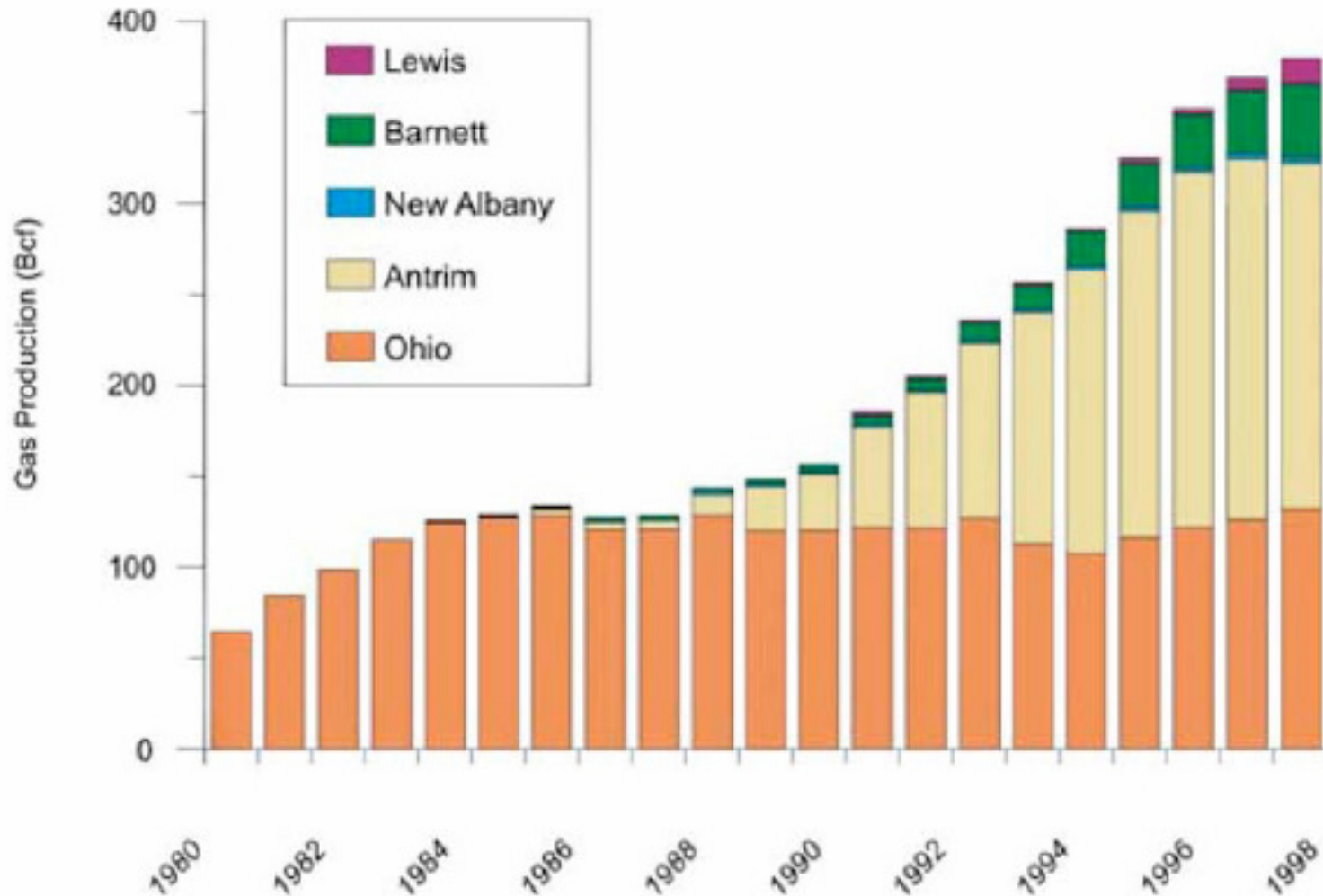
## PROIZVODNJA IZ ŠEJLA

- 1821. SAD - prva bušotina koja je proizvodila plin je bila izbušena u šejlu
- Proizvodnja iz konvencionalnih ležišta je bila ekonomičnija
- 1990-ih – naglo povećanje proizvodnje plina iz šejlova (Barnett šejl)
- 2006. proizvodnja plina iz šejla –  $33 \times 10^9 \text{ m}^3$  /godišnje u SAD-u
- 6% ukupne proizvodnje prirodnog plina u SAD-u je iz šejlova
- Više od 20 000 bušotina



# PROIZVODNJA IZ ŠEJLOVA U SAD-U

RGNF





# PROIZVODNJA IZ ŠEJLOVA U SAD-U

RGNF





**RGNF**

# PROIZVODNJA IZ ŠEJLA

- Kanada – više ležišta u različitim fazama proizvodnje i razrade
- Planovi moguće proizvodnje
  - Australija, Indija
  - Kina – 2009. - B. Obama dogovorio isporuku tehnologije i investiranje u razradu ležišta plina u šejlovima u Kini
  - EU ležišta prirodnog plina u šejlovima (FR, NJ, NZ)
- 2009. prva bušotina u šejlu u EU – Mađarska
  - U planu bušotine u Njemačkoj i Velikoj Britaniji



**RGNF**

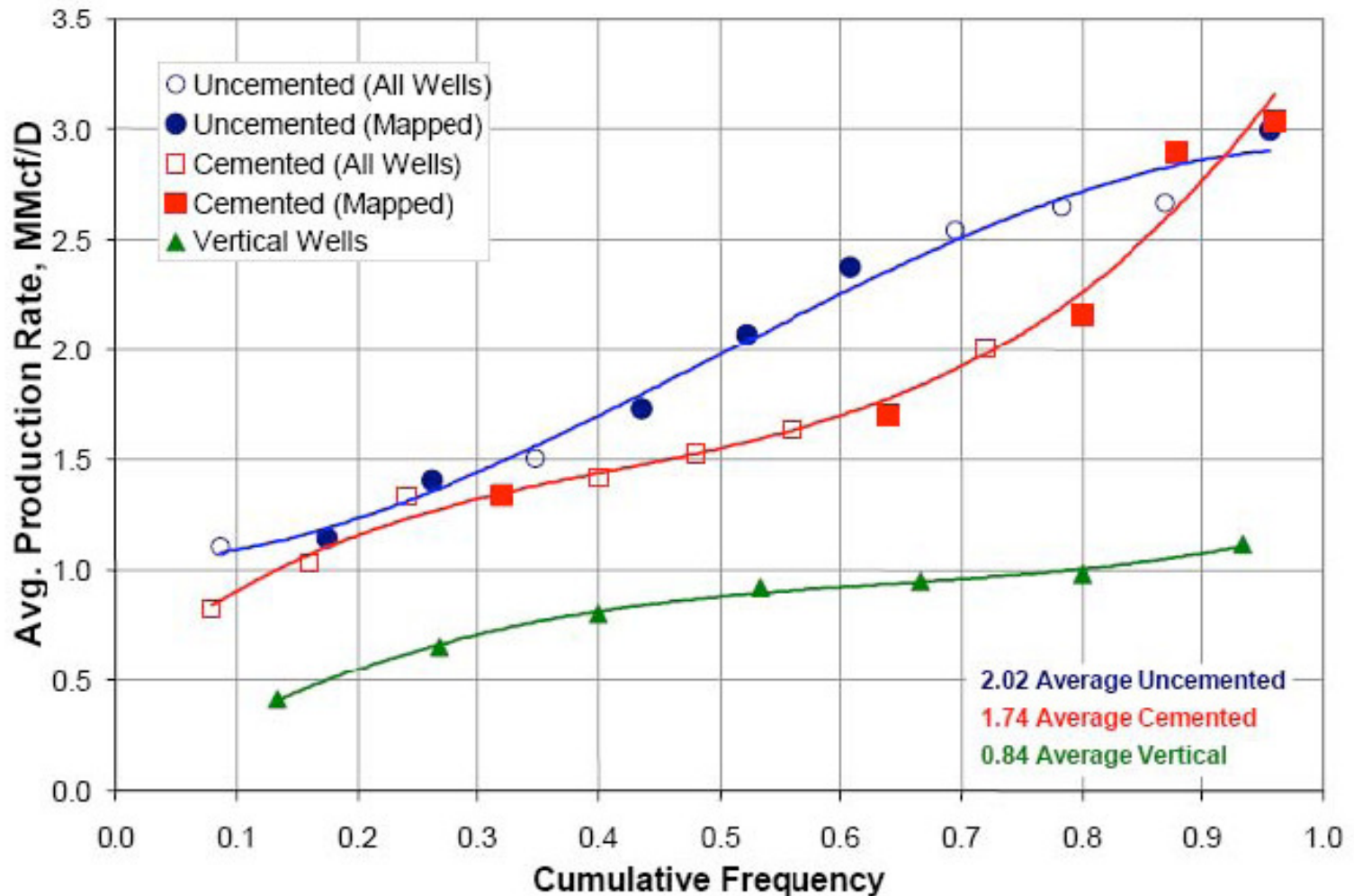
# PRIMJENA TEHNOLOGIJE

- Iznimne poteškoće u proizvodnji
- **HIDRAULIČKO FRAKTURIRANJE**
  - Nemogućnost stvaranja usmjerenih fraktura
  - Frakturiranje uz primjenu sporodjelujućih eksploziva za stvaranje radijalnih fraktura i omogućavanje bolje komunikacije bušotine i prirodnih stijenskih pukotina
  - Vodeno frakturiranje – jeftinije i povećava produktivnost bušotine
- **HORIZONTALNO BUŠENJE**
  - Povećanje produktivnosti u kombinaciji s frakturiranjem
- Maksimalni iscrpak 20% (prosjek 7%)



RGNF

# UTJECAJ PRIMJENE POJEDINE TEHNOLOGIJE NA PROIZVODNJU PLINA IZ ŠEJLA







**RGNF**

# **DUBOKI AKVIFERI (DEEP AQUIFERS)**



- Topivost  $\text{CH}_4$  u vodi je veća pri višim tlakovima
- Akviferi preko kojih je plin migrirao na putu do ležišta su značajno zasićeni metanom i pri visokim tlakovima sadrže relativno velike količine plina.
- Na sadržaj plina utječe tlak, salinitet i temperatura
  - Tlak se povećava s dubinom
  - Na dubini od 3500 m količina  $\text{CH}_4$  otopljenog u akviferima je 2-4  $\text{Nm}^3/\text{m}^3$  vode ovisno o salinitetu



RGNF

# GEOGRAFSKA DISTRIBUCIJA AKVIFERNIH LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA

- Različiti dijelovi svijeta
- Ist. Afrika – jezero Kivu – velike količine  $\text{CH}_4$  otopljene duboko u jezeru (500 m), sadržaj plina 0,3-0,4  $\text{Nm}^3/\text{m}^3$  vode
  - Problem sakupljanja i obrade vode te transporta plina
- Najveće količine otopljenog plina u podzemnim akviferima pod visokim tlakovima



RGNF

## NAJZNAČAJNIJE ZONE AKVIFERA SA VISOKIM GRADIJENTIMA TLAKOVA

- SAD – Texas, Louisiana –  $170 \times 10^{12} \text{m}^3$
- EU – Francuska, Njemačka, Italija, Mađarska
- CIS – Ingušetija
- Afrika – delta Nila i Nigerija
- Novi Zeland
- Kinesko more blizu Tajvana i Japan



# PROIZVODNJA PLINA IZ AKVIFERA

- Proizvodnja prirodnog plina kao nusprodukta
  - SAD (Oklahoma) – proizvodnja plina sadržaja 1,8-2,1 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> vode tijekom ekstrakcije joda
  - Japan - proizvodnja plina sadržaja 0,7-1,1 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> vode tijekom ekstrakcije joda
- Budućnost proizvodnje prirodnog plina iz akvifera
  - duboke i skupe bušotine
  - Obrada ogromnih količina vode



**RGNF**

# **PLIN IZ LEŽIŠTA UGLJENA (COALBED METHANE-CBM)**



## CBM - POSTANAK

- Tijekom procesa pougljenjavanja ugljen je obogaćen ugljikom pri čemu je nastao i  $\text{CH}_4$  – čest uzrok rudarskih nesreća
- Prirodni plin je ostao zarobljen u pukotinama u ugljenu ili porama priležećih pješćanih leća.
- Plin je u ugljenu zbog adsorpcije ostao vezan na mikroporoznoj površini koja predstavlja  $50 \times 10^6 \text{m}^2/\text{toni}$  ugljena.
- Količina  $\text{CH}_4$  dostiže i 15-20  $\text{m}^3/\text{toni}$  ugljena.
- Adsorpcija  $\text{CH}_4$  je funkcija dubine i tlaka.
- Ugljen – dvostruka poroznost
  - mikroporoznost čestica ugljena
  - makroporoznost – zbog prirodnih pukotina.



RGNF

## RESURSI I PROIZVODNJA CBM

- Ukupni resursi se procjenjuju u svijetu na 84-262  $\times 10^{12}$  m<sup>3</sup>
  - Rusija 17-113  $\times 10^{12}$  m<sup>3</sup>
  - Kina 30-35  $\times 10^{12}$  m<sup>3</sup>
  - Kanada 6-76  $\times 10^{12}$  m<sup>3</sup>
- Proizvodnja
  - Europa i SAD – prikupljanje plina tijekom rudarskih operacija
  - 1989. početak značajnije proizvodnje u rudnicima ugljena
  - Trenutna proizvodnja – 45  $\times 10^9$  m<sup>3</sup>/god-SAD





# LEŽIŠTA UGLJENA U SVIJETU

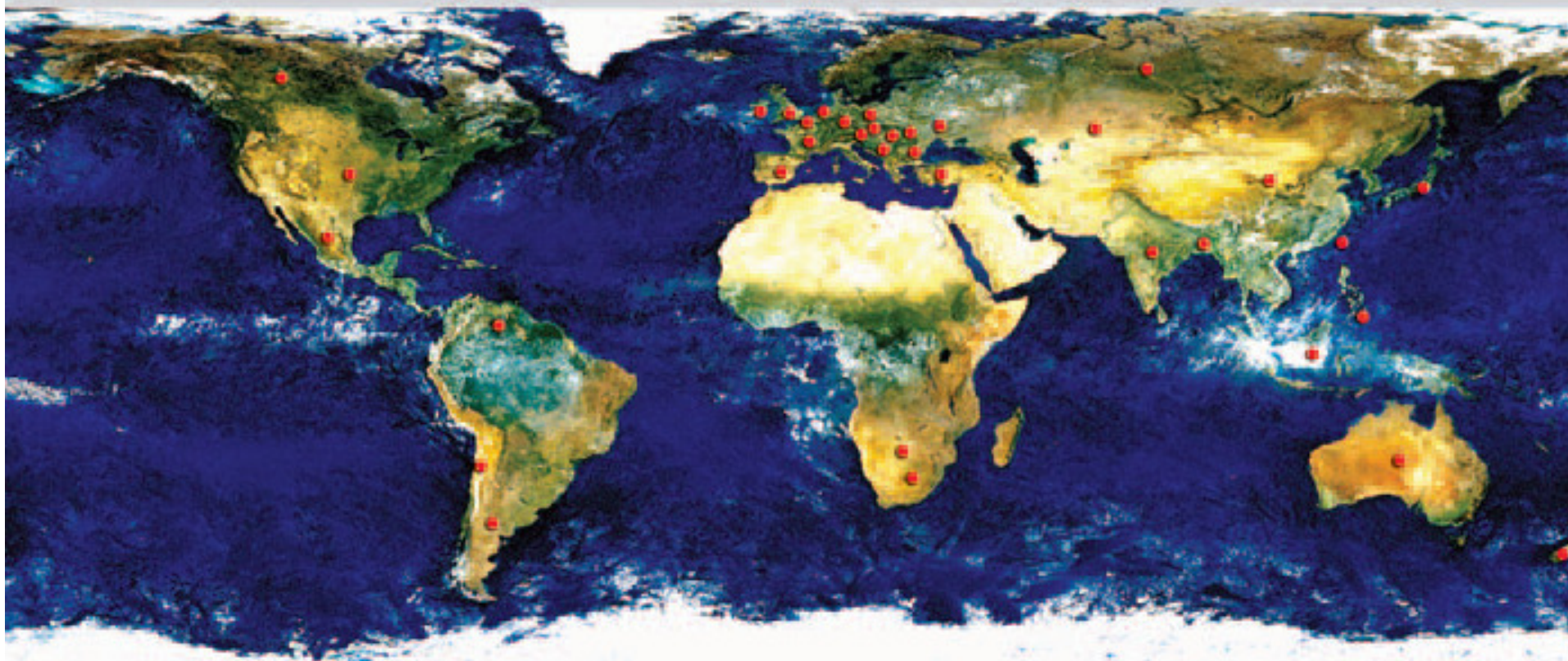


- Više od 70 zemalja ima rezerve ugljena i potencijal CBM
- U 2006.  $5 \times 10^{12}$  t ugljena proizvedeno u svijetu
- 90% proizvodnje (Kina, SAD, Indija, Australija, JAR, Rusija, Indonezija, Poljska, Kazahstan, Kolumbija)



