



Energetyka

Prof. Maciej Chorowski

Chłodnictwo & Kriogenika

Wykład 13 – Skroplony gaz ziemny LNG



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wrocławska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY







Ciecz	M [g]	T_N [K]	ρ_1 [kg/m ³]]	ρ_2 [kg/m ³]]	ρ_3 [kg/m ³]]	T_C [K]	P_C [MPa]	ΔH_V [kJ/kg]	V_2/V_1 ----	V_3/V_1 ----
He	4,003	4,2	124,9	16,91	0,178	5,2	0,229	20,3	7,4	701
H ₂	2,016	20,3	70,81	1,34	0,089	33,04	1,29	446,0	52,8	788
Ne	20,18	27,17	1207	9,58	0,90	44,5	2,73	85,8	126,0	1341
N ₂	28,01	77,3	808	4,62	1,25	126,2	3,39	199,0	175,0	646
Pow.	28,96	78,8	874	---	1,29	132,6	3,77	205,0	---	678
O ₂	32,00	90,2	1140	4,47	1,43	154,6	5,04	213,0	255,0	797
CH₄	32,00	111,6	423	1,82	0,717	190,5	4,60	510,0	232,0	590





Co to jest LNG

LNG to gaz ziemny, który został oczyszczony i osuszony, a następnie schłodzony i skroplony do postaci ciekłej w celu zmniejszenia jego objętości.

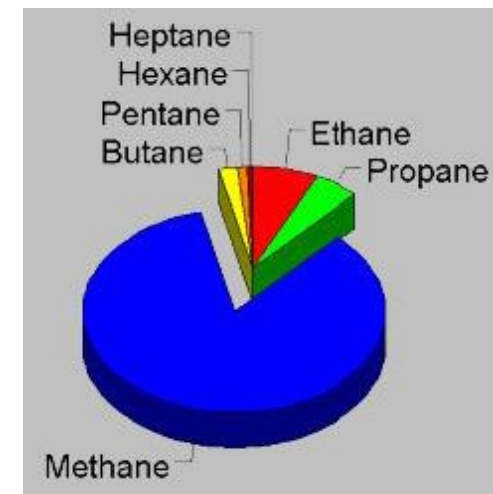
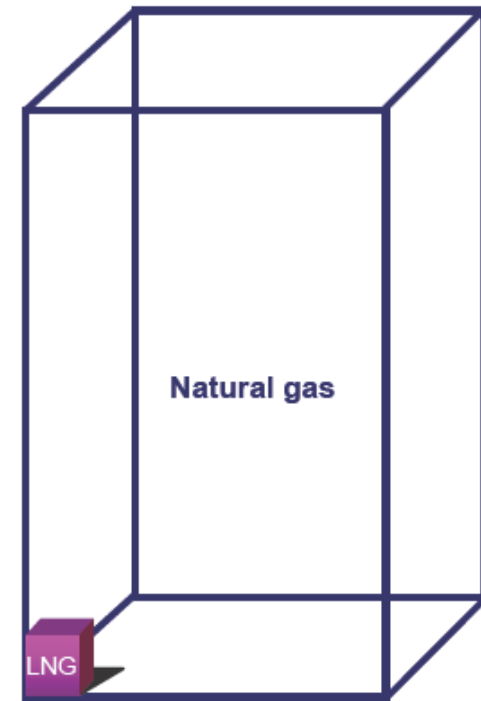
LNG to z angielskiego liquified natural gas, czyli skroplony gaz ziemny.

LNG jest cieczą kriogeniczną - jego temperatura normalna to $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ (111 K). LNG jest cieczą bezbarwną, bezwoną, nie oddziałującą agresywnie na metale i nietoksyczną. Jednakże odparowujące LNG może wypierać tlen i w ten sposób działać dusząco.

Zakres palności mieści się od 5 do 15 % objętościowo.

