

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

GOSPODARENJE PLINOVIMA 1



Predavanje:

TRANSPORT I SKLADIŠTENJE PRIRODNOG PLINA

Doc. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar

Zagreb, 2010.



TRANSPORT PRIRODNOG PLINA

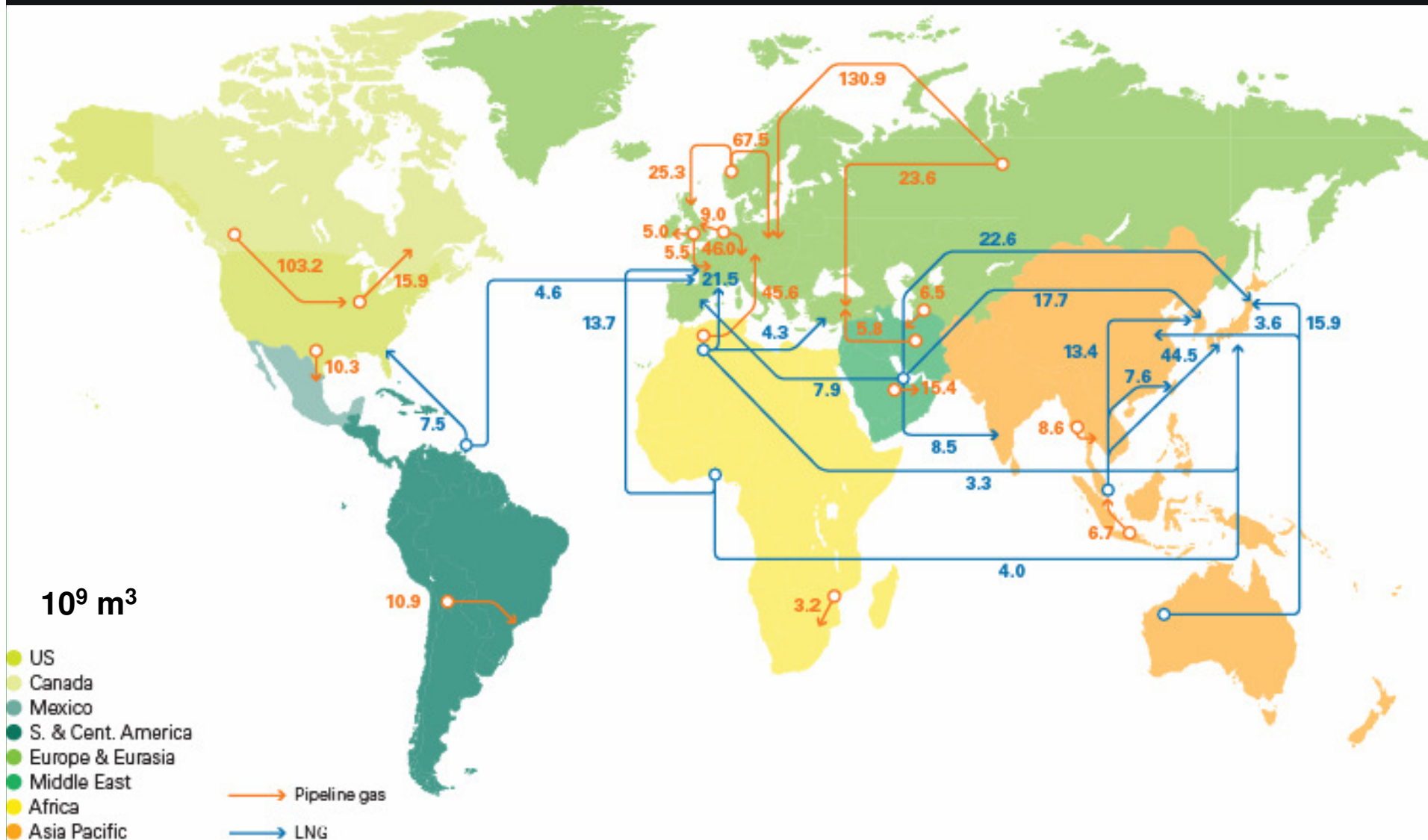
RGNF

- **PILINOVODI**
- **UPP (LNG)**
- **SPP (CNG)**
- Transport nakon kemijske transformacije
 - **GTS** (Gas to solid)
 - **GTP** (Gas to power)
 - **GTL** (Gas to liquids)
 - **GTC** (Gas to commodity)



GLAVNI TRANSPORTNI PRAVCI PRIRODNOG PLINA

RGNF





RGNF

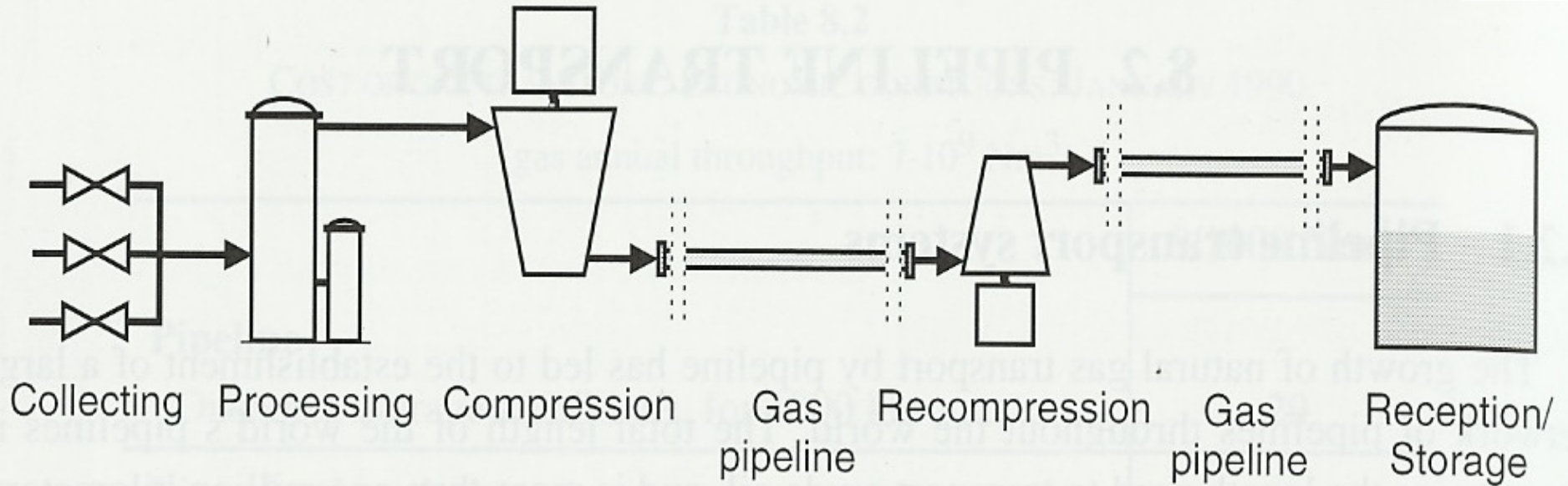
PLINOVODI

- Najjednostavniji oblik transporta – zahtjeva instalaciju cjevovoda za spajanje proizvodnih i prihvatnih mjesta
- Dugoročan transport
- Nefleksibilan transport
 - Jedna dolazna destinacija
 - Prekid proizvodnje i prihvatnog postrojenja u slučaju prekida rada plinovoda
- Razgranata mreža plinovoda u svijetu
 - Preko milijun km, $\frac{1}{4}$ u Europi, bez distributivne mreže
 - Dvostruko veća mreža plinovoda od mreže naftovoda
- Svjetski prosjek 20 000 novih km plinovoda godišnje – većinom transnacionalni
- Potrebna geopolitička stabilnost
- Podvodni plinovodi – prihvatljivi do 2000 km udaljenosti (kopneni 3000-4000 km) – razvoj tehnologije