# POTVRĐENA LEŽIŠTA CBM

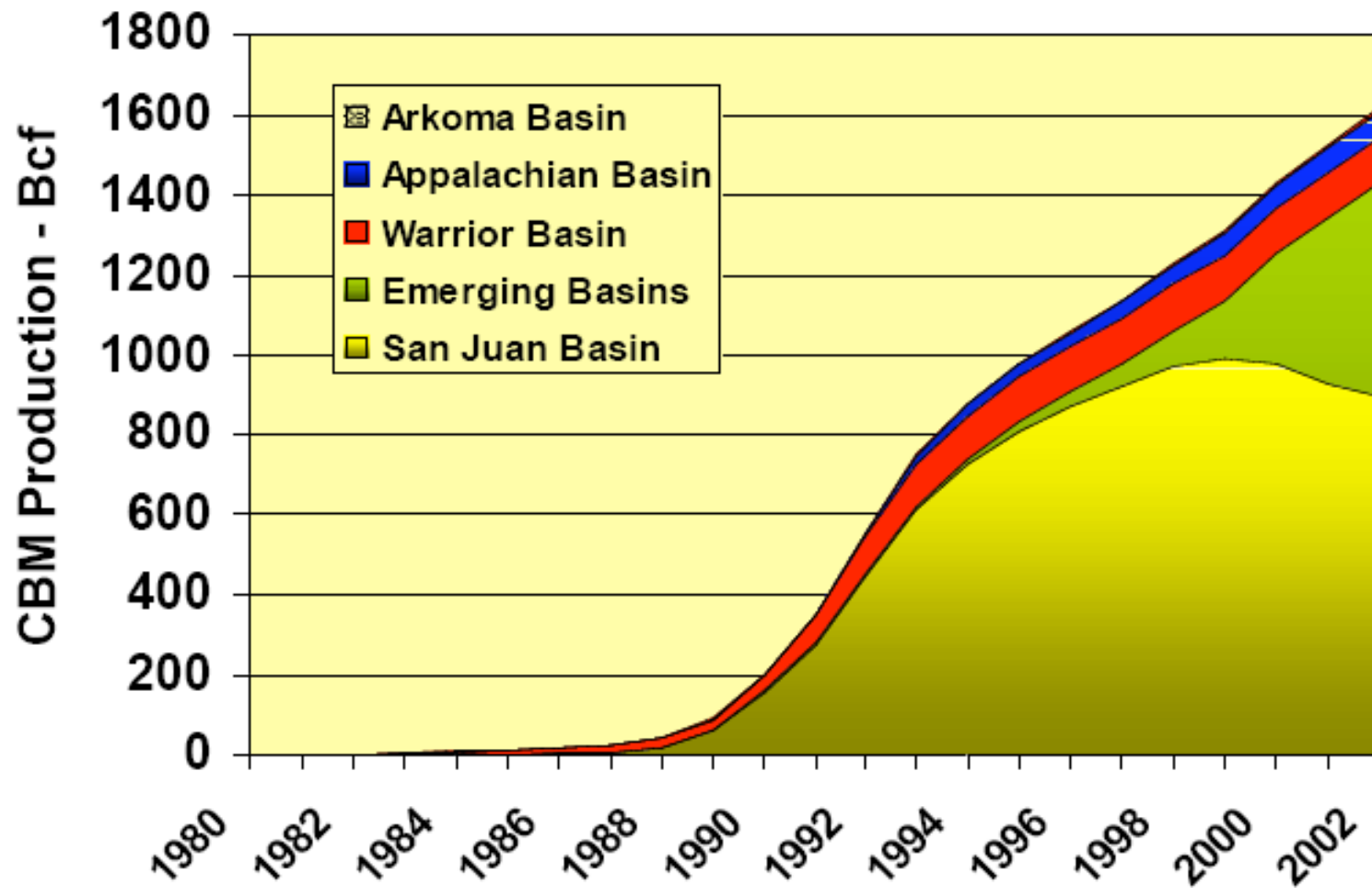
RGNF





# PROIZVODNJA CBM U SAD-U

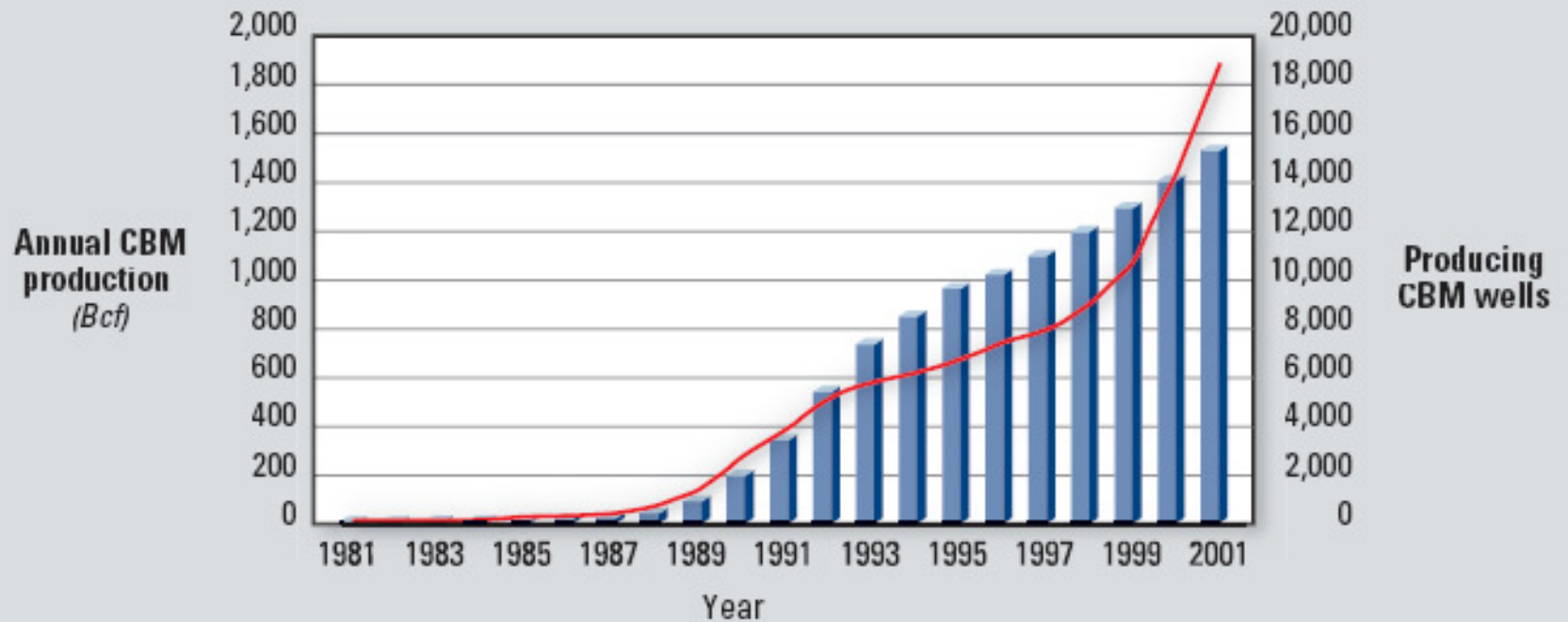
RGNF





# GODIŠNJA PROIZVODNJA CBM U SAD-U

RGNF





**RGNF**

## CBM - PROIZVODNJA

- Kako bi se pridobio adsorbirani plin potrebno je sniziti tlak skoro do razine atmosferskog tlaka.
- Prije početka proizvodnje frakture se zavodnjavaju slanom vodom tako da u početku bušotina proizvodi samo vodu.



**RGNF**

## PROBLEMI U PROIZVODNJI

- Bušenje – odabir isplake – kako bi se spriječilo oštećenje ležišta ugljena
- Stimulacije bušotine – ovise o obradi stijena i hidrauličkom frakturiranju
- Horizontalni drenažni kanali za prikupljanje plina iz ležišta ugljena
- Poteškoće u odvajanju vode i plina



**RGNF**

# **METANSKI HIDRATI (METHANE HYDRATES)**



RGNF

# METANSKI HIDRATI

- Metanski led
- Oblik vodenog leda koji u svojoj kristalnoj strukturi sadrži “praznine”, koje popunjavaju molekule metana





RGNF

# KEMIJSKI SASTAV

- Kristalična struktura sastavljena od molekula vode unutar koje su “zarobljene” molekule plina
- Sastav: 1 mol CH<sub>4</sub>/ 5.75 mol H<sub>2</sub>O
- Gustoća: 0.9 g/cm<sup>3</sup>
- Formula: XCH<sub>4</sub>46H<sub>2</sub>O (X ≤ 8)
- Stabilnost - do 18 °C, 70 % popunjenih praznina



RGNF

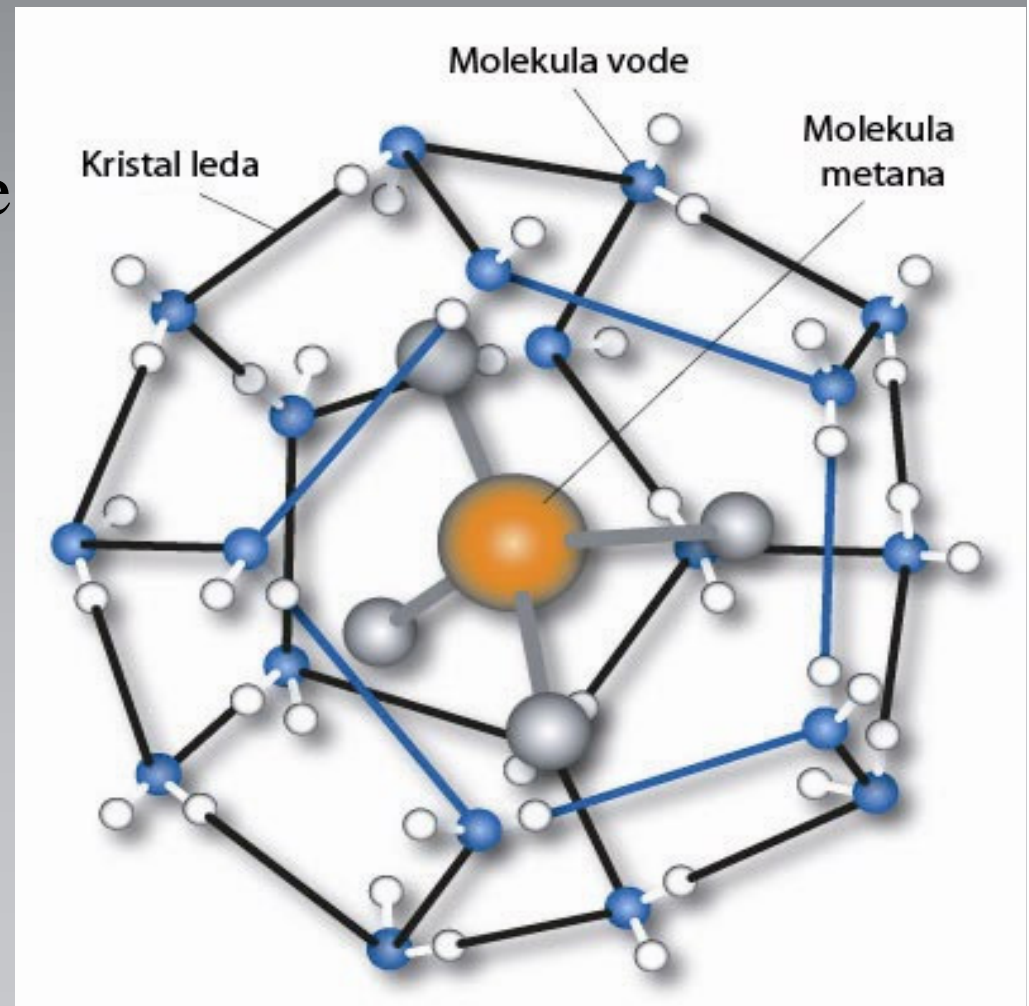
# PLINSKI HIDRATI

- Prirodni antropogeni



- Kemijske strukture

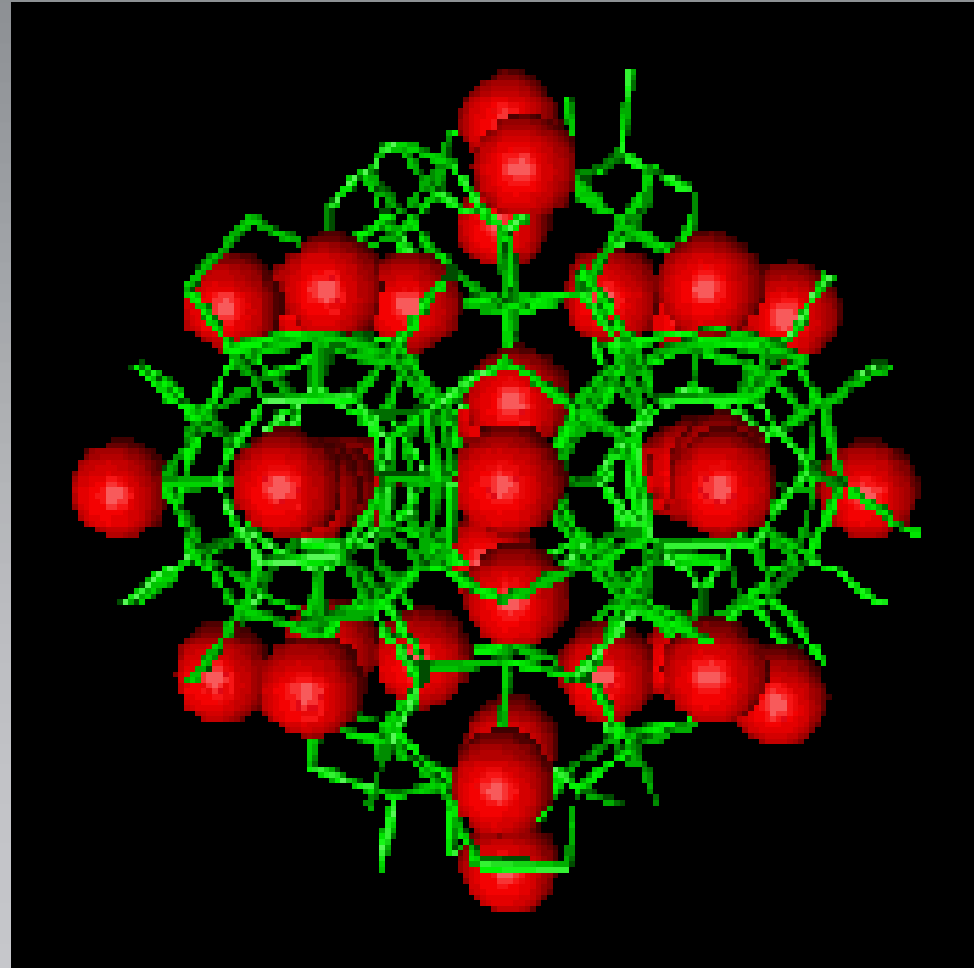
- Struktura I
- Struktura II
- Struktura H