Temperatura samozapłonu: $540\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Skład LNG zależy głównie od składu gazu naturalnego i zastosowanych metod jego oczyszczania i osuszania. Z reguły 85-95% stanowi metan.





Component	BuHasa (Abu Dhabi)	USA (Kansas)	Kanada (Pincher Creek, Alberta)	Polska - Podkarpacie
H ₂	-	0.45	-	-
N ₂	0.30	14.65	0.40	2,04
CO ₂	4.48	-	6.30	0,19
H ₂ S	0.02	-	10.50	-
CH₄	67.48	72.89	74.69	93,24
C ₂ H ₆	11.54	6.27	3.26	3,46
C ₃ H ₈	8.20	3.74	1.25	0,73
C ₄ H ₁₀ (izo)	1.48	0.33	0.35	0,06
C ₄ H ₁₀ (n)	3.08	1.05	0.46	0,09
C ₅ H ₁₂ (izo)	0.93	0.20	0.21	0,02
C ₅ H ₁₂ (n)	1.07	0.21	0.22	0,02
C ₆ H ₁₄	0.83	0.10	0.45	0,02
C ₇ H ₁₆	0.59	0.11	1.91	0,01

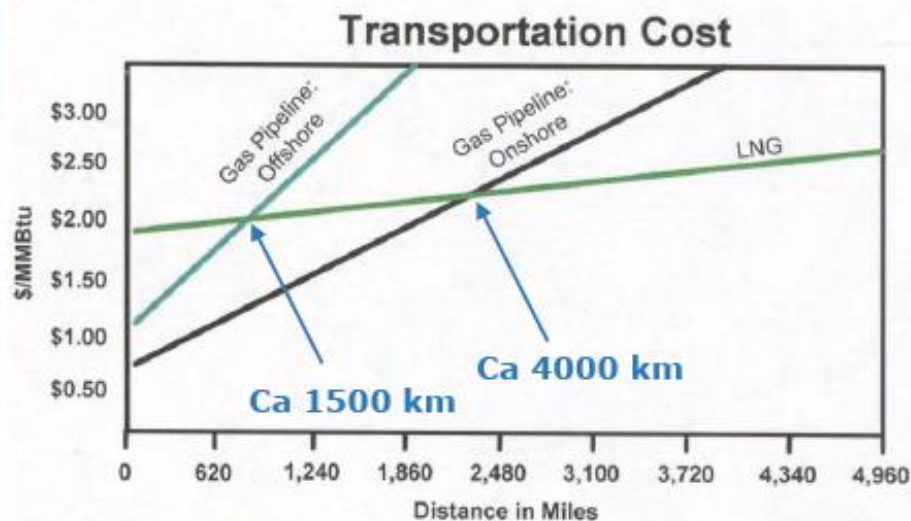


LNG – przykładowe składy

Properties at bubblepoint at normal pressure	LNG Example 1	LNG Example 2	LNG Example 3
Molar content (%)			
N ₂	0,5	1,79	0,36
CH ₄	97,5	93,9	87,20
C ₂ H ₆	1,8	3,26	8,61
C ₃ H ₈	0,2	0,69	2,74
i C ₄ H ₁₀	—	0,12	0,42
n C ₄ H ₁₀	—	0,15	0,65
C ₅ H ₁₂	—	0,09	0,02
Molecular weight (kg/kmol)	16,41	17,07	18,52
Bubble point temperature (°C)	- 162,6	- 165,3	- 161,3
Density (kg/m³)	431,6	448,8	468,7
Volume of gas measured at 0 °C and 101 325 Pa/volume of liquid (m³/m³)	590	590	568
Volume of gas measured at 0 °C and 101 325 Pa/mass of liquid (m³/10³ kg)	1 367	1 314	1 211

Dlaczego LNG?

LNG jest głównie produkowany dla celów transportowych. W sytuacji gdy rynek zbytu gazu ziemnego jest położony bardzo daleko od złoża LNG jest najlepszym rozwiązaniem na ograniczenie kosztów przesyłu gazu.

