



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ  
ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ



## Η ναυτιλιακή αγορά LNG

Υποψήφιος Διδάκτωρ:  
Κωνσταντίνος Γ. Γκόννης

Μάιος 2008

# ΣΥΝΟΨΗ

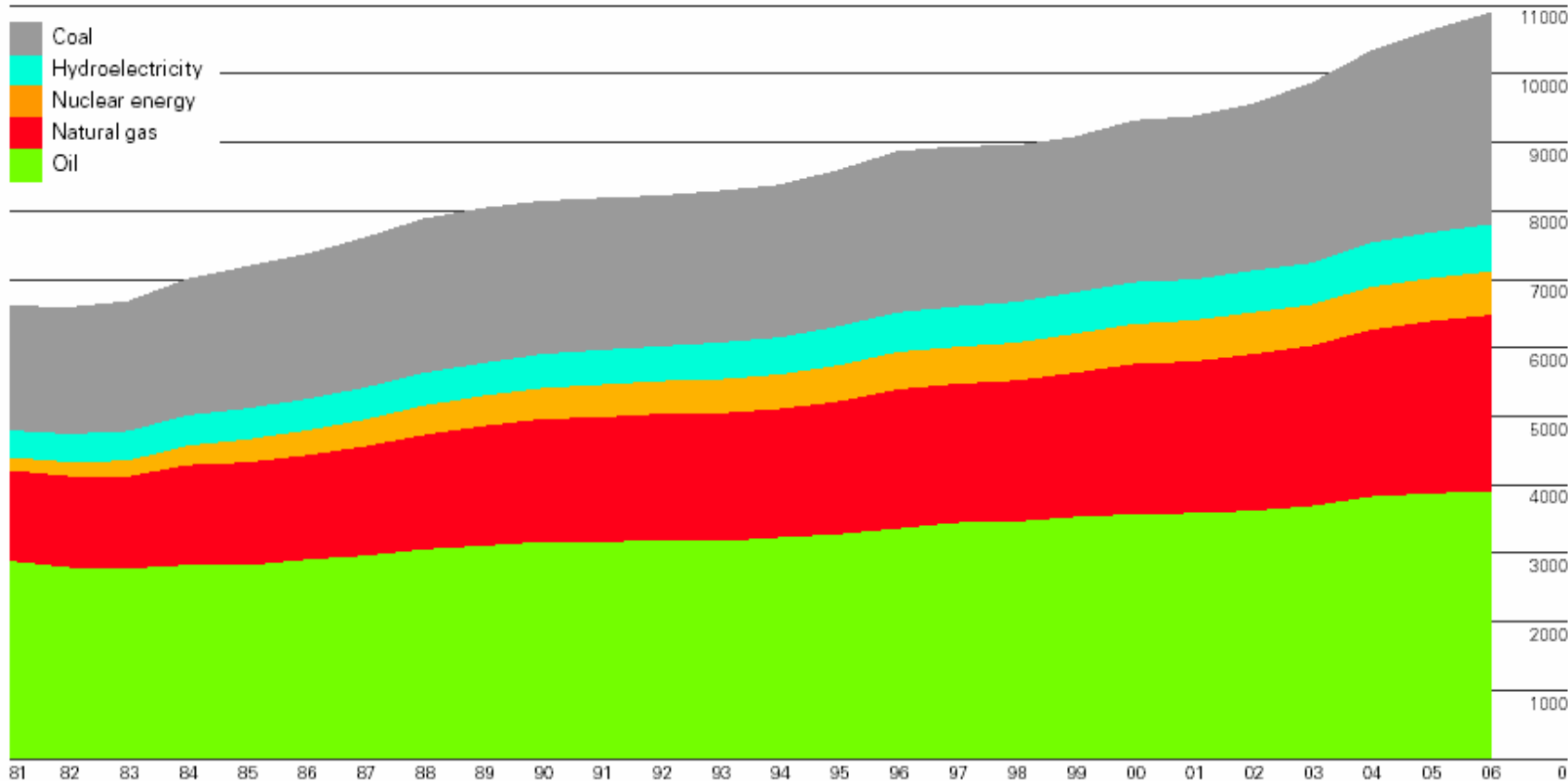
- Η παγκόσμια αγορά ενέργειας
- Θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας
- Το φυσικό αέριο
- LNG – βασικές πληροφορίες
- Το εμπόριο LNG
- Τεχνικά θέματα
- Οικονομικές παράμετροι
- Η εξέλιξη της αγοράς
- Προοπτικές

# Η παγκόσμια αγορά ενέργειας

## Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας

### World consumption

Million tonnes oil equivalent

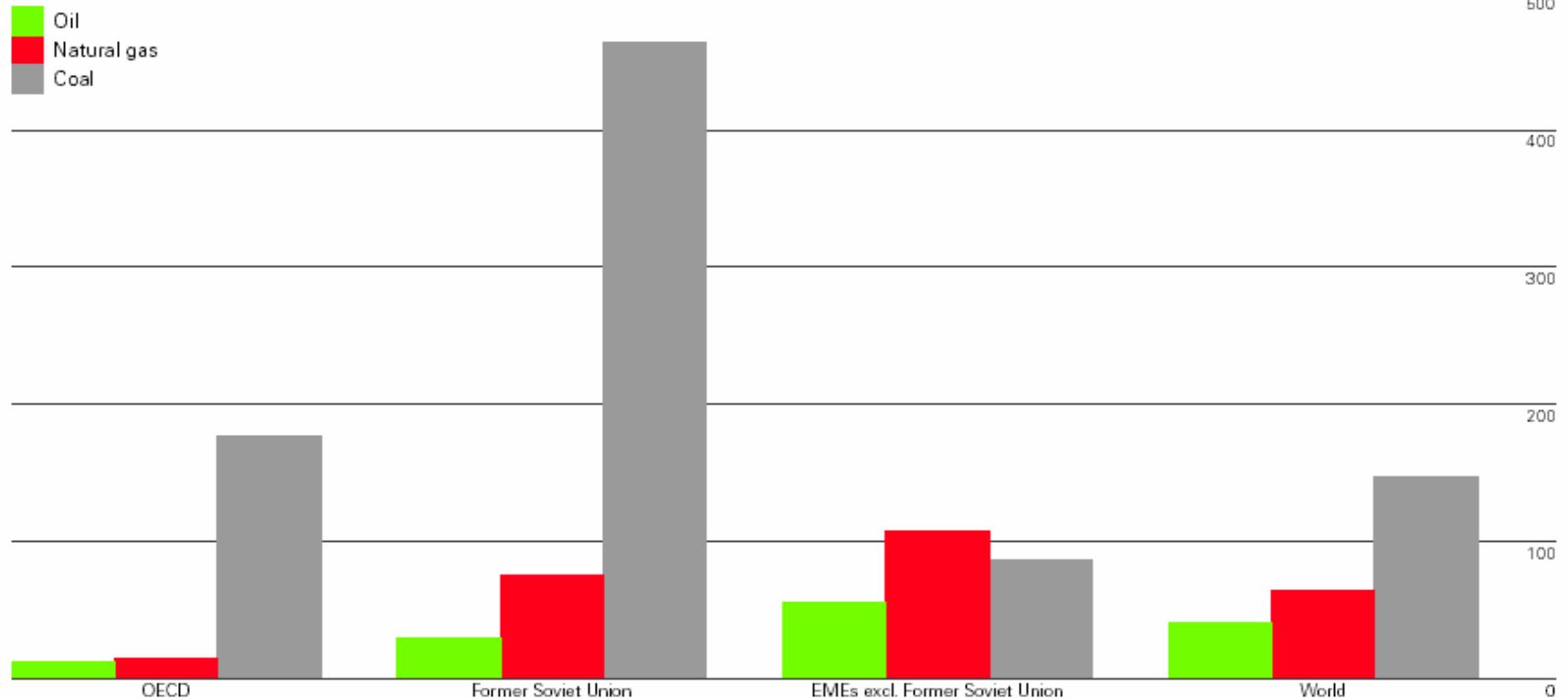


# Η παγκόσμια αγορά ενέργειας

## Ορυκτά καύσιμα: δείκτες R/P

Fossil fuel reserves-to-production (R/P) ratios at end 2006

Years



Coal remains the world's most abundant fossil fuel, with an R/P ratio of nearly 150 years. Coal reserves are located in the leading energy-consuming regions to a greater degree than oil or natural gas.

# Θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας

- Καλύπτουν την θαλάσσια μεταφορά:
  - Αργού πετρελαίου
  - Προϊόντων πετρελαίου
  - LNG – Liquefied Natural Gas  
Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Υ.Φ.Α.)
  - LPG – Liquefied Petroleum Gas
  - Στερεά ορυκτά καύσιμα
- Οι θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 40% του παγκόσμιου στόλου.