RGNF

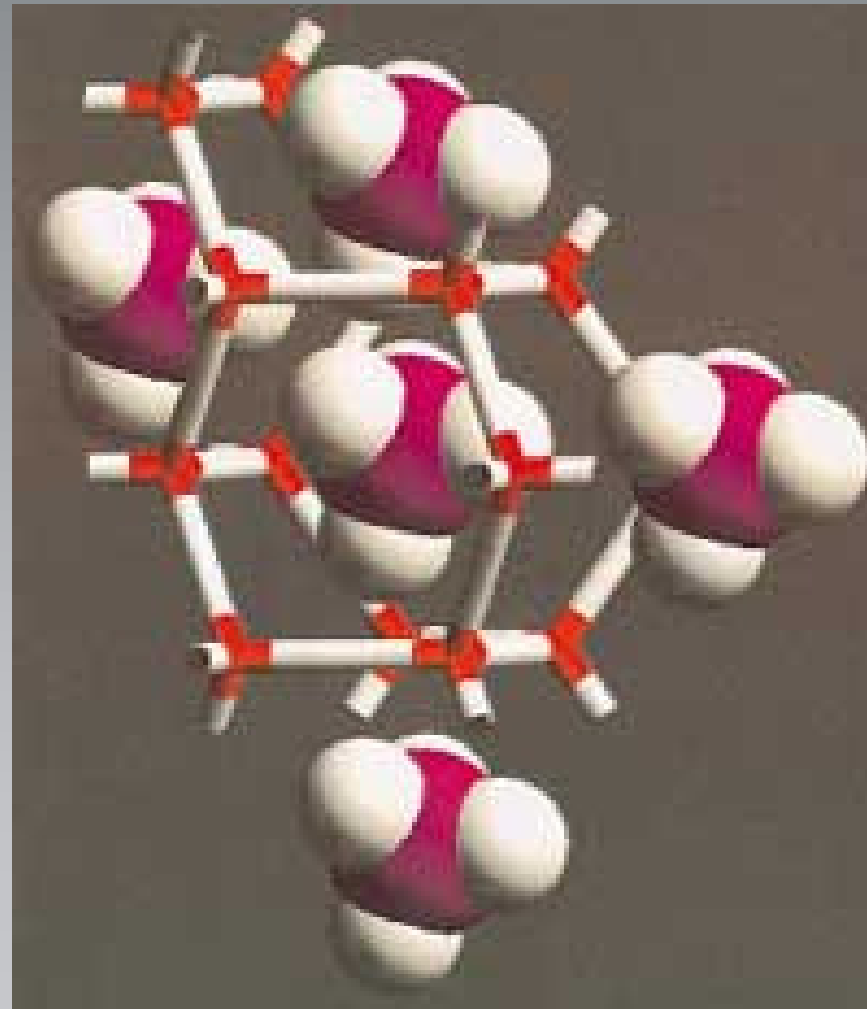
# STRUKTURA HIDRATA





RGNF

# STRUKTURA HIDRATA





RGNF

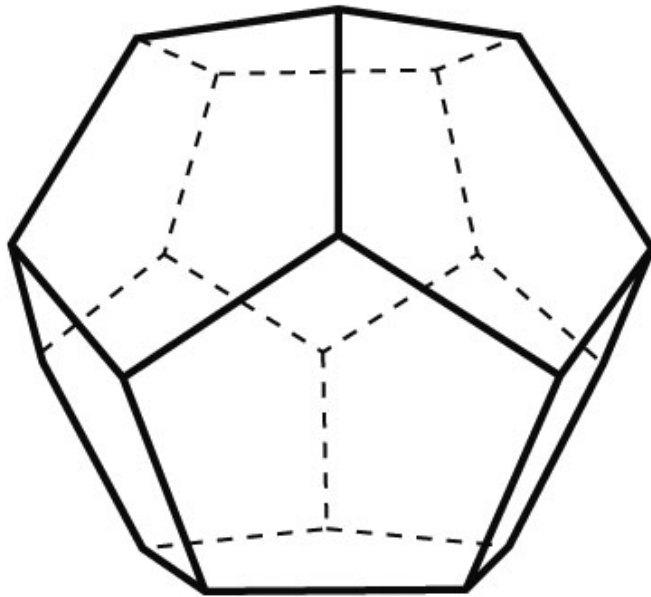
# KEMIJSKI SASTAV

- Struktura I
  - Plin koji popunjava “praznine” je metan
  - Jedinična ćelija:
    - 46 molekula  $H_2O$
    - 2 male “praznine” - “rešetka  $5^{12}$ ”
    - 6 srednje velike “praznine” - “rešetka  $5^{12}6^2$ ”

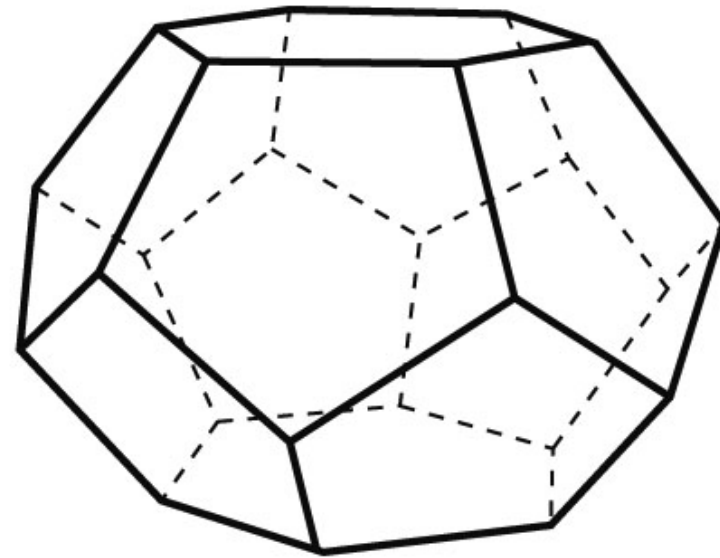


# 3D MODEL STRUKTURE I

RGNF



$5^{12}$



$5^{12}6^2$



RGNF

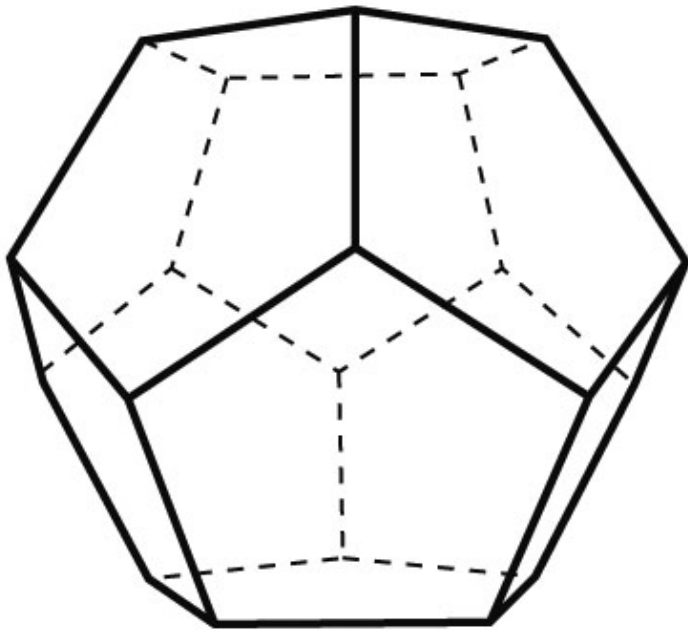
# KEMIJSKI SASTAV

- Struktura II
  - Jedinična ćelija:
    - 136 molekula H<sub>2</sub>O
    - 16 malih “praznina” -"rešetka 5<sup>12</sup>"
    - 8 velikih “praznina”-"rešetka 5<sup>12</sup>6<sup>4</sup>"

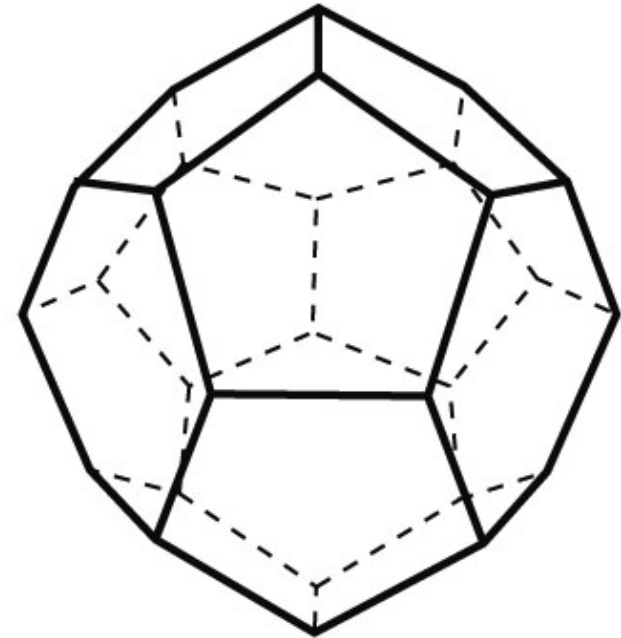


# 3D MODEL STRUKTURE II

RGNF



$5^{12}$



$5^{12}6^4$





RGNF

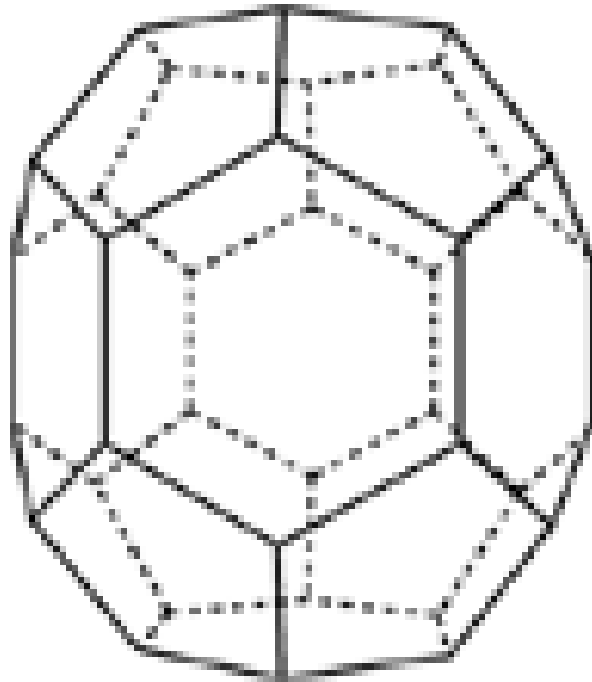
# KEMIJSKI SASTAV

- Struktura H
  - 1987. Ripmeester
  - 2 vrste molekula plina
  - Rijetka pojava, Meksički zaljev
  - Jedinična ćelija:
    - 34 molekula  $H_2O$
    - 3 male “praznine”
    - 12 srednje velike “praznine”
    - 1 velika “praznina”

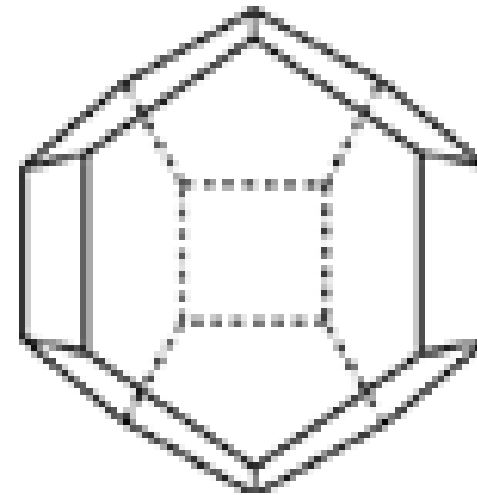


RGNF

# DVIJE VRSTE “PRAZNINA” PRISUTNIH U STRUKTURI H



$5^{12}6^8$

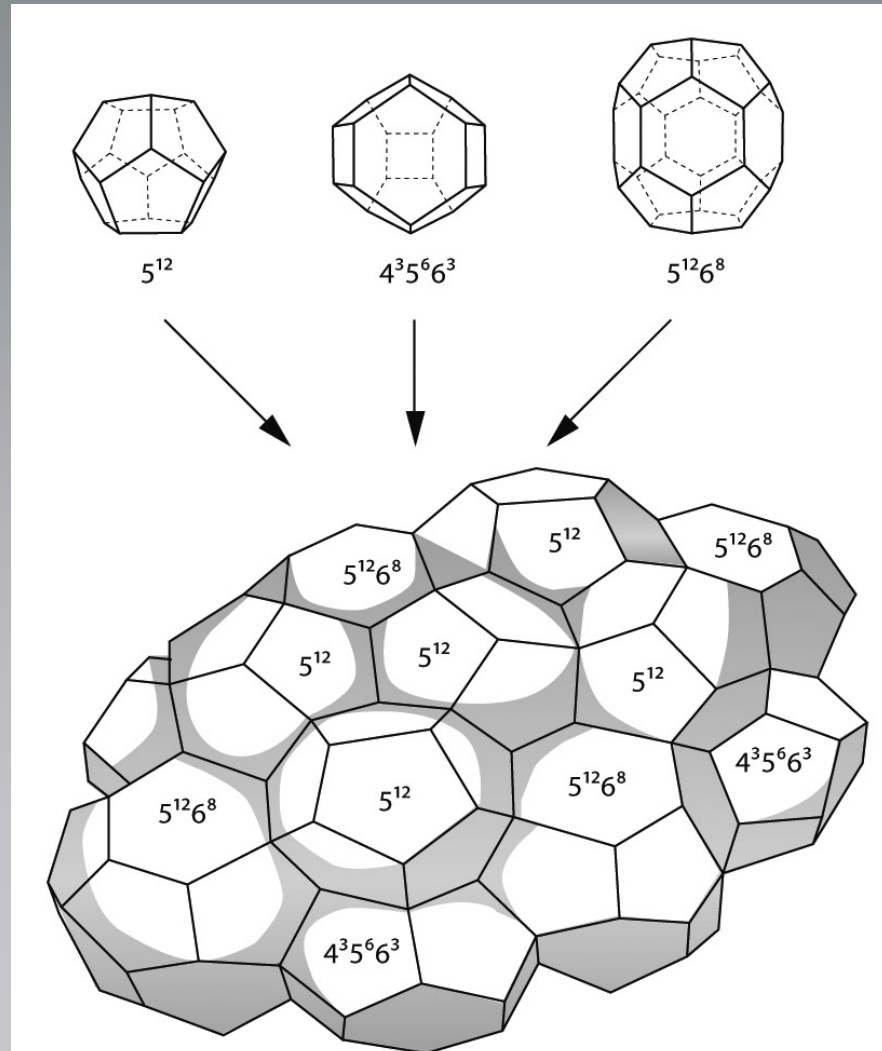


$4^35^66^3$



# 3D MODEL ŠUPLJINA I ORTOGONALNA SHEMA STRUKTURE H

RGNF

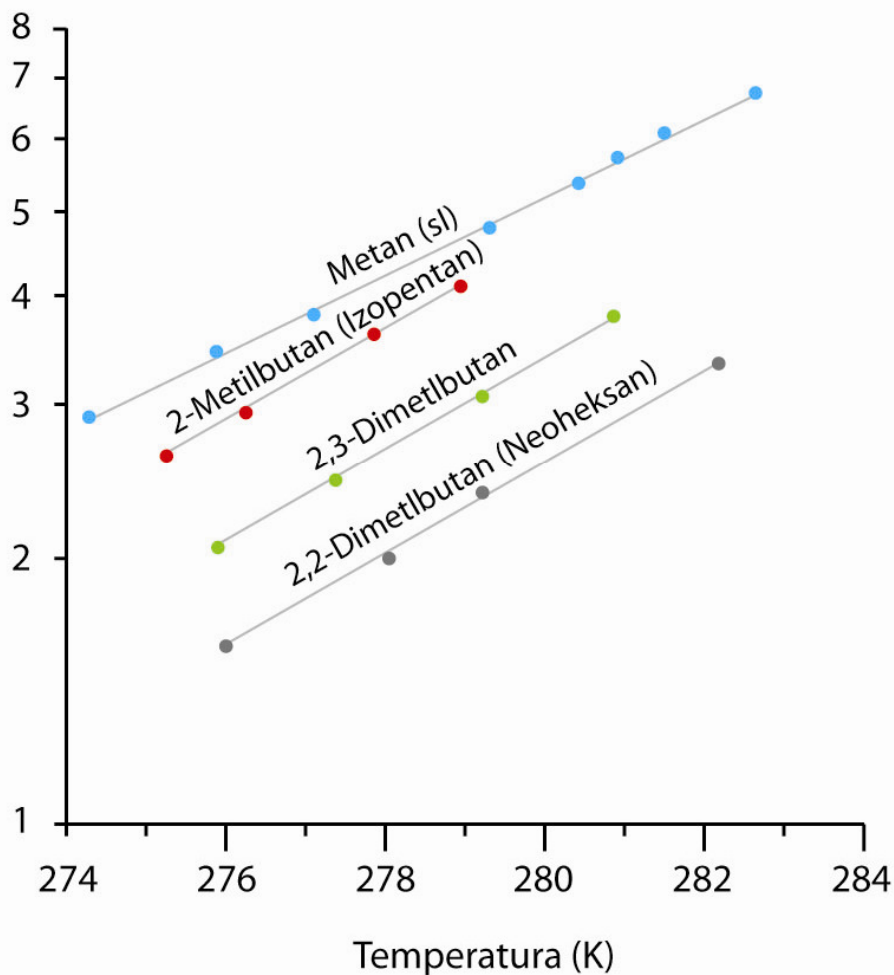




# USPOREDBA FAZNIH DIJAGRAMA PLINSKIH HIDRATA STRUKTURE I I STRUKTURE H

RGNF

Tlak (MPa)



