

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

GOSPODARENJE PLINOVIMA 1



Predavanje:

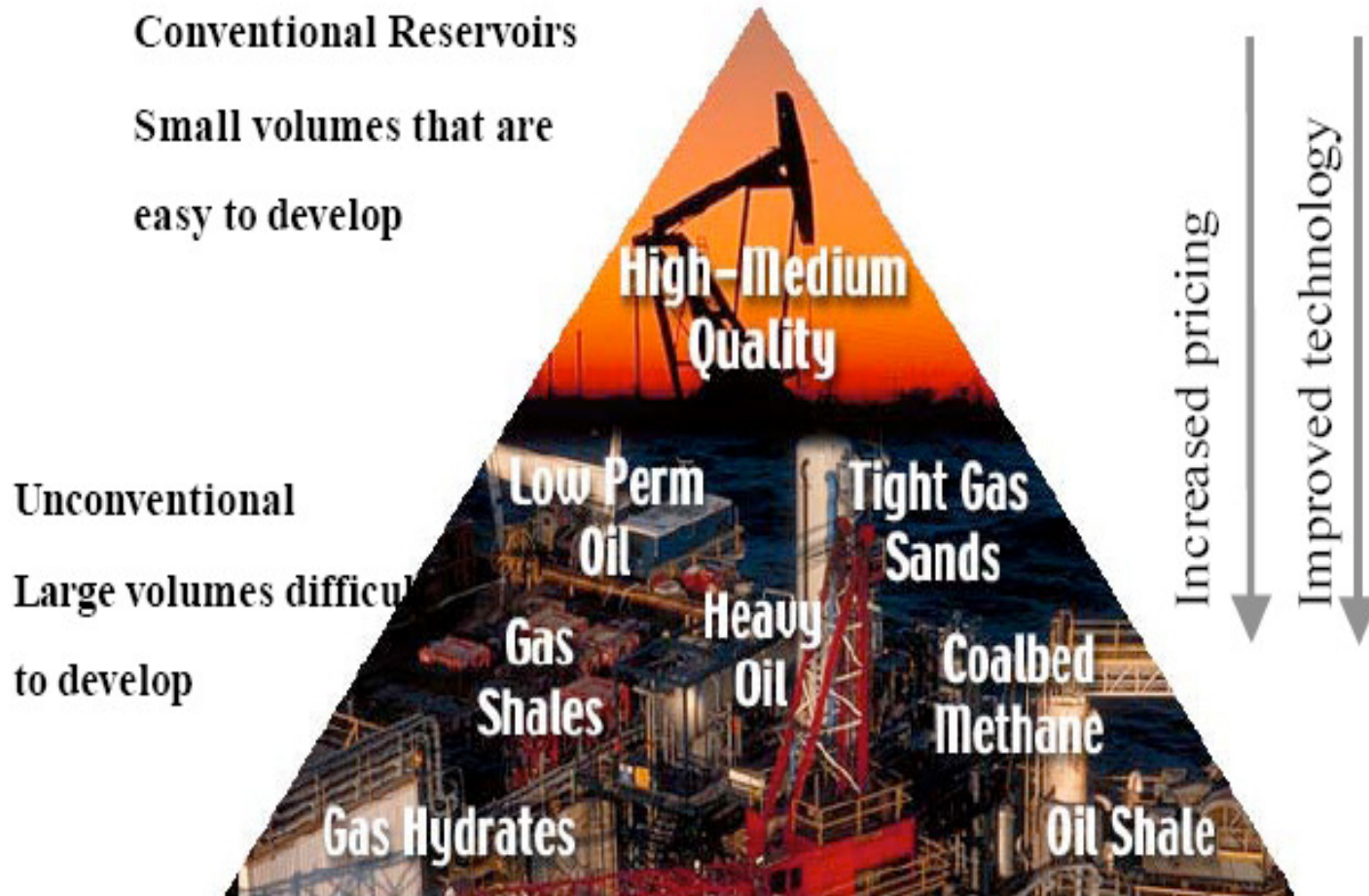
NEKONVENCIONALNI IZVORI PRIRODNOG PLINA

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



RGNF

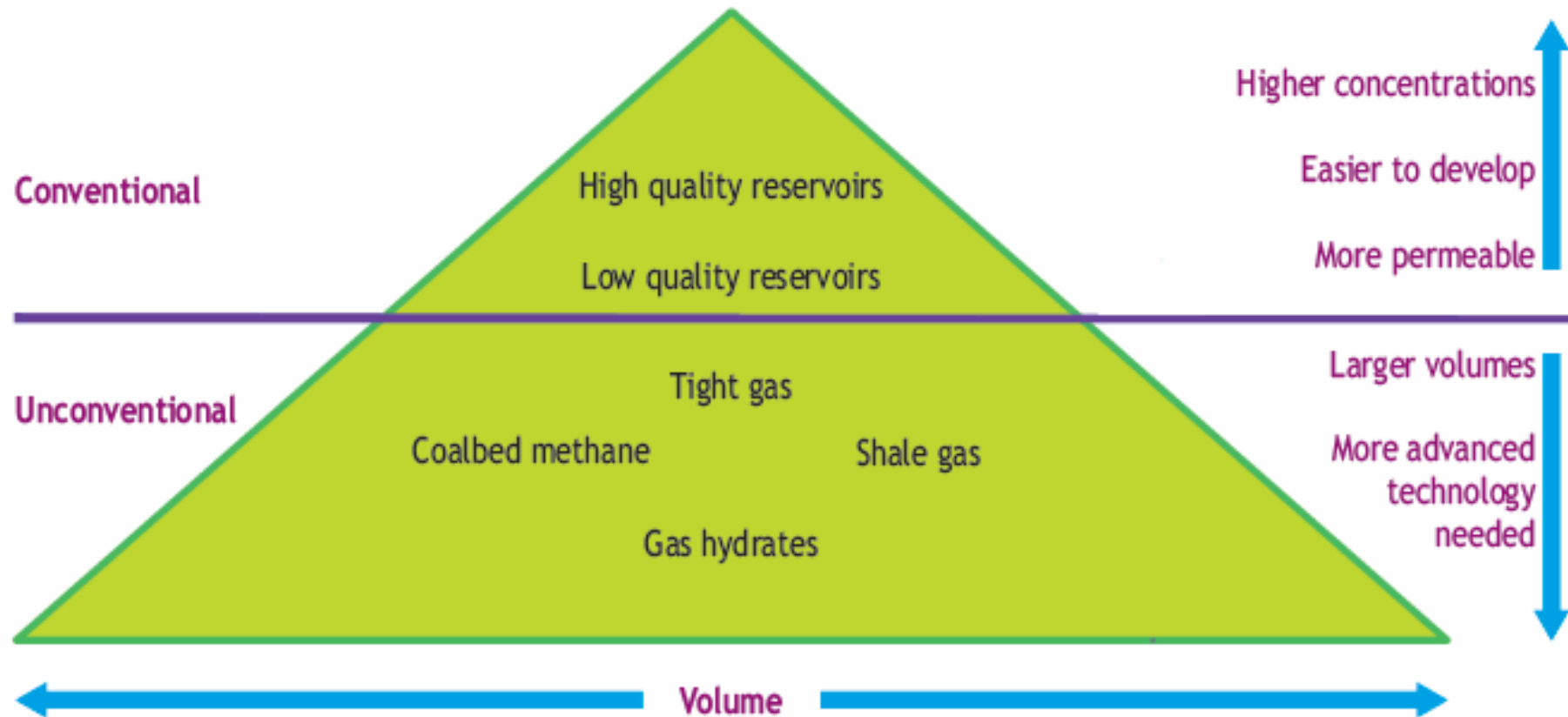
PRINCIP TROKUTA RESURSA ZA NAFTNA I PLINSKA LEŽIŠTA





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
- CH₄ anorgansko podrijetla – duboko u Zemljinoj kori??? – spekulativna teorija ⁷



REZERVE PLINA U NEKONVENCIONALNIM LEŽIŠTIMA

10 ¹² m ³	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

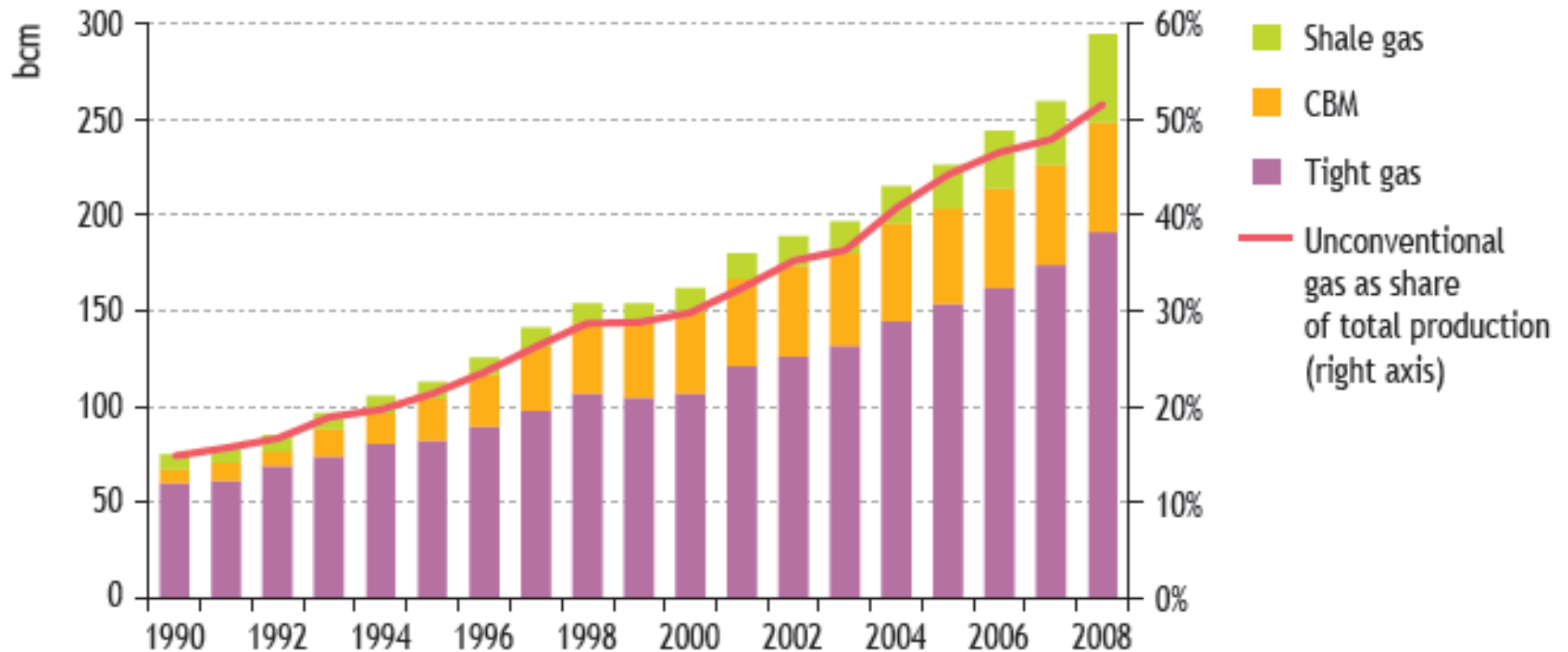
- Količina rezervi - spekulativna kategorija
- Određena vjerojatnost

- **Rezerve hidrata** - 5000 puta više plina u metanskim hidratima nego u konvencionalnim rezervama plina
 - 5000 – 12×10⁶ Tcf - permafrost
 - 30 000 – 49×10⁶ Tcf – rubni dijelovi oceana



PROIZVODNJA PRIRODNOG PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH IZVORA U SAD-U

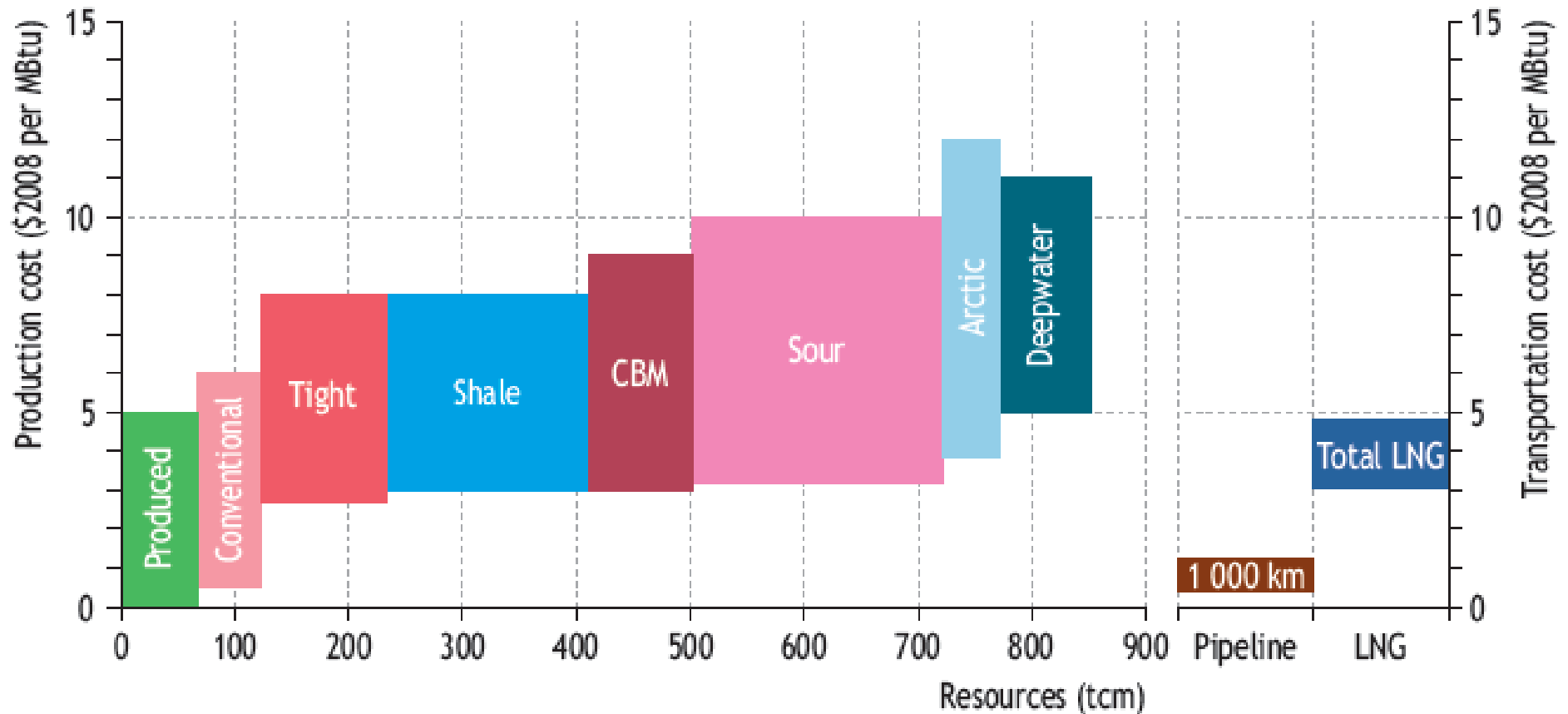
RGNF





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 μD .