# Το φυσικό αέριο (Φ.Α.)

## Ένα ορυκτό καύσιμο

Fig No. 1: Natural Gas Reservoir

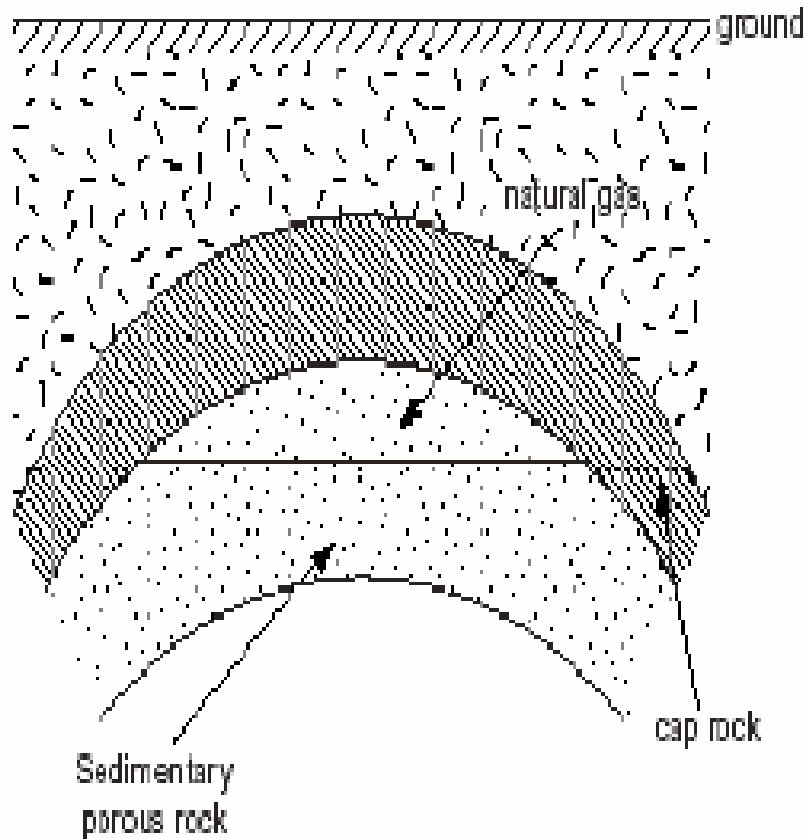
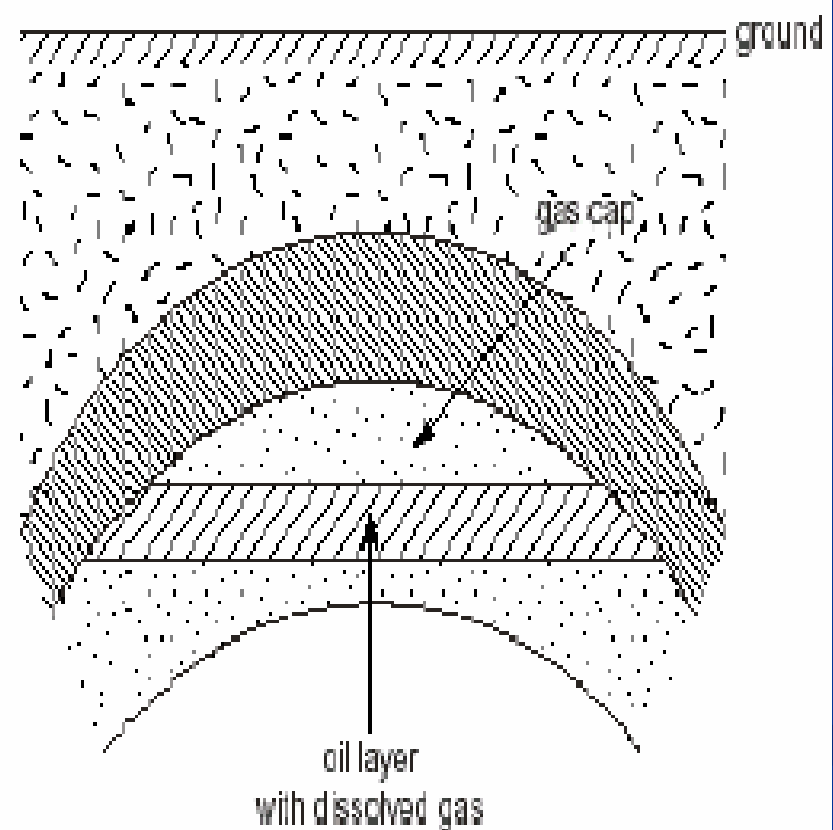


Fig No. 2: Oil & Associated Gas Reservoir



# Το φυσικό αέριο

## Βασικά μεγέθη

- Αντιστοιχεί στο 25% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης.
- Ο λόγος αποθεμάτων-κατανάλωσης (reserves-to-production ratio - R/P ratio) επιτιμάται στα 70 χρόνια.
- Τα παγκόσμια αποθέματα είναι 180 tcm (trillion cubic meters).
  - Ρωσία (~ 27% ή 48 tcm)
  - Ιράν (~15% ή 28 tcm)
  - Κατάρ (~14% ή 26 tcm).

# Το φυσικό αέριο

## Βασικά μεγέθη

- Ετήσια παραγωγή παγκοσμίως: 2,865 bcm
  - Ρωσία: 612 bcm p.a. ( $\sim 21\%$ )
  - ΗΠΑ: 524 bcm p.a. ( $\sim 18,5\%$ )
  - Καναδάς: 187 bcm p.a. ( $\sim 6,5\%$ )
  - Ην. Βασίλειο, Ιράν, Αλγερία, Νορβηγία, Ολλανδία
- Μεγαλύτεροι καταναλωτές:
  - ΗΠΑ: 620 bcm p.a. ( $\sim 22\%$ )
  - Ρωσία: 432 bcm p.a. ( $\sim 15\%$ )
  - Γερμανία, Ην. Βασίλειο, Καναδάς , Ιράν, Ιταλία, Ιαπωνία

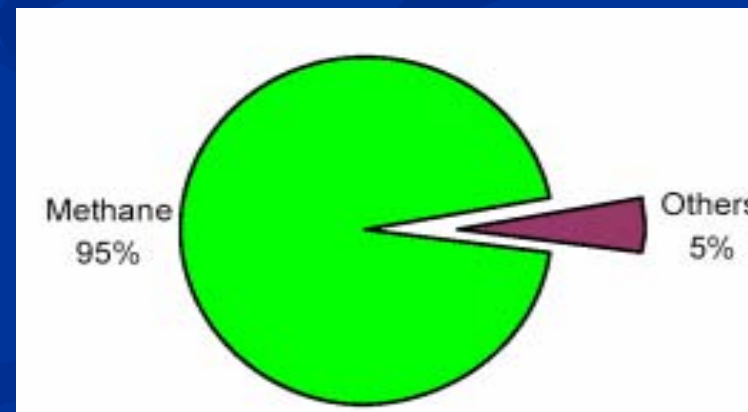
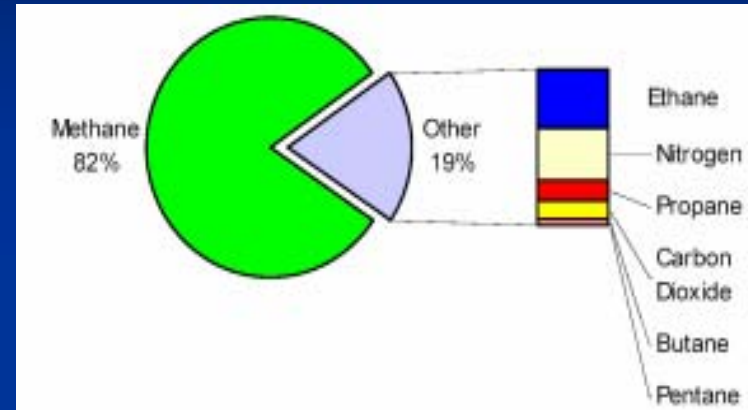
# Το φυσικό αέριο

## Χρήση

- Οικιακή / Βιοτεχνίες
- Βιομηχανική / Χημικά
- Παραγωγή ηλεκτρισμού (CCGT)

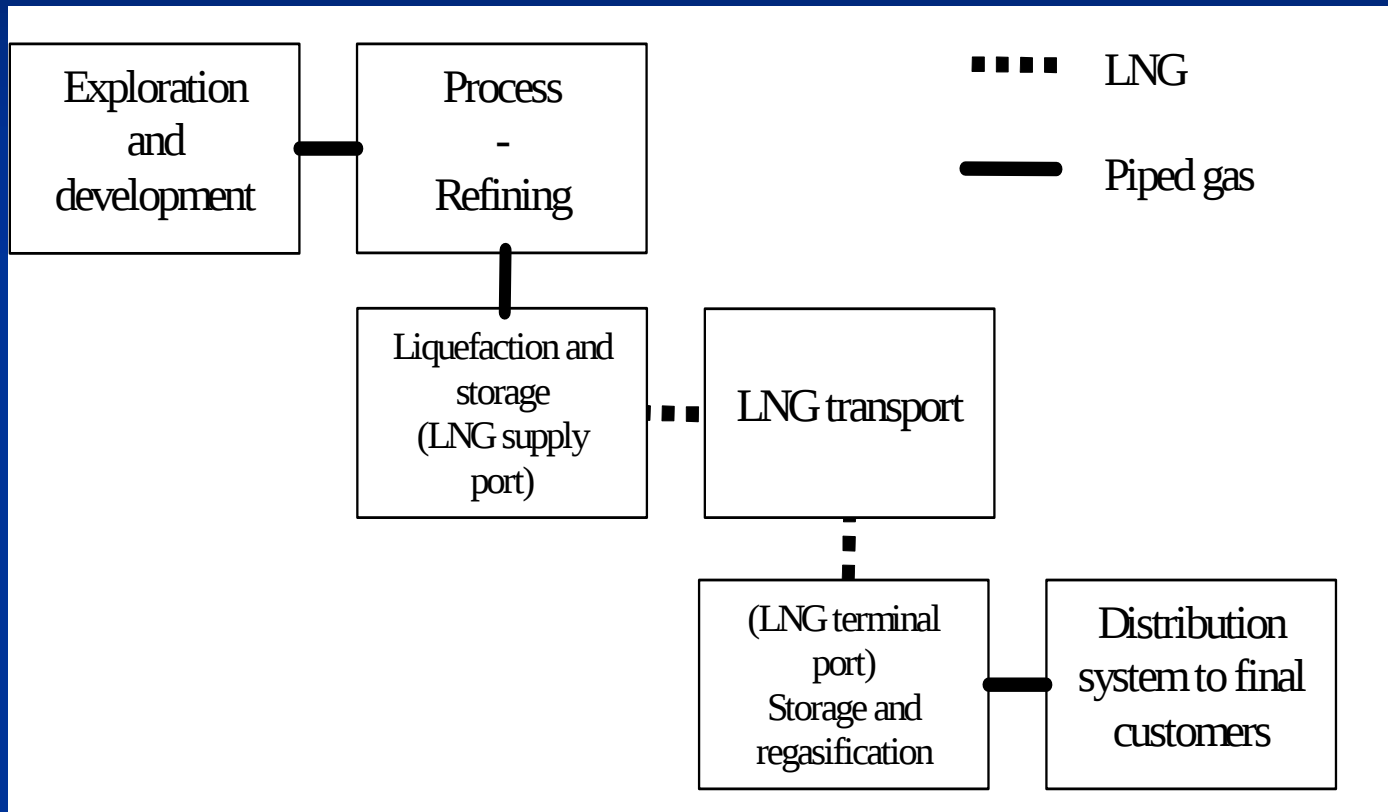
# LNG – βασικές πληροφορίες

- Εμπόριο Φ.Α.:
  1. Μέσω αγωγών
  2. Με πλοία σε υγρή μορφή – LNG
- LNG (Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο)
  - Θερμοκρασία  $-161^{\circ}\text{C}$ , πίεση ατμοσφαιρική.
  - Μείωση όγκου  $\sim 600$  φορές.
  - Πυκνότητα: 45% του νερού.
  - Άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό, μη διαβρωτικό.
  - Αναφλέγεται σε αναλογία με τον αέρα 5-15%.