SUSTAV TRANSPORTA PLINOVODIMA

RGNF





SUSTAV TRANSPORTA PLINOVODIMA

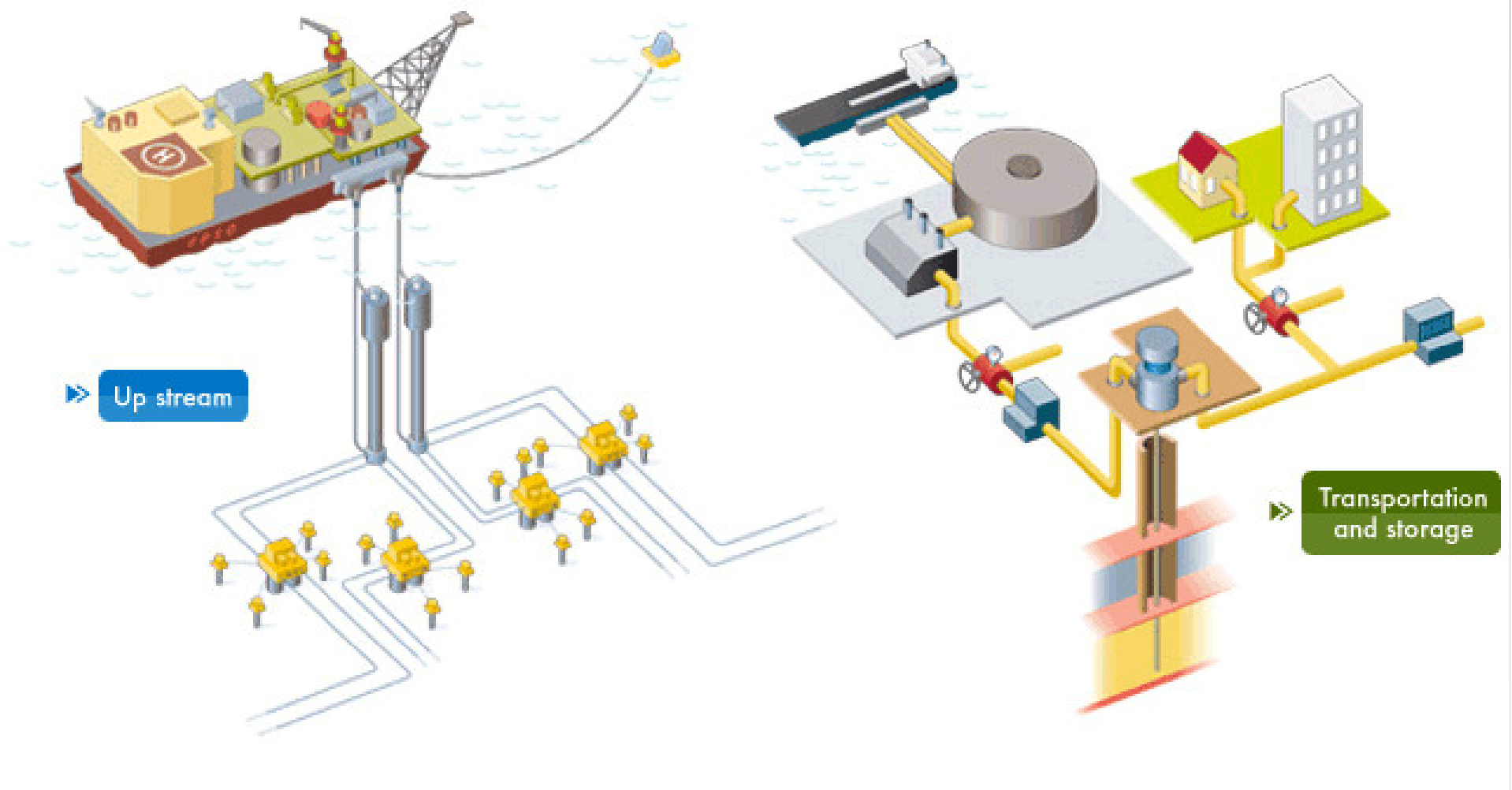
RGNF

- Sabiranje plina sa proizvodnih bušotina
- Priprema plina za transport
 - Separacija, dehidracija i moguće uklanjanje kiselih plinova
- Kompresorska stanica
 - Ukoliko je tlak ušća niži od tlaka potrebnog za transport plinovodom
- Plinovod
- Kompresorska stanica
 - Ukoliko su velike udaljenosti potrebna je ponovna kompresija radi pada tlaka
- Plinovod
- Prikvatna stanica
 - Dodatni tretman kako bi se plin prilagodio zahtjevima distribucijske mreže - odorizacija
- Skladištenje i transfer prema distribucijskoj mreži
- Distribucija



SUSTAV TRANSPORTA PLINA

RGNF

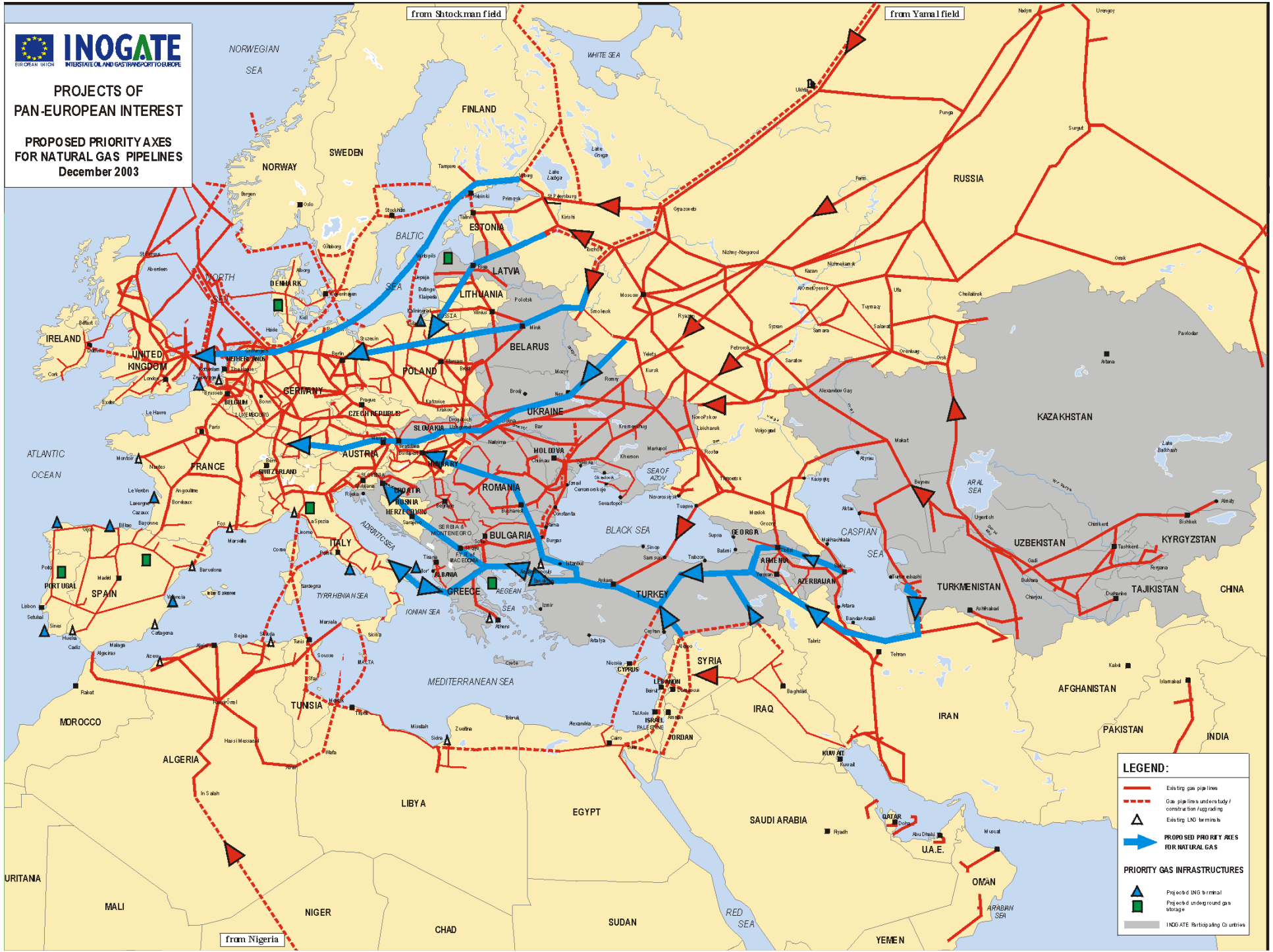




PROJECTS OF PAN-EUROPEAN INTEREST

PROPOSED PRIORITY AXES FOR NATURAL GAS PIPELINES

December 2003



LEGEND:

- Existing gas pipelines
- Gas pipelines under study / construction (dotted red line)
- Existing LNG terminals
- PROPOSED PRIORITY AXES FOR NATURAL GAS**

PRIORITY GAS INFRASTRUCTURES

- Projected LNG terminal
- Projected underground gas storage
- INOGATE Participating Countries



RGNF

VRSTE PLINOVODA

MOGUĆE PODJELE:

- prema radnom tlaku
- prema namjeni
- prema smještaju, odnosno načinu polaganja

1. PREMA NAJVEĆEM DOPUŠTENOM RADNOM TLAKU:

a) NISKOTLAČNI - do najviše 100 mbar (0,1 bar)

b) SREDNJOTLAČNI:

- područje A: od 0,1 do 1,0 bar
- područje B: od 1,0 do 4,0 bar

c) VISOKOTLAČNI (osim za prijenos plina služe i za njegovo skladištenje):

- područje A: od 4,0 do 16,0 bar
- područje B: od 16,0 do 63,0 bar
- područje C: od 63,0 do 100,0 bar.



RGNF

VRSTE PLINOVODA

2. PREMA NAMJENI

a) MAGISTRALNI

- VT plinovodi od izvora do velikih potrošača, tj. do primopredajnih mjerno-regulacijskih stanica (PPMRS),
- opskrba plinom većih ili manjih plinoopskrbnih tvrtki i velikih potrošača

b) RAZVODNI ILI DISTRIBUCIJSKI

- **PRIMARNI:** VT plinovodi za prijenos plina od PPMRS-a do većih primarnih regulacijskih stanica (radni tlak veći od 4 bar)
- **SEKUNDARNI:** ST plinovodi za prijenos i opskrbu plinom od PPMRS-a ili primarnih RS-a do industrijskih i ostalih potrošača ili do tercijalne opskrbe mreže, odnosno sekundarne RS ili plinskog regulacijskog uređaja (radni tlak do 4 bar)
- **TERCIJARNI:** ST i NT plinovodi i priključci namijenjeni za opskrbu (distribuciju) plinom krajnjih potrošača (radni tlak za ST je do 4 bar, a za NT plinovode do 100 mbar).



RGNF

VRSTE PLINOVODA

3. PREMA SMJEŠTAJU U PROSTORU, ODNOSNO MJESTU POLAGANJA

- PODZEMNI
- NADZEMNI
- PODMORSKI ILI PODVODNI.

IZVAN GRAĐEVINA SE PLINOVODI NA KOPNU POLAŽU NA DVA OSNOVNA NAČINA

- PODZEMNO (u najvećem broju slučajeva)
- NADZEMNO (rijetko, odnosno u posebnim slučajevima).



PODZEMNI PLINOVODI

- Polažu se u tlo (zemlju), na dubinu ispod granice njegovog smržavanja – sigurnosni razlozi.
- Prosječna dubina, mjerena od gornjeg ruba cijevi, iznosi:
 - za magistralne VT plinovode: 0,8 - 1,5 m
 - za VT i ST plinovode: 0,8 - 1,5 m
 - za NT plinovode: 0,8 - 1,3 m
 - za kućne priključke: 0,6 - 1,0 m.
- Iznimno dubina polaganja može biti manja - kraće dionice uz odgovarajuću zaštitu.
- Najveća dubina polaganja PE plinovoda- 2m



RGNF

PODZEMNI PLINOVODI

- Prijelazi ispod željezničkih pruga, važnijih cesta i prolazi kroz zidove - bušenje i umetanje plinske cijevi u zaštitnu cijev i brtvljenje međuprostora.
- Polaganje plinovoda –
 - važnost izbora trase i sigurnosnih udaljenosti od nadzemnih građevina, podzemnih objekata i komunalne instalacije,
 - važnost kategorizacija zemljišta i tipa uređene javne površine te dostupnost plinovoda za vrijeme uporabe i održavanja.
- Polaganje - u iskopani rov, na pripremljenu posteljicu od finog pijeska najmanje debljine od 5 do 10 cm, a ovisno o sastavu tla, moguće je i izravno polaganje u rov, bez pijeska.
- Nakon polaganja - zatrpavanje slojem finog pijeska ili čiste zemlje u najmanjoj debljini 10 cm te u daljnjim slojevima po 30 cm uz propisno nabijanje.³



RGNF



**PODZEMNI
PLINOVOD**



RGNF

NADZEMNI PLINOVODI

- Uglavnom u industrijskim postrojenjima te pri prijelazu preko rijeka i vodotoka (po vlastitim mosnim konstrukcijama ili uz postojeće mostove).
- U pravilu se izvode od čeličnih cijevi i moraju biti obojani s dva sloja temeljne i dva sloja uljane boje, a često se zaštićuju i toplinskom izolacijom.



RGNF



**NADZEMNI
PLINOVOD**



DIZAJNIRANJE PLINOVODA

RGNF

- zadani promjer
 - fiksni maksimalni tlak
 - faktor sigurnosti
- } proračun debljine stjenke
- Veliki promjer plinovoda se zavaruju (do 1,42 m)
 - Napredne tehnike zavarivanja – mogućnost plinovoda promjera do 2,54 m



RGNF

ZAŠTITA PLINOVODA OD KOROZIJE

- **KOROZIJA** –kemijski, fizikalni i biološki utjecaji
 - **UNUTARNJI ČIMBENICI**
 - materijal, konstrukcija, naprezanja
 - **VANJSKI ČIMBENICI**
 - agresivni sastojci, pH, p, t, vlažnost, radijacija, el. Naboj, vibracije, elektromag. zračenje, mikroorganizmi
- Najčešće se javlja elektrokemijska korozija
- **POSljedICE KOROZIJE:**
 - gubitak plina iz sustava,
 - požar ili eksplozija
 - opasnost za ljude
 - ekološke štete
 - materijalne štete
 - gubitak povjerenja korisnika

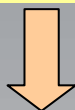


ZAŠTITA PLINOVODA OD KOROZIJE

RGNF

ANTI-KOROZIVNA ZAŠTITA

AKTIVNA



**KATODNA
ZAŠTITA**



- vanjski izvor struje
- umjetno stvoreni galvanski članak

PASIVNA

izolacijsko oblaganje
unutarnje i vanjske
stjenke cjevovoda



UNUTARNJA

smanjenje
hrapavosti
stjenke
(premazi,
lakovi,
smole)

VANJSKA

PVC trake,
PE obloge



ZAŠTITA OD KOROZIJE

RGNF





VANJSKA ZAŠTITA STIJENKE

RGNF



Courtesy of National Grid



RGNF

KOMPRESORSKE STANICE

- Kod većih duljina plinovoda
- **Primjer:** Yamburg-Uzhgorod (CIS)
 - 4605 km,
 - promjer 1,42 m
 - 38 kompresorskih stanica
- Različiti tipovi kompresora
- Različiti pokretački sustavi – el. motori, plinski motori, pl. turbine



RGNF

OPREMA I OBJEKTI PLINOVODA

- **SAKUPLJAČI KONDENZATA**
 - na najnižim točkama
 - sakupljanje vode i tekućih CH
- **ZAPORNI ORGANI**
 - mogućnost zatvaranja određene sekcije ili cijelog plinovoda
- **ODZRAČNICI**
 - ispuštanje zraka pri inicijalnom ili ponovnom punjenju plinovoda
 - ispuštanje plina radi kvara, popravka ili sigurnosnih zahtjeva
- **ZAŠTITNE CIJEVI**
 - zaštita cjevovoda pri prijelazu ž. pruga, cesta, vodotokova, itd
- **BLOK STANICE**
 - ventili za zatvaranje plinovoda u slučaju oštećenja i naglog pada tlaka
- **STANICE KATODNE ZAŠTITE**
 - Eliminacija korozivskih procesa