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

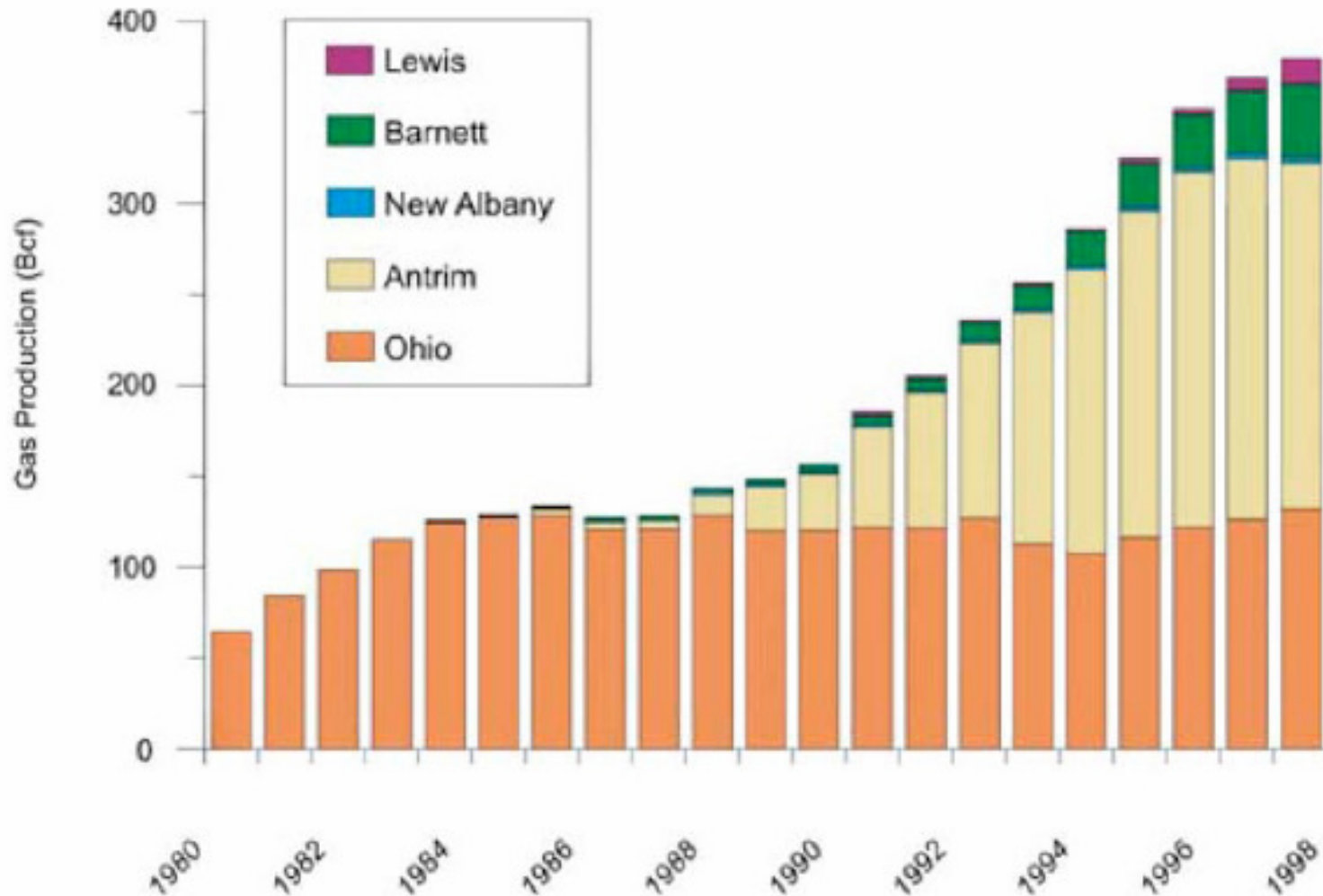
PROIZVODNJA IZ ŠEJLA

- 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

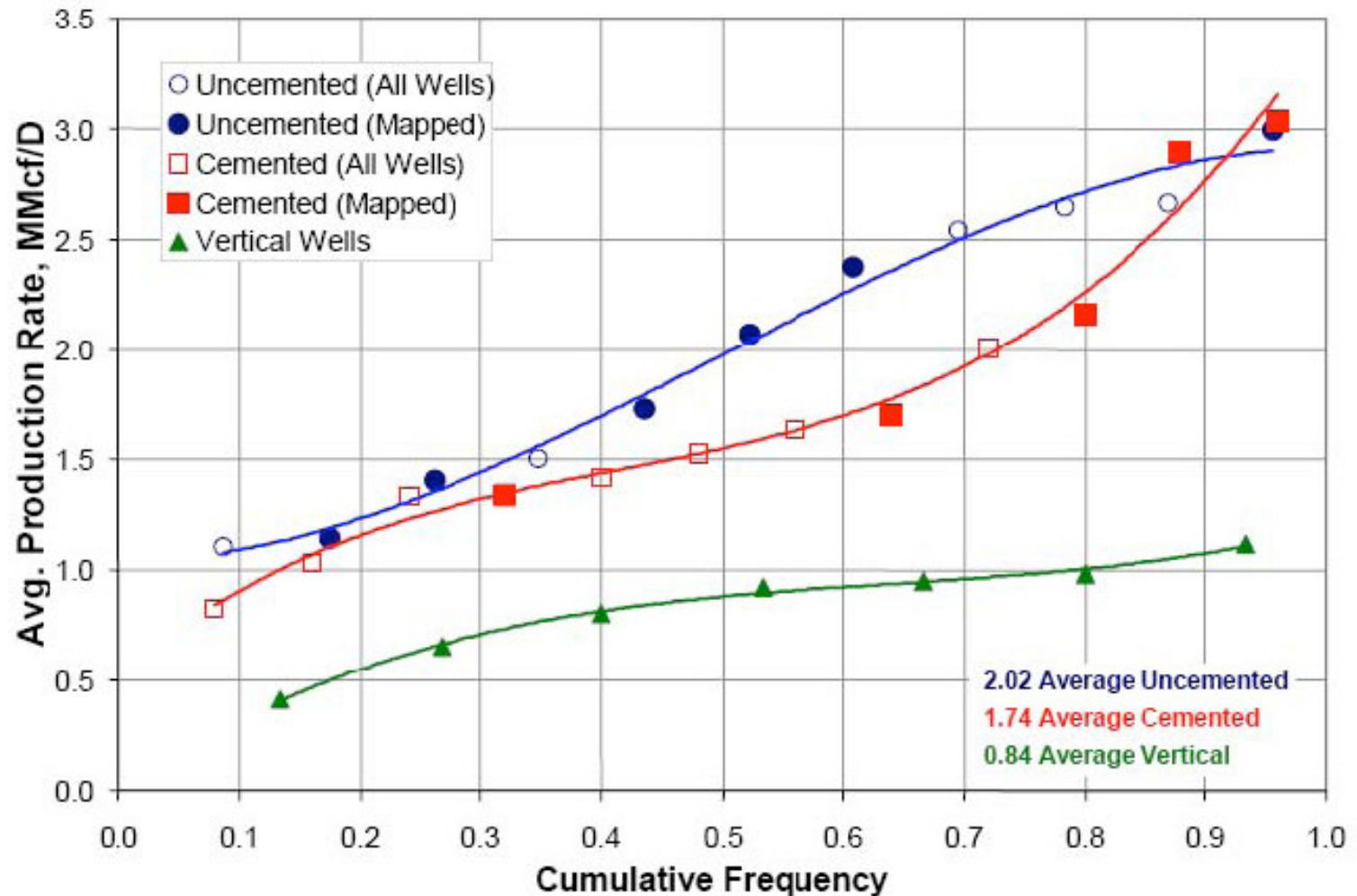
PRIMJENA TEHNOLOGIJE

- 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 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 CH_4 otopljenog u akviferima je 2-4 Nm^3/m^3 vode ovisno o salinitetu



RGNF

GEOGRAFSKA DISTRIBUCIJA AKVIFERNIH LEŽIŠTA PRIRODNOG PLINA

- Različiti dijelovi svijeta
- Ist. Afrika – jezero Kivu – velike količine CH_4 otopljene duboko u jezeru (500 m), sadržaj plina 0,3-0,4 Nm^3/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



RGNF

PROIZVODNJA PLINA IZ AKVIFERA

- Proizvodnja prirodnog plina kao nusprodukta
 - SAD (Oklahoma) – proizvodnja plina sadržaja 1,8-2,1 Nm³/m³ vode tijekom ekstrakcije joda
 - Japan - proizvodnja plina sadržaja 0,7-1,1 Nm³/m³ 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)



RGNF

CBM - POSTANAK

- Tijekom procesa pougljenjavanja ugljen je obogaćen ugljikom pri čemu je nastao i 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 CH_4 dostiže i 15-20 m^3/toni ugljena.
- Adsorpcija 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 $\times 10^{12}$ m³
 - Rusija 17-113 $\times 10^{12}$ m³
 - Kina 30-35 $\times 10^{12}$ m³
 - Kanada 6-76 $\times 10^{12}$ m³
- Proizvodnja
 - Europa i SAD – prikupljanje plina tijekom rudarskih operacija
 - 1989. početak značajnije proizvodnje u rudnicima ugljena
 - Trenutna proizvodnja – 45 $\times 10^9$ m³/god-SAD



LEŽIŠTA UGLJENA U SVIJETU

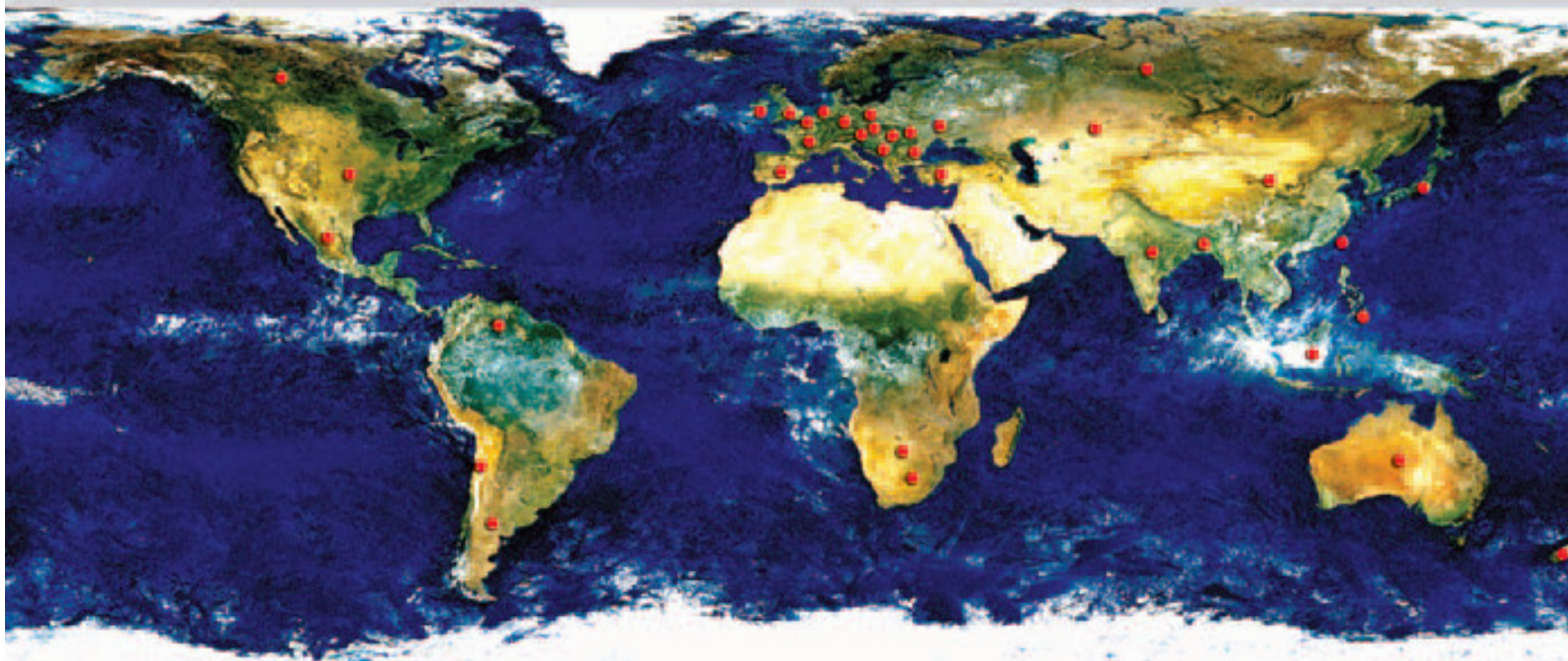


- Više od 70 zemalja ima rezerve ugljena i potencijal CBM
- U 2006. - 5×10^{12} t ugljena proizvedeno u svijetu
- 90% proizvodnje (Kina, SAD, Indija, Australija, JAR, Rusija, Indonezija, Poljska, Kazahstan, Kolumbija)