- struktura I : CH<sub>4</sub>  
(Deaton i Frost, 1946)
- struktura H : CH<sub>4</sub> + 2-Metilbutan  
(Mehta i Sloan, 1993)
- struktura H : CH<sub>4</sub> + 2,3-Dimetilbutan  
(Mehta i Sloan, 1994)
- struktura H : CH<sub>4</sub> + 2,2-Dimetilbutan  
(Mehta i Sloan, 1994)



RGNF

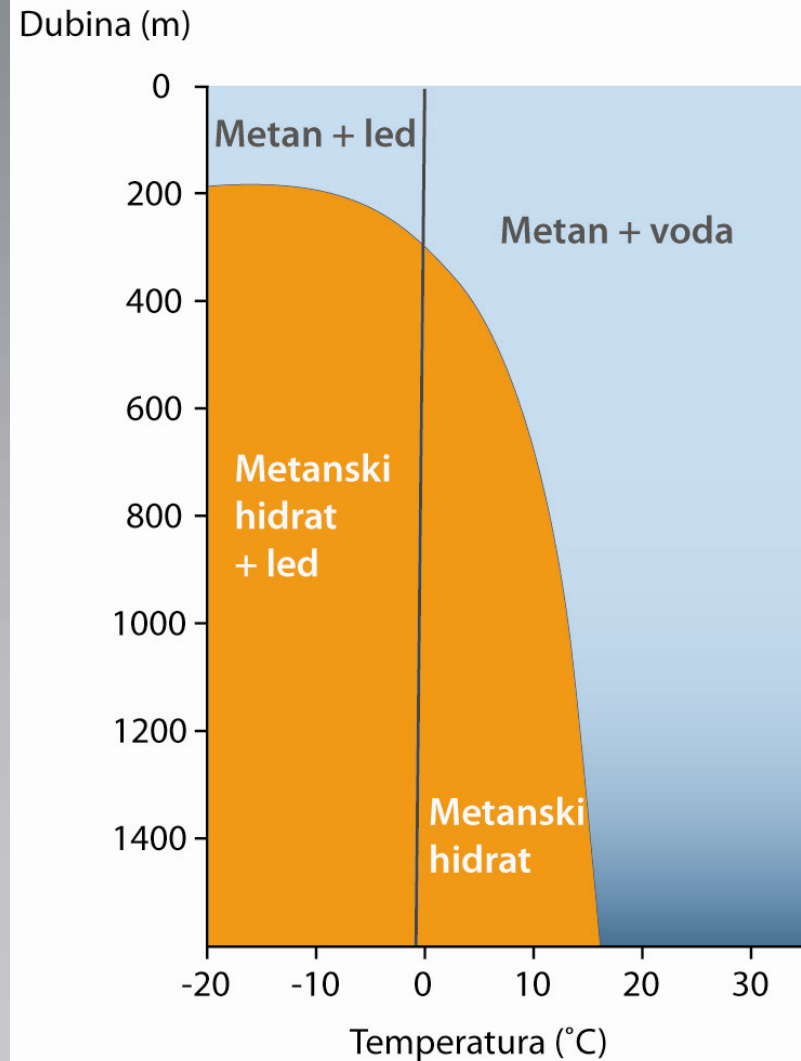
# UVJETI STVARANJA

- Dovoljne količine  $H_2O$  i  $CH_4$
- Tlak i temperatura
- Geokemijski uvjeti
- Vrsta sedimenta
- Tekstura



# UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA

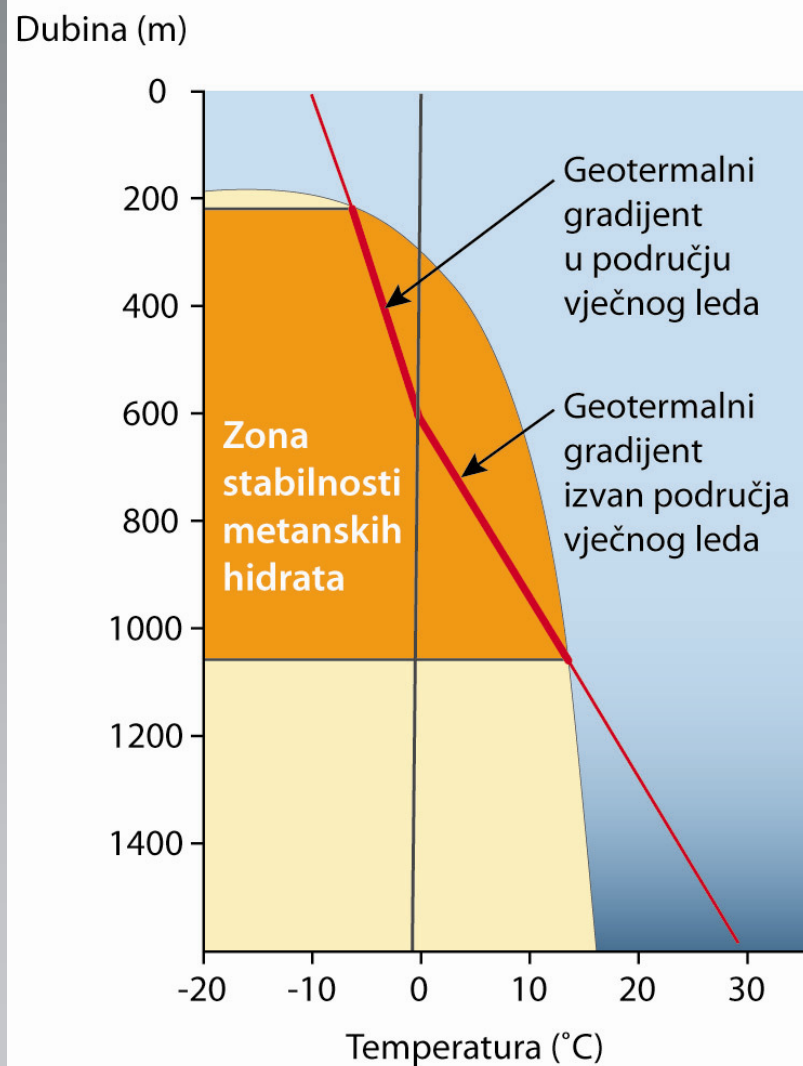
RGNF





# UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA- PERMAFROST

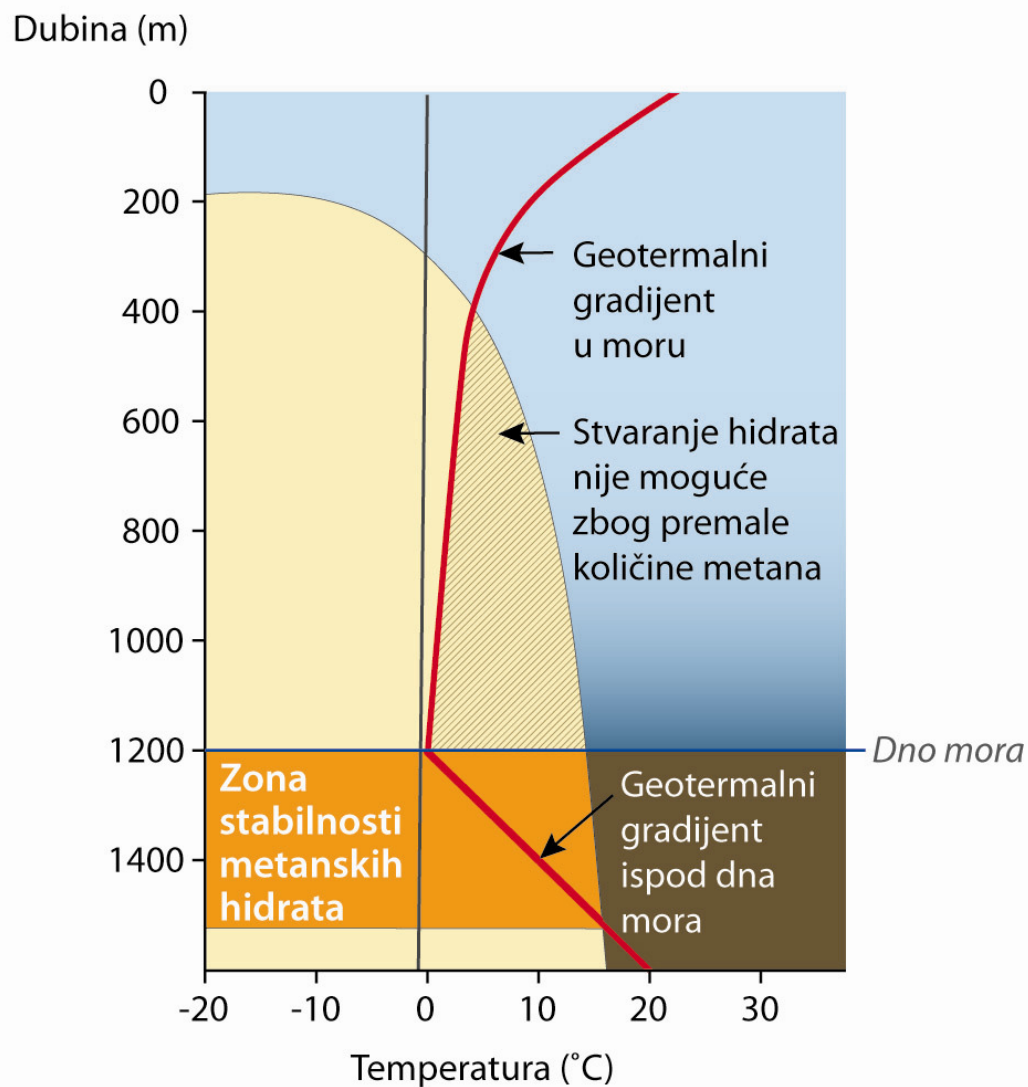
RGNF





# UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA - OCEANSKA LEŽIŠTA

RGNF

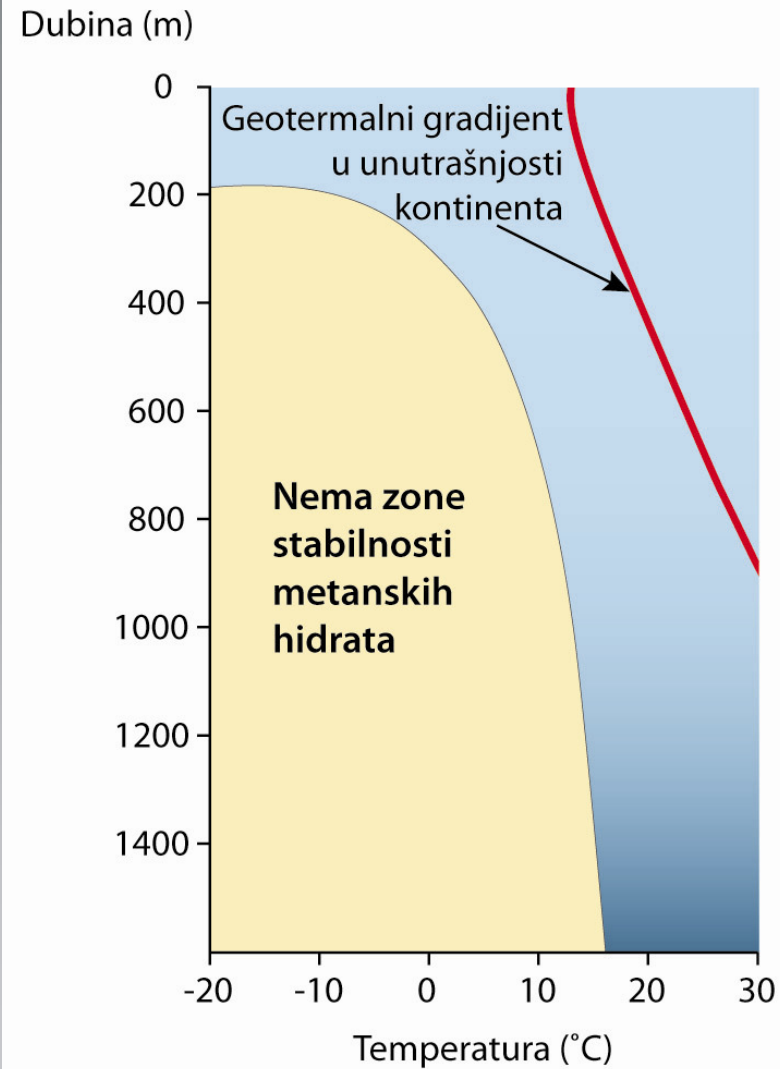






# FAZNI DIJAGRAM I ZONA STABILNOSTI METANSKIH HIDRATA U PODRUČJU UNUTRAŠNOSTI KONTINENTA

RGNF





RGNF

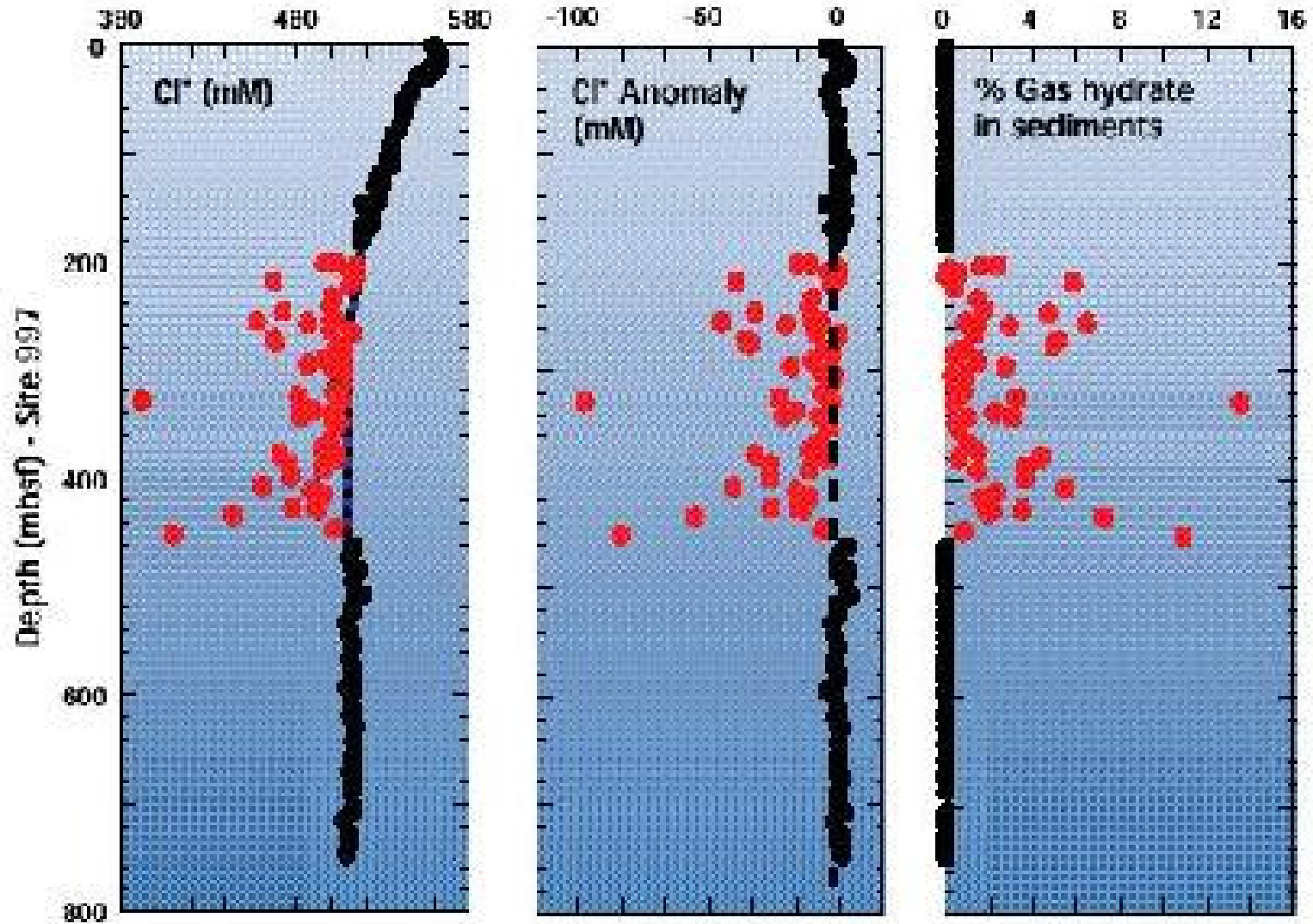
# GEOKEMIJSKI UVJETI

- Za stabilnost hidrata bitan je sastav vode i plina
- Salinitet- veći salinitet ne pogoduje nastanku hidrata
- Prisustvo manje količine drugih prirodnih plinova ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ili  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) povećava stabilnost hidrata