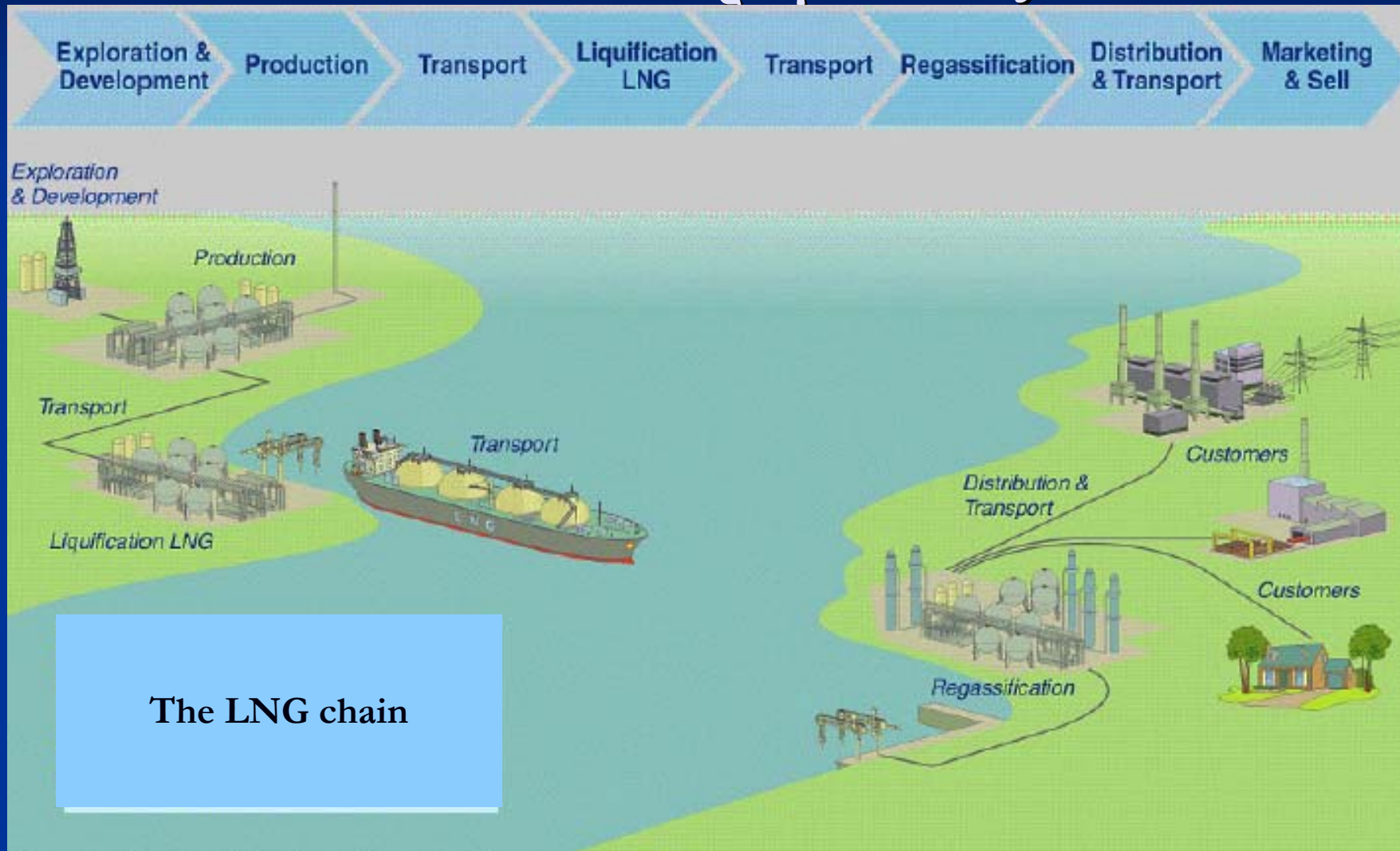
# LNG – βασικές πληροφορίες

## Η αλυσίδα τροφοδοσίας



# LNG – βασικές πληροφορίες

## Η αλυσίδα τροφοδοσίας



# Εμπόριο LNG

## ■ Εμπόριο Φ.Α.:

- αγωγοί (72%) / LNG (28%).

## ■ Εισαγωγές μέσω αγωγών:

- ΗΠΑ: 100 bcm από τον Καναδά
- Γερμανία: 90bcm από Ρωσία, Νορβηγία, Ολλανδία
- Ιταλία: 75 bcm από Αλγερία, Ρωσία
- Γαλλία από Ρωσία, Νορβηγία, Ολλανδία

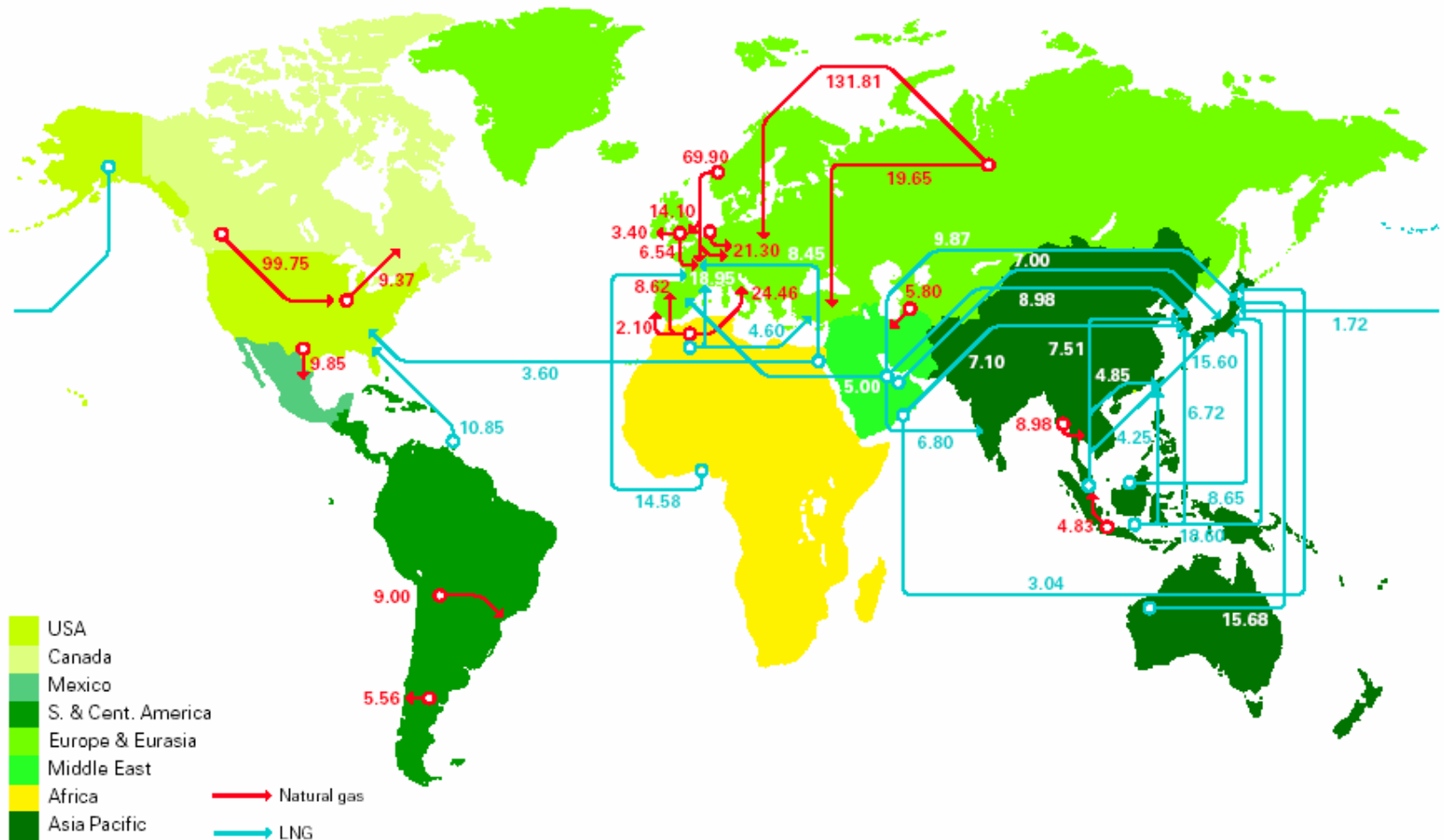
## ■ Εισαγωγές LNG:

- Ιαπωνία: 82 bcm από Ινδονησία, Μαλαισία, Αυστραλία και Κατάρ
- Ν. Κορέα: 34 bcm
- Ισπανία: 24 bcm, ΗΠΑ: 17 bcm.