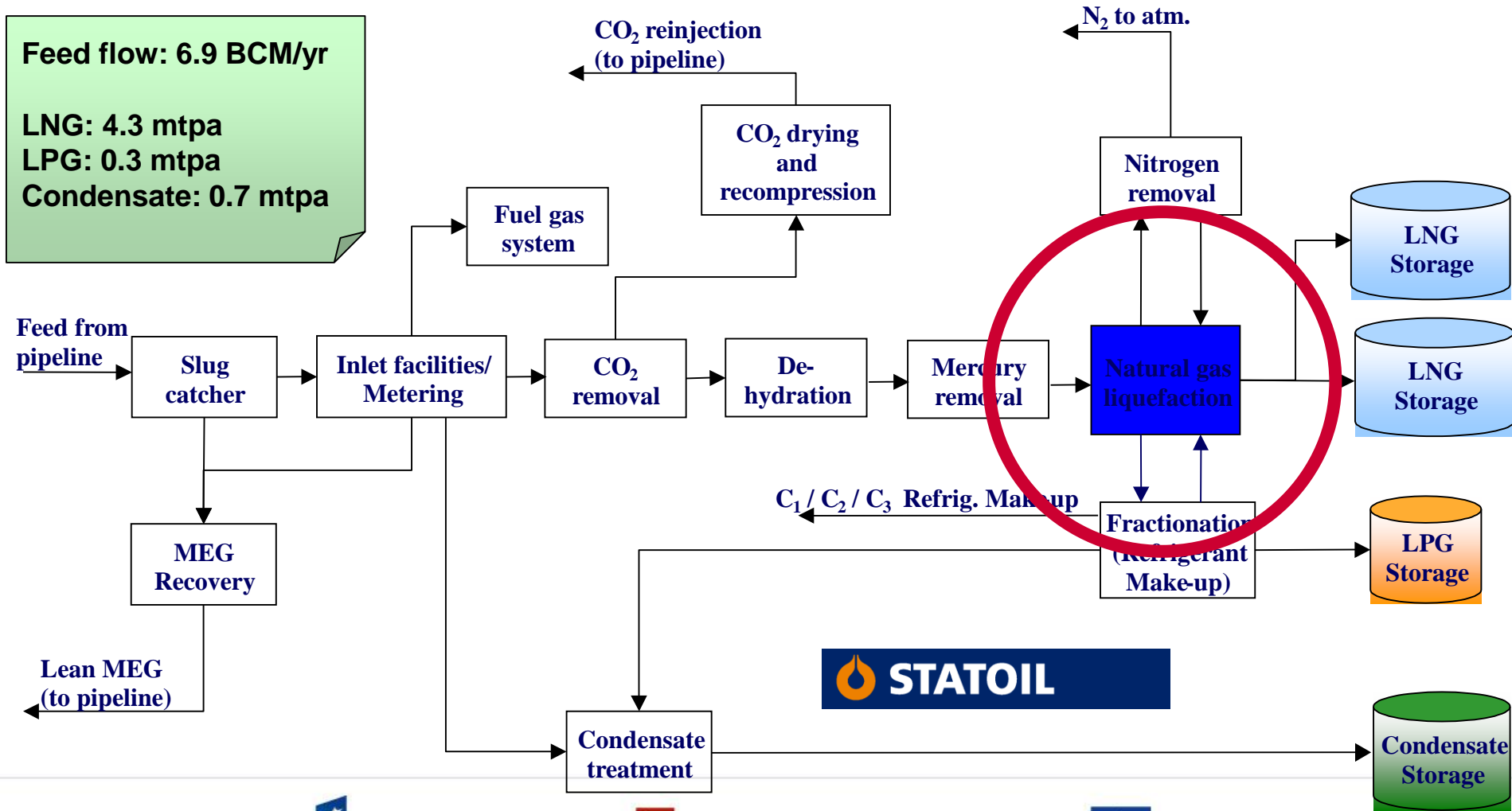


Source: Institute of Gas Technology.