POTVRĐENA LEŽIŠTA CBM

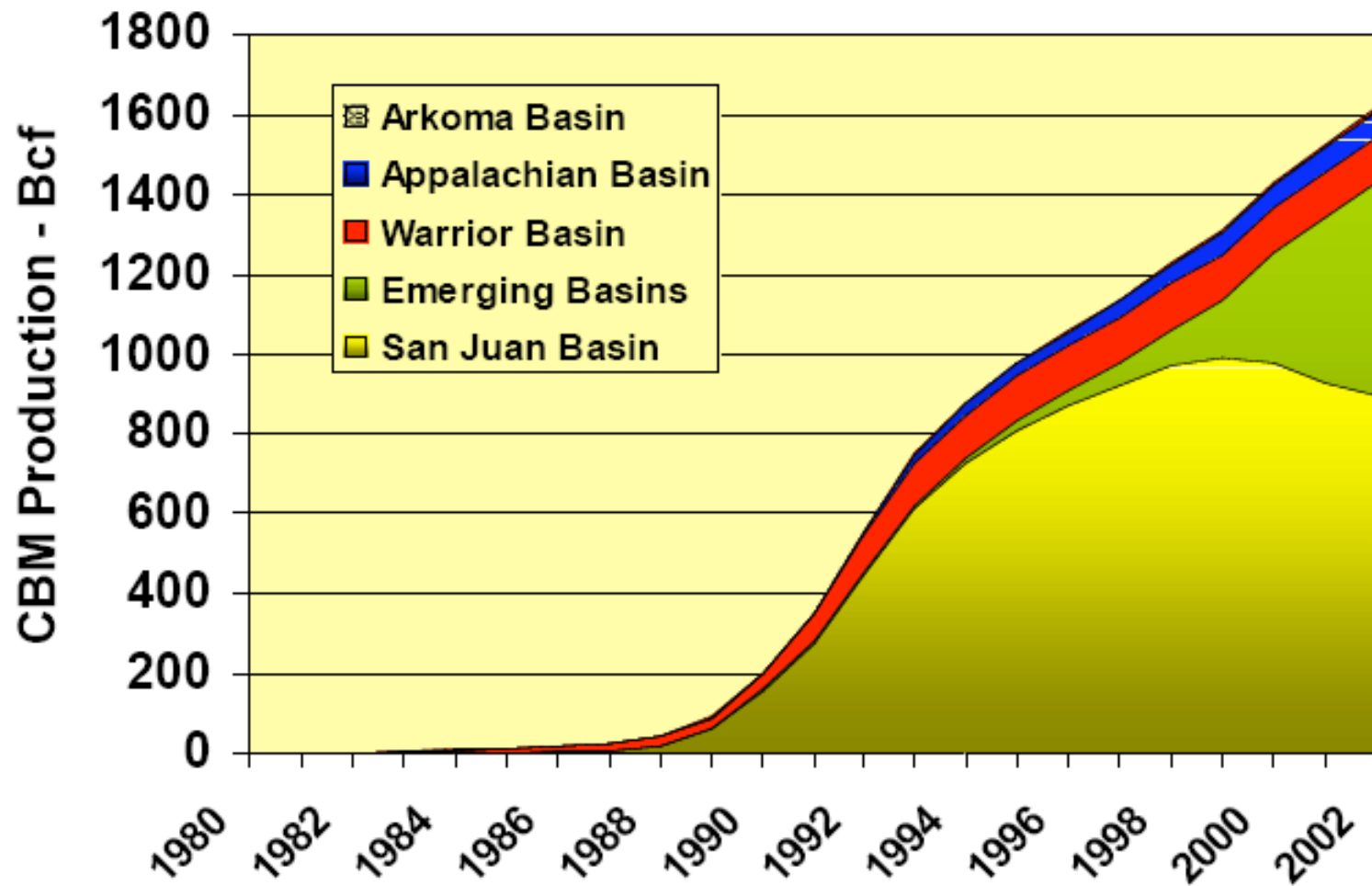
RGNF





PROIZVODNJA CBM U SAD-U

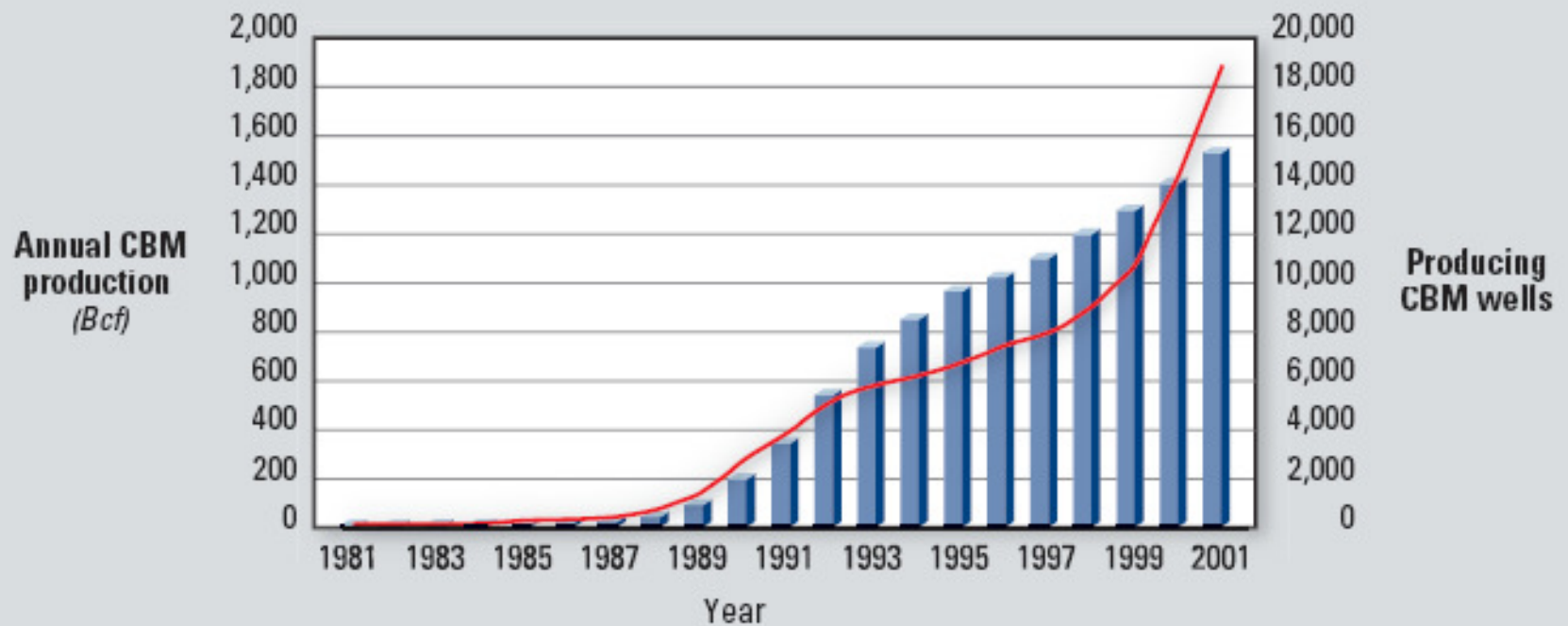
RGNF





GODIŠNJA PROIZVODNJA CBM U SAD-U

RGNF





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 CH₄/ 5.75 mol H₂O
- Gustoća: 0.9 g/cm³
- Formula: XCH₄46H₂O (X ≤ 8)
- Stabilnost - do 18 °C, 70 % popunjenih praznina



RGNF

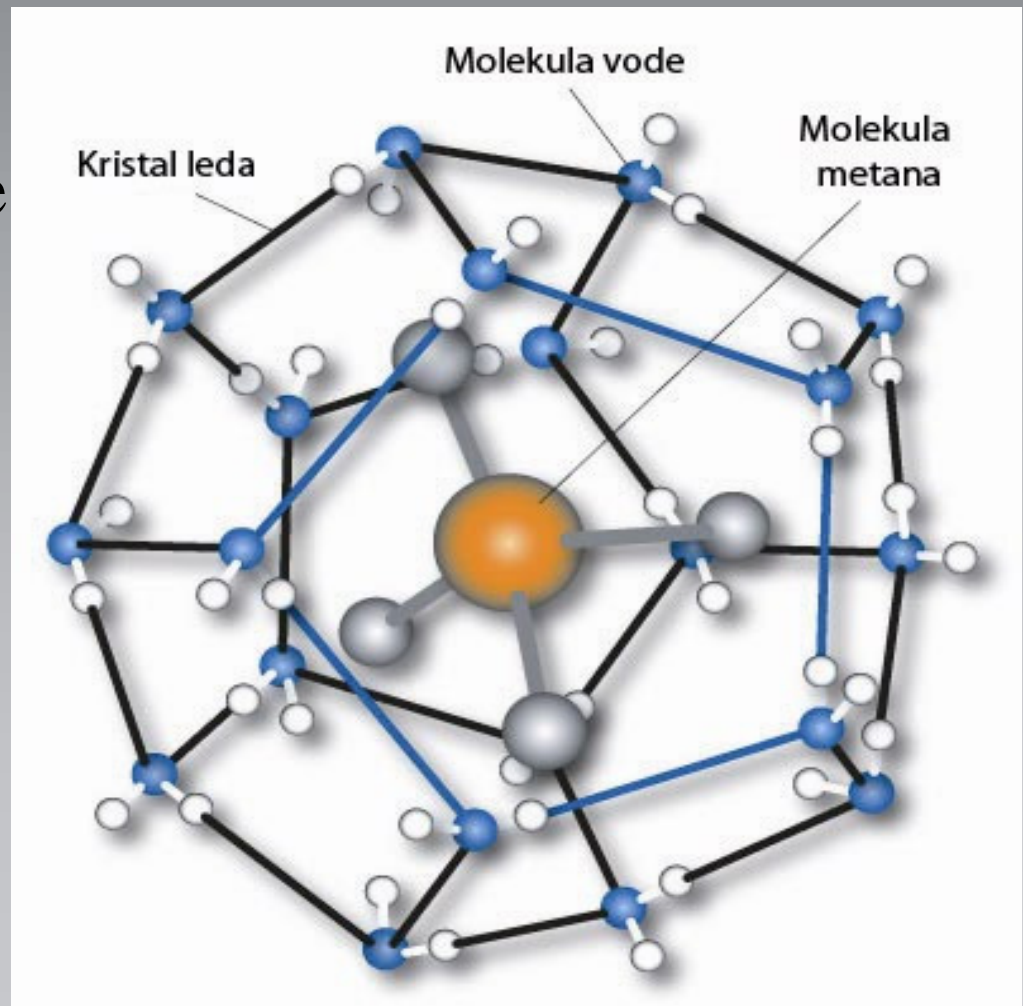
PLINSKI HIDRATI

- Prirodni antropogeni



- Kemijske strukture

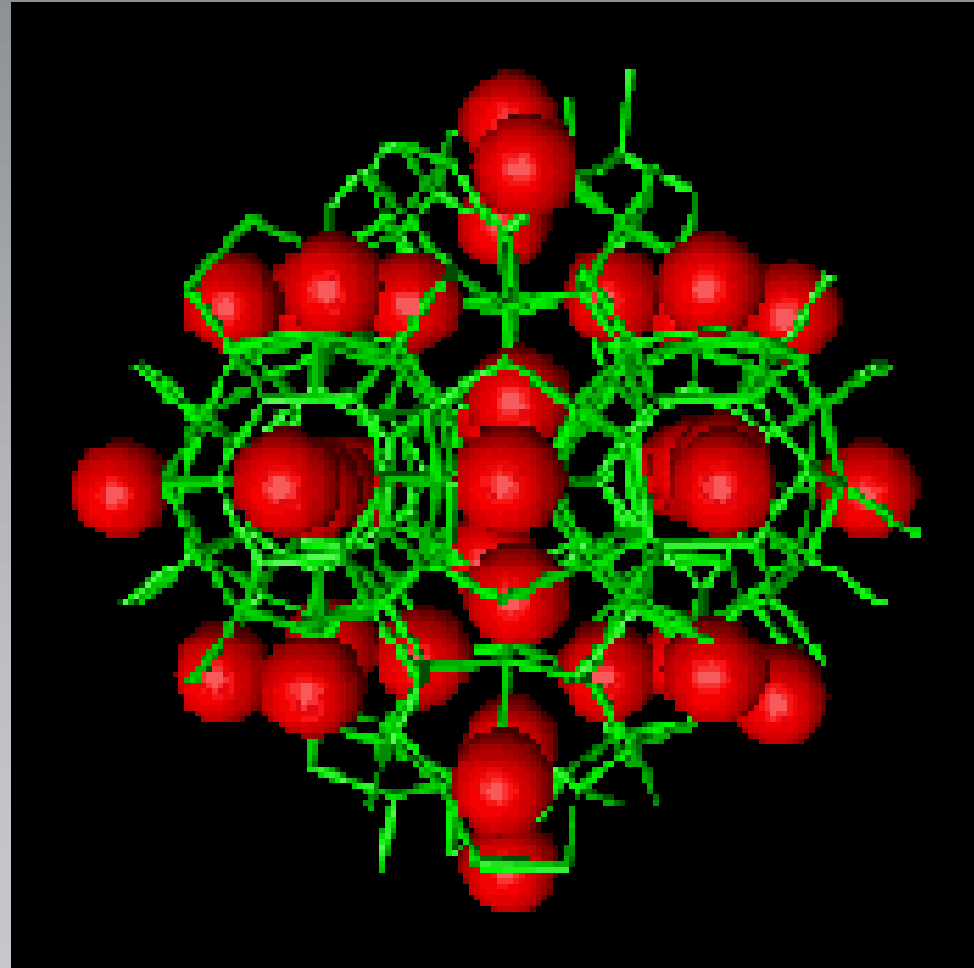
- Struktura I
- Struktura II
- Struktura H





RGNF

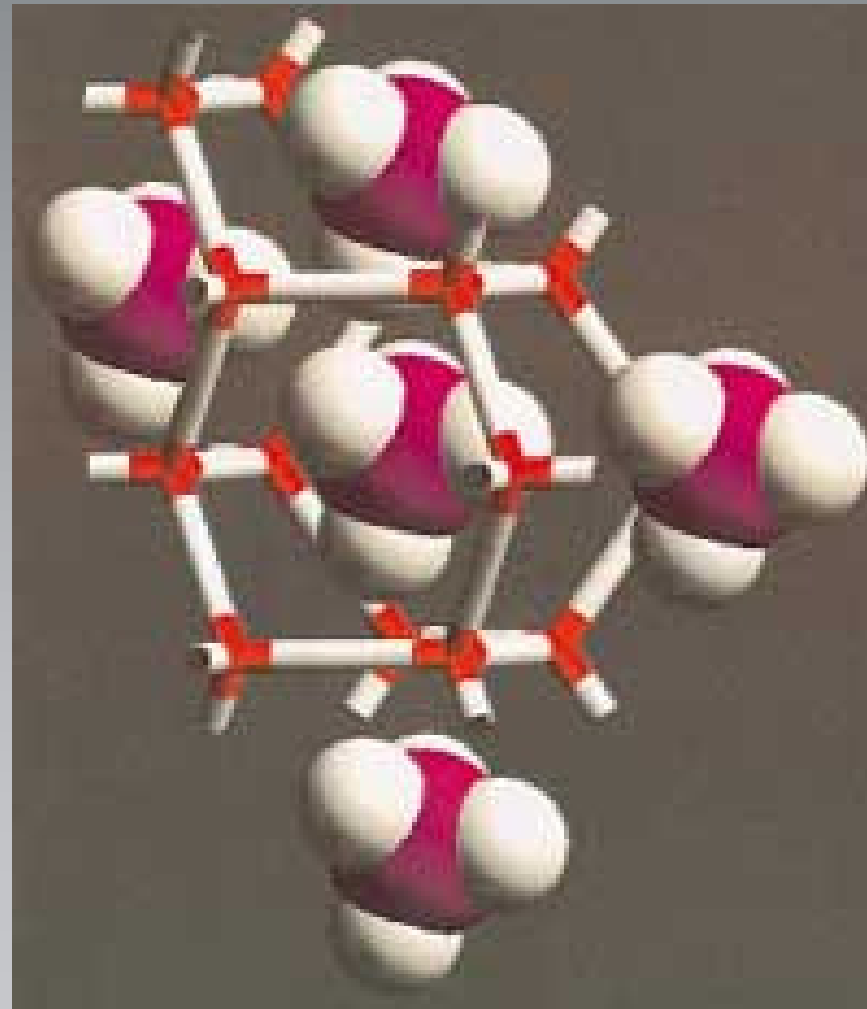
STRUKTURA HIDRATA





RGNF

STRUKTURA HIDRATA





RGNF

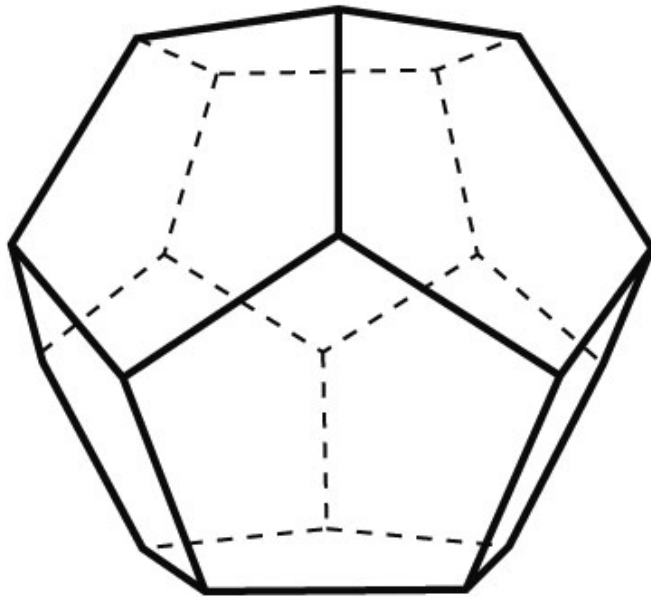
KEMIJSKI SASTAV

- 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 $5^{12}6^2$ ”