# Εμπόριο LNG

### Major trade movements

Trade flows worldwide (billion cubic metres)



# Εμπόριο LNG

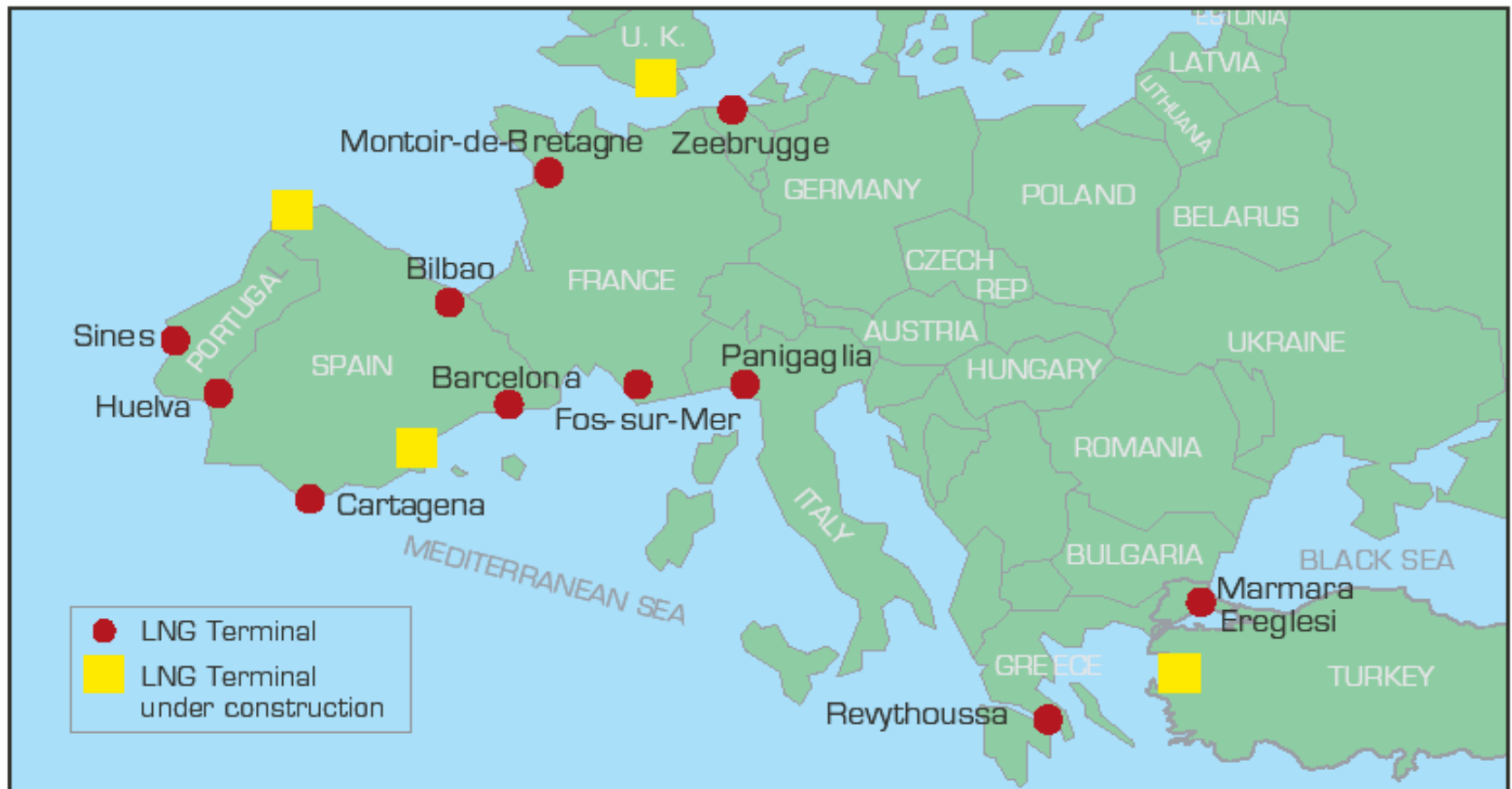
## Trade movements 2006 – liquefied natural gas

Billion cubic metres

| To                            | From        |                   |              |              |             |              |              |             |              |              |             |              |              | Total imports |
|-------------------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
|                               | USA         | Trinidad & Tobago | Oman         | Qatar        | UAE         | Algeria      | Egypt        | Libya       | Nigeria      | Australia    | Brunei      | Indonesia    | Malaysia     |               |
| <b>North America</b>          |             |                   |              |              |             |              |              |             |              |              |             |              |              |               |
| USA                           | -           | 10.85             | -            | -            | -           | 0.49         | 3.60         | -           | 1.62         | -            | -           | -            | -            | 16.56         |
| Mexico                        | -           | 0.16              | -            | 0.08         | -           | -            | 0.16         | -           | 0.54         | -            | -           | -            | -            | 0.94          |
| <b>S. &amp; Cent. America</b> |             |                   |              |              |             |              |              |             |              |              |             |              |              |               |
| Dominican Republic            | -           | 0.25              | -            | -            | -           | -            | -            | -           | -            | -            | -           | -            | -            | 0.25          |
| Puerto Rico                   | -           | 0.72              | -            | -            | -           | -            | -            | -           | -            | -            | -           | -            | -            | 0.72          |
| <b>Europe</b>                 |             |                   |              |              |             |              |              |             |              |              |             |              |              |               |
| Belgium                       | -           | 0.16              | -            | 0.36         | -           | 3.35         | 0.25         | -           | 0.16         | -            | -           | -            | -            | 4.28          |
| France                        | -           | -                 | -            | -            | -           | 7.35         | 2.30         | -           | 4.23         | -            | -           | -            | -            | 13.88         |
| Greece                        | -           | -                 | -            | -            | -           | 0.45         | 0.04         | -           | -            | -            | -           | -            | -            | 0.49          |
| Italy                         | -           | -                 | -            | -            | -           | 3.00         | 0.10         | -           | -            | -            | -           | -            | -            | 3.10          |
| Portugal                      | -           | -                 | -            | -            | -           | -            | -            | -           | 1.97         | -            | -           | -            | -            | 1.97          |
| Spain                         | -           | 3.00              | 1.00         | 5.00         | -           | 2.80         | 4.80         | 0.72        | 7.10         | -            | -           | -            | -            | 24.42         |
| Turkey                        | -           | -                 | -            | -            | -           | 4.60         | -            | -           | 1.12         | -            | -           | -            | -            | 5.72          |
| United Kingdom                | -           | 0.60              | -            | -            | -           | 2.00         | 0.96         | -           | -            | -            | -           | -            | -            | 3.56          |
| <b>Asia Pacific</b>           |             |                   |              |              |             |              |              |             |              |              |             |              |              |               |
| China                         | -           | -                 | -            | -            | -           | -            | -            | -           | -            | 1.00         | -           | -            | -            | 1.00          |
| India                         | -           | -                 | 0.24         | 6.80         | 0.08        | 0.08         | 0.55         | -           | 0.08         | 0.08         | -           | -            | 0.08         | 7.99          |
| Japan                         | 1.72        | 0.44              | 3.04         | 9.87         | 7.00        | 0.24         | 0.80         | -           | 0.22         | 15.68        | 8.65        | 18.60        | 15.60        | 81.86         |
| South Korea                   | -           | 0.07              | 7.10         | 8.98         | -           | 0.32         | 1.25         | -           | 0.16         | 0.87         | 1.16        | 6.72         | 7.51         | 34.14         |
| Taiwan                        | -           | -                 | 0.16         | -            | -           | -            | 0.16         | -           | 0.38         | 0.40         | -           | 4.25         | 4.85         | 10.20         |
| <b>TOTAL EXPORTS</b>          | <b>1.72</b> | <b>16.25</b>      | <b>11.54</b> | <b>31.09</b> | <b>7.08</b> | <b>24.68</b> | <b>14.97</b> | <b>0.72</b> | <b>17.58</b> | <b>18.03</b> | <b>9.81</b> | <b>29.57</b> | <b>28.04</b> | <b>211.08</b> |

Source: Cedigaz (provisional).

# Εμπόριο LNG



Source: Energy Information Administration

# Τεχνικά θέματα

## Τύποι πλοίων:

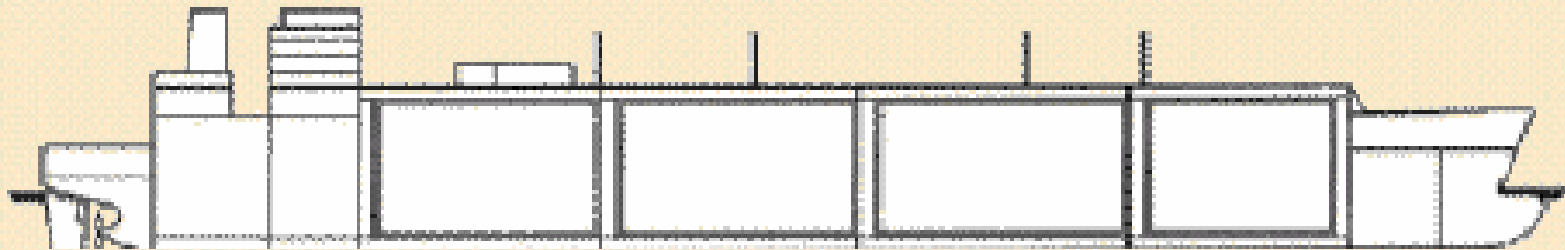
- Ανεξαρτήτων δεξαμενών (Independent tank systems):
  - Σφαιρικές δεξαμενές (Kvaerner Moss / Moss Rosenberg) (πάνω από 50% του παγκοσμίου στόλου)
  - Πρισματικές IHI SPB (**S**elf supporting **P**rismatic IMO Type **B**)
- Μεμβράνης (Membrane systems):
  - Gaz Transport (GT No. 96) system (πάνω από 40% του παγκοσμίου στόλου)
  - Technigaz Mark III
  - CS1