Przykładowa obróbka i skraplanie gazu ziemnego

Feed flow: 6.9 BCM/yr
LNG: 4.3 mtpa
LPG: 0.3 mtpa
Condensate: 0.7 mtpa



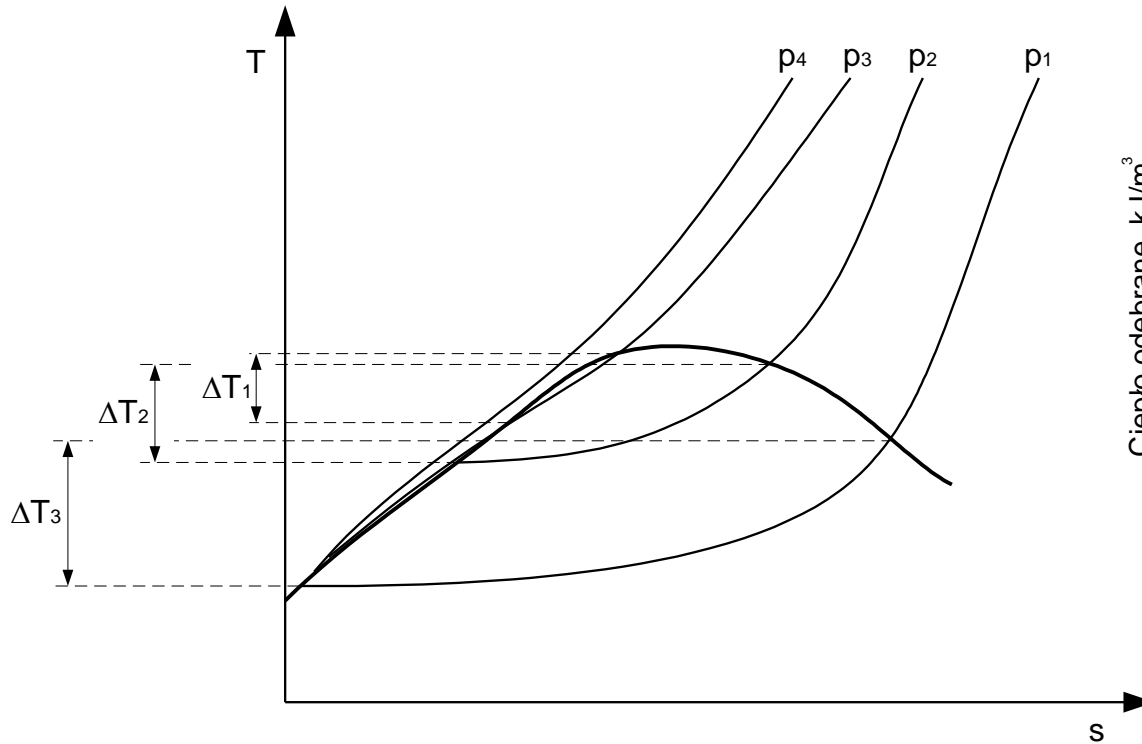


Metody produkcji LNG:

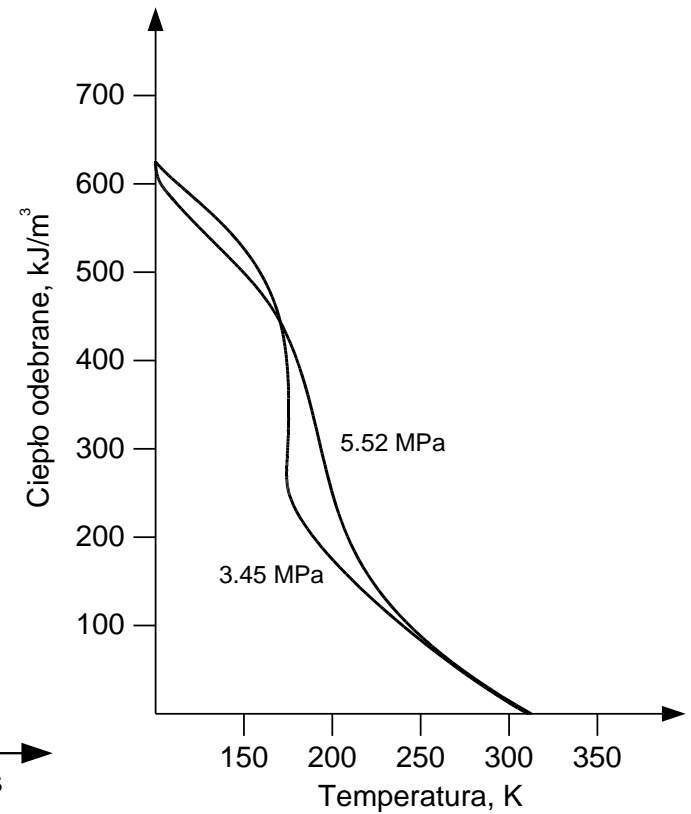
- z zastosowaniem wymiennika/ów ciepła z ciekłym azotem
- z zastosowaniem chłodziarki Joule'a-Thomsona
- proces Prico
- z zastosowaniem chłodziarki Stirlinga
- z zastosowaniem azotowej turbiny rozprężnej
- oparta na izentropowym rozprężaniu gazu ziemnego
- oparta na wykorzystaniu mieszaniny czynników DMR
- kaskadowy proces Conco-Phillipsa
- proces AP-X
- proces MFC