- **ODRŽAVANJE SUSTAVA –**
 - **PIGGING** - kod višefaznog protoka
 - nadzor nad dijelovima sustava
 - sprečavanje akumuliranja vode, kondenzata ili čvrstih čestica na najnižim točkama
- **MJERENJE PROTOKA**
 - Komercijalno mjerenje količina plina





RGNF

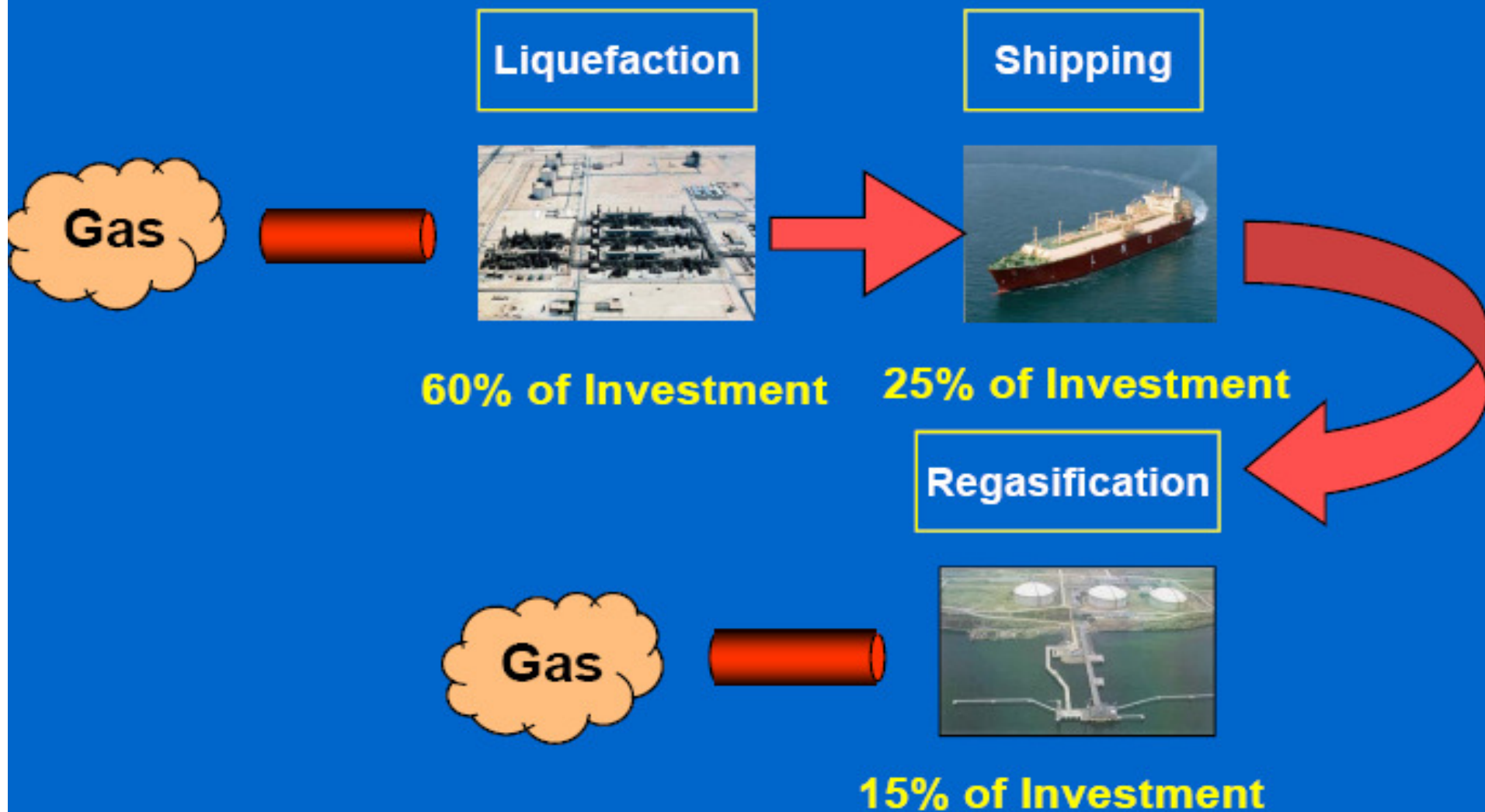
UPP (LNG)

- Prirodni plin kojemu su promijenjena fizikalna svojstva
 - prirodni plin se hladi na cca. -162°C
 - tekuće stanje u kojemu plin zauzima cca. 600 puta manji volumen nego pri atmosferskim uvjetima
- **KOMPLEKSNA I KAPITALNO INTENZIVNA TEHNOLOGIJA TRANSPORTA UPP-a**
 - Postrojenje za proizvodnju UPP-a – **UKAPLJIVANJE**
 - **METANJERI** – brodovi za transport UPP-a
 - Prihvatni terminal – **UPLINJAVANJE**
 - **SPREMNICI** – na odlaznom i prihvatnom terminalu
- **EKONOMSKI PRIHVATLJIVA TEHNOLOGIJA**
 - kod većih rezervi i izvoznih količina prirodnog plina
 - mogućnost proizvodnje UPP-a iz ležišta na kopnu kao i na moru



UPP TEHNOLOŠKI LANAC

RGNF





SPP (CNG)

- Stlačeni prirodni plin je plin pod visokim tlakom, a tipični rasponi tlakova su:
 - 124 bar (1800 psi) za plin bogat tekućim ugljikovodicim (*engl. rich gas*)
 - do 248 bara (3600 psi) za suhi plin (*eng lean gas*).
- Učinkovit način transporta na malim udaljenostima.
- Privođenje proizvodnji manjih plinskih polja s manjim proizvodnim kapacitetima ($\sim 3,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$).
- Ekonomski konkurentno u odnosu na plinovod ili UPP kod ležišta s izvanbilančnim rezervama (30% svjetskih rezervi)
- Korištenje u prometu kao alternativa benzinu i dieselu



TEHNOLOŠKI LANAC SPP-a

RGNF

- Proizvodnja i postrojenje za obradu plina
- Postrojenje za stlačivanje
- Hlađenje i utovar
- Transport – brodovima
- Prihvatni terminal
- Skladišni prostor (ako se brod ne koristi kao skladište)
- Distributivni sustav