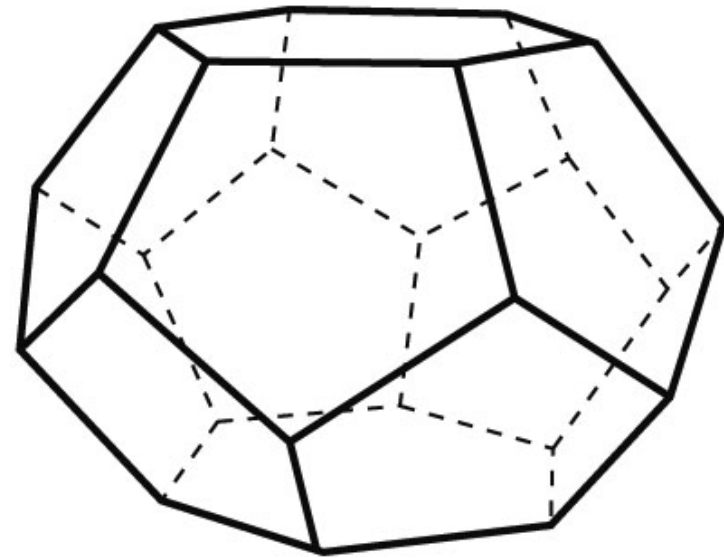


3D MODEL STRUKTURE I

RGNF



5^{12}



$5^{12}6^2$



RGNF

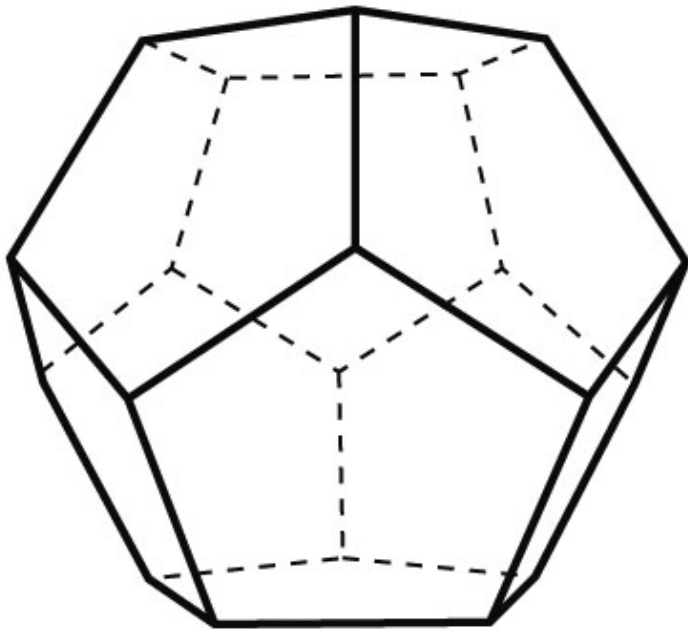
KEMIJSKI SASTAV

- Struktura II
 - Jedinična ćelija:
 - 136 molekula H₂O
 - 16 malih “praznina” -“rešetka 5¹²”
 - 8 velikih “praznina”-“rešetka 5¹²6⁴”

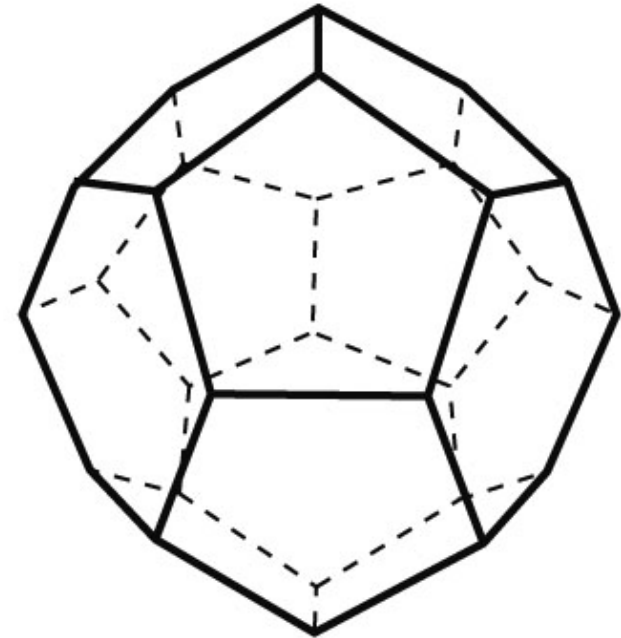


3D MODEL STRUKTURE II

RGNF



5^{12}



$5^{12}6^4$



RGNF

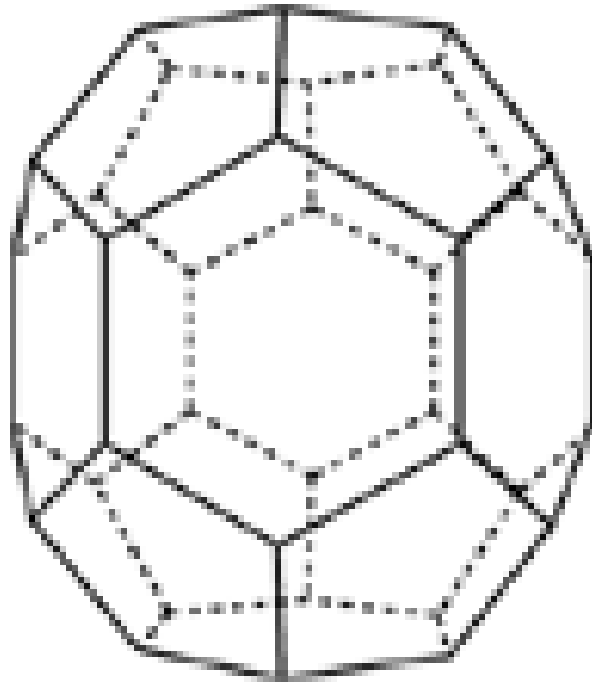
KEMIJSKI SASTAV

- 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”

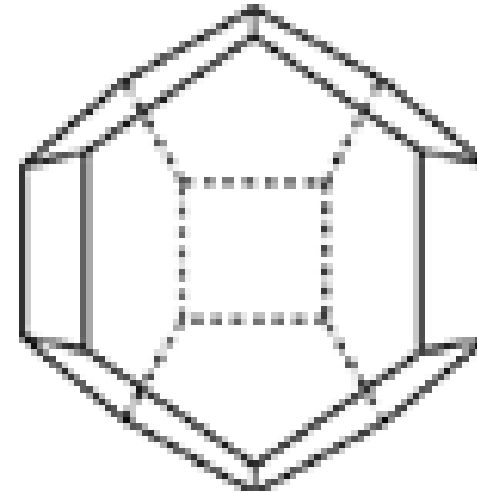


RGNF

DVIJE VRSTE “PRAZNINA” PRISUTNIH U STRUKTURI H



$5^{12}6^8$

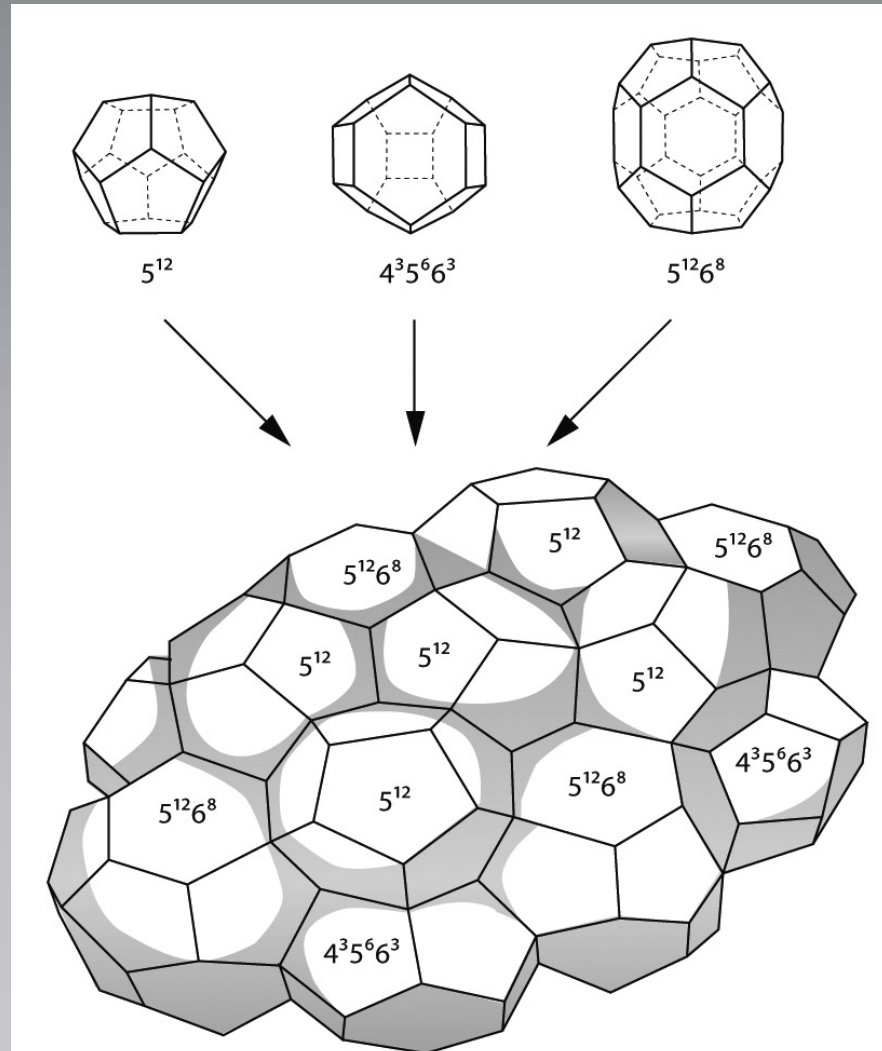


$4^35^66^3$



3D MODEL ŠUPLJINA I ORTOGONALNA SHEMA STRUKTURE H

RGNF

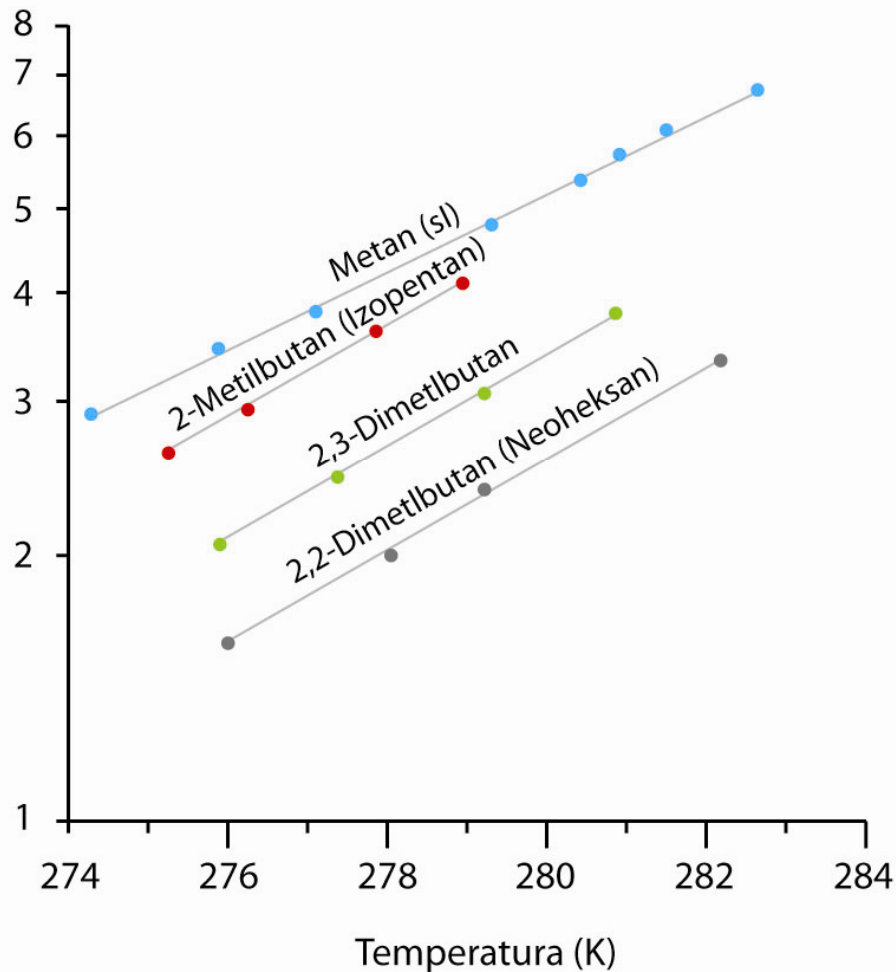




USPOREDBA FAZNIH DIJAGRAMA PLINSKIH HIDRATA STRUKTURE I I STRUKTURE H

RGNF

Tlak (MPa)



■ struktura I : CH₄
(Deaton i Frost, 1946)

■ struktura H : CH₄ + 2-Metilbutan
(Mehta i Sloan, 1993)

■ struktura H : CH₄ + 2,3-Dimetilbutan
(Mehta i Sloan, 1994)

■ struktura H : CH₄ + 2,2-Dimetilbutan
(Mehta i Sloan, 1994)