Isobars in Natural Gas – temperature slopes visible

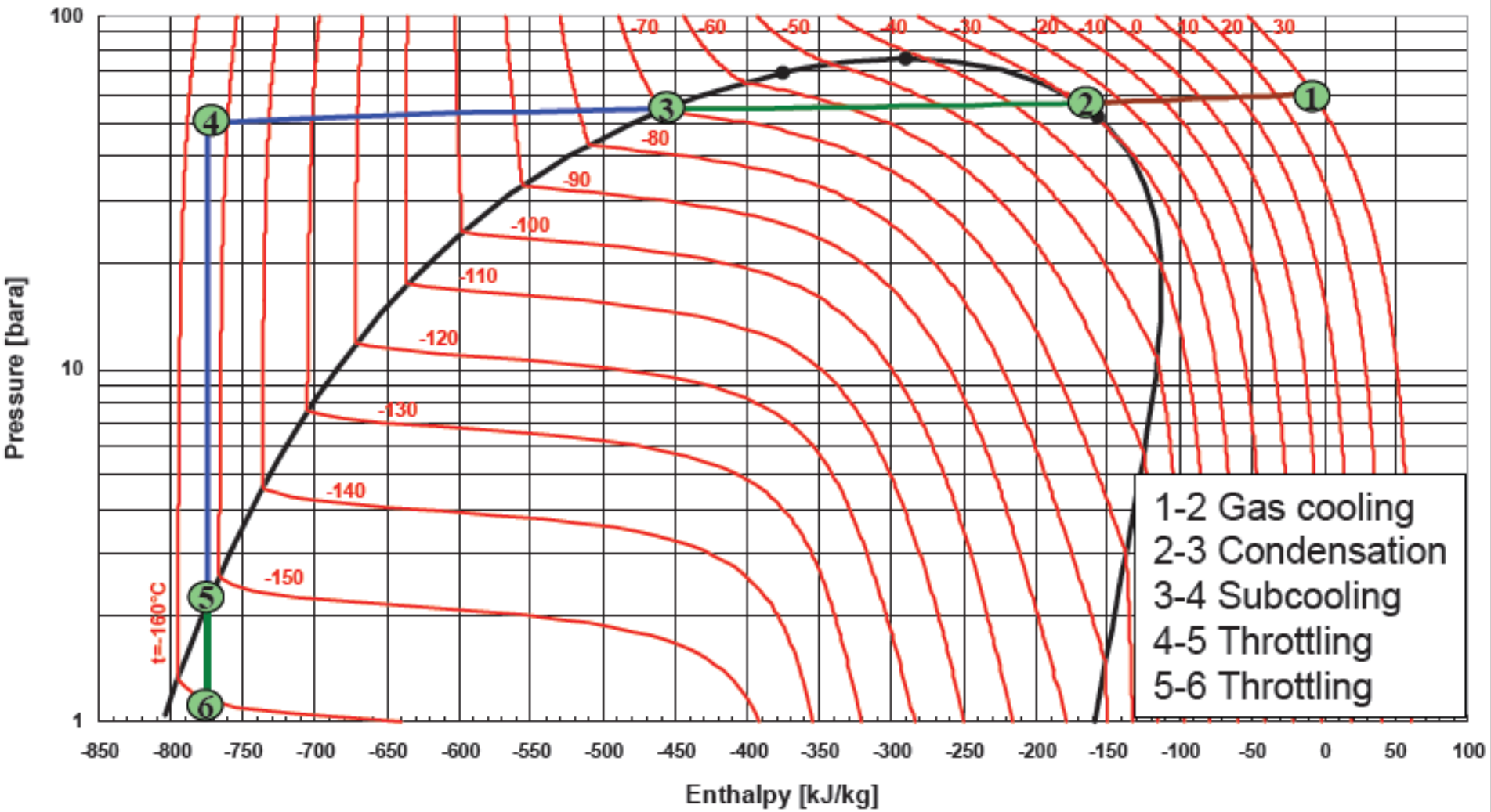


Heat transfer from the gas in liquefaction process



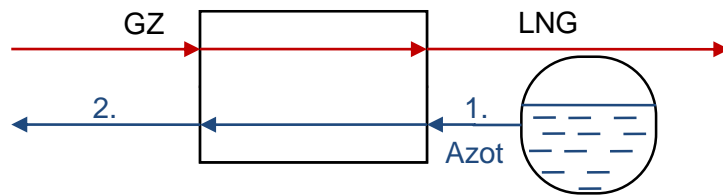


LNG (Methane) phase diagram with liquefaction process

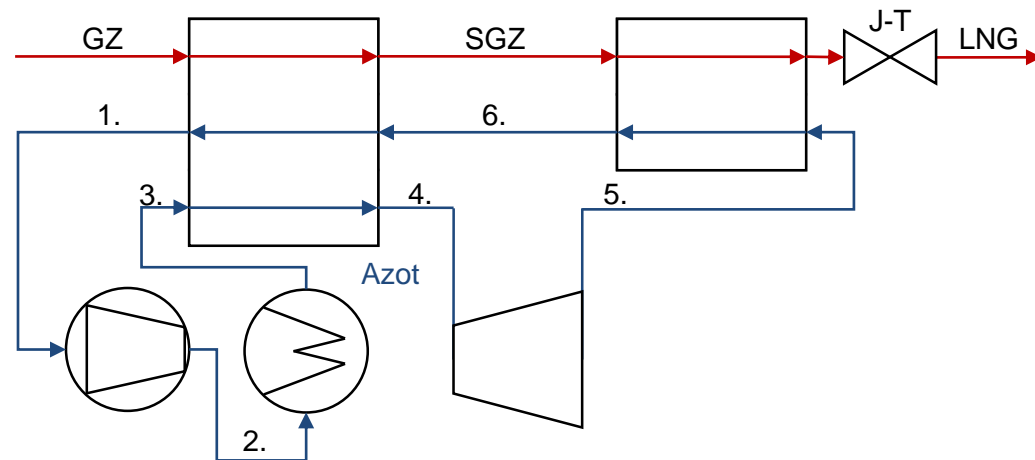




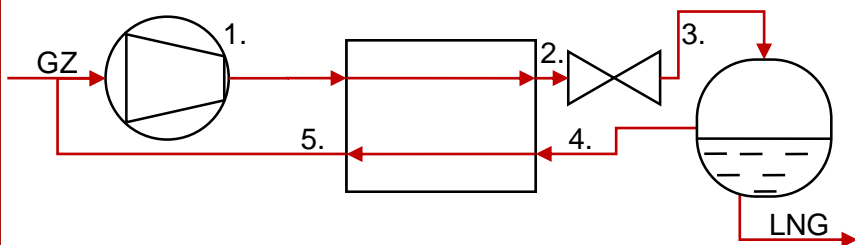
Procesy otrzymywania LNG o niewielkich wydajnościach