CNG lanac



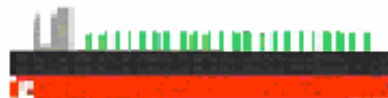
PROIZVODNJA



DEHIDRACIJSKO
POSTROJENJE



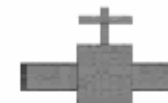
KOMPRESOR



CNG TANKER



KOMPRESOR



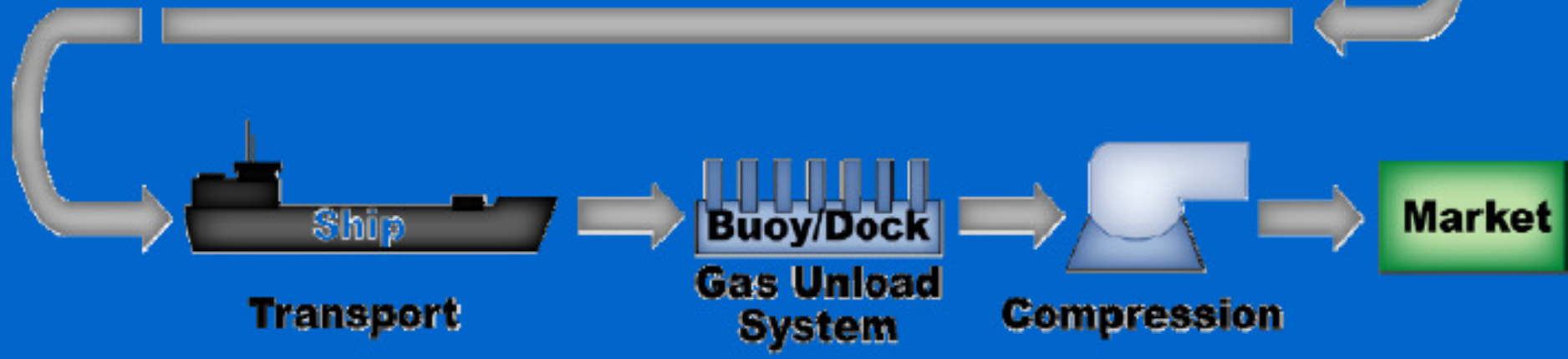
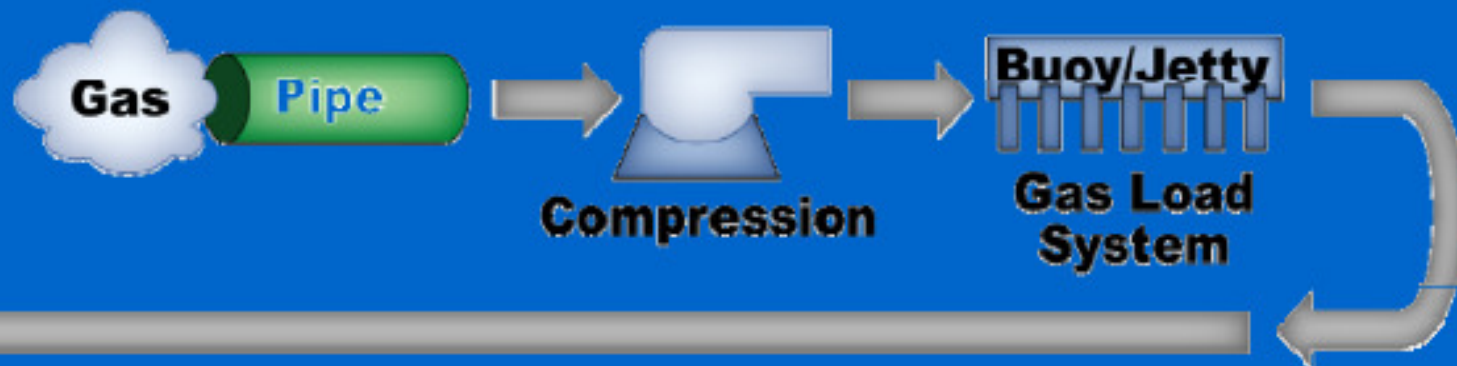
PLINSKI SUSTAV



SPP TEHNOLOŠKI LANAC

RGNF

10 % of investment



85 % of investment

5 % of investment



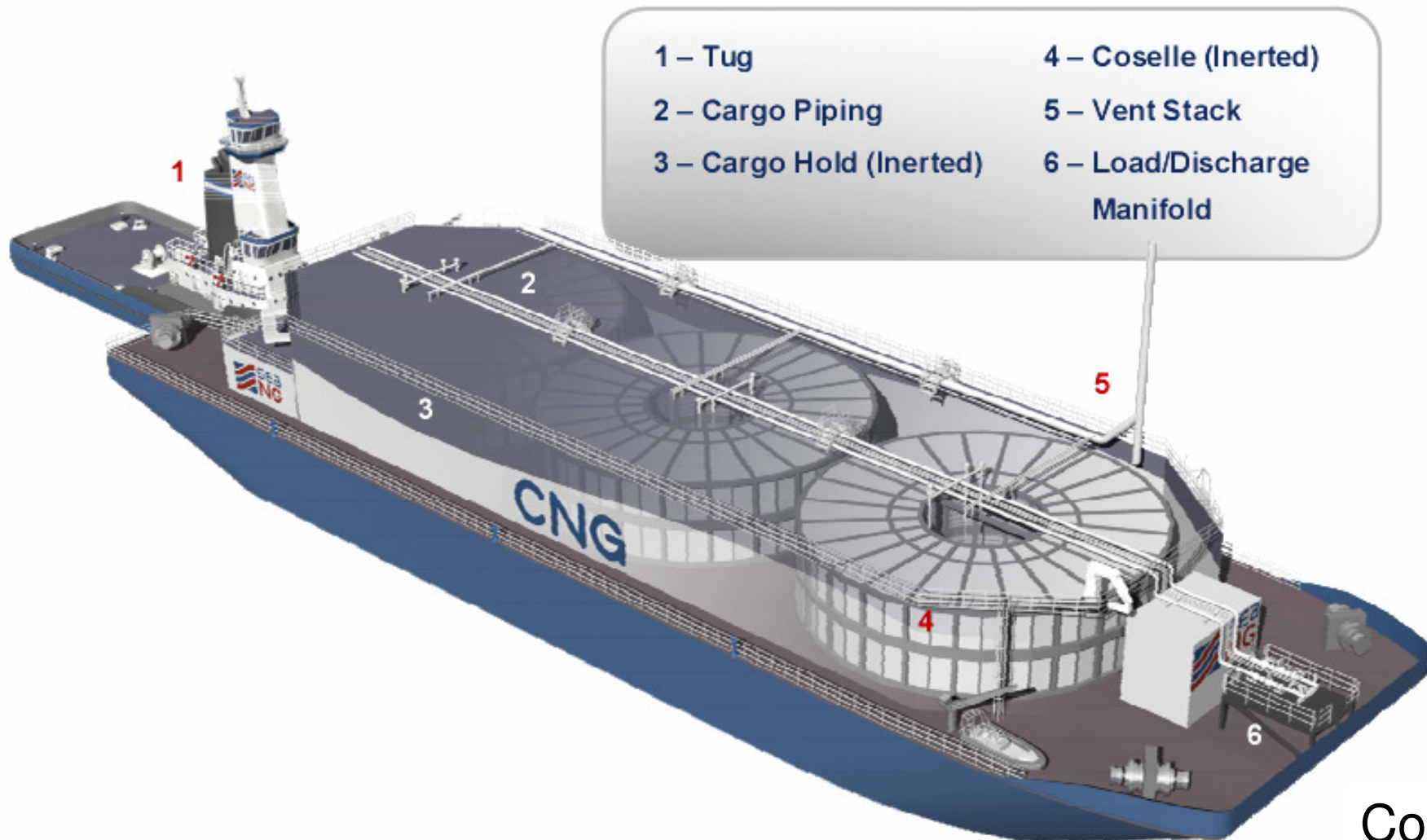
TEHNOLOŠKI LANAC SPP-a

- Nekoliko tehnologija stlačivanja i skladištenja:
 - Coselle - Cran&Stenning
 - VOTRANS – EnerSea
 - GTM – TransCanada
 - CRPV tehnologija
 - PNG tehnologija
- Sustavi Coselle i VOTRANS podrazumijevaju specifične sustave skladišnog prostora, načina skladištenja i brodova.
- Ostali sustavi podrazumijevaju različite materijale i dizajne rezervoara za skladištenje.
- U svim se slučajevima više rezervoara povezuje u skladišne module koji se transportiraju brodovima ili teglenicama.