RGNF

# UTJECAJ KONCENTRACIJE IONA KLORA NA POJAVU HIDRATA





RGNF

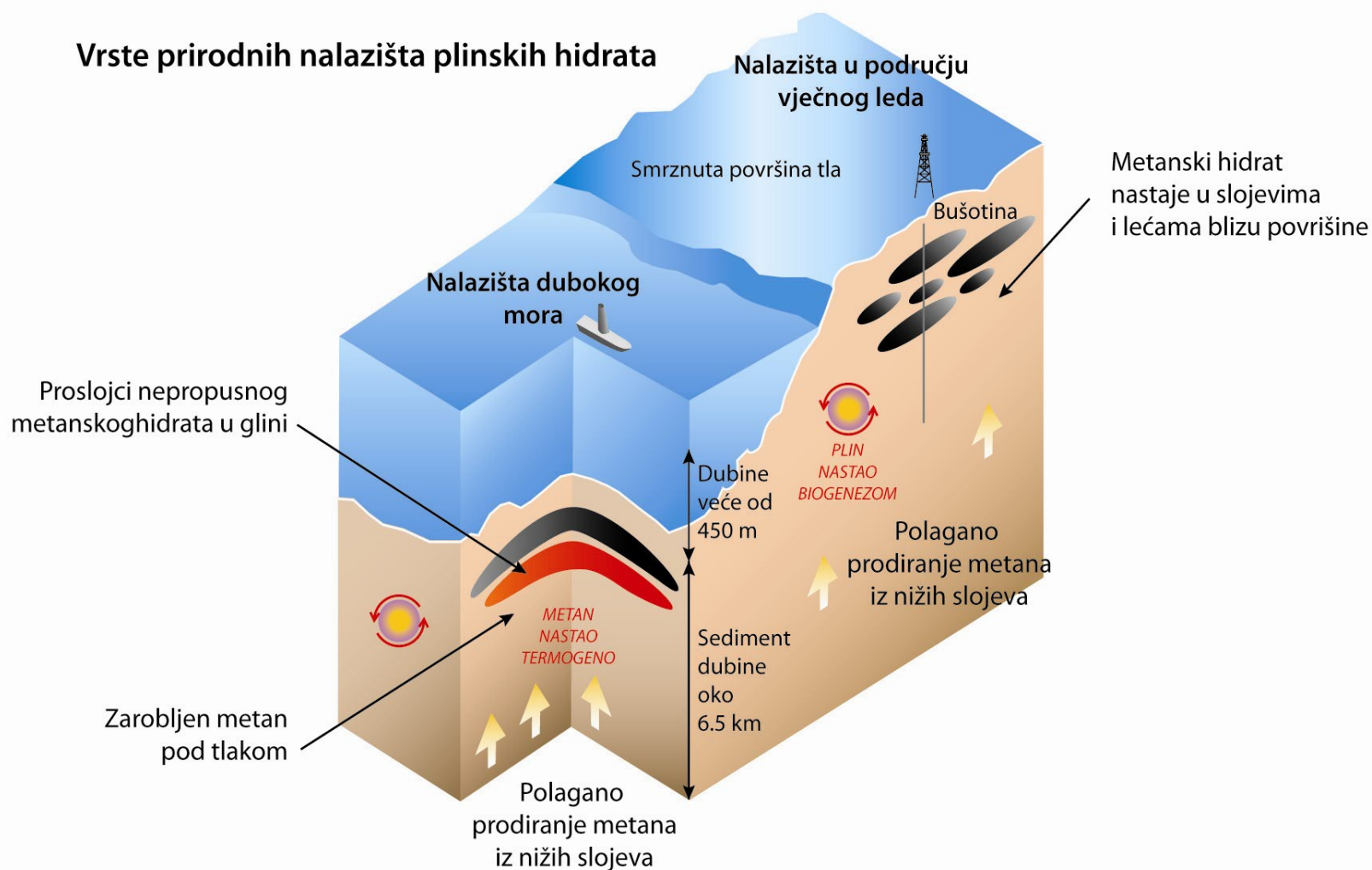
# NAČINI STVARANJA

- Polarna područja
  - Migracija slobodnog plina u pliće dijelove
- Marinska područja
  - Nastanak metana razgradnjom organske tvari
  - Nastanak metana u dubljim slojevima zbog djelovanja tlaka i temperature i njegova migracija u pliće dijelove



# VRSTE NALAZIŠTA METANSKIH HIDRATA

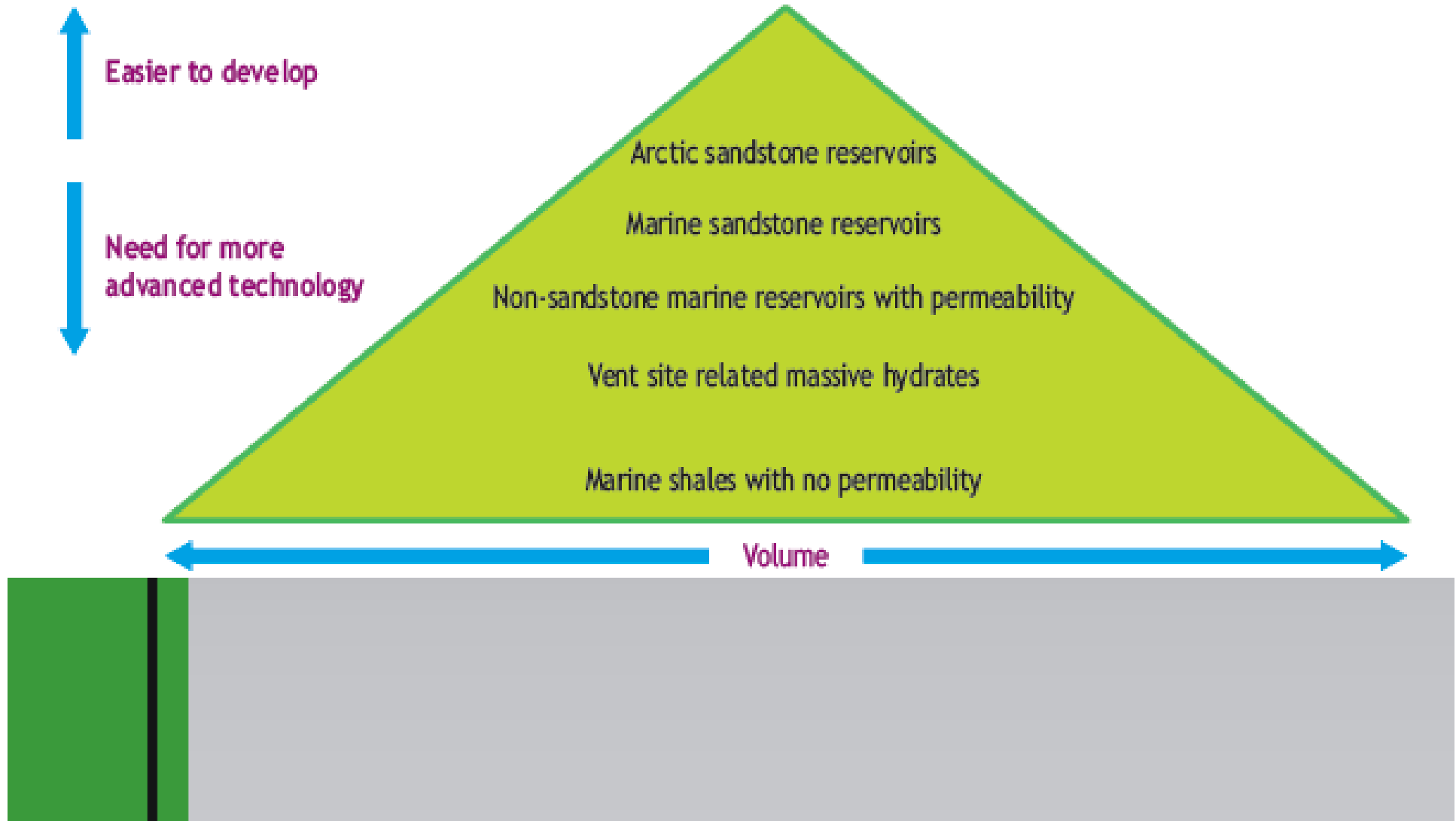
RGNF





# VRSTE NALAZIŠTA METANSKIH HIDRATA

RGNF

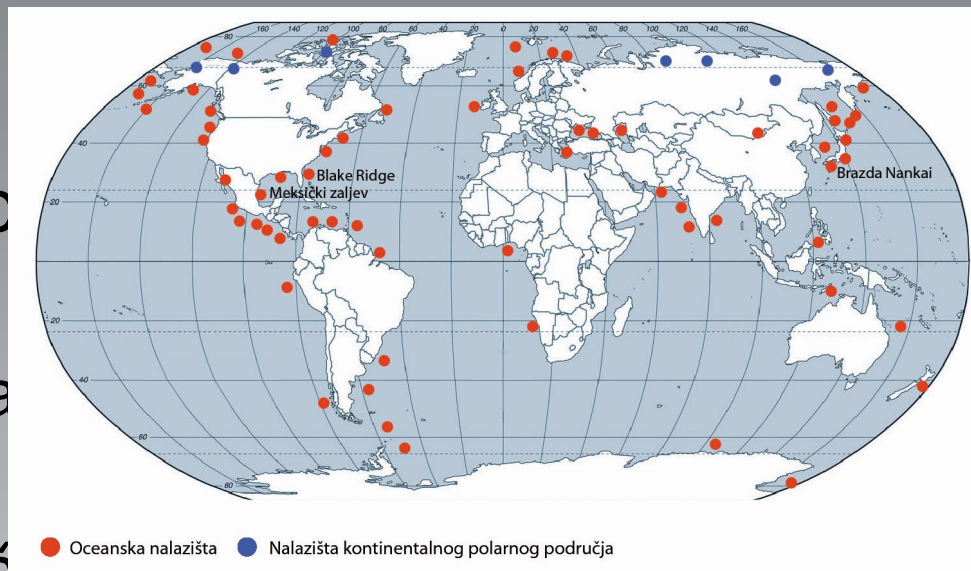




# PRIRODNA NALAZIŠTA

RGNF

- Kontinentalni sedimenti polarnog područja
  - Sjeverna Amerika
  - Sibir
- Oceanska nalazišta
  - Sjeverna Amerika,
  - Japan





RGNF

# OCEANSKA NALAZIŠTA

- Locirana u zoni srednje debljine Zone stabilnosti plinskih hidrata (Gas Hydrates Stability Zone- GHSZ), 300- 500 m
  - metan nastao mikrobiološkom razgradnjom organske tvari
  - Blake Ridge
- Izdanci na dnu oceana i plitka ležišta bliže dnu
  - metan nastao razgradnjom organske tvari zbog djelovanja visoke temperature i tlaka
  - Meksički zaljev i Kaspijsko jezero





# HIDRATI U PJEŠČENJAKU

RGNF





# IZDANCI METANSKIH HIDRATA NA DNU OCEANA

RGNF





# KONTINENTALNA NALAZIŠTA

RGNF

- Pješčani i siltni sedimenti na dubinama  $< 800$  m
- Metan nastao i mikrobiološkom i temperaturnom razgradnjom organske tvari
- Sibir i Aljaska



# BUŠOTINSKI PROSTOR BUŠOTINE MALLIK

RGNF





RGNF

# GEOLOGIJA HIDRATA

- Dva geološka okoliša prirodnih nalazišta
- Područja dubokih voda
  - Duboka mora i jezera
  - Stabilni pasivni kontinentalni rubovi- Blake Ridge
  - Nestabilni pasivni kontinentalni rubovi- Meksički zaljev
  - Aktivne tektonske granice- Nankai brazda
- Područja polarnih uvjeta



RGNF

# STABILNI PASIVNI KONTINENTALNI RUBOVI

- Karakteristično:
  - široke obalne ravnice i kontinentalni šelfovi
  - Duboko more je daleko od erodirajućih kopnenih površina (izvor sedimentata)
  - Učinkovito razvrstavanje sedimentata
- Sedimenti- homogene glinovite naslage
- Blake Ridge



RGNF

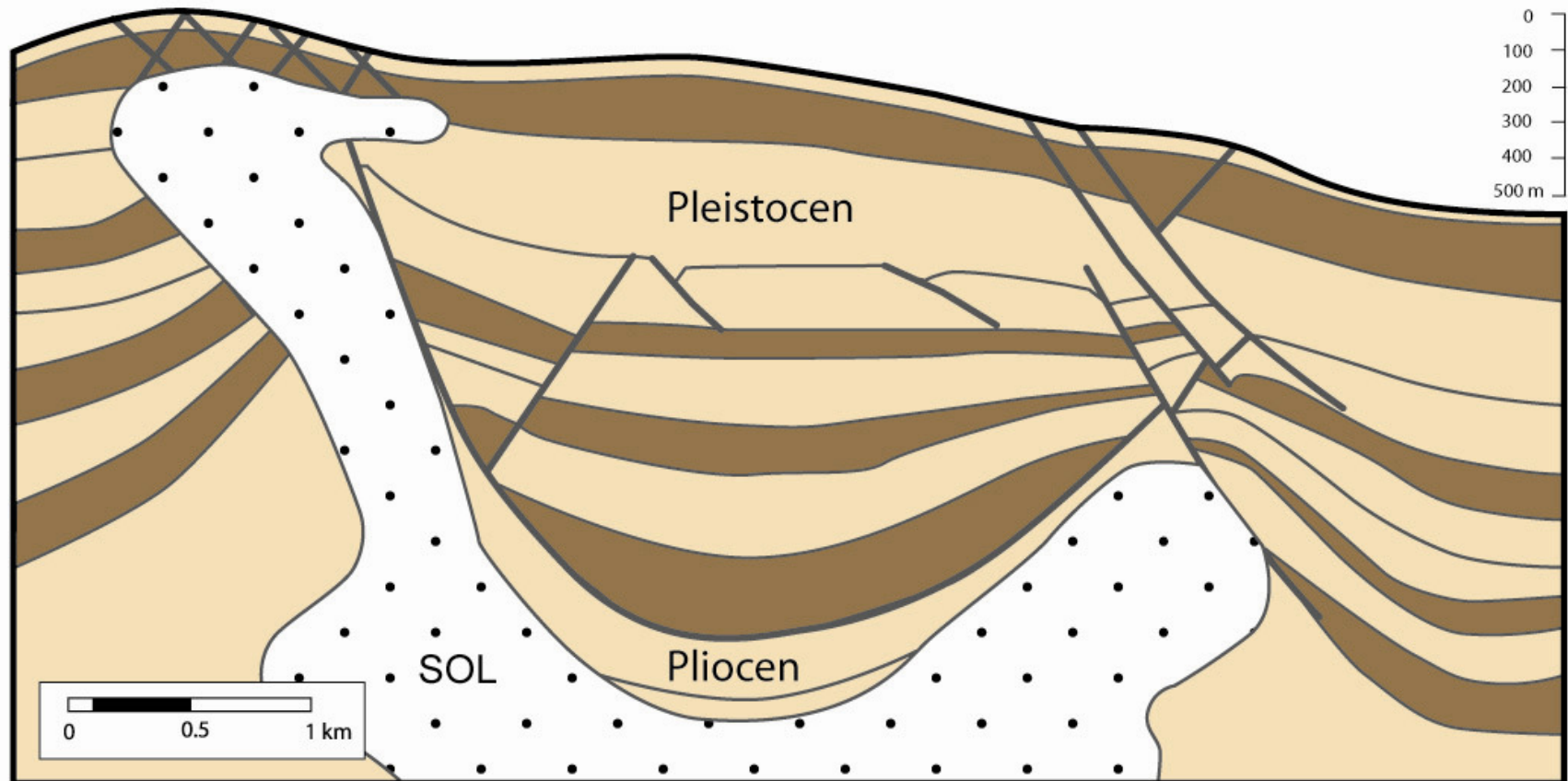
# NESTABILNI PASIVNI KONTINENTALNI RUBOVI

- Karakteristično:
  - Prisutnost duboko zalijegajućih naslaga male gustoće- solne dome, solni dijapiri
  - Prodor metana iz dubljih slojeva zbog tektonike
  - Meksički zaljev