Układ oparty na wymienniku z ciekłym azotem



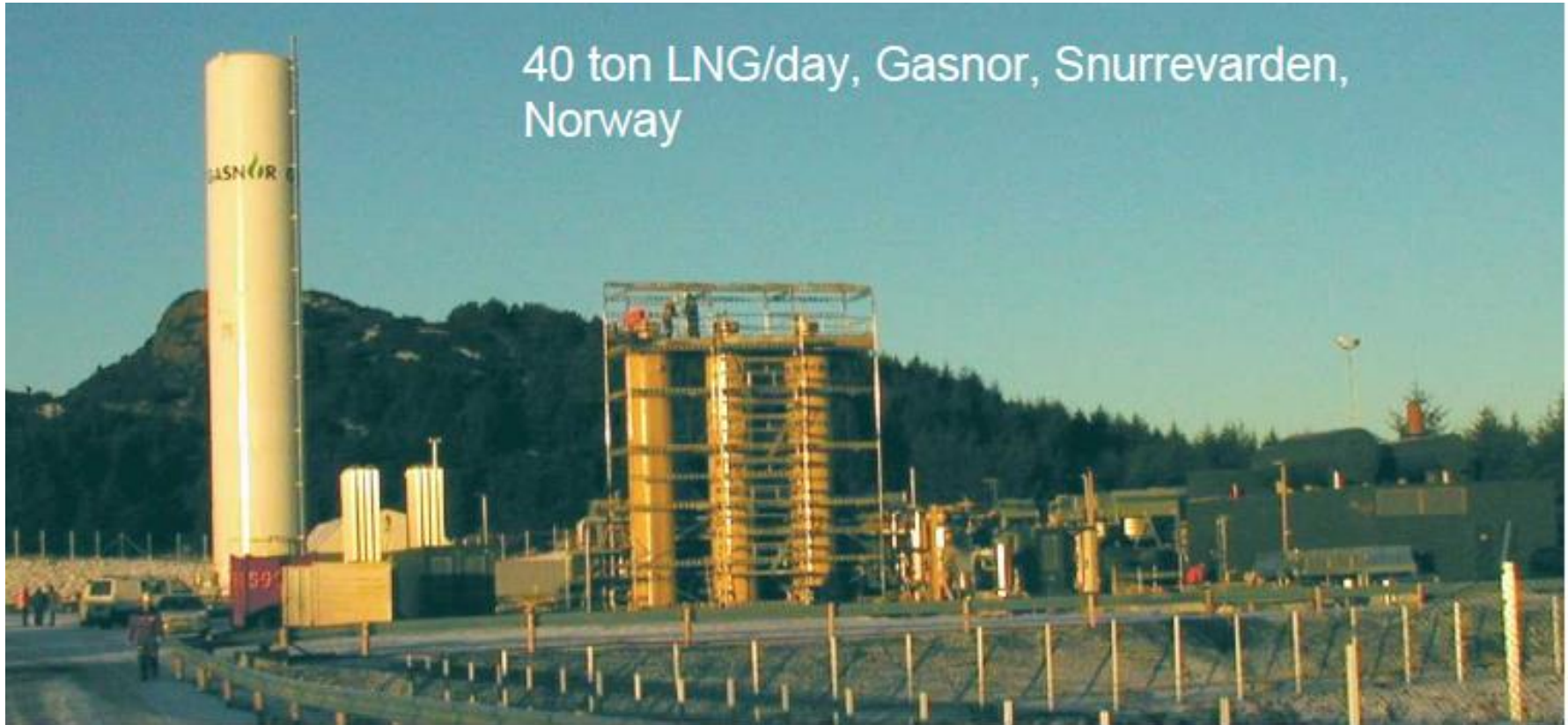
Układ oparty na rozprężarkach azotowych



układ z użyciem zaworu Joule'a-Thomsona