BROD ZA TRANSPORT SPP-a

RGNF





OSNOVNE KARAKTERISTIKE BRODOVA ZA TRANSPORT SPP-a

RGNF



Model	C6	C16*	C25	C84
Capacity	.51 - .57 Mcm 18 - 20 MMscf	1.4 - 1.7 Mcm 50 - 60 MMscf	2.1 - 2.4 Mcm 75 - 85 MMscf	7.1 - 7.8 Mcm 250 - 275 MMscf
Coselles	6	16	25	84
Length OA	90.0 m 295.3 ft ^{+tug}	118.0 m 387.1 ft	142.0 m 465.9 ft	204.0 m 669.3 ft
Breadth	28.0 m 91.9 ft ^{+tug}	24.0 m 78.7 ft	30.0 m 98.4 ft	39.0 m 127 ft
Draft	4 m 13.1 ft	5.95 m 19.5 ft	6.1 m 20.0 ft	10.63 m 34.9 ft

* Approved for Construction



RGNF

UPP vs. SPP

• UPP

- Odnos tekućine i plina = 1: 600
- Potrebna količina plina = 15- 30×10⁶ m³/dan
- Projektiranje postrojenja na razdoblje od 20 godina
- Planiranje do realizacije projekta = 4-5 godina
- Troškovi:
 - proizvodnja UPP-a = cca. 750×10⁶ \$
 - transport (brodovi) = 160×10⁶ \$
 - terminali za uplinjavanje = 100×10⁶ \$

• SPP

- Odnos tekućine i plina = 1:350
- Potrebna količina plina = do 3×10⁶ m³/dan
- Ni jedan projekt nije u komercijalnoj upotrebi
- Planiranje do realizacije projekta = 2,5- 3 godine
- Troškovi:
 - proizvodnja SPP-a = cca. 40×10⁶ \$
 - transport (brodovi) = 400×10⁶ \$
 - terminali za uplinjavanje = 16- 20×10⁶ \$



RGNF

GTS (Gas to Solid)

- Transport plina u obliku hidrata – u čvrstom stanju
- **HIDRATI** – produkti miješanja prirodnog plina s tekućom vodom, stabilne kristalne strukture, poput snijega
- Male molekule CH_4 , C_2 , C_3 , stabilizirane vodikovim vezama tvoreći 3D rešetkastu strukturu u kojoj su uhvaćene molekule plina okružene s više molekula vode
- Tlakovi 80-100 bara i temperatura 2-10 °C
- Hlađenje hidrata na -15 °C – relativno stabilni pri atmosferskom tlaku – mogućnost transporta u jednostavnim izoliranim spremnicima
- 1 tona hidrata (cca. 1m^3) = 160 m^3 prirodnog plina na m^3 vode



RGNF

GTS (Gas to Solid)

- U naftno/plinskoj industriji prirodni plinski hidrati su štetni te predstavljaju sigurnosnu prijetnju rada jer mogu začepiti plinovod
- Operacije za sprečavanje stvaranja hidrata -injektiranje metanola
- U prirodi – pronađene velike količine metanskih hidrata
 - Permafrost
 - Duboko podmorje ispod 500 m
- Značajan energetska potencijal



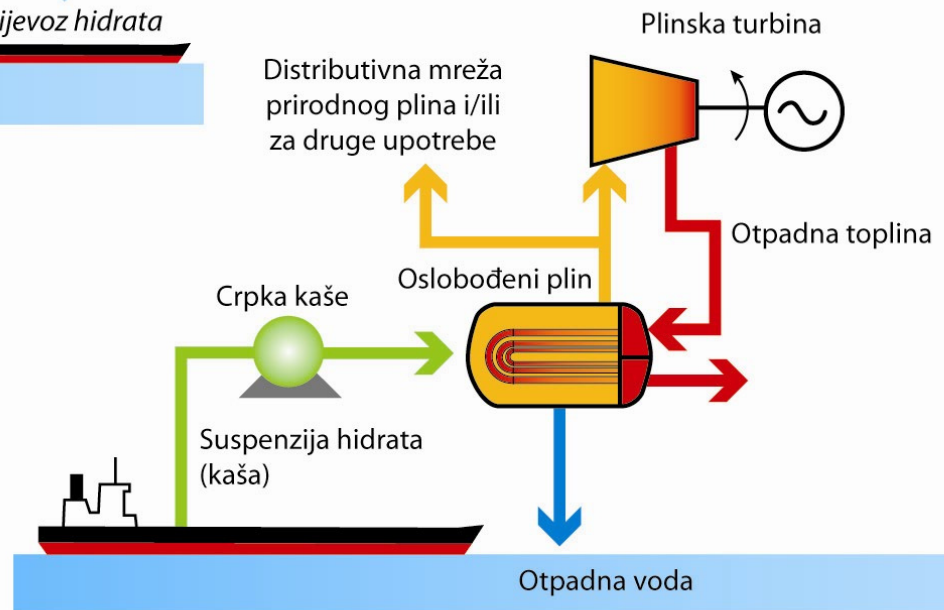
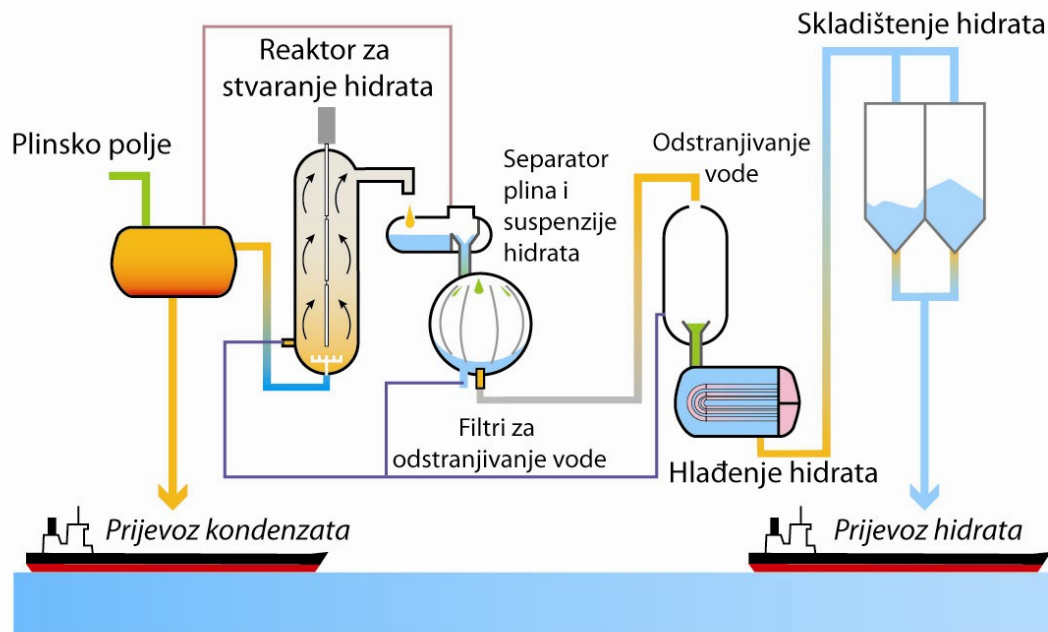
RGNF

GTS (Gas to Solid)

- Tehnološki lanac:
 - Proizvodnja hidrata
 - Transport
 - Uplinjavanje
- Eksperimentalna faza ovog oblika transporta, alternativa plinovodima i UPP-u
- Komercijalno atraktivan transport pri relativno niskim tlakovima
- U usporedbi s plinovodima i UPP-om ovaj koncept transporta ima niže kapitalne i operativne troškove po jedinici transporta
- Jeftiniji brodovi za transport hidrata
- Vrlo učinkovit oblik skladištenja prirodnog plina



TRANSPORT PLINSKIH HIDRATA





RGNF

GTL (Gas to Liquids)

- Transport prirodnog plina koji se **kemijskim procesima** pretvorbe prevodi u tekuće stanje
- Metan se miješa sa parom i nastaje **sintetički plin** (mješavina CO i H₂) koji se **Fischer-Tropsch procesom ili oksidacijom (uz katalizator)** prevodi u tekuće stanje
- Proizvedena tekućina - gorivo, lubrikant, amonijak, metanol ili sirovina za industriju plastičnih masa (urea, dimetil eter- ujedno i gorivo u prometu i UNP supstitut)
- Energetski intenzivan proces
- Ostali oblici GTL procesa – proizvodnja čistih goriva, sintetičkog diesela, voska, lubrikanata, itd. – zahtjevaju kompleksna (skupa) kemijska postrojenja s najnovijim tehnologijama s katalizatorima



RGNF

UPP vs. GTL

- LNG
 - Mijenjanje fizikalnih svojstava prirodnog plina
- GTL
 - Mijenjanje kemijskih svojstava plina