# SOLNI DIJAPIRI

RGNF







RGNF

# REGIJE AKTIVNE TEKTONIKE

- Karakteristično:
  - Rubovi tektonskih ploča
  - Erodirajuće visinsko područje u relativnoj blizini dubokog mora
  - Veća propusnost i poroznost sedimenata
  - Pojava otpuštanja metana iz metanskih hidrata



RGNF

# NALAZIŠTA ARKTIČKOG PODRUČJA

- Karakteristično:
  - Nalazišta su vezana uz rijeke i obalne pijeske (proslojci šejlova i ugljena)
  - Veća ekonomska isplativost od oceanskih nalazišta
- Sibir i Aljaska- 800 m



# POJAVE METANSKIH HIDRATA

RGNF





RGNF

# PODJELA NALAZIŠTA OBZIROM NA GEOLOŠKI RASPORED SLOJEVA

- Nalazišta Klase 1:
  - 2 sloja- metanski hidrati + slobodni metan
  - Najperspektivnija s aspekta iskorištavanja
  - Ekonomska opravdanost
  - Postojanje trofaznog sustava- plin, voda, hidrati
- Nalazišta Klase 2:
  - 2 sloja- metanski hidrati + vodonosnik
- Nalazišta Klase 3:
  - 1 sloj- metanski hidrati



# POVIJEST ISTRAŽIVANJA

RGNF

- I. FAZA
  - 1800. g- laboratorijsko otkriće- H. Davy & M. Farraday
- II. FAZA
  - 1930. g.- Hammerschmidt- začepljenje plinovoda u Sibiru
  - Razvoj aditiva za sprečavanje nastanka hidrata
- III. FAZA
  - Kasne 1960-te- promjena stajališta prema hidratima nakon otkrića “krutog prirodnog plina” tj. metanskog hidrata na plinskom polju Messoyahka u zapadnosibirskom bazenu
  - 1970.- proučavanje uvjeta tlaka i temperature- mogućnost pojave u dubokomorskim sedimentima



RGNF

# POVIJEST ISTRAŽIVANJA

- III. FAZA
  - 1974.- viđeni prvi izdanci metanskih hidrata- ruski znanstvenici, Kaspijsko jezero
  - 1980- tih- istraživački brod Glomar Challenger- globalno sakupljanje jezgara sa dna oceana
    - Gvatemala- jezgra 1m
  - 1982.- 1992. US DOE- uloženo 8 milijuna \$ u istraživanje metanskih hidrata



# GOLMAR CHALLENGER

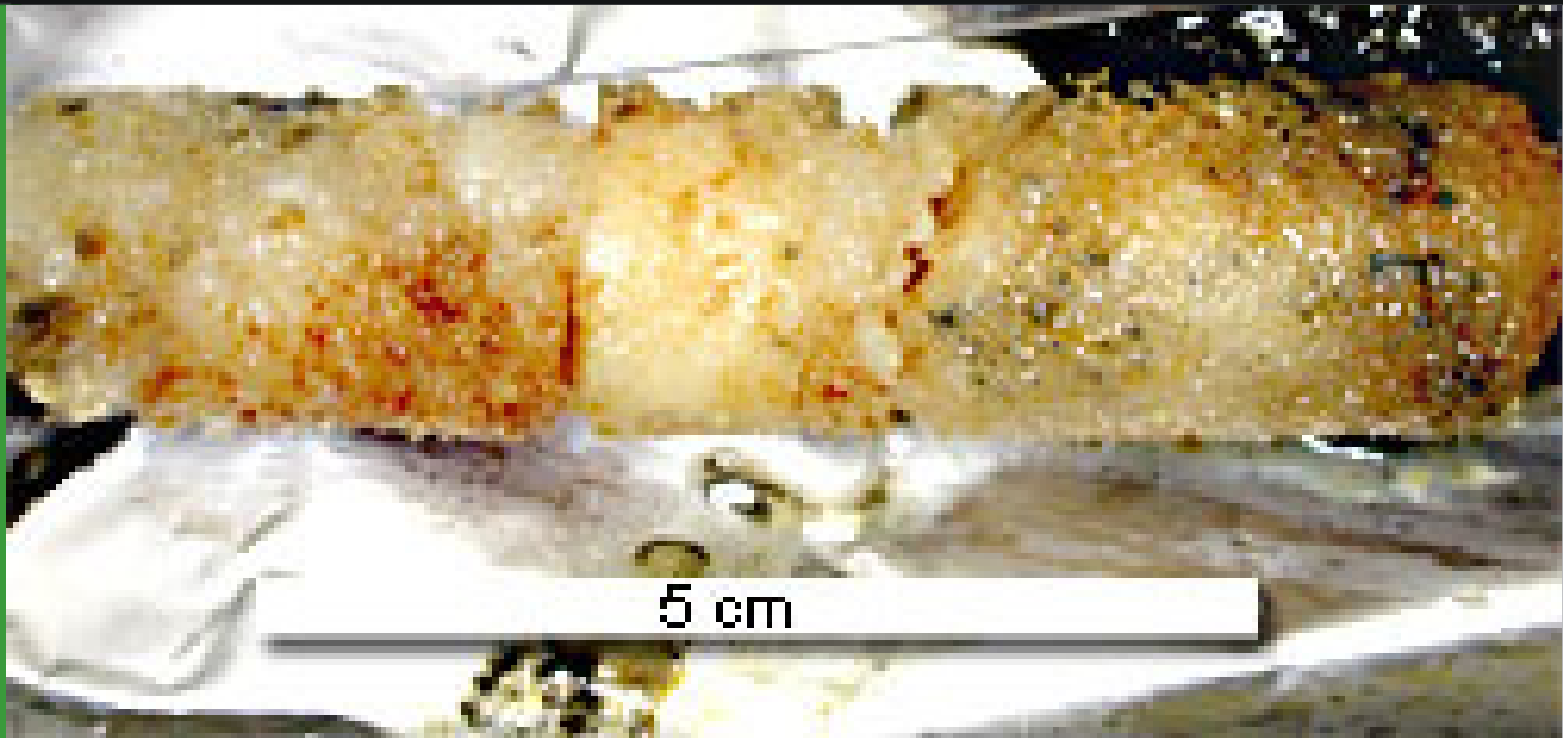
RGNF





# JEZGRA, MEKSIČKI ZALJEV 2001.

RGNF







RGNF

# POVIJEST ISTRAŽIVANJA

- IV. FAZA
  - Sredina 90- tih- Japan i Indija izrađuju programe istraživanja i komercijalnu proizvodnju metana iz metanskih hidrata
  - 1998. i 1999.- izbušene prve dvije bušotine s ciljem istraživanja metanskih hidrata
    - Mallik 3L-18C- Kanada, delta rijeke McKenzie
    - Nankai- japanska obala, značajne količine hidrata



# BUŠOTINA MALLIK

RGNF





RGNF

# POVIJEST ISTRAŽIVANJA

- V. FAZA
  - Istraživanja:
    - Utjecaja metanskih hidrata na okoliš
    - Interakcije sa živim bićima na dnu oceana
    - Stabilnosti dna oceana
    - Globalnog ciklusa ugljika
    - Dugoročnih klimatskih promjena
  - 1999.- Methane Hydrate Research and Development Act 2000



# POVIJEST ISTRAŽIVANJA

RGNF

- 2000.- 2005.
  - Pozitivna otkrića na Malliku i Nankai-u
  - Nankai- izbušeno dodatnih 15 bušotina (1 horizontalna)
  - DOE & BP- istraživanja na Aljasci



RGNF

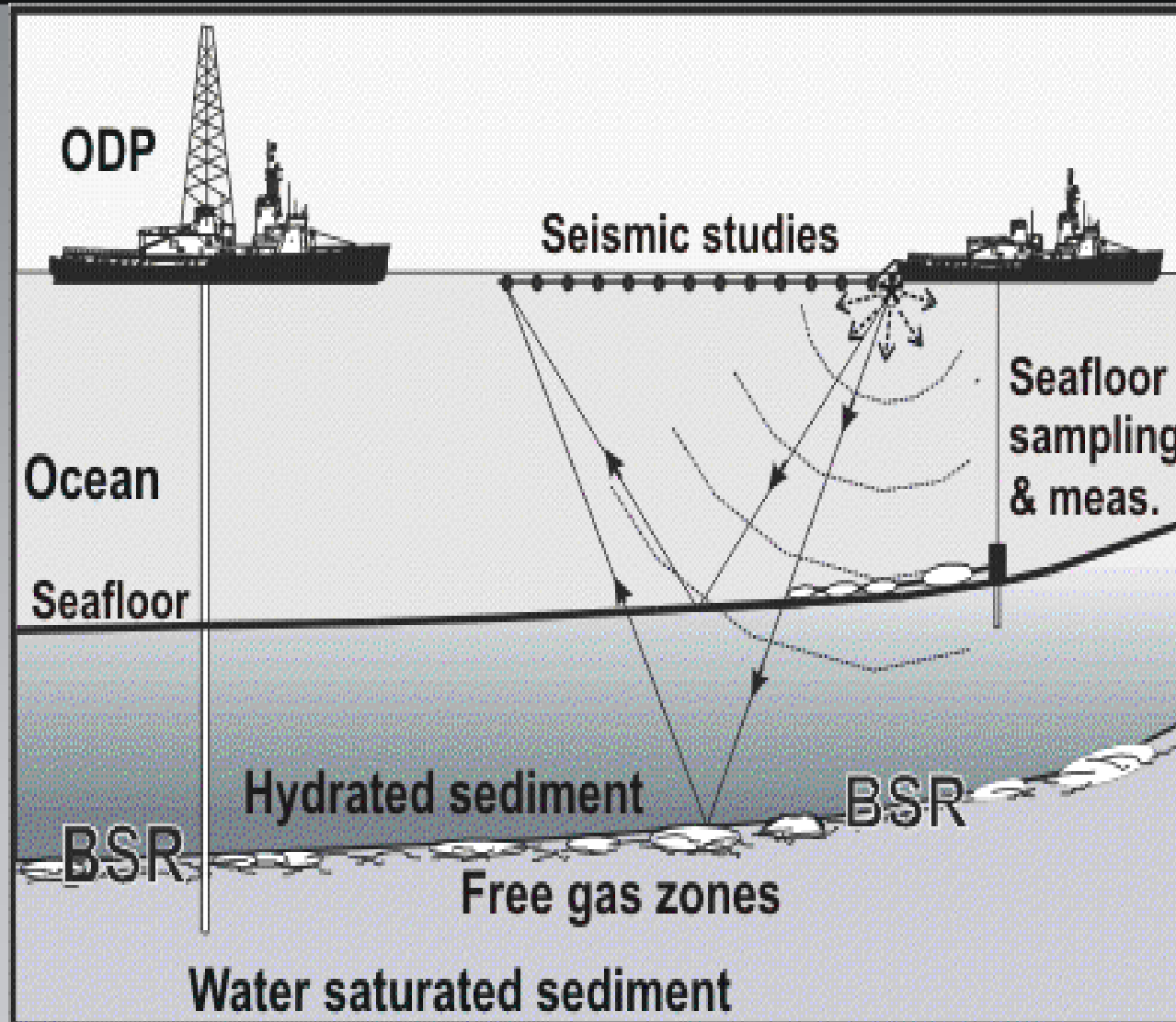
# ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Teški uvjeti (duboko more i permafrost)
- Seizmička istraživanja
  - Brzina kretanja zvučnih valova = 3.3 km/s (voda 1.5 km/s)
  - 3 D seizmika
  - Indikatori pojave metanskih hidrata:
    - Bottom Simulatin Reflexion (BSR)
    - “Blanking”- smanjenje amplitude zvučnog vala
- Jezgrovanje