Nitrogen expansion cooler cycle



LNG storage 257 m³

pressure storage

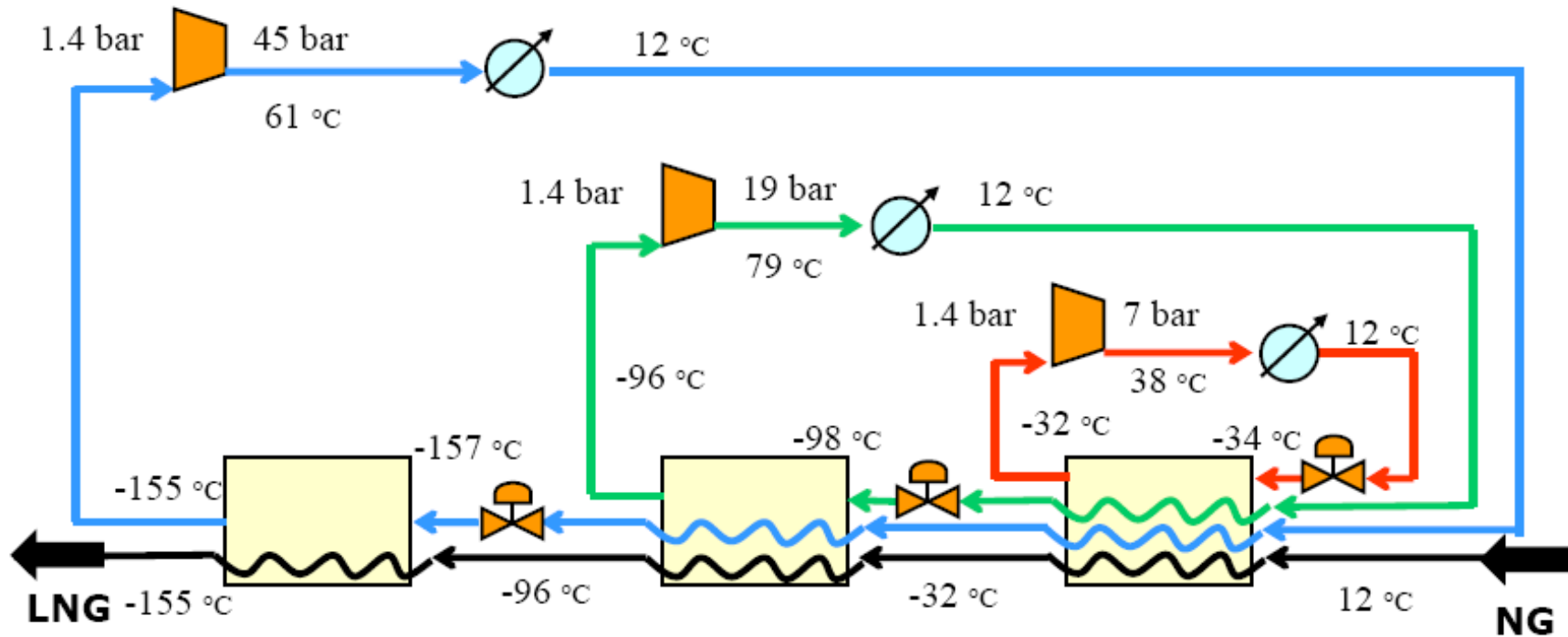
cold box

compressor building