# Τεχνικά θέματα

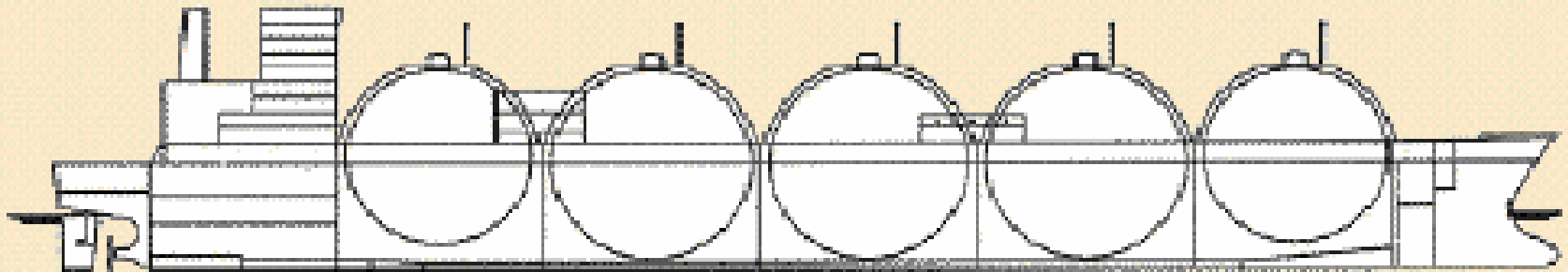
- Τυπικό μέγεθος: 150,000 κ.μ. LNG
- ~300 m , μήκος, 50 m πλάτος, 13 m βύθισμα
- Σύστημα πρόωσης:

| Propulsion plant    | Steam turbine engine                                                                                                                               | Dual fuel diesel engine                                                                                                                 | Diesel engine with reliquefaction plant                                                                                                                       | Gas combined cycle                                                                                                               |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plant configuration |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                  |
| Advantages          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Most LNG ships adopt and reliability is high</li> <li>• 100% of BOG can be fired during voyage</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel efficiency is better</li> <li>• BOG can be used as fuel</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel efficiency is better</li> <li>• The cargo part and engine part can be separated</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel cost is better compared with that of the steam turbine engine</li> </ul>           |
| Disadvantages       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel efficiency is low</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusive BOG burning is impossible</li> <li>• BOG can not be fired at a low output</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heavy fuel oil consumption is high</li> <li>• Electric power for driving reliquefaction plant is required</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• High quality fuel oil is required</li> <li>• Dual fuel burning is impossible</li> </ul> |

# Τεχνικά θέματα



135,000 m<sup>3</sup> LNG carrier with membrane tanks



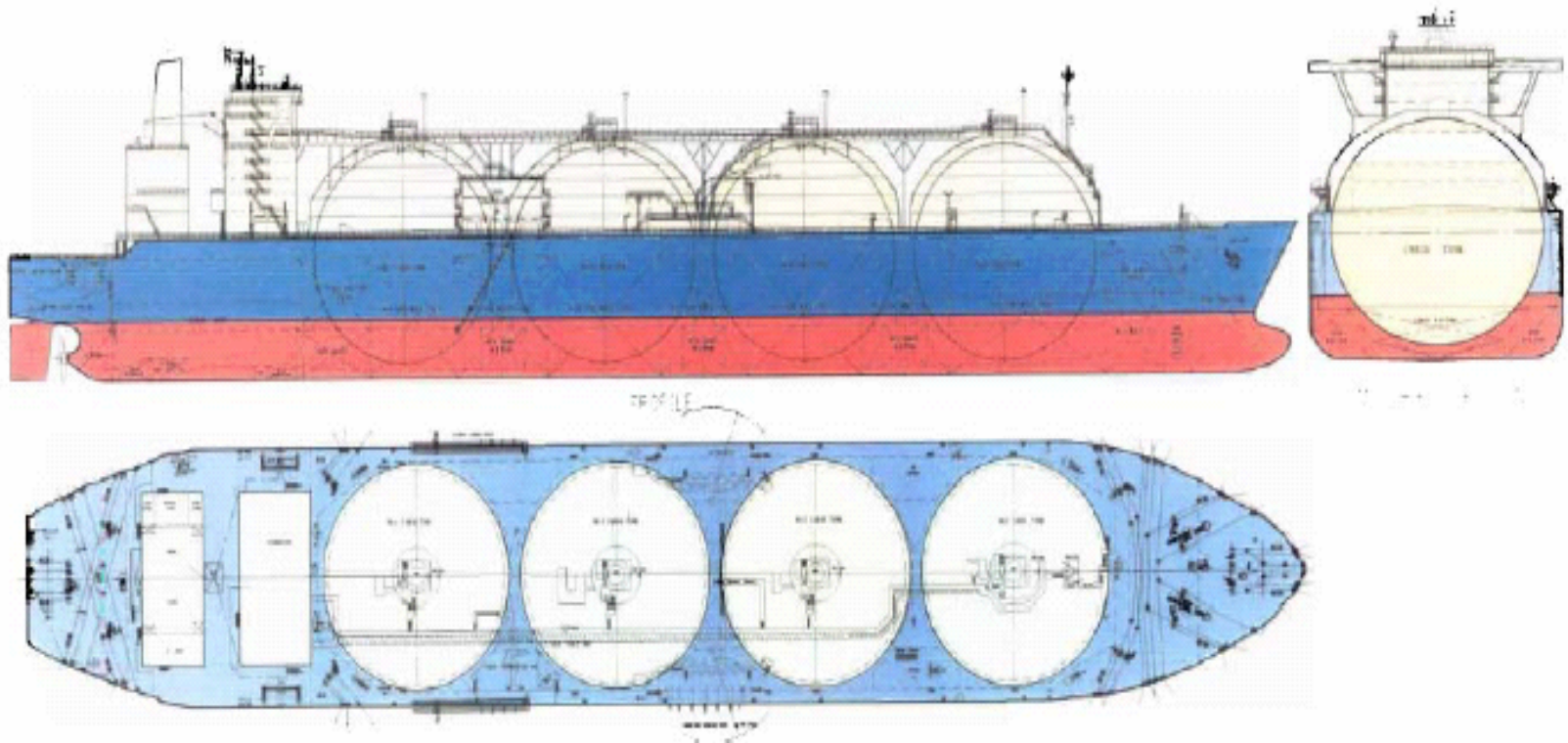
137,000 m<sup>3</sup> LNG carrier with type-B tanks (Kvaerner Moss system)