# SEIZMIČKA ISTRAŽIVANJA

RGNF





RGNF

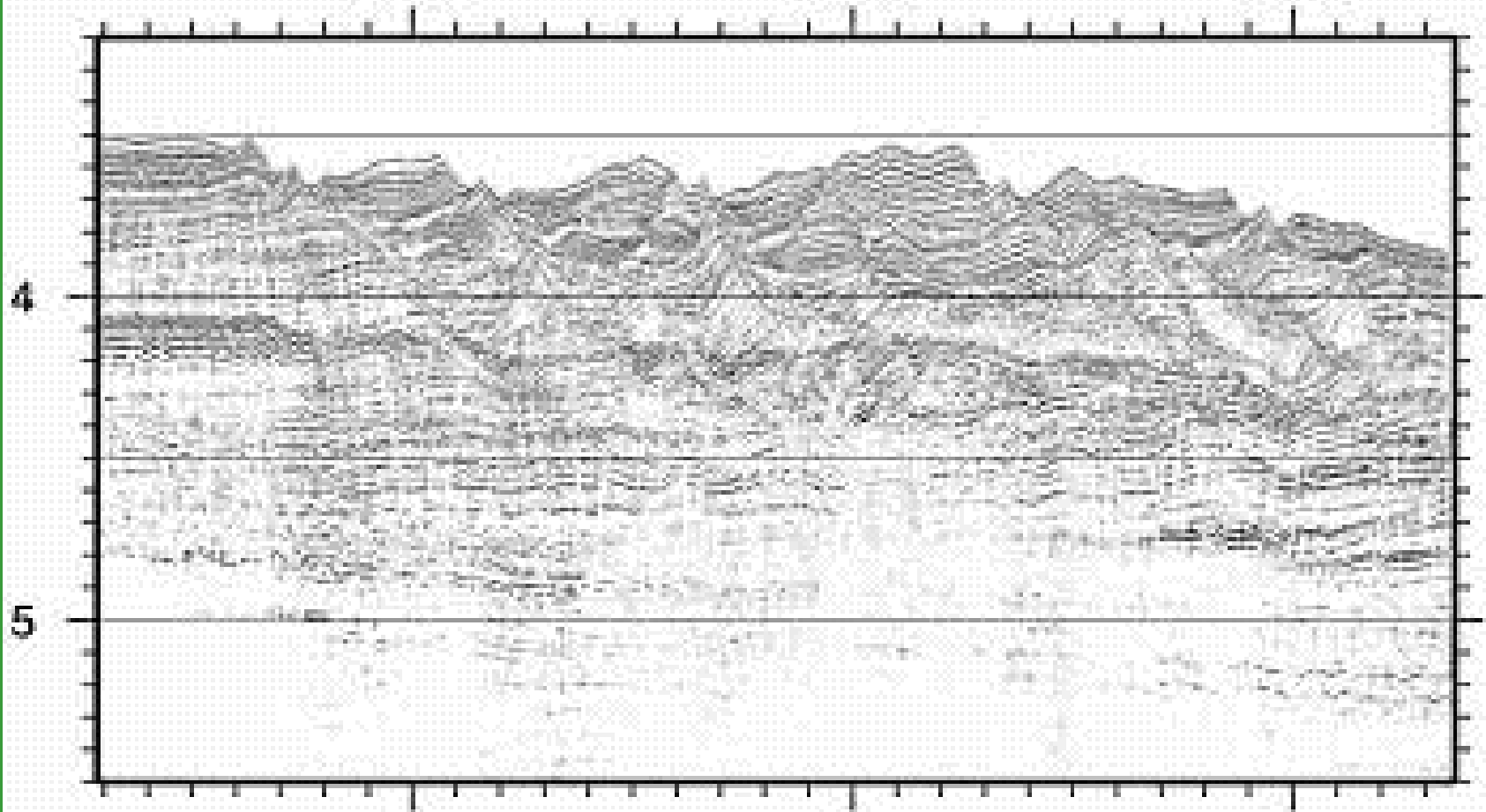
# REZULTATI SEIZMIČKIH ISTRAŽIVANJA

Line R-21b, CDP Number

29000

30000

31000





# SEIZMIČKI POKAZATELJI POSTOJANJA METANSKIH HIDRATA

RGNF

## Crest of Blake Ridge

Hydrate occurs in the sediment from this reflection to the sea floor

BSR

Reflections are weaker due to cementation by gas hydrate

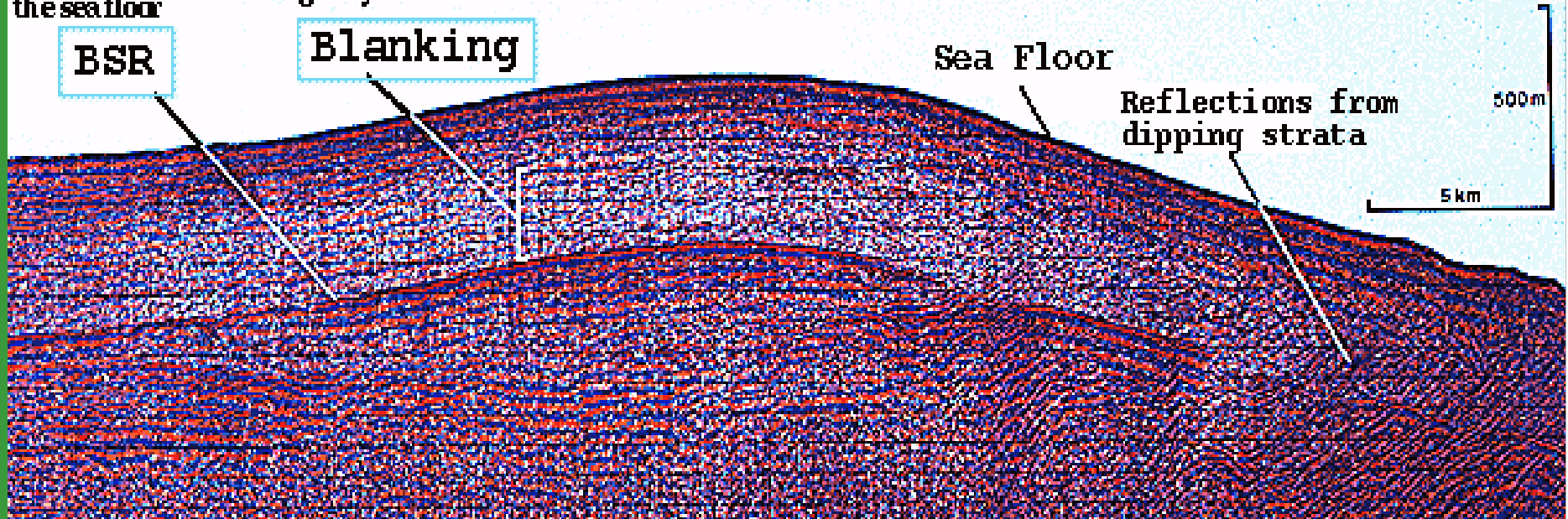
Blanking

Sea Floor

Reflections from dipping strata

500m

5 km







RGNF

# ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Geokemijska istraživanja
  - Karakteristične koncentracije specifičnih elemenata, iona ili izotopa
  - Salinitet- jedan od najvažnijih indikatora
    - Manji salinitet= postojanje hidrata
  - Izotopi
    - teži izotopi= postojanje hidrata
    - Mjerenje omjera  $C^{12}$  i  $C^{13}$ - utvrđivanje podrijetla metana



RGNF

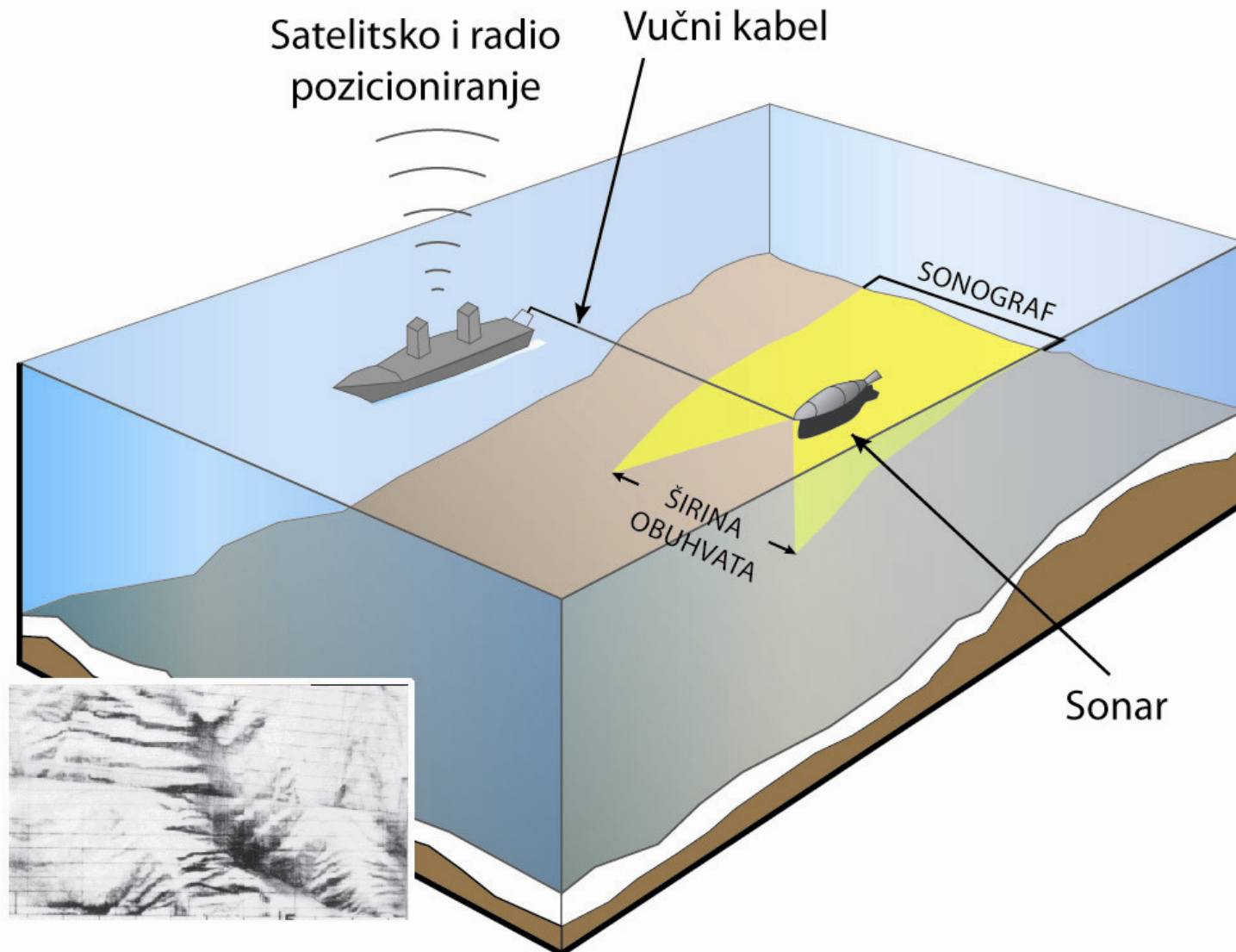
# ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Sonarna istraživanja
  - Praćenje topografije dna mora-anomalije
  - Moguće indiciranje emisije  $\text{CH}_4$  na dnu oceana
  - Gloria sustav- brzina= 6- 8 čvorova
  - TOBI sustav- brzina= 1.5- 3 čvorova
  - SEAMARC sustav



# SONARNA ISTRAŽIVANJA

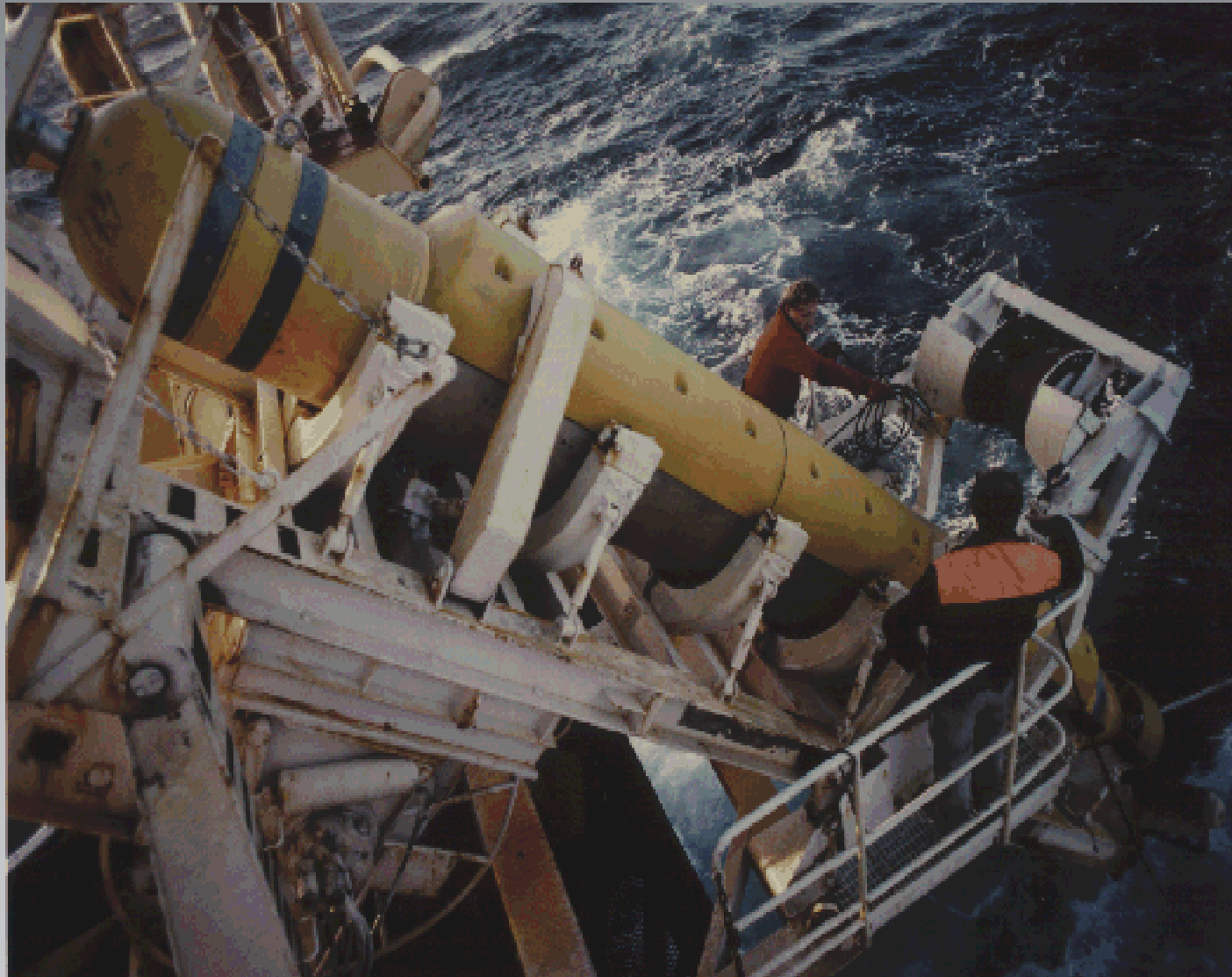
RGNF





# SUSTAV GLORIA

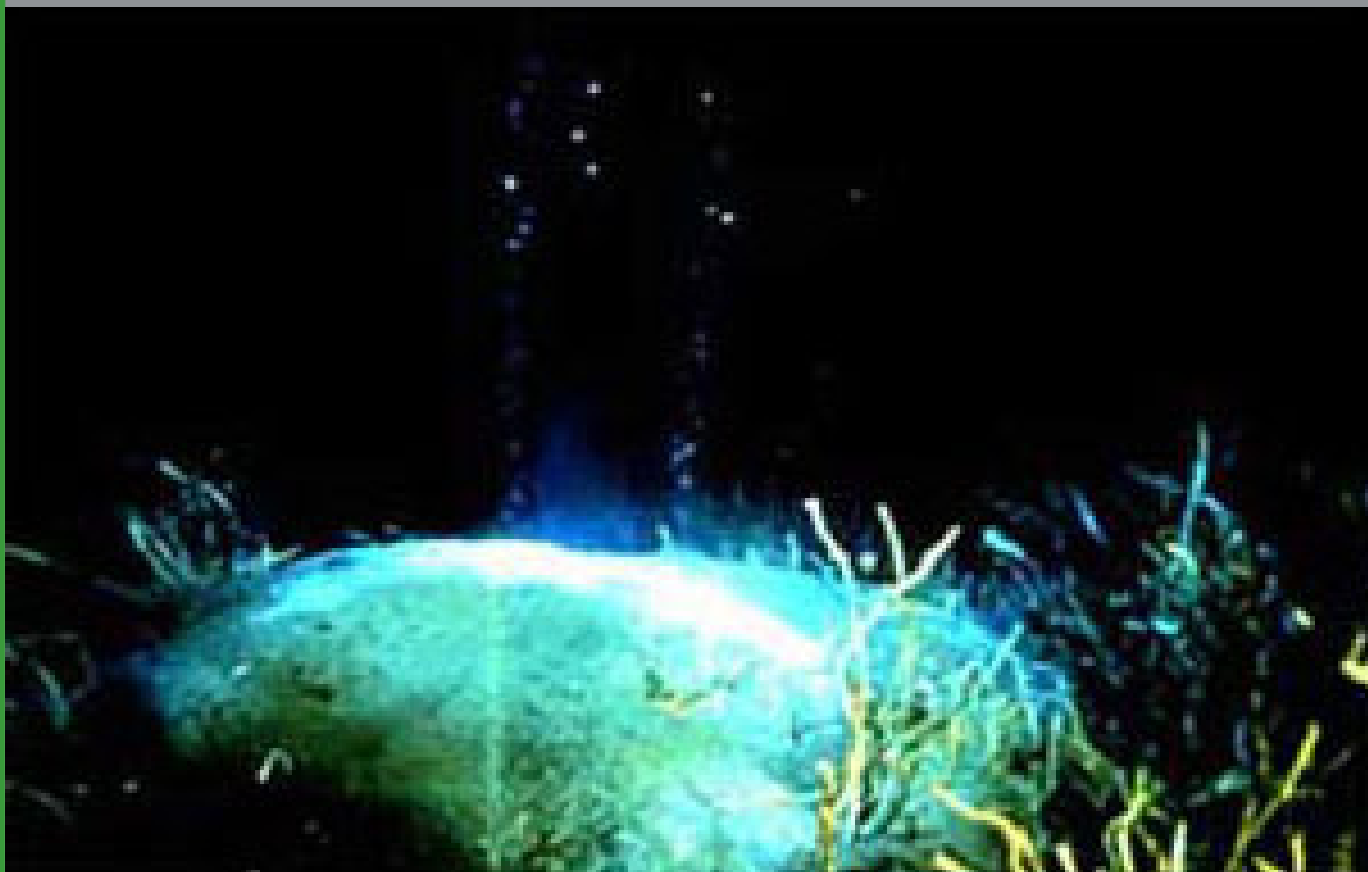
RGNF





# OTPUŠTANJE METANA IZ IZDANAKA NA DNU OCEANA

RGNF





RGNF

# ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Jezgrovanje
  - Najtočniji podaci o količinama metanskih hidrata



# JEZGROVANJE POD TLAKOM

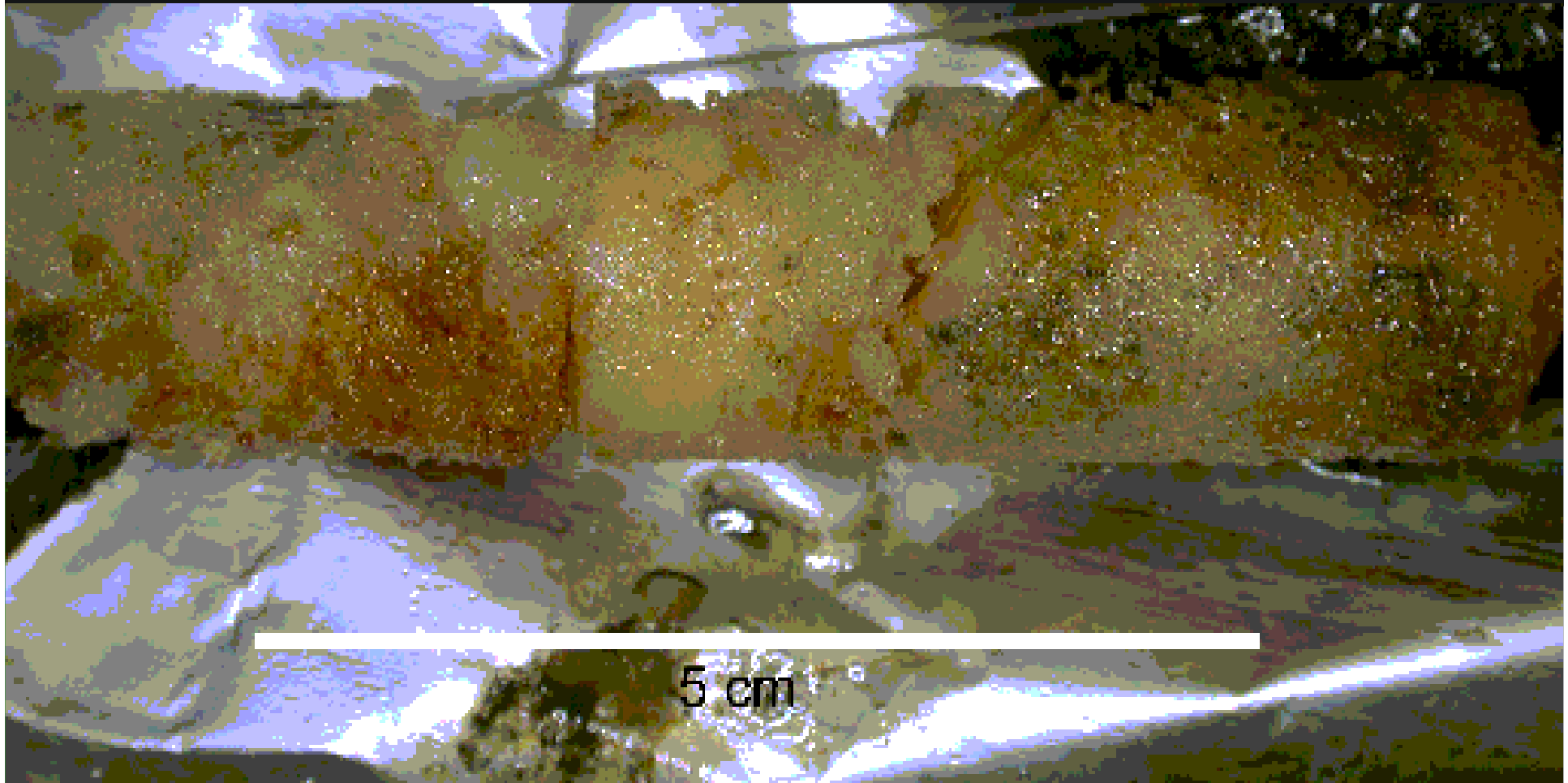
RGNF





# JEZGROVANJE POD TLAKOM

RGNF







# JEZGRA- BLAKE RIDGE

RGNF





RGNF

# PROCJENE REZERVI

- Nedostatni podaci
- 2- 10 × više metana od trenutno poznatih rezervi prirodnog plina
- Pretpostavke- 10- 30% GHSZ
- Nalazišta- male koncentracije 0.9- 1.5 % volumena
- Svjetske rezerve=  $1- 5 \times 10^{15} \text{ m}^3 = 500-2500 \text{ Gt C}$  (5000 Gt C= sve rezerve fosilnih goriva, prirodni plin= 230 Gt C)



# KOMERCIJALNO ISKORIŠTAVANJE

RGNF

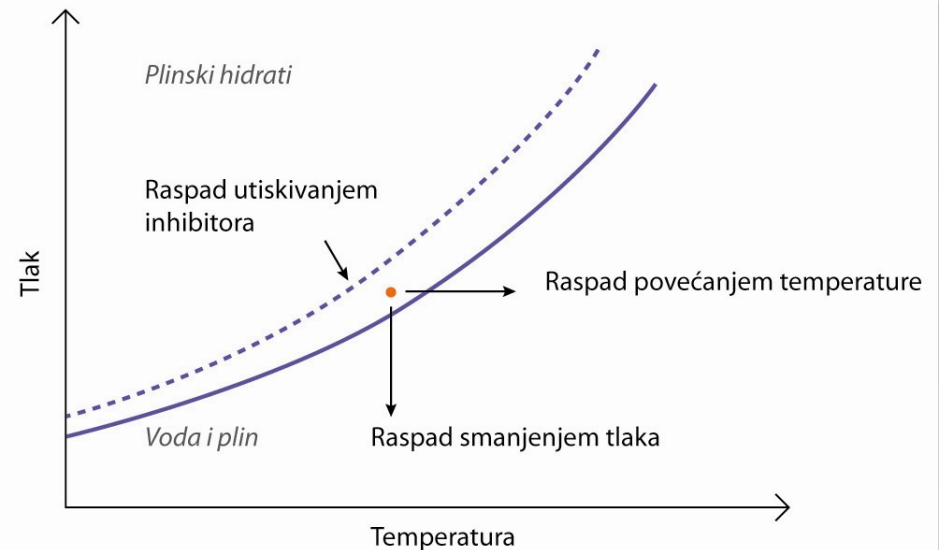
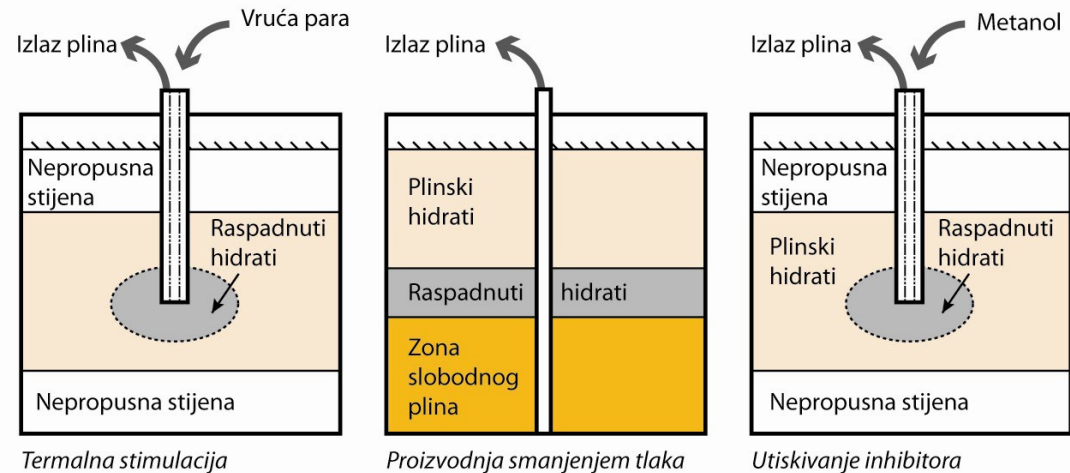
- Problemi:
  - Nekomercijalne rezerve na jednom području
  - Tehnologija proizvodnje
  - Stabilnost postrojenja
  - Promjene razine mora



RGNF

# PROIZVODNJA METANA IZ METANSKIH HIDRATA

- Termalna stimulacija
- Smanjenje tlaka
- Utiskivanje fluida
  - inhibitori
  - CO<sub>2</sub>

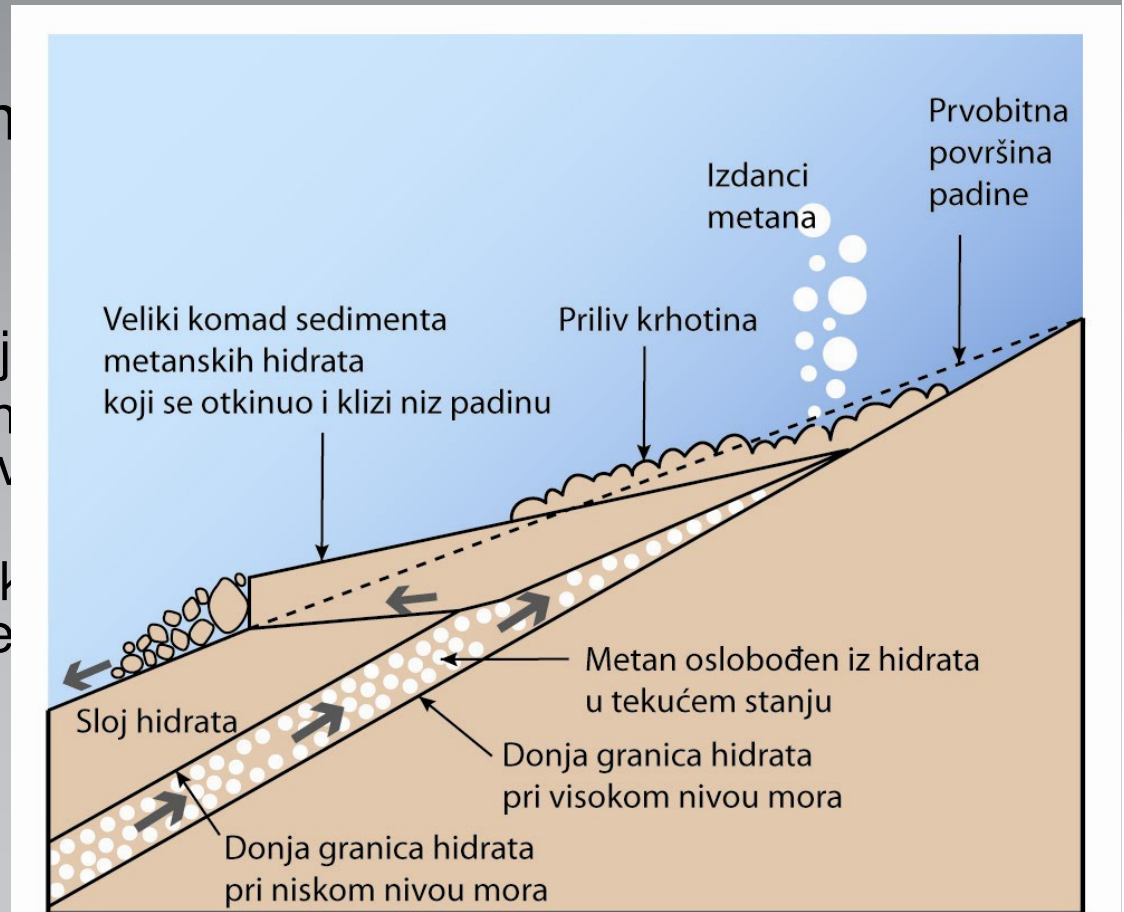




# STABILNOST DNA MORA, STABILNOST KANALA BUŠOTINE I SIGURNOST PRILIKOM BUŠENJA

RGNF

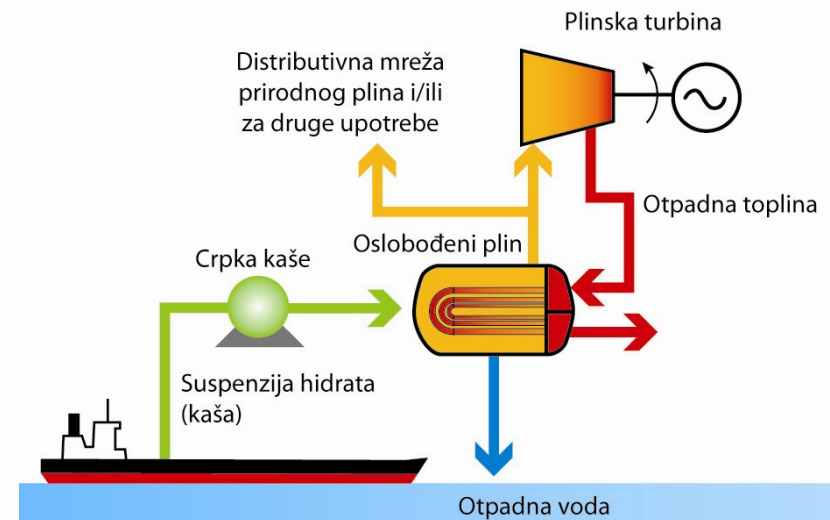
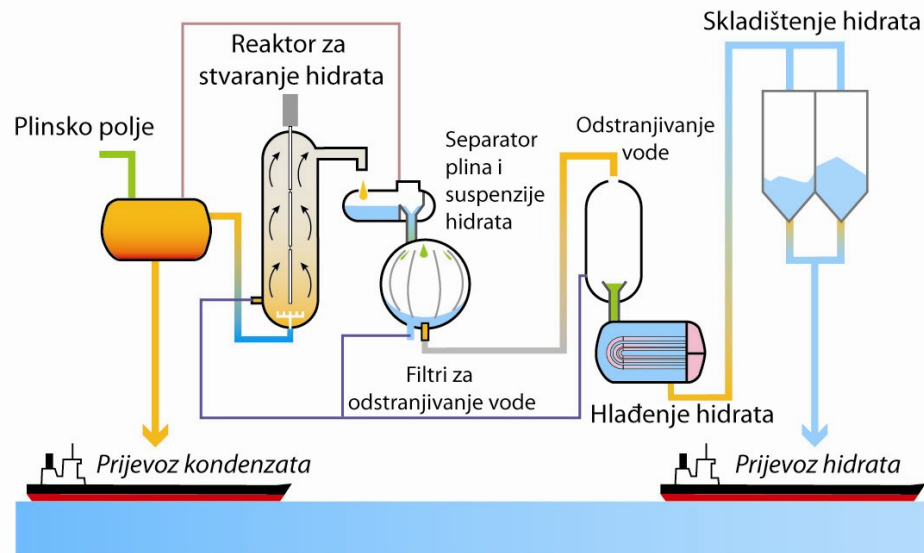
- Klizišta
- Problemi prilikom bušenja
  - Utjecaj na tlak i temperaturu u proizvodnom sloju
  - Promjene mehan. fizikalnih svojstava sedimenata
  - Promjene reoloških svojstava isplake





# TRANSPORT METANA U OBLIKU METANSKIH HIDRATA

RGNF





# HIDRATI I KLIMATSKE PROMJENE

RGNF

- Staklenički plin
- Atmosferski “životni vijek”= 8,4 godina
- Potencijal globalnog zatopljenja= 62/ 20 god. ili 23/ 100 god.

# HVALA NA PAŽNJI!



**RGNF**