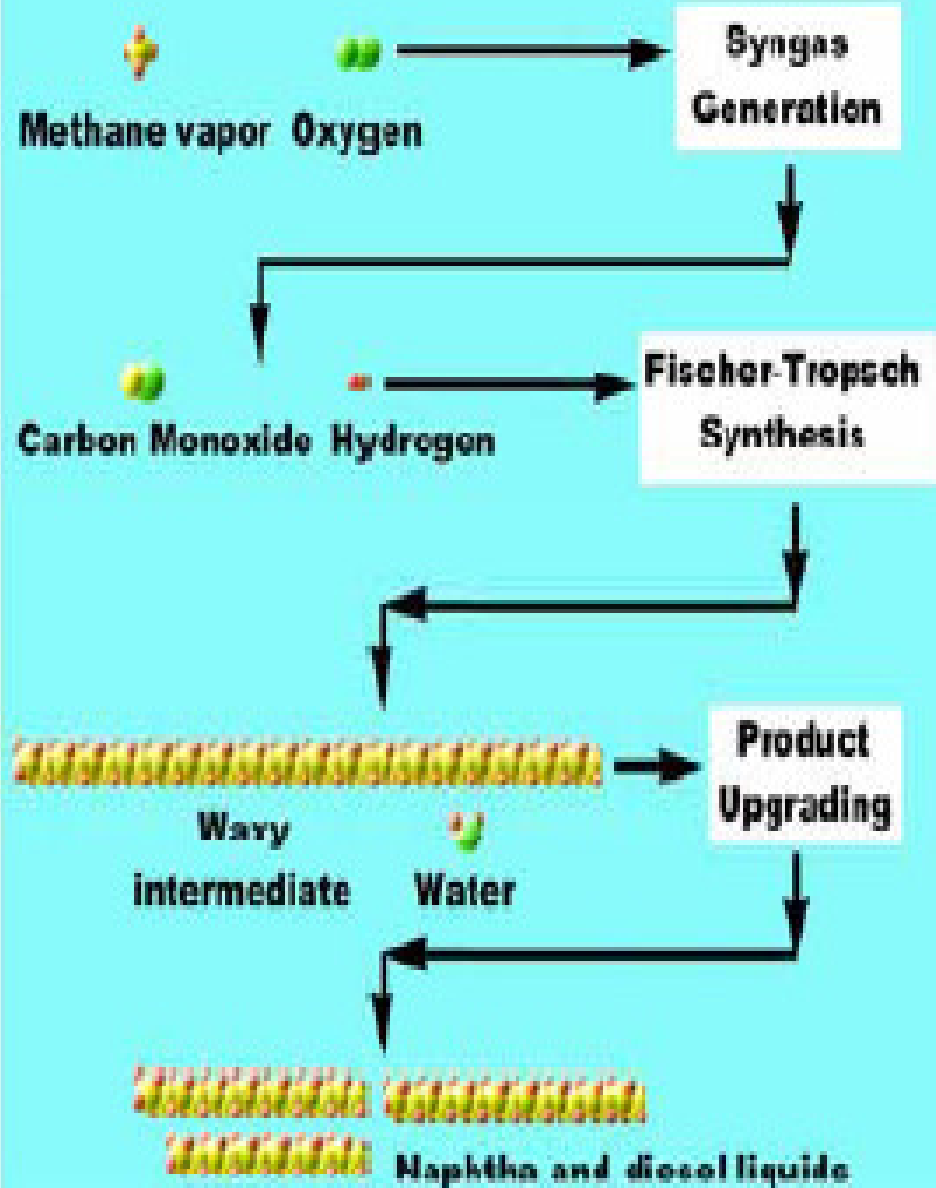
LNG


Methane vapor


Refrigeration


Methane liquid

GTL





RGNF

GTP (Gas to Power)

- Trenutno se većina transportiranog plina koristi za proizvodnju električne energije
- **Proizvodnja el. energije** blizu ležišta i proizvodnje plina te **transport el.energije dalekovodom** je mogući oblik transporta energije dobivene iz plina
- Primjena - offshore i geografski izdvojena ležišta
- Instaliranje visokonaponskih kablova do obale skoro **skupa investicija** kao i izgradnja plinovoda
- **Značajni gubitci energije** duž transmisijske linije
- Niska profitabilnost za proizvođače plina jer je oko 1×10^6 scf/d plina potrebno za 10 MW snage
- Razmatra se projekt GTP transporta plina u SAD-u od Aljaske do naseljenih područja



RGNF

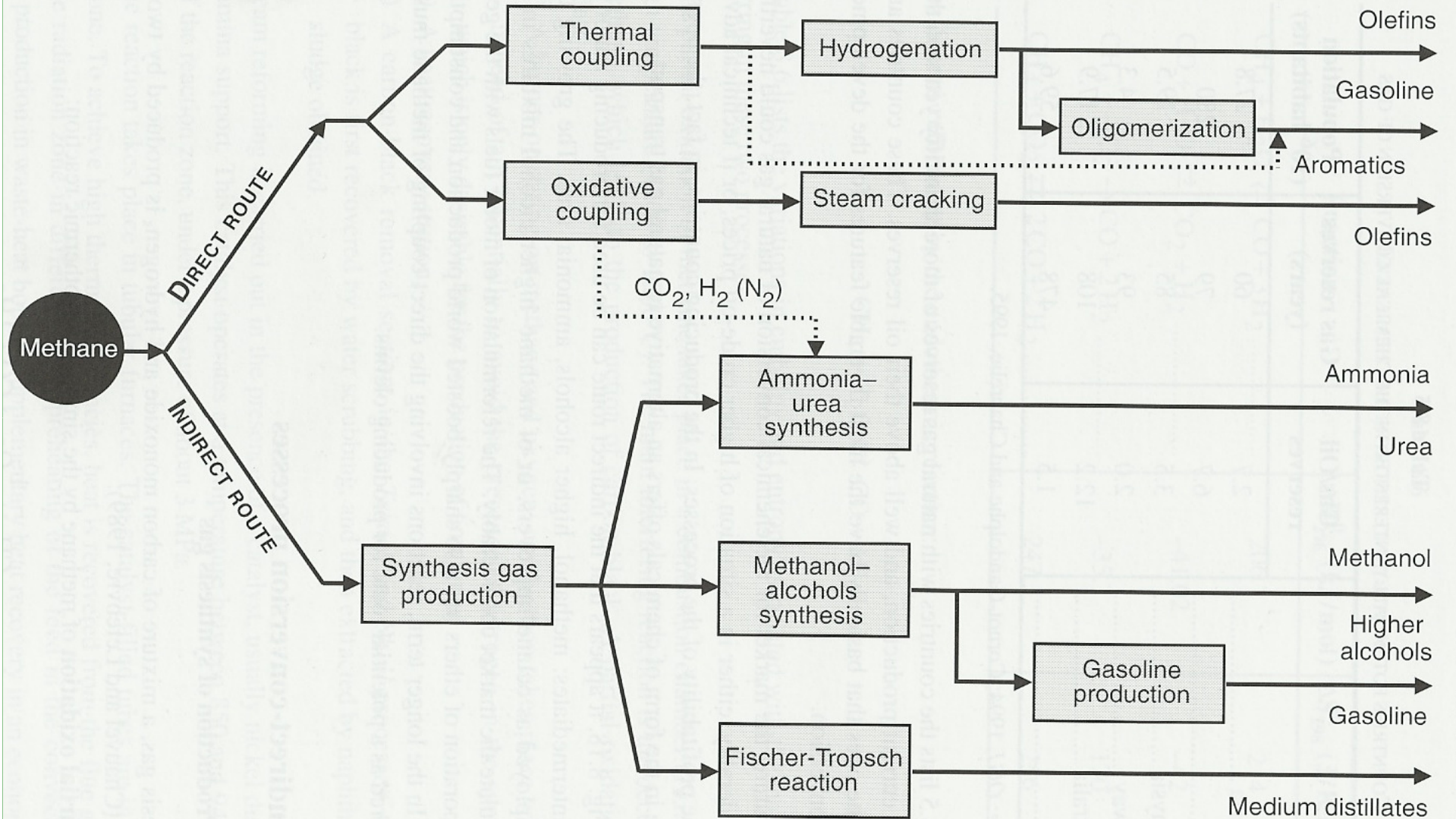
GTC (Gas to Commodity)

- GTC koncept transporta – plin se konvertira u toplinsku ili električnu energiju koja se koristi za proizvodnju roba koje se transportiraju na dalja tržišta
- Aluminiј, staklo, opeka, cement, željezo – vrlo energetska intenzivna proizvodnja
- Energija plina se transportira u obliku proizvoda
- Ekonomski rizici GTC transporta
 - Veliki tržišni rizici
 - Skupa GTC postrojenja
 - Problem opskrbe sirovinama



KEMIJSKA KONVERZIJA PRIRODNOG PLINA

RGNF





Koji je najbolji oblik transporta prirodnog plina?