# Τεχνικά θέματα

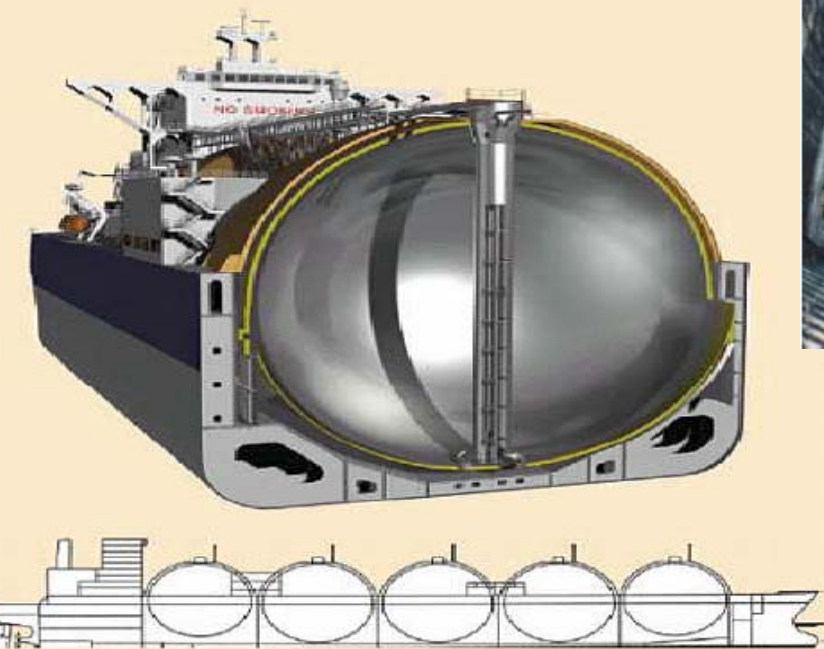


# Τεχνικά θέματα

137,000 m<sup>3</sup> MOSS TYPE LNG CARRIER



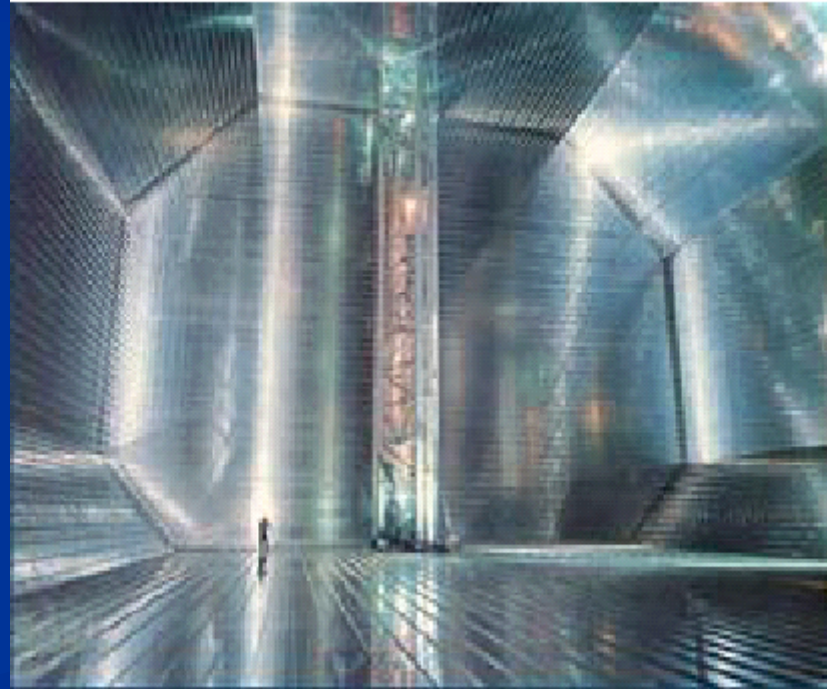
# Τεχνικά θέματα



# Τεχνικά θέματα



GAZTRANSPORT96 (GTT96) System Tank

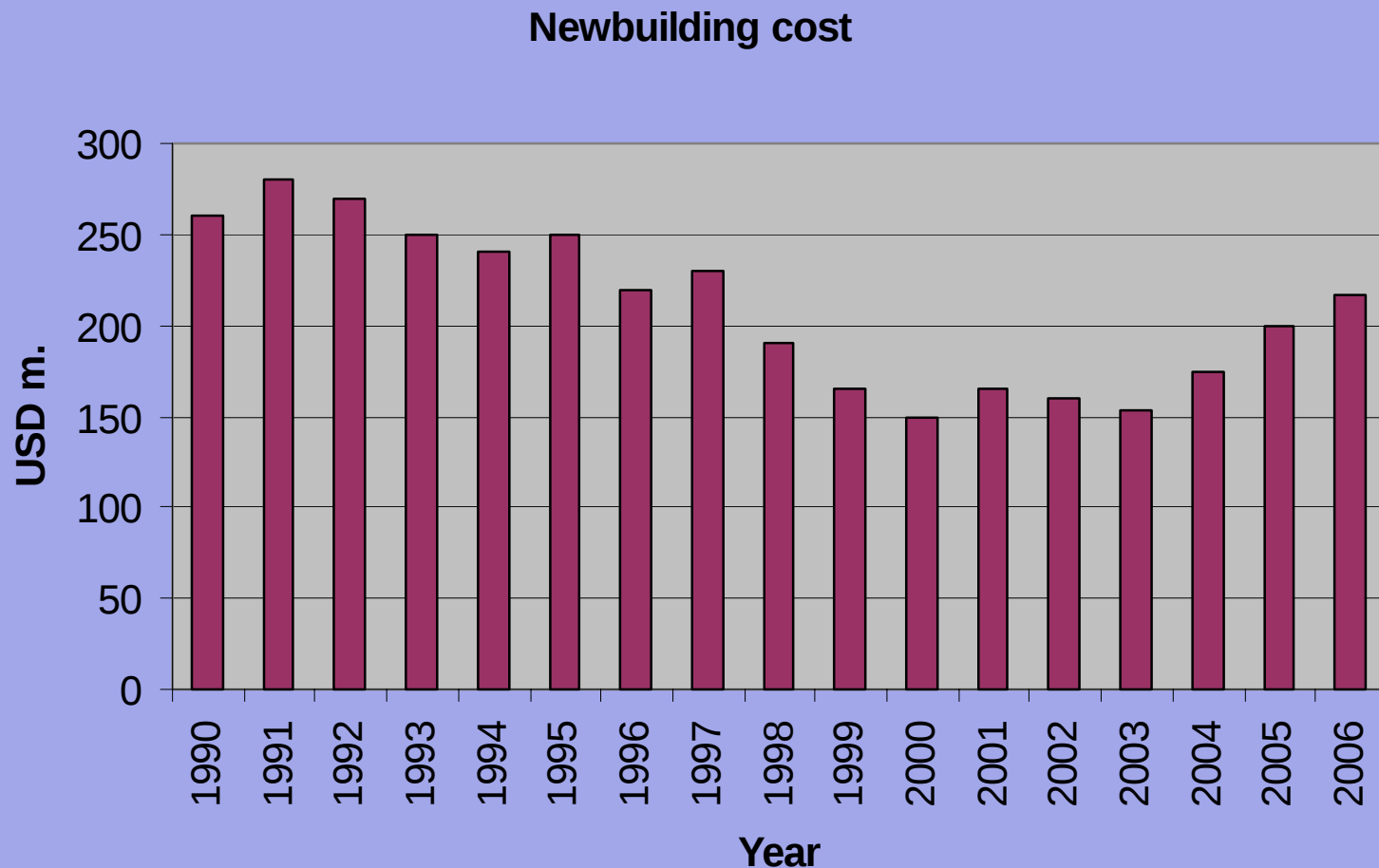


# Τεχνικά θέματα

- 1 x 250,000 dwt δεξαμενόπλοιο αργού πετρελαίου μεταφέρει περίπου τόση ενέργεια όση μεταφέρουν 3.3 x 150,000 cu.m. δεξαμενόπλοια LNG
- Ένα δεξαμενόπλοιο LNG των 150,000 cu.m. μεταφέρει:  
~ 62,000 tons LNG ή ~ 0,09 bcm Φ.Α.
- 1 cu.m. LNG ~ 600 cu.m. Φ.Α.
- 1 mil. tons LNG ~ 1,38 bcm Φ.Α.

# Οικονομικές παράμετροι

## Κόστος κατασκευής πλοίου



# Οικονομικές παράμετροι

## Κατανομή κόστους

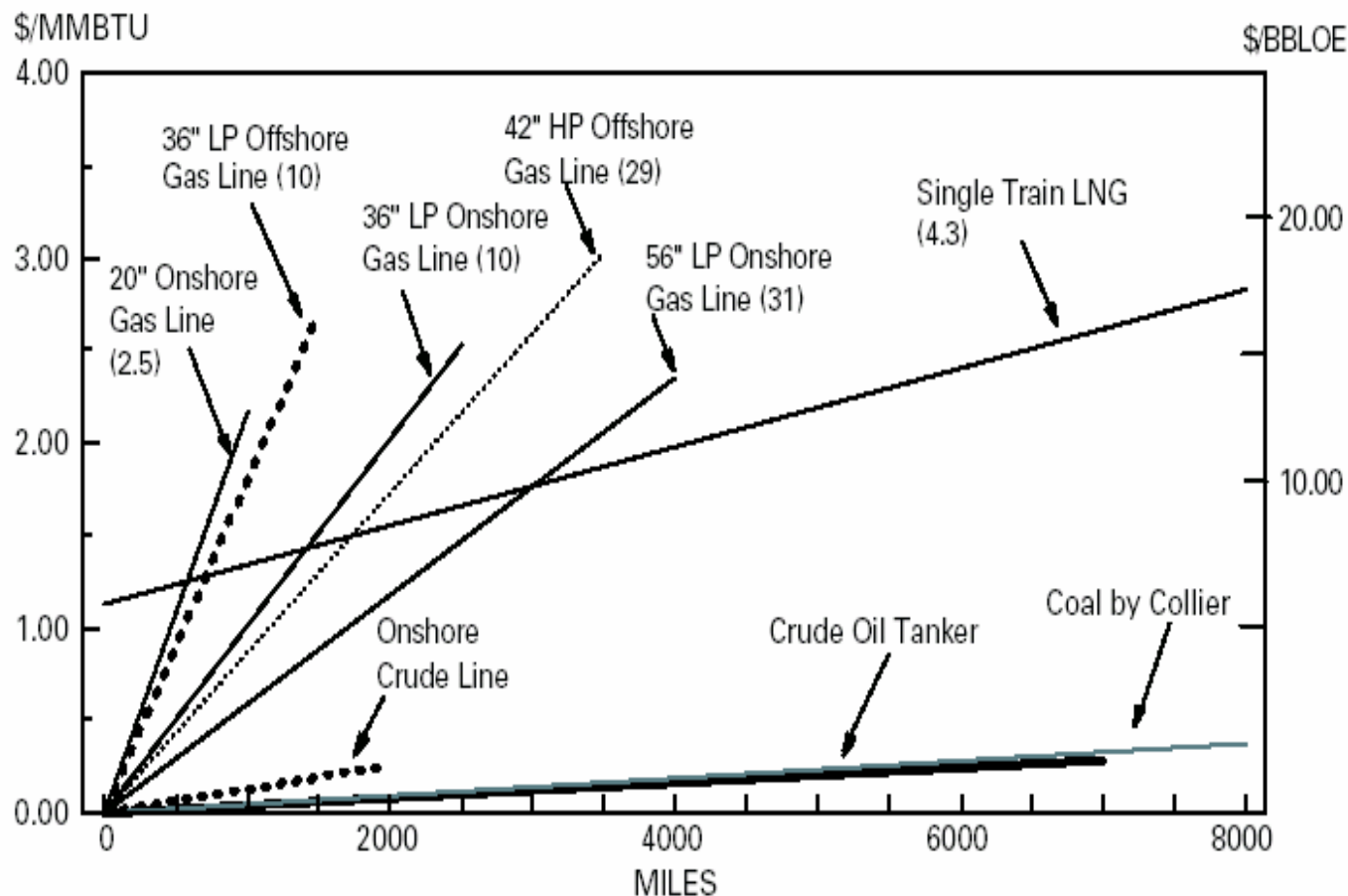
|                            | Capex    | Cost Of Service |
|----------------------------|----------|-----------------|
| Field Development (Varies) | \$1.3 Bn | \$0.80          |
| Liquefaction               | \$1.6 Bn | \$1.22          |
| Tankers (10 @\$160 Mn)     | \$1.6 Bn | \$0.98          |
| Regasification (Varies)    | \$0.5 Bn | \$0.39          |
| Total                      | \$5.0 Bn | \$3.39          |

---

Basis: Greenfield Facility, Two 3.3 Mmt Trains, 6,200 Nautical Miles (Roughly Nigeria to the US Gulf). Requires About 280 Bcm of Reserves to Support a 20-Year Contract