RGNF

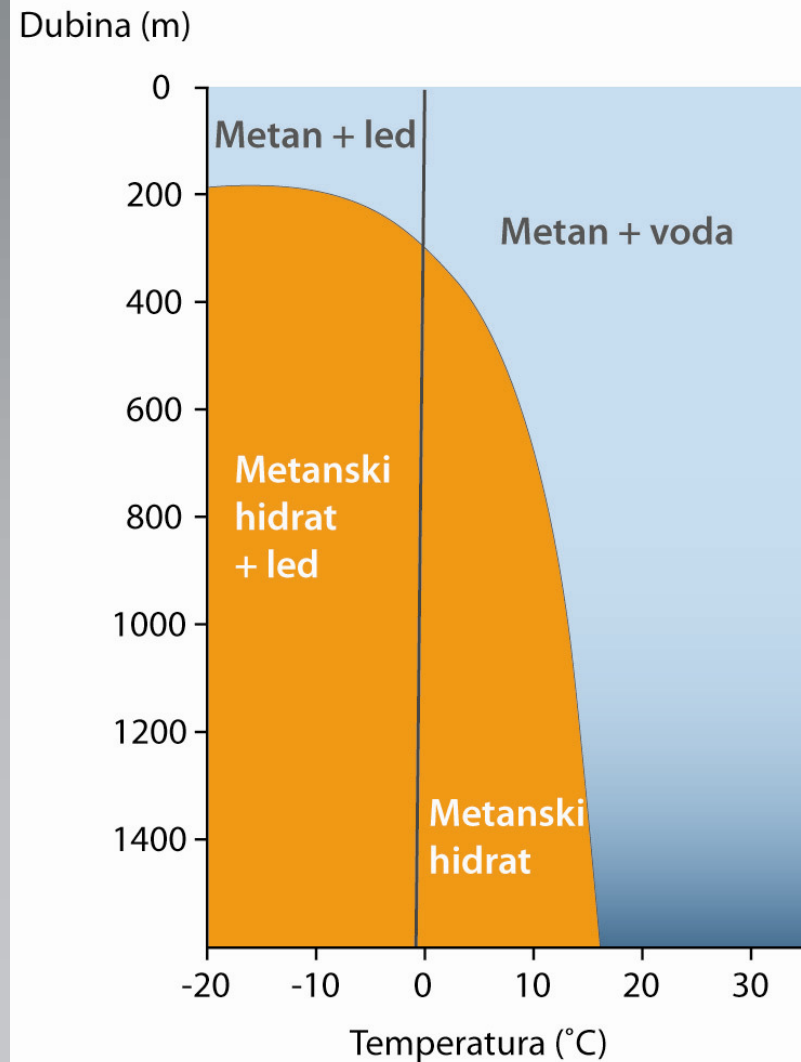
UVJETI STVARANJA

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



UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA

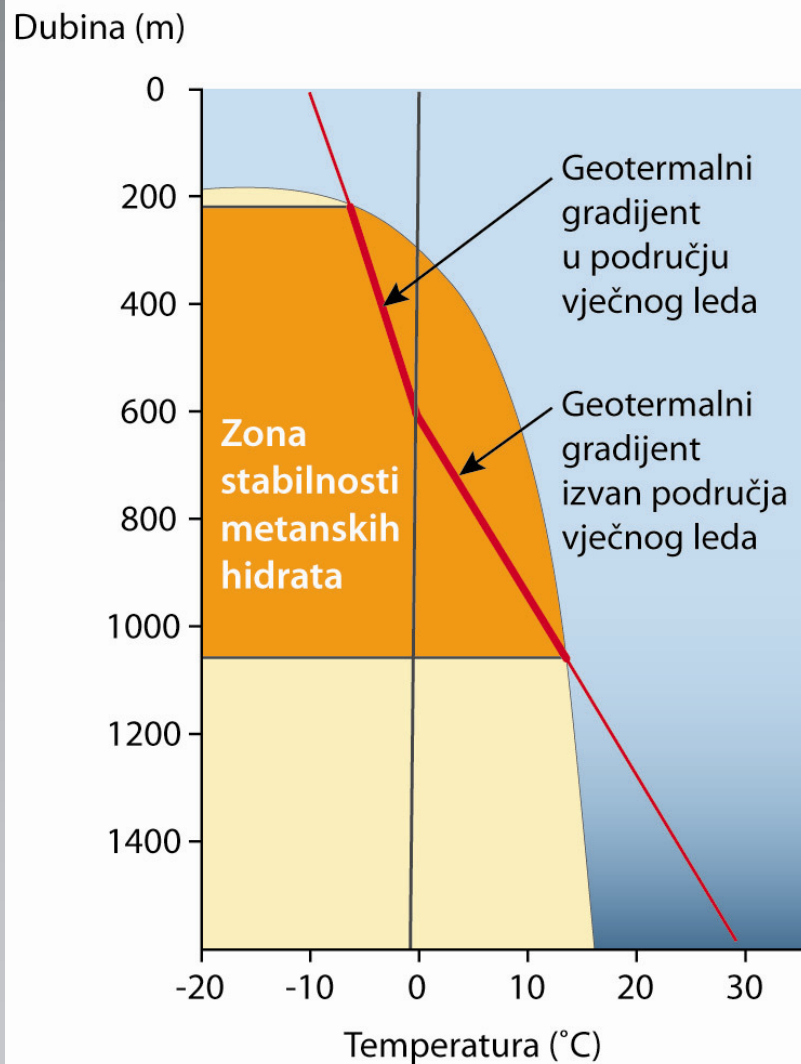
RGNF





UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA- PERMAFROST

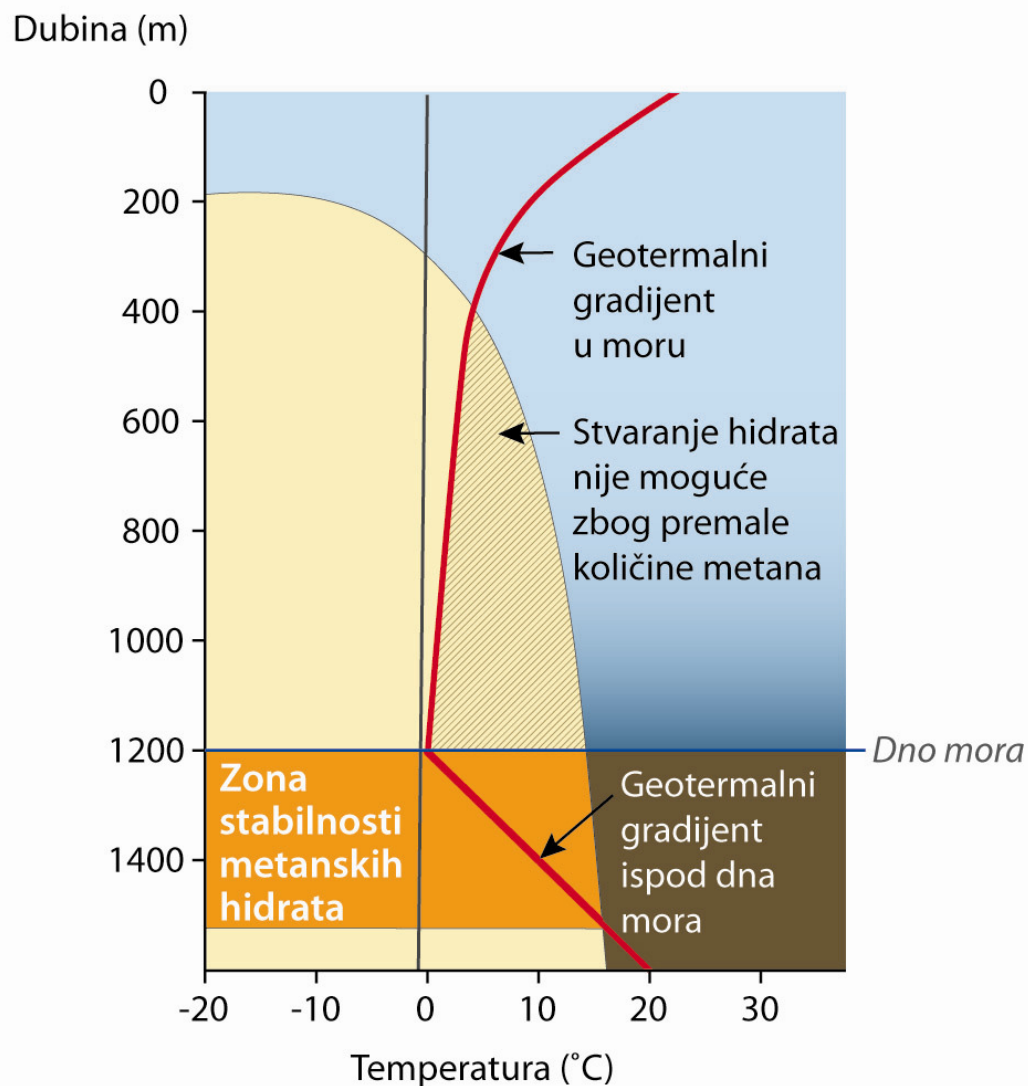
RGNF





UTJECAJ TLAKA I TEMPERATURE NA NASTANAK METANSKIH HIDRATA - OCEANSKA LEŽIŠTA

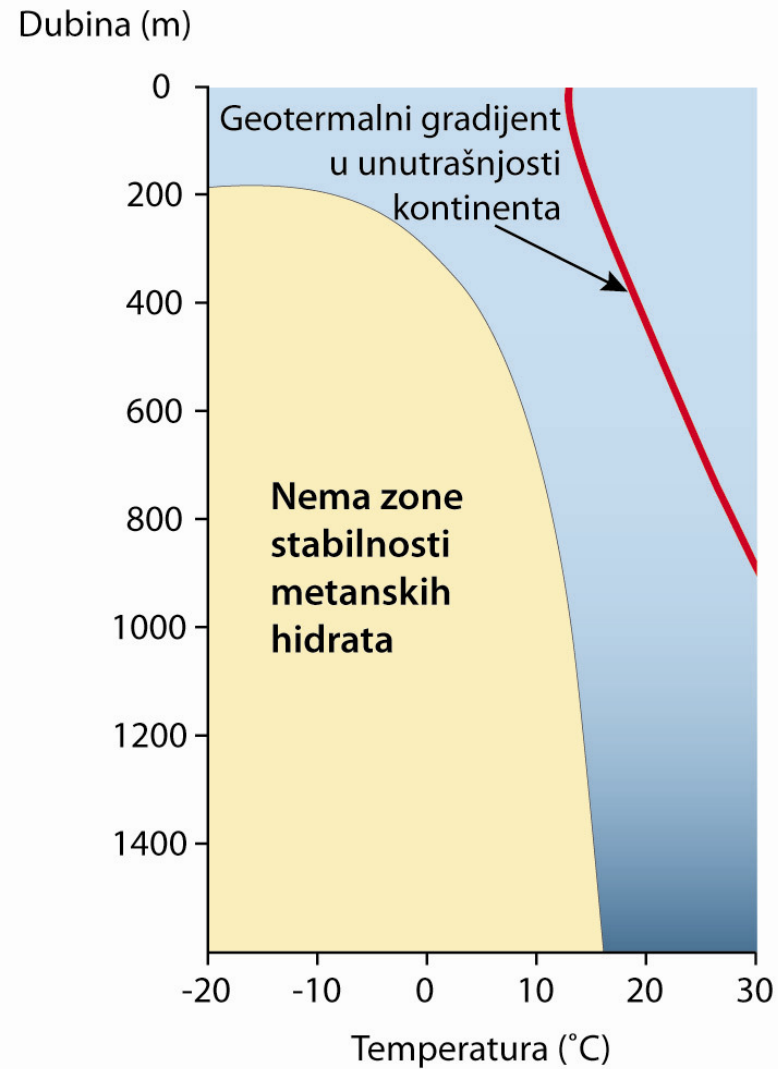
RGNF





FAZNI DIJAGRAM I ZONA STABILNOSTI METANSKIH HIDRATA U PODRUČJU UNUTRAŠNOSTI KONTINENTA

RGNF





RGNF

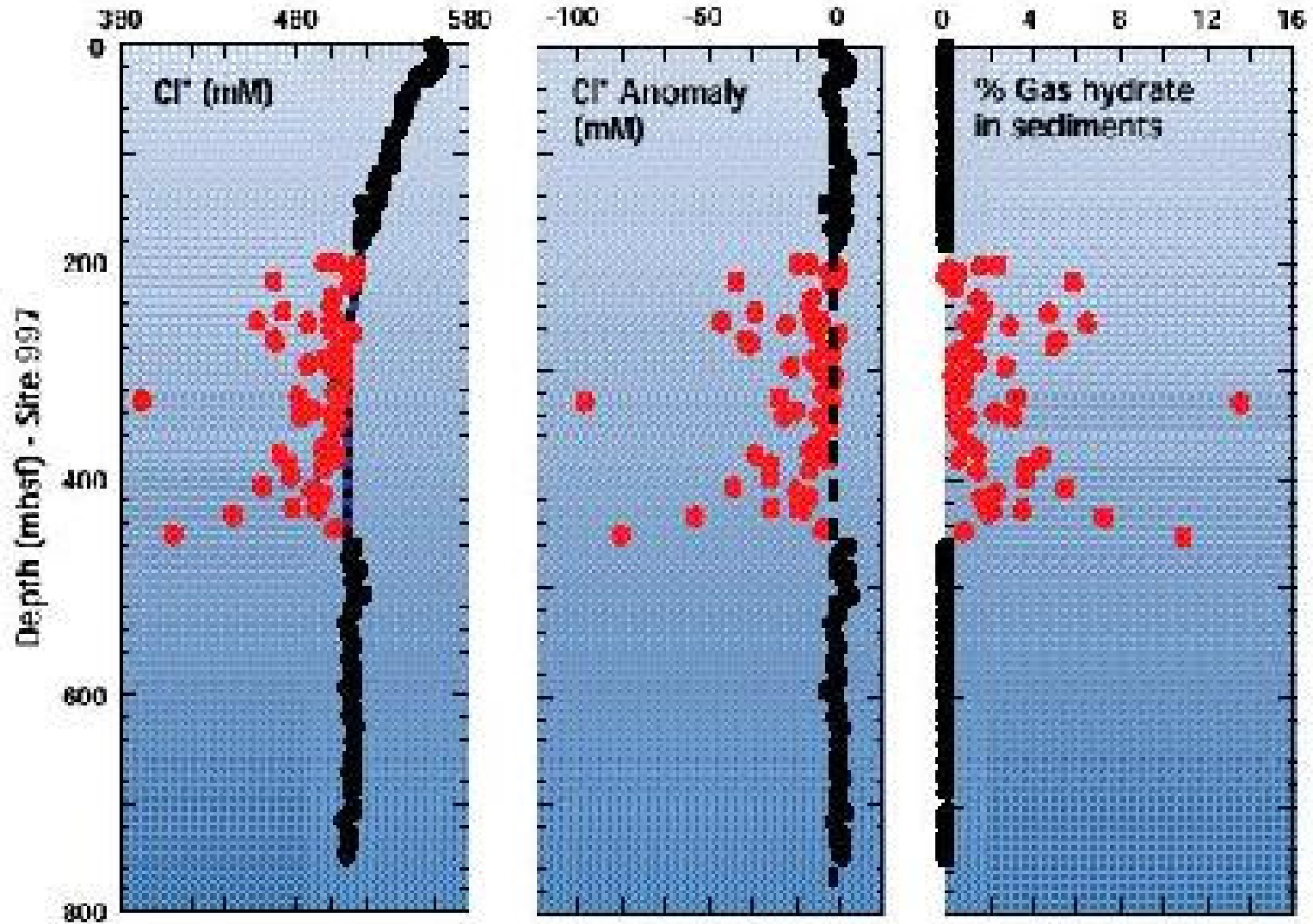
GEOKEMIJSKI UVJETI

- Za stabilnost hidrata bitan je sastav vode i plina
- Salinitet- veći salinitet ne pogoduje nastanku hidrata
- Prisustvo manje količine drugih prirodnih plinova (CO_2 , H_2S ili C_2H_6) povećava stabilnost hidrata



RGNF

UTJECAJ KONCENTRACIJE IONA KLORA NA POJAVU HIDRATA





RGNF

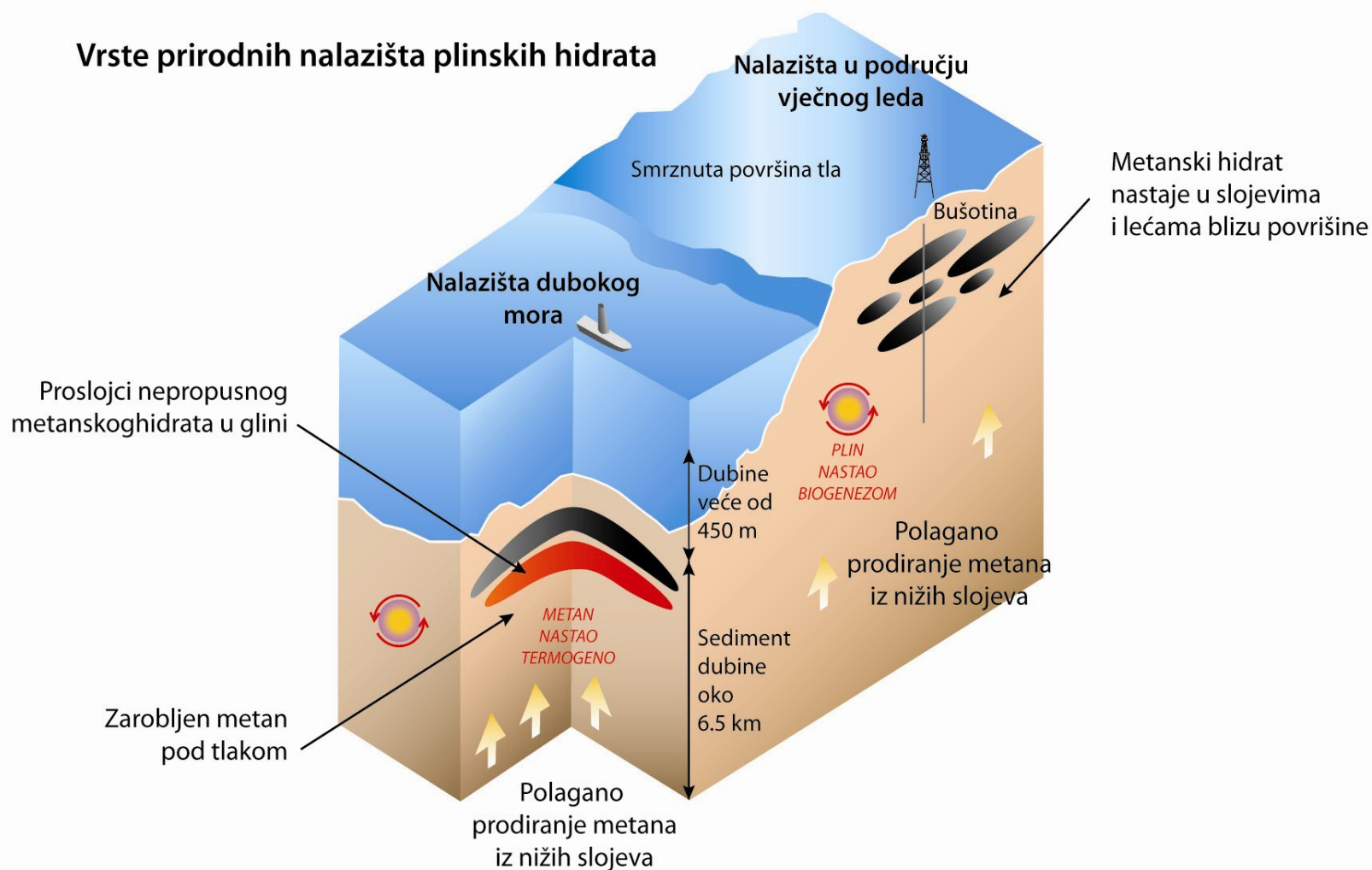
NAČINI STVARANJA

- 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

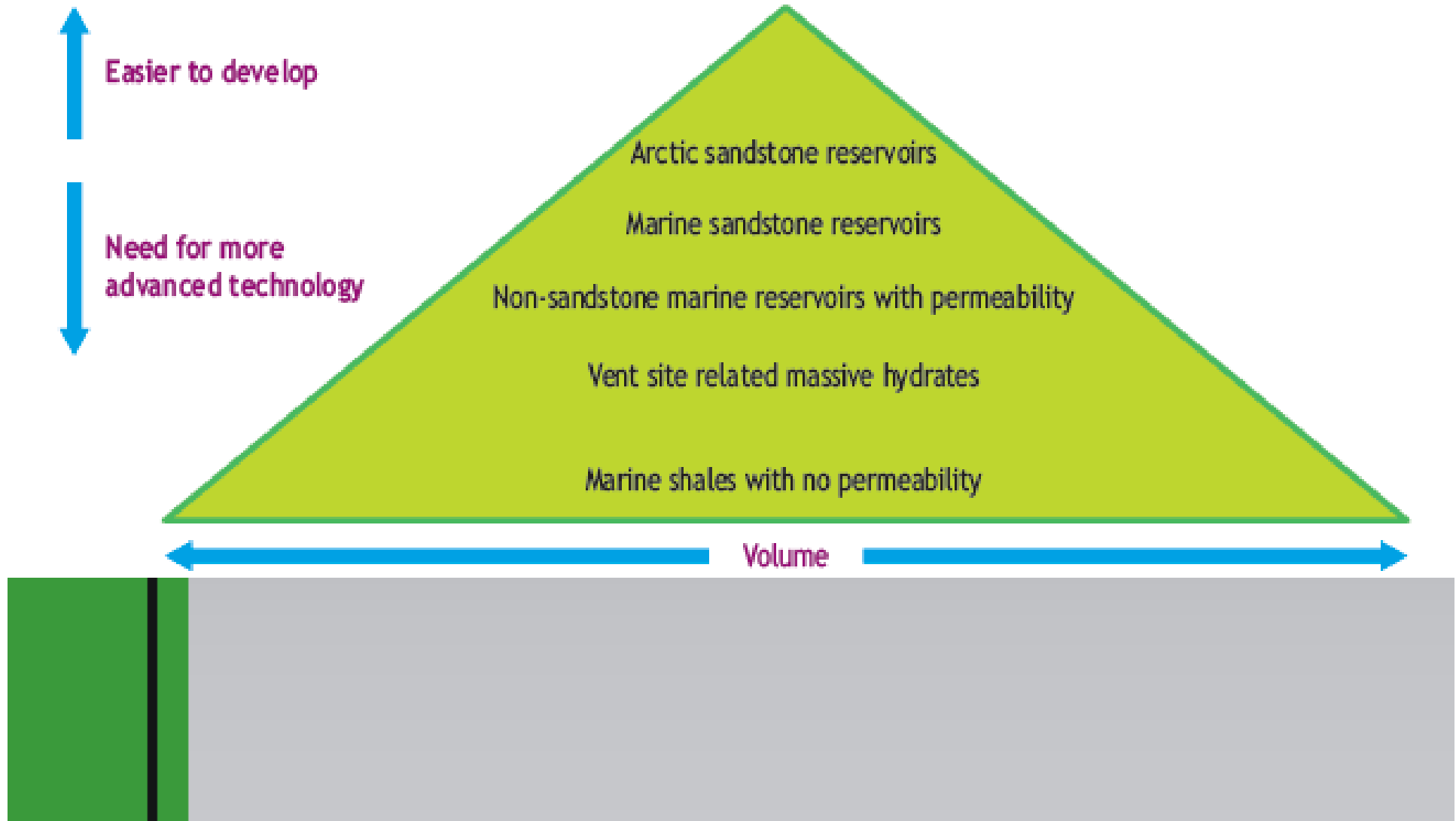
RGNF





VRSTE NALAZIŠTA METANSKIH HIDRATA

RGNF

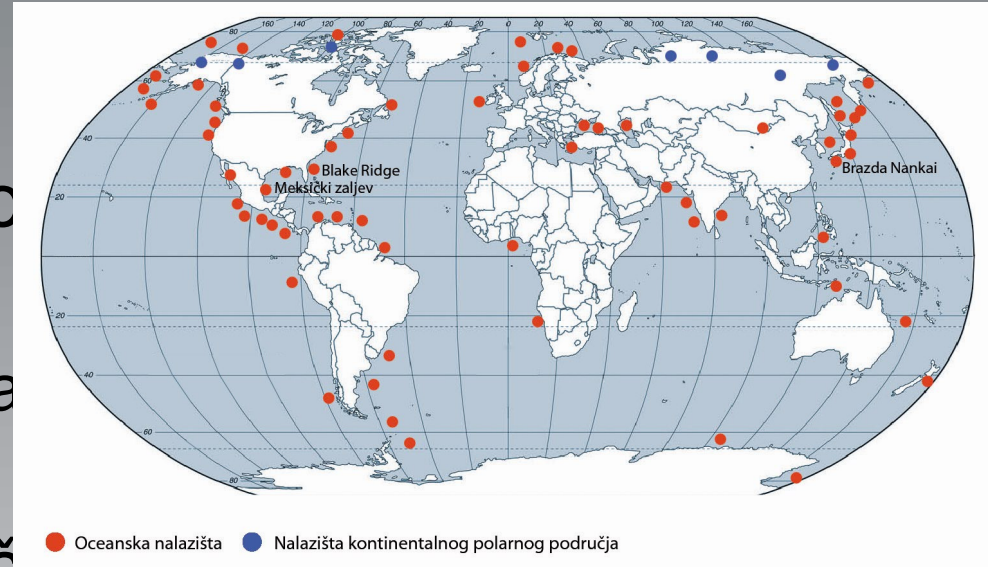




PRIRODNA NALAZIŠTA

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

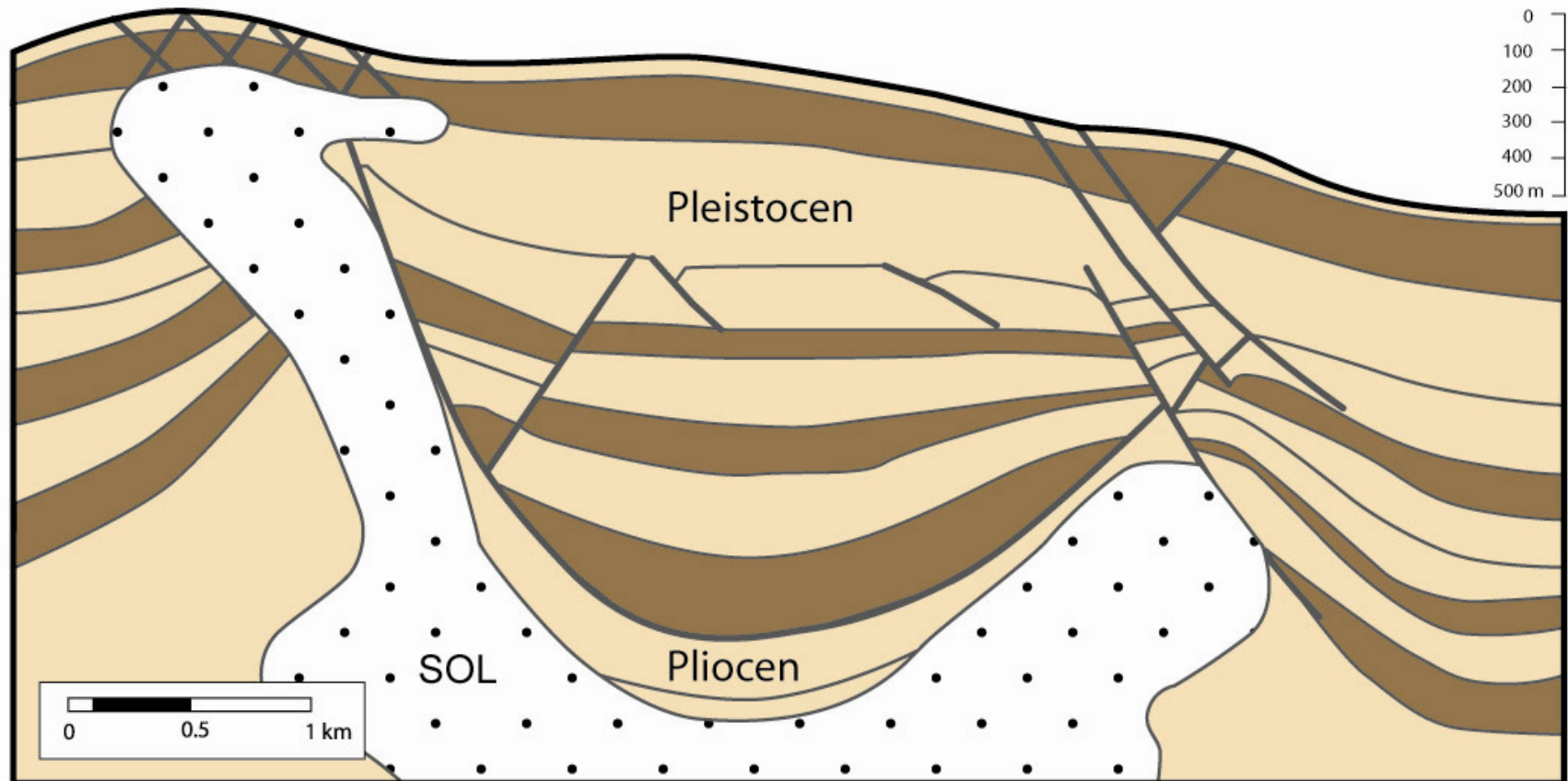
NESTABILNI PASIVNI KONTINENTALNI RUBOVI

- 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

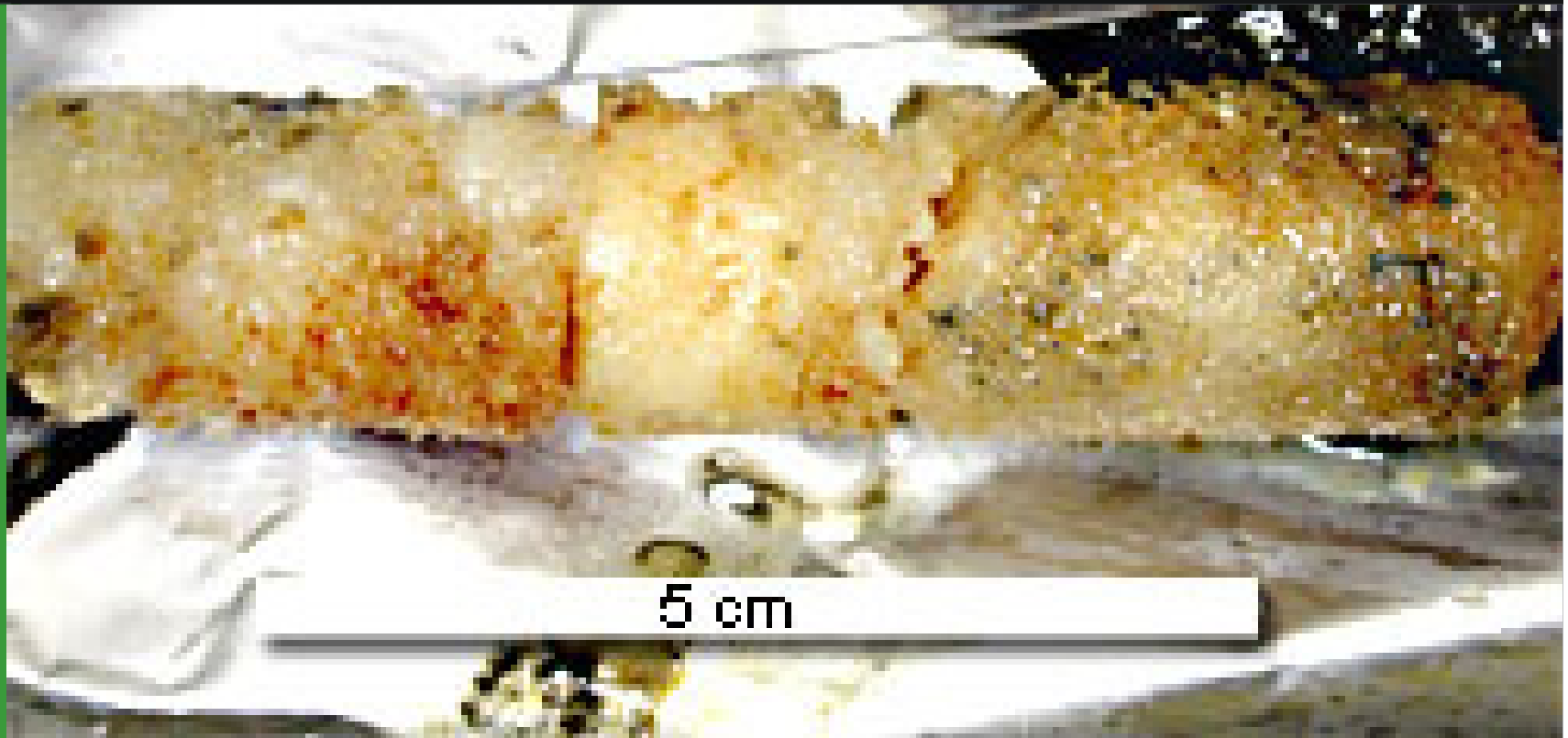
RGNF





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

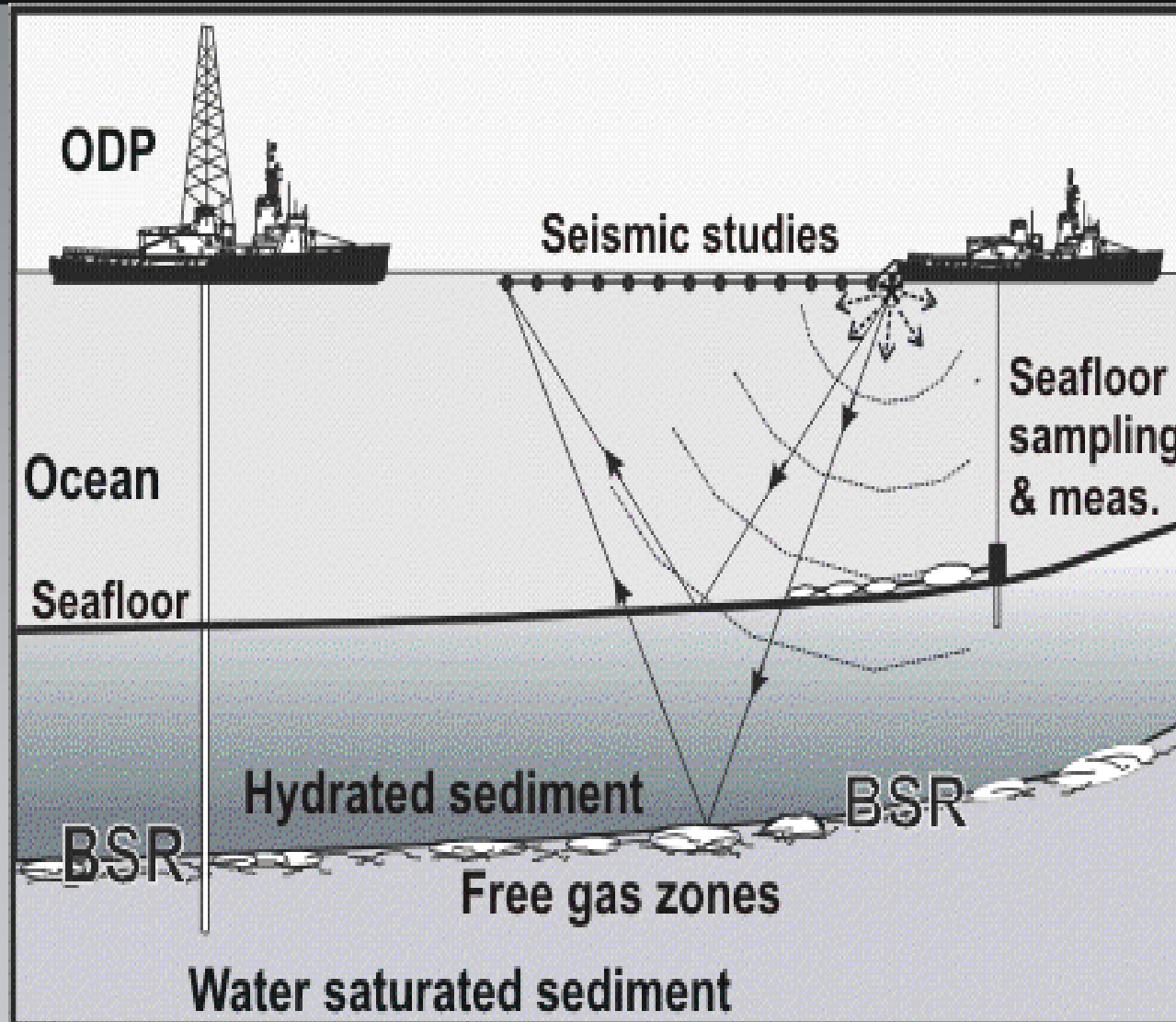
ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- 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

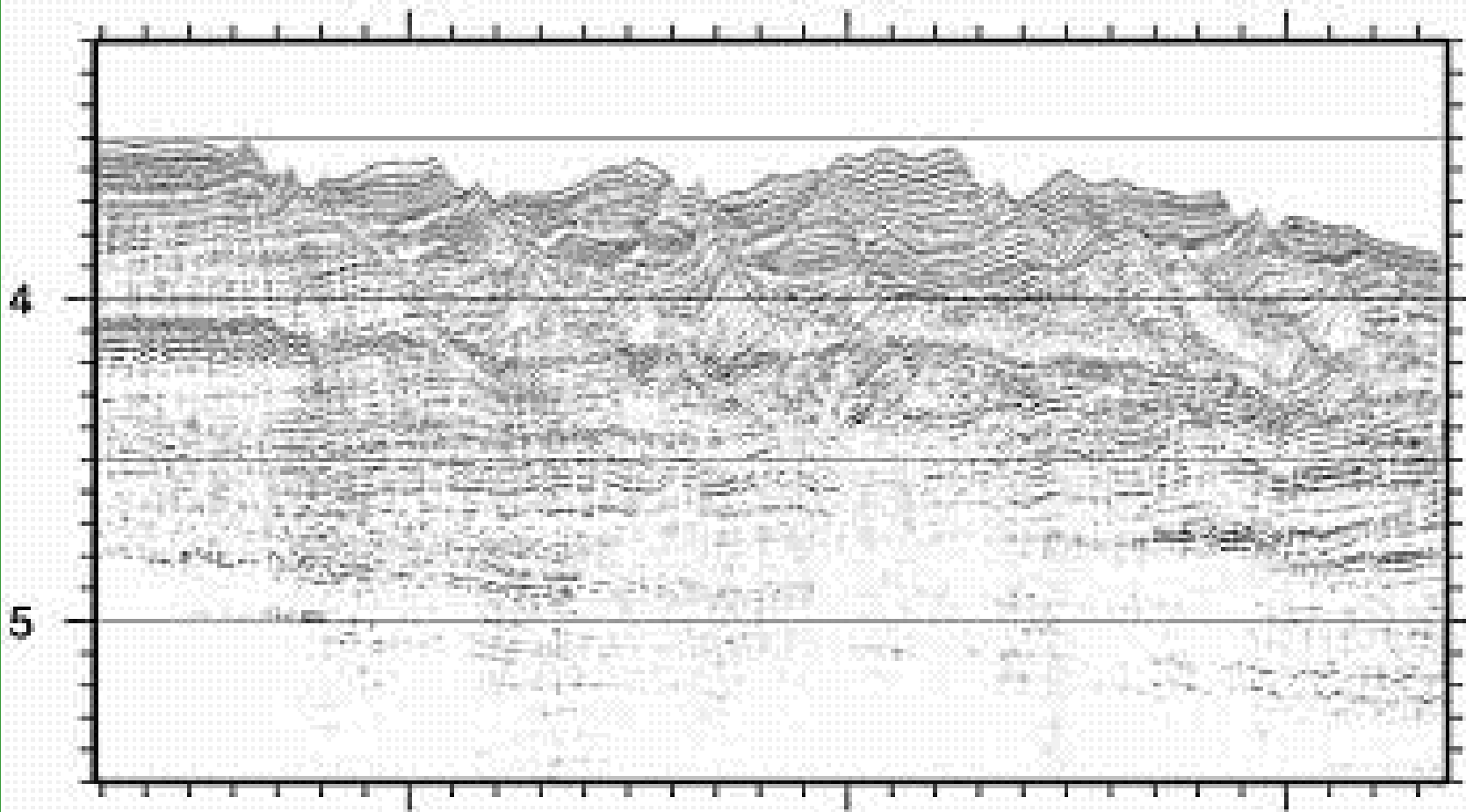
REZULTATI SEIZMIČKIH ISTRAŽIVANJA

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

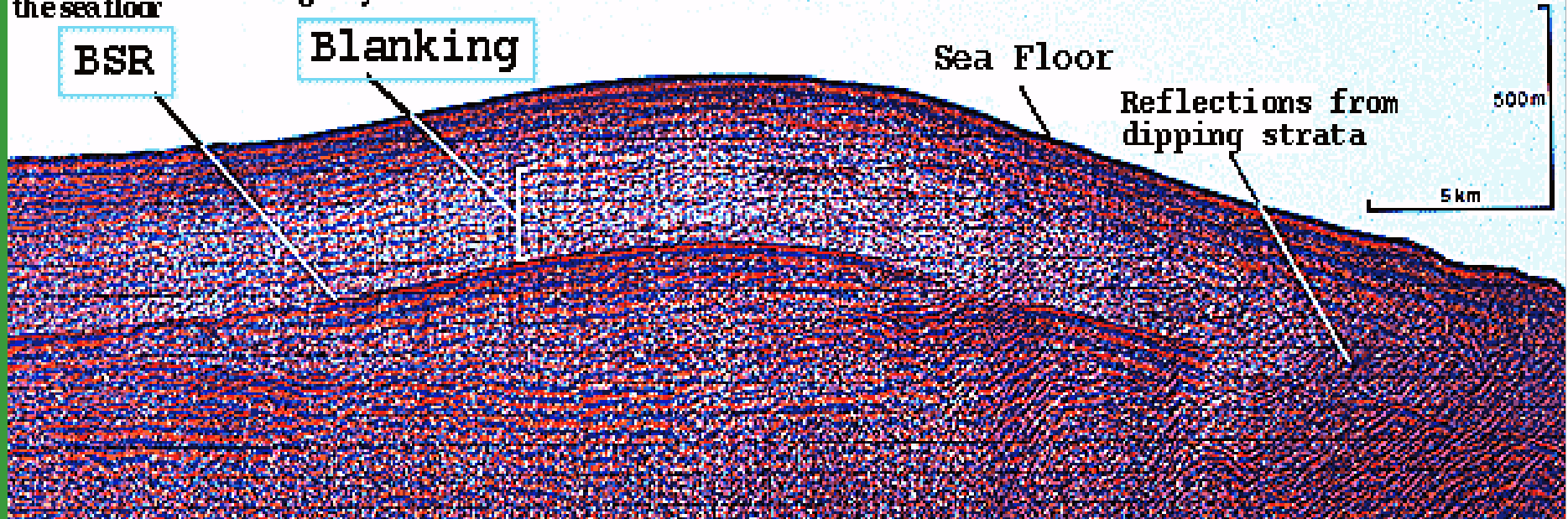
Blanking

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

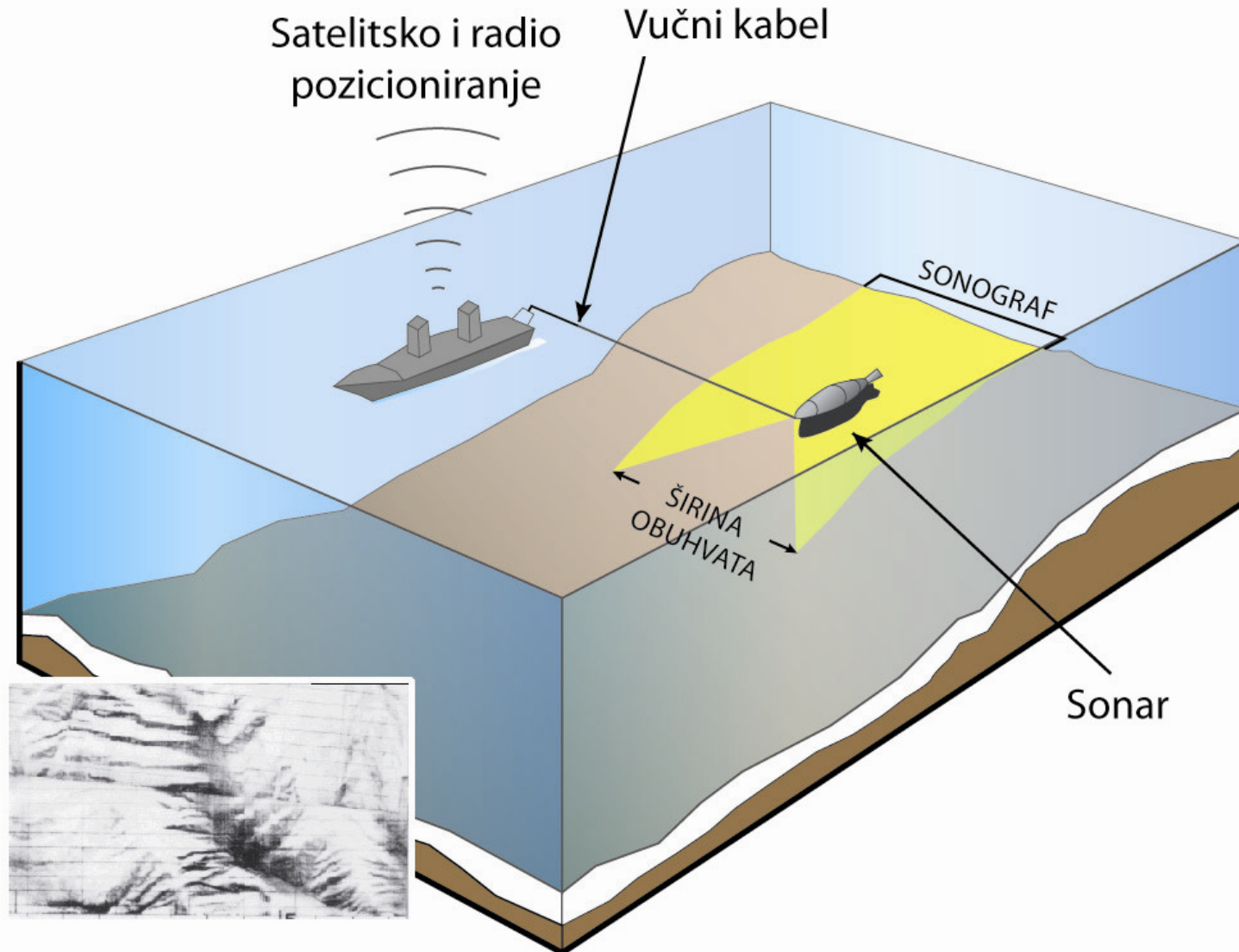
ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Sonarna istraživanja
 - Praćenje topografije dna mora-anomalije
 - Moguće indiciranje emisije 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

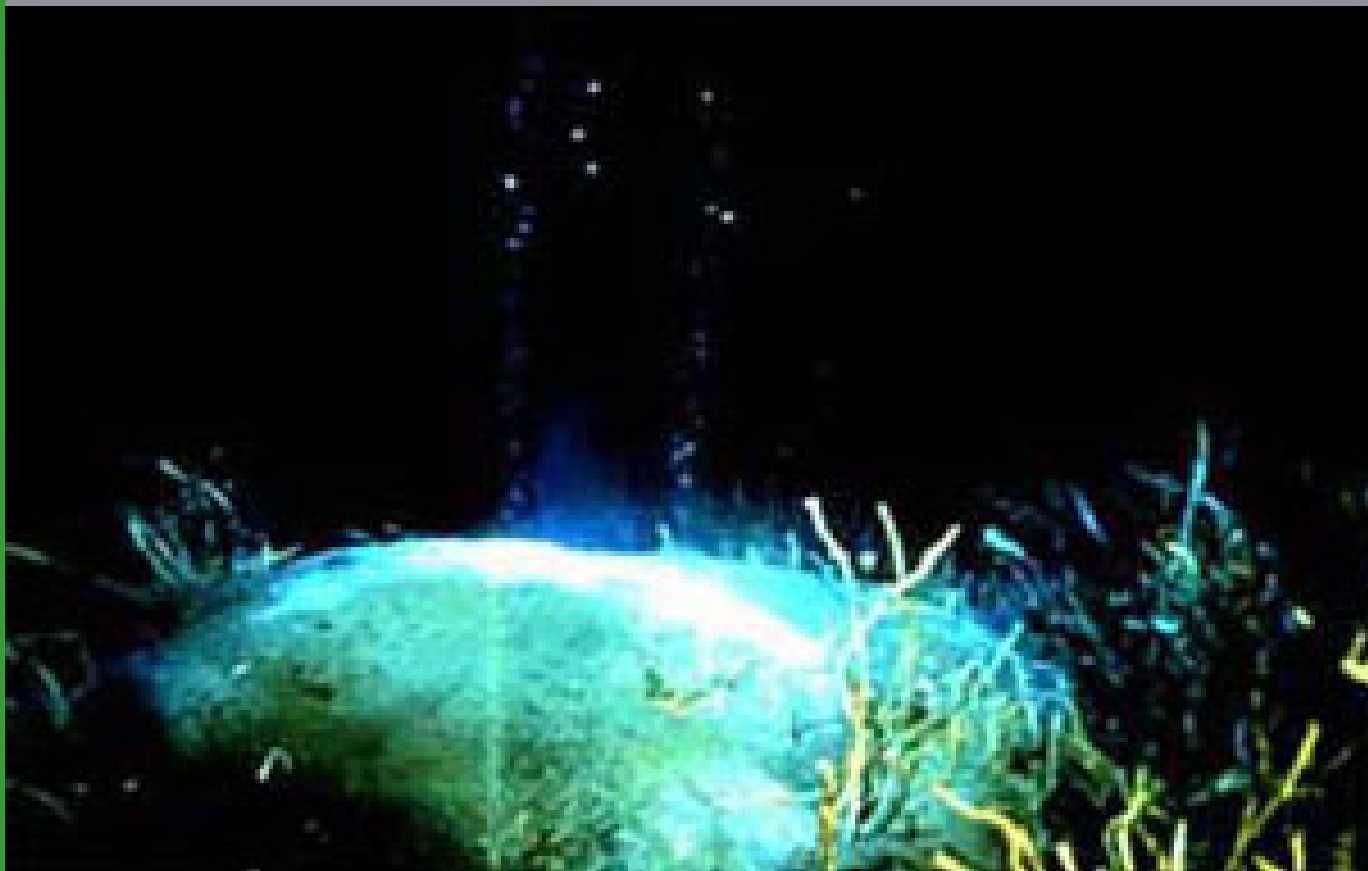
RGNF





OTPUŠTANJE METANA IZ IZDANAKA NA DNU OCEANA

RGNF





RGNF

ISTRAŽIVANJA HIDRATA

- Jezgrovanje
 - Najtočniji podaci o količinama metanskih hidrata



JEZGROVANJE POD TLAKOM

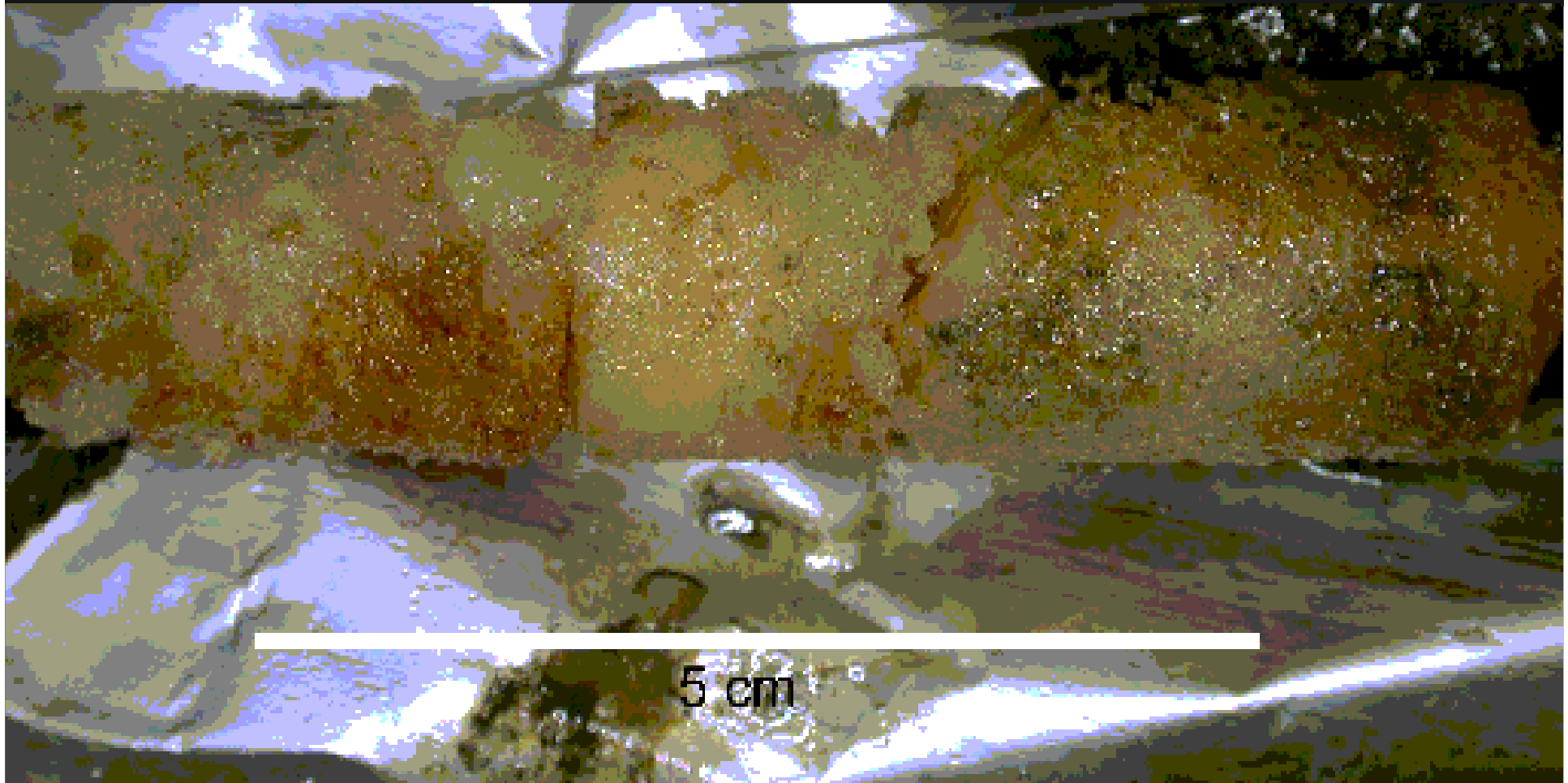
RGNF





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

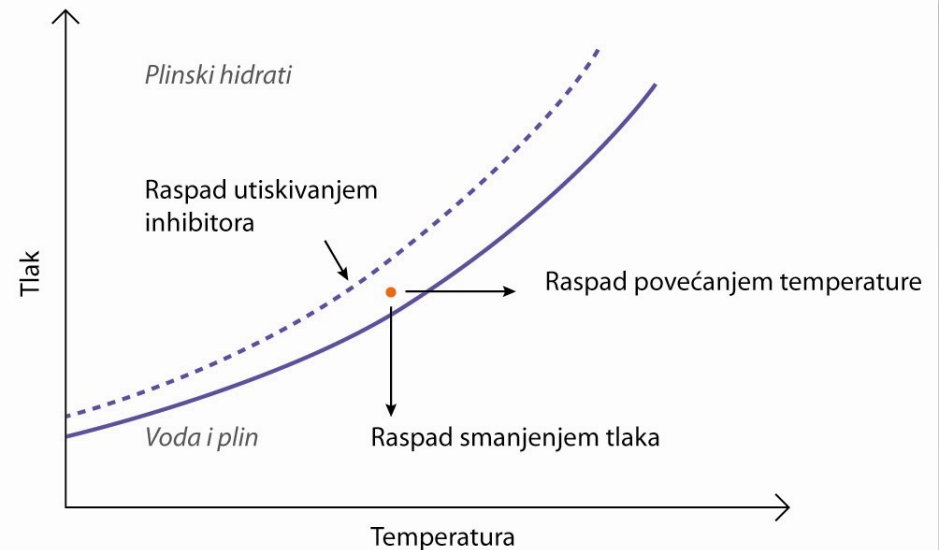
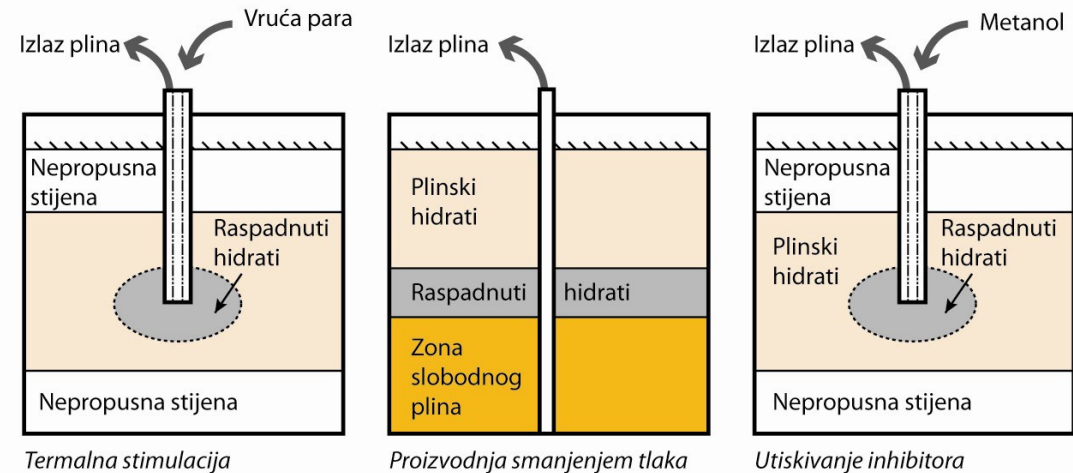
- Problemi:
 - Nekomercijalne rezerve na jednom području
 - Tehnologija proizvodnje
 - Stabilnost postrojenja
 - Promjene razine mora



RGNF

PROIZVODNJA METANA IZ METANSKIH HIDRATA

- Termalna stimulacija
- Smanjenje tlaka
- Utiskivanje fluida
 - inhibitori
 - CO₂

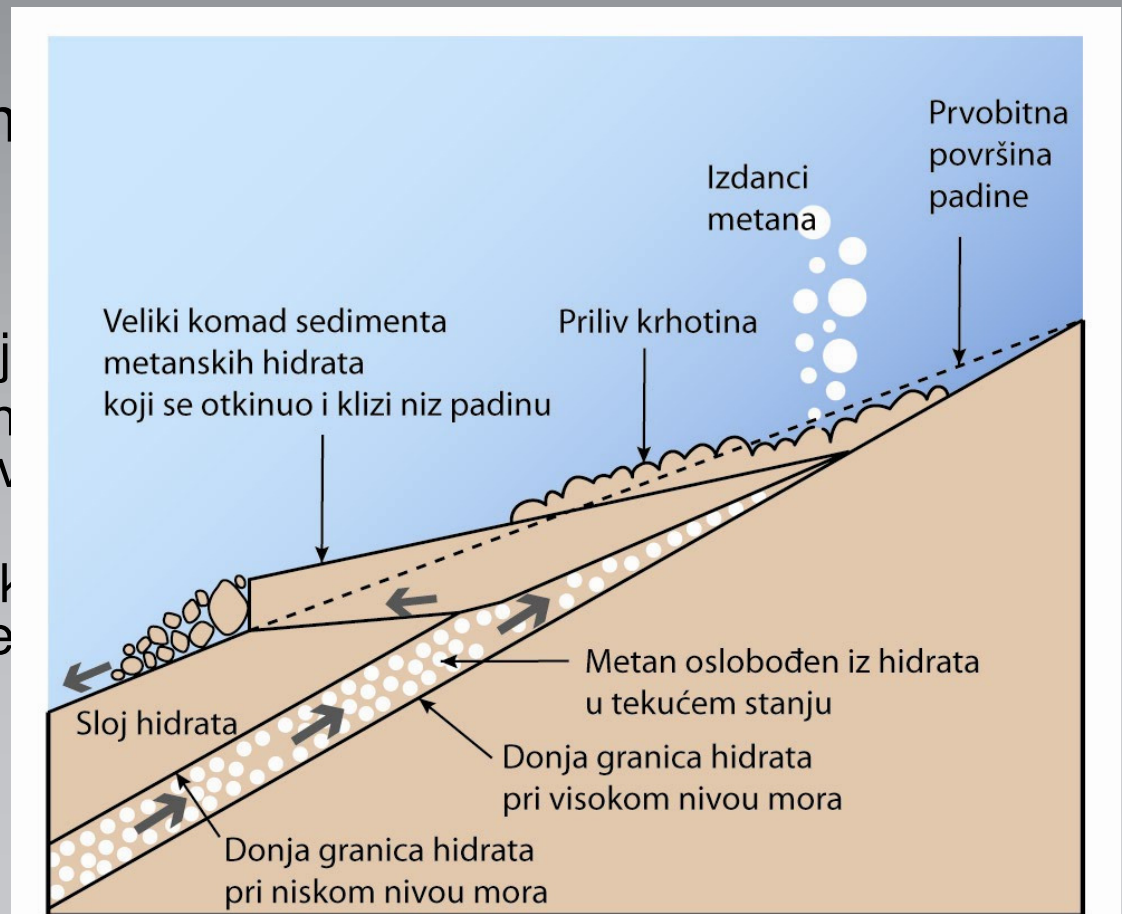




STABILNOST DNA MORA, STABILNOST KANALA BUŠOTINE I SIGURNOST PRILIKOM BUŠENJA

RGNF

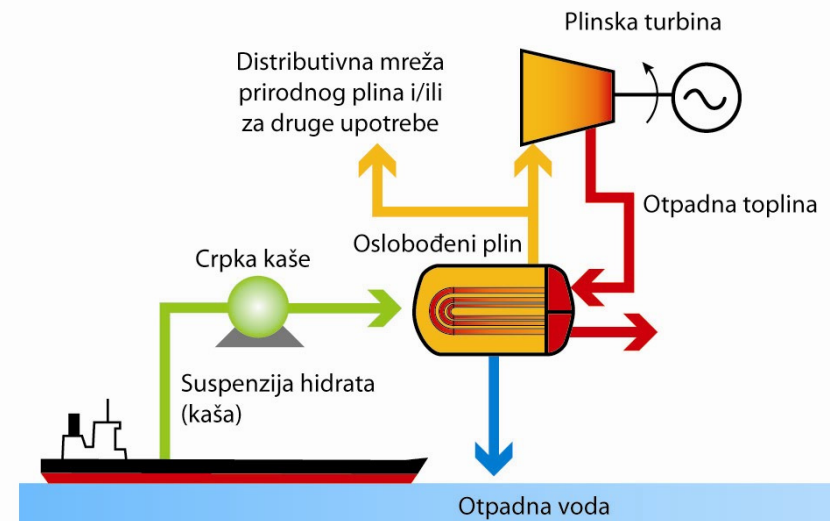
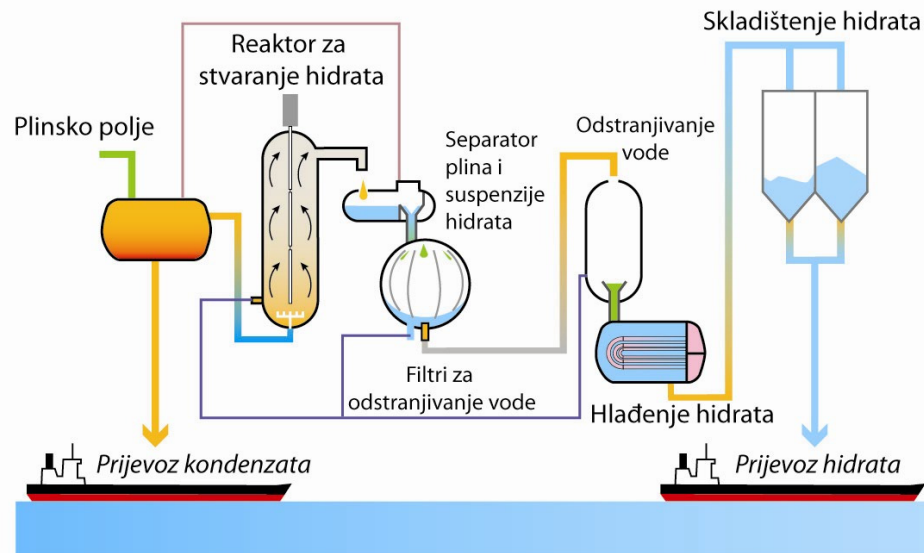
- Klizišta
- Problemi prilikom bušenja
 - Utjecaj na tlak i temperaturu u proizvodnom sloju
 - Promjene mehan. fizikalnih svojstava sedimenata
 - Promjene reološk. svojstava isplake





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