RGNF

- **Kako najbolje unovčiti proizvodnju plina?**
- **Pri odabiru transportne opcije potrebno razmotriti**
 - Tehničke karakteristike i mogućnosti
 - Ekonomske rizike
 - Geopolitičke rizike (političke promjene, teroristički napadi, trgovinski embargo)



RGNF

SKLADIŠTENJE PRIRODNOG PLINA

- Potrebno radi sezonske prilagodbe potrošnje i opskrbe
- Uravnoteženje fluktuacija u dnevnoj i satnoj potrošnji
- **METODE SKLADIŠTENJA**
 - **KRIOGENO SKLADIŠTENJE** – u spremnicima (UPP)
 - Potrebno je (peakshaving) postrojenje za ukapljivanje, ukoliko plin ne dolazi kao UPP
 - Kratkoročna uravnoteženja plinskog sustava
 - **PODZEMNO SKLADIŠTE**
 - Iscrpljena ležišta, akviferi, solne dome
 - Sezonsko uravnoteženje plinskog sustava



RGNF

KRIOGENO SKLADIŠTE

- **SPREMNICI** – dvostruka zaštita,
 - unutarnja – skladištenje UPP-a
 - vanjska – izolacija i potporanj
- **VRSTE SPREMNIKA**
 - **SPREMNICI S DOSTRUKOM STIJENKOM**
 - Unutranja stjenka od čelika i nikla, vanjska čelik ili prenapregnuti beton
 - Izolacija među stjenkama- staklena vuna, perlit
 - **MEMBRANSKI SPREMNICI**
 - Slično kao na metanijerima
 - Spremnici velikog kapaciteta – izolacija prenosi naprezanje na vanjsku stjenku koja je od prenapregnutog betona
 - Vanjski oblici spremnika – sferični ili različiti ukopani
- Skladištenje UPP-a u duboke kaverne u šejlovima na dubini od 120 m pri atmosf. tlaku-nije još u uporabi



RGNF

PODZEMNO SKLADIŠTE

1. **ISCRPLJENA LEŽIŠTA** – najraširenija i najekonomičnija metoda (450 u svijetu)
 - Jednostavna izgradnja (ležište zadovoljava uvjete poroznosti i propusnosti), potrebni dobri izolacijski uvjeti (debljina krovine)

2. **AKVIFERI** – dvije faze tokom godine (100-tinjak u svijetu)
 - Injektiranje –utiskivanje plina i potiskivanje vode
 - Povlačenje – proizvodnja plina i zavodnjavanje ležišta
 - **Plinski jastuk** - velika količina plina, ostaje u ležištu nakon proizvodnog ciklusa radi sprečavanja zavodnjavanja bušotina – veliko investicijsko ulaganje
 - Pokušaj zamjene plina u plinskom jastuku s inertnim plinom (N₂ ili CO₂)
 - Najveći –Chemery, Francuska – kapacitet 3,5×10⁹m³



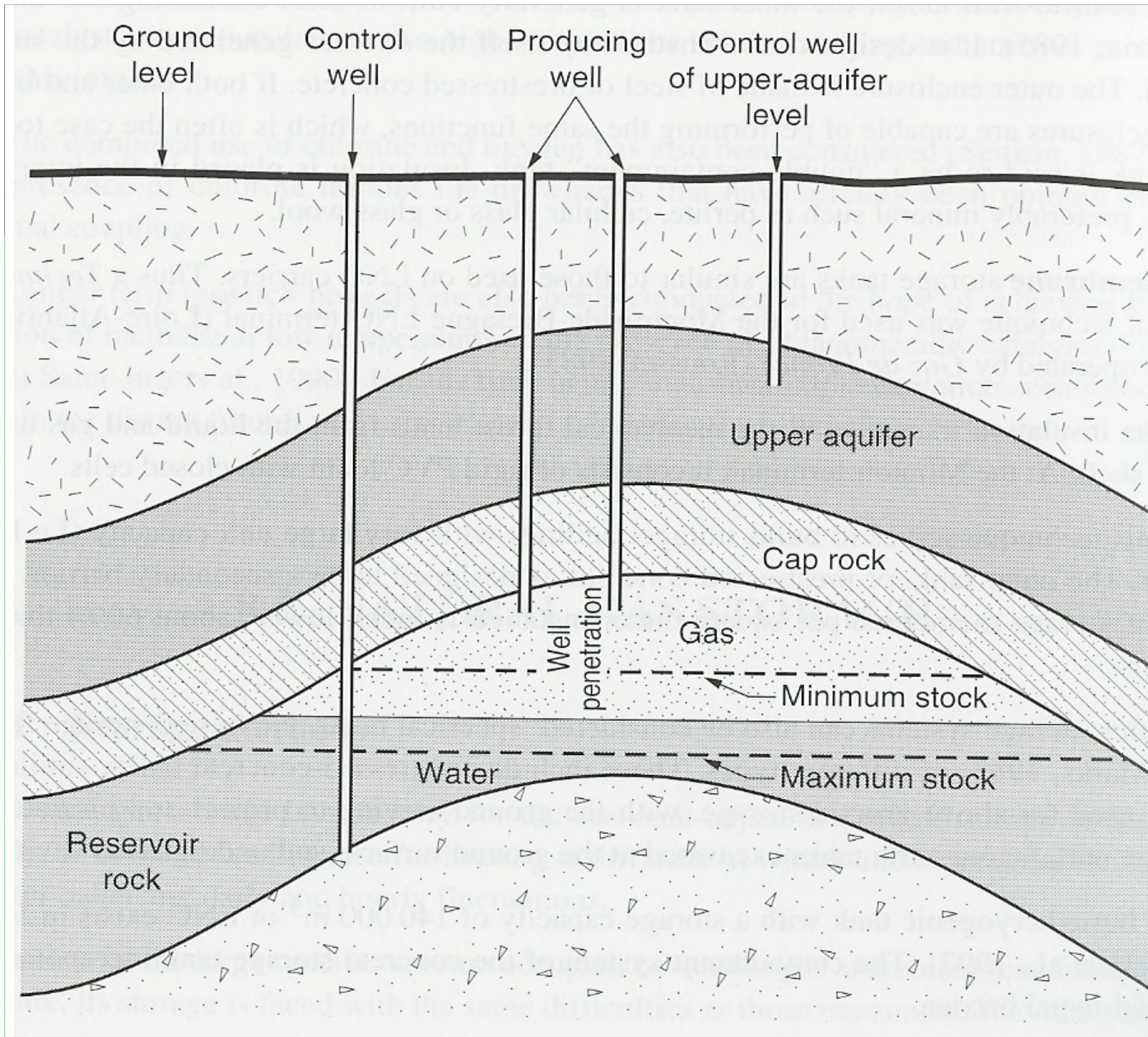
RGNF

PODZEMNO SKLADIŠTE

3. **SOLNE DOME** – skladišta limitiranog kapaciteta (50-ak u svijetu)
 - Manja količina plina potrebna za plinski jastuk
 - Koriste se ako ne postoji mogućnost akvifernog skladištenja
 - Veća maksimalna proizvodnja

- Ukupno u svijetu 554 podzemna skladišta ukupnog kapaciteta $243 \times 10^9 \text{ m}^3$

PSP Akvifer



HVALA NA PAŽNJI!



RGNF