# Οικονομικές παράμετροι

## Κόστος μεταφοράς



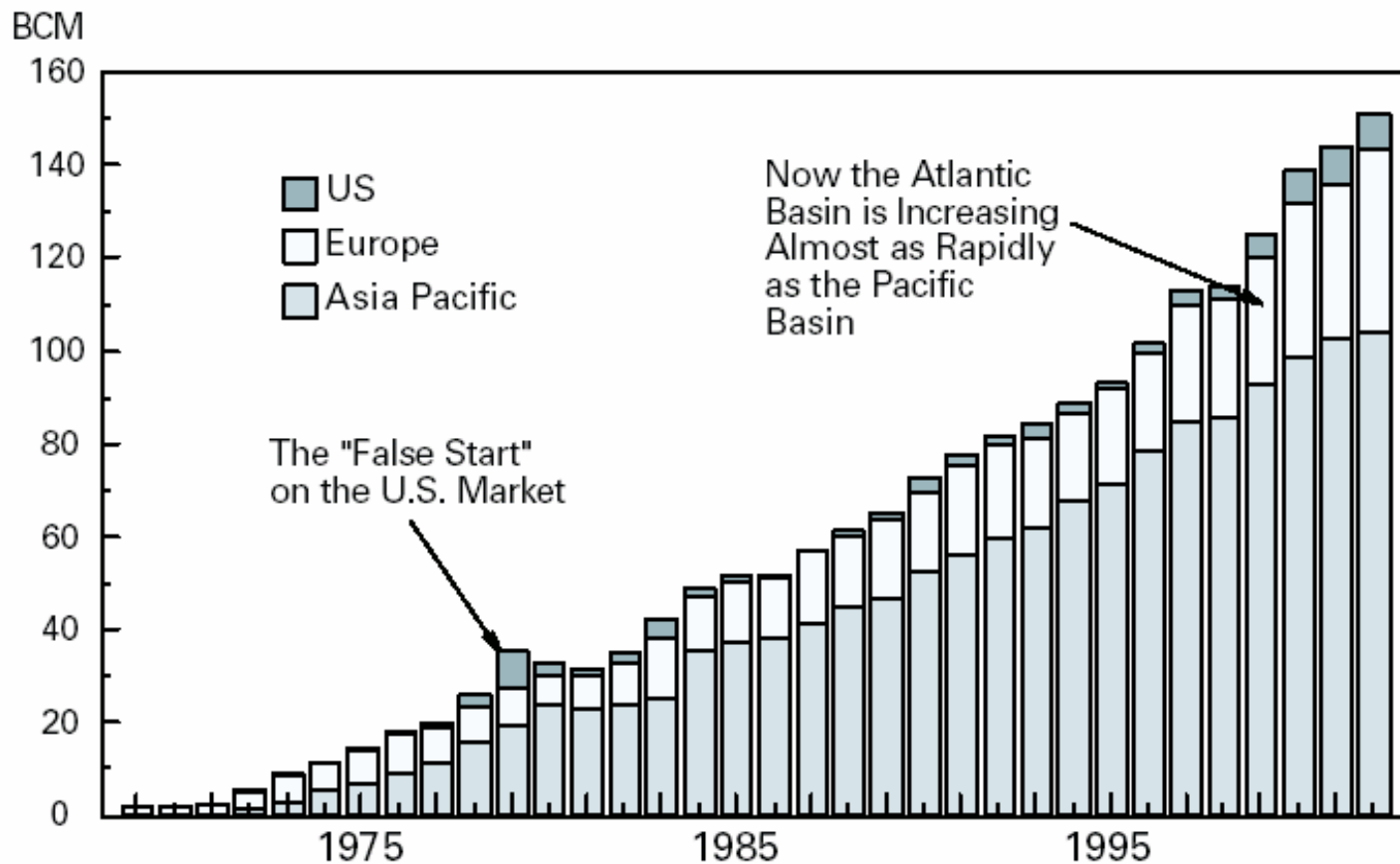
Note: Numbers in brackets show gas delivery capability in BCM

# Η εξέλιξη της αγοράς

## Χαρακτηριστικά

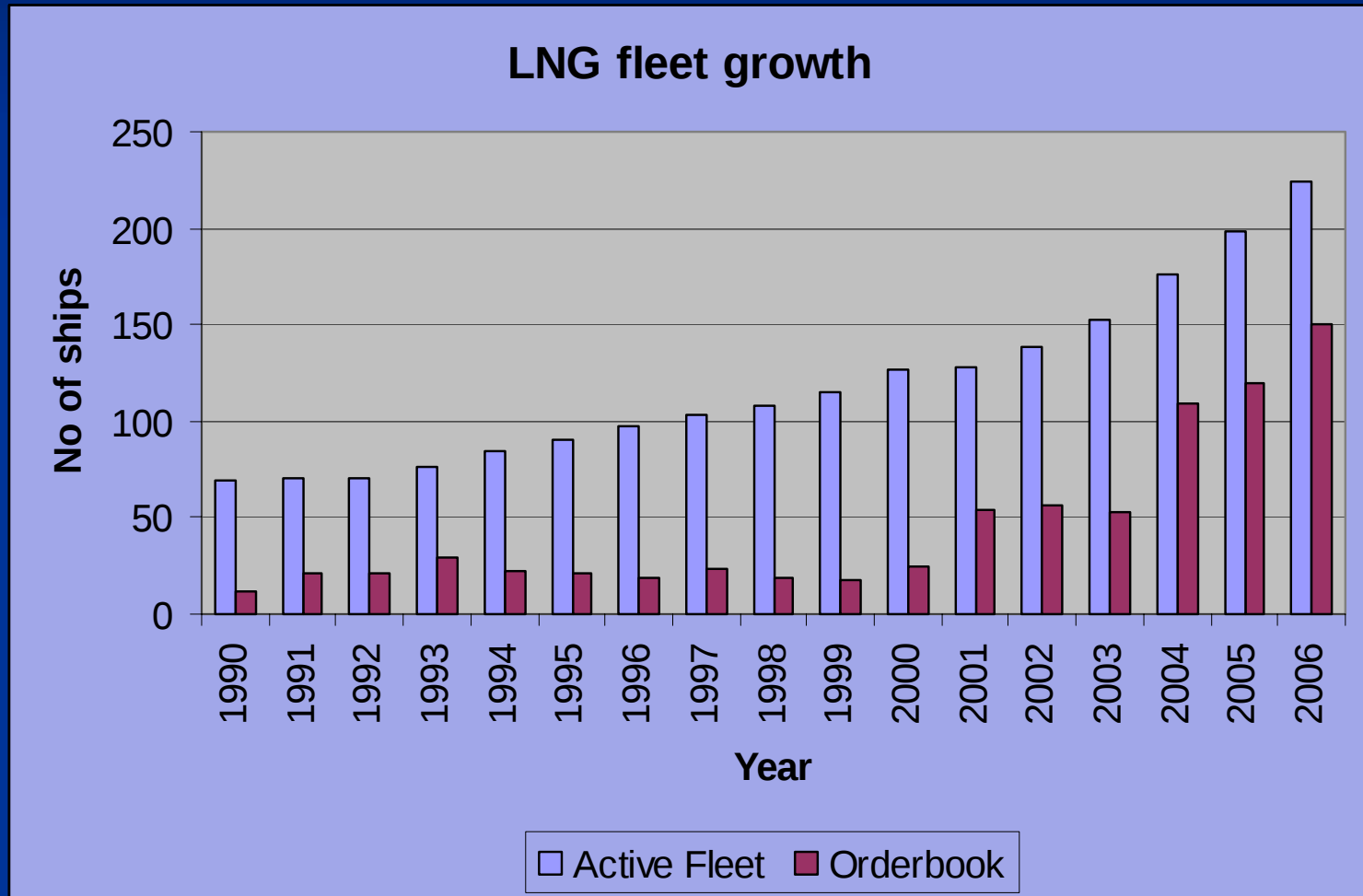
- Απαιτεί μεγάλες επενδύσεις
- Συντηρητική και καθετοποιημένη δομή
- Υστερεί σε ρευστότητα σε σχέση με την αγορά πετρελαίου, αλλά προσφέρει μεγάλη ευελιξία στην αγορά Φ.Α.
- Βραχυπρόθεσμη (short-term) αγορά ~10% του συνόλου
- Η συμμετοχή ανεξάρτητων πλοιοκτητών έχει αυξηθεί σημαντικά
- Παραγγελίες uncommitted πλοίων

# Η εξέλιξη της αγοράς Μεταφερόμενος όγκος

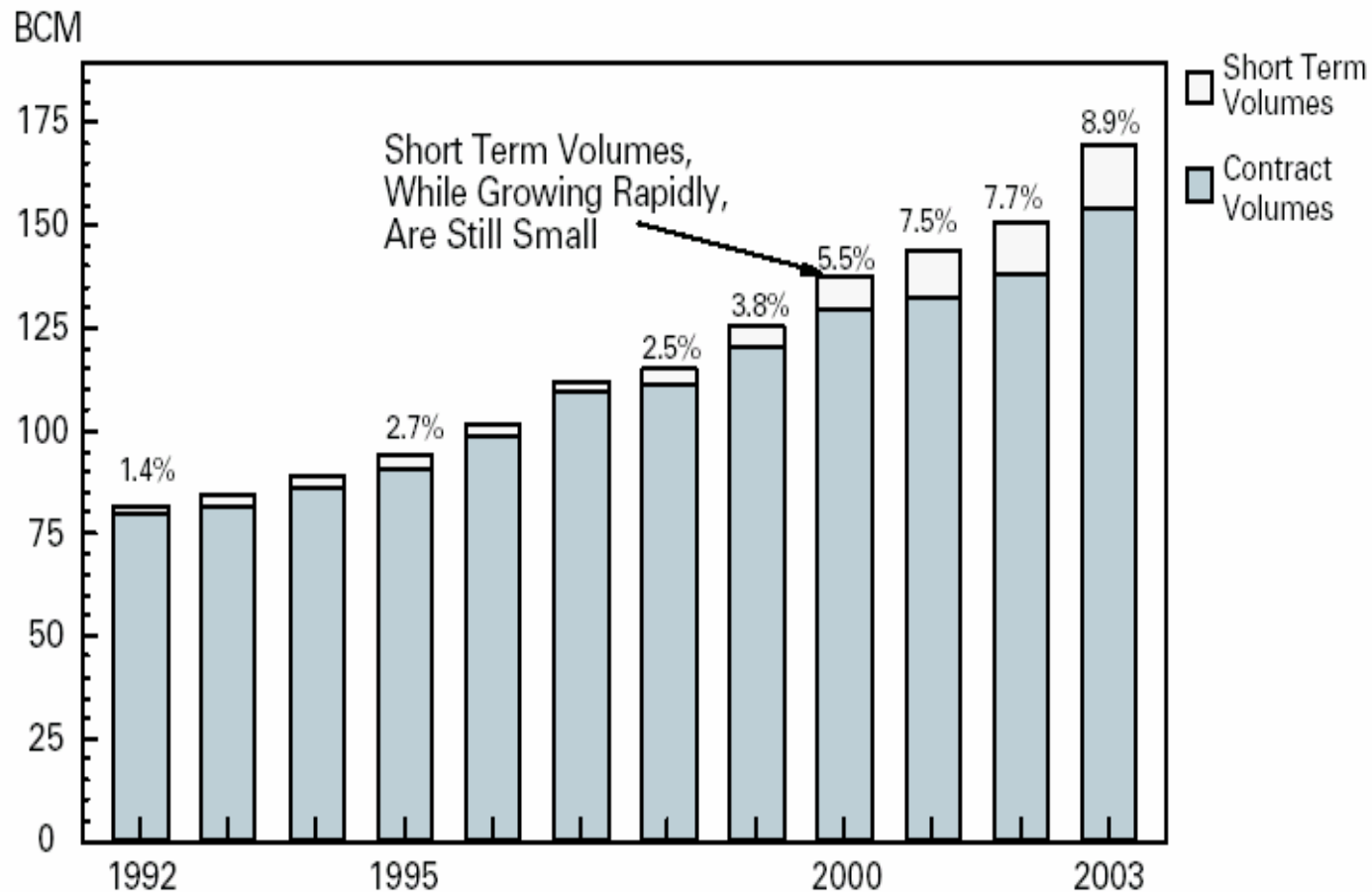


# Η εξέλιξη της αγοράς

## Εξέλιξη του στόλου



# Η εξέλιξη της αγοράς Βραχυπρόθεσμη αγορά



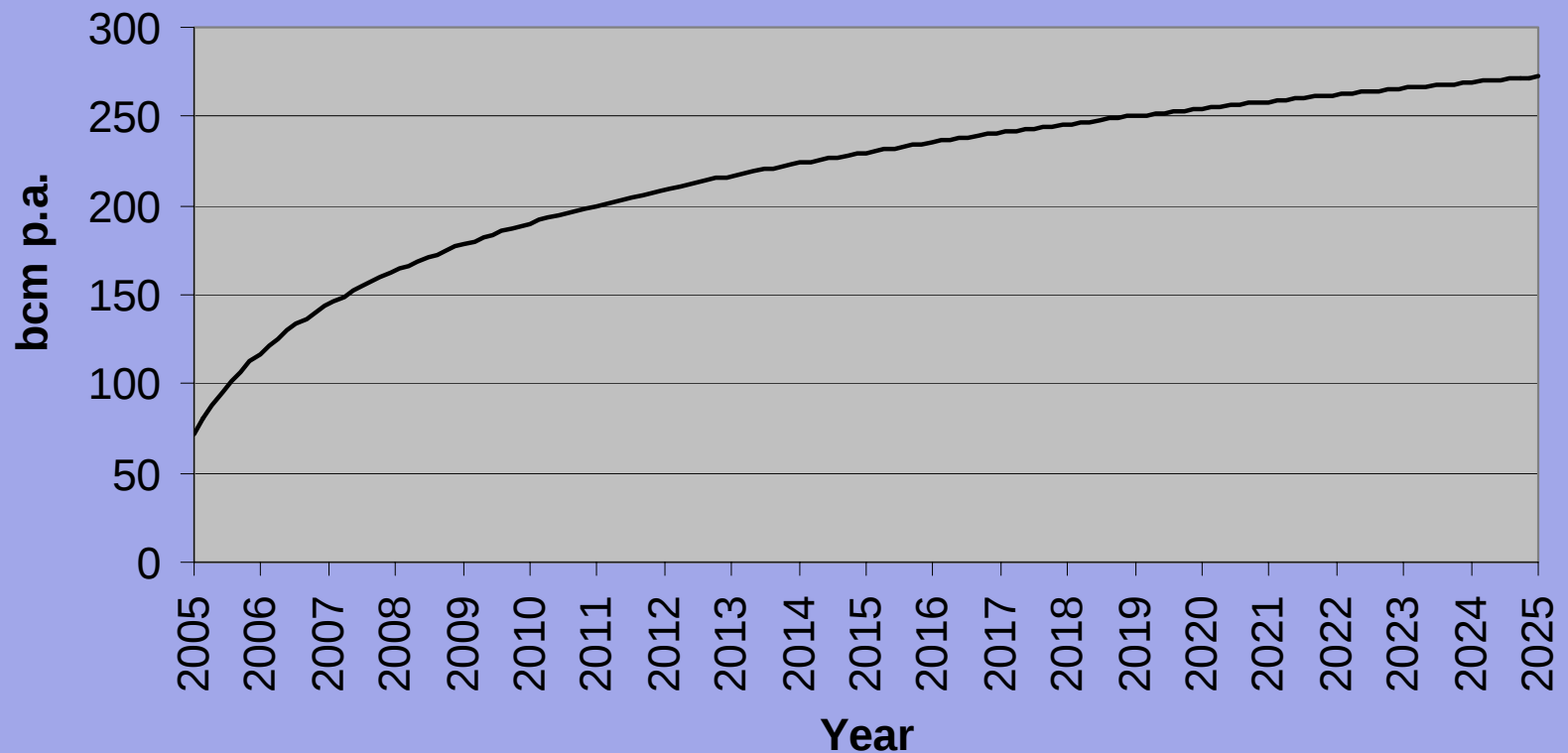
liquefaction plants: 25 world total - regasification terminals: 48 world total (March 2005)

# Προοπτικές Κίνητρα

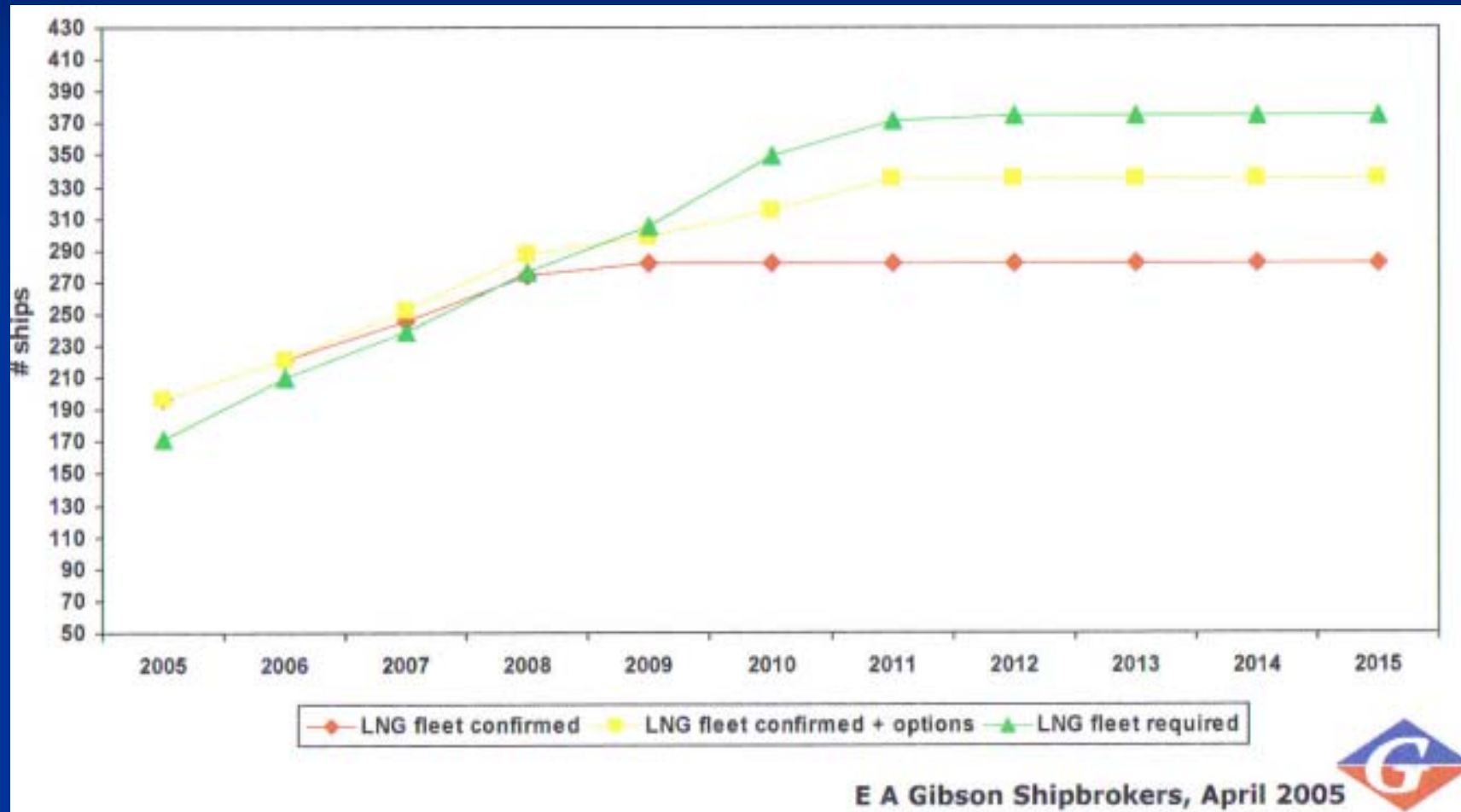
- Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας και νέες αγορές
- Ηλεκτροπαραγωγή: Combined cycle power generation (CCGT)
- Απελευθέρωση αγορών Φ.Α. και ηλεκτρισμού
- Ασφάλεια της τροφοδοσίας
- Περιβαλλοντικοί λόγοι
- Μείωση κόστους λόγω τεχνολογικών βελτιώσεων
- Ανάπτυξη βραχυπρόθεσμης αγοράς (short-term / spot markets):  
Ρευστότητα, ευκαιρίες arbitrage, μέγεθος στόλου, ευελιξία στα συμβόλαια, επενδύσεις σε εγκαταστάσεις

# Προοπτικές Ζήτηση

LNG demand in the Atlantic Basin



# Προοπτικές Στόλος



# Προοπτικές

## Συζήτηση

- Τεχνικά θέματα (π.χ. propulsion, sloshing, χωρητικότητα πλοίων, ice-breaking, offshore terminals)
- Τιμολόγηση LNG / Φ.Α. (benchmarking)
- Safety & security
- Λειτουργικά κόστη (π.χ. πληρώματα)
- Νέες αγορές (Κίνα, Ινδία), νέες πηγές (Αρκτική, Σιβηρία)
- Επενδύσεις
- Άλλες τεχνολογίες (CNG – Compressed Natural Gas, NGH – Natural Gas Hydrates)

# Αναφορές

- BP Statistical Review of World Energy - June 2007
- Jensen, J. (2004), *The Development of a Global LNG Market*, Oxford Institute for Energy Studies
- *LNG – An emerging giant*, E A Gibson Shipbrokers Ltd. presentation at INTERTANKO April 2005 event in Athens-Greece
- IELE - Institute for Energy, Law and Enterprise (2003), *Introduction to LNG*, University of Houston Law Center
- DVB Nedship Bank N.V. (2003), *LNG Tanker Market Report*, DVB Research & Strategic Planning
- US EIA - Energy Information Administration (2003), *Natural Gas Market: Status & Outlook*, US EIA publications
- Gkonis, K.G. and H.N. Psaraftis (2007), “The LNG shipping market and its prospects” (in Greek), *NAYTIKA XPONIKA* magazine, December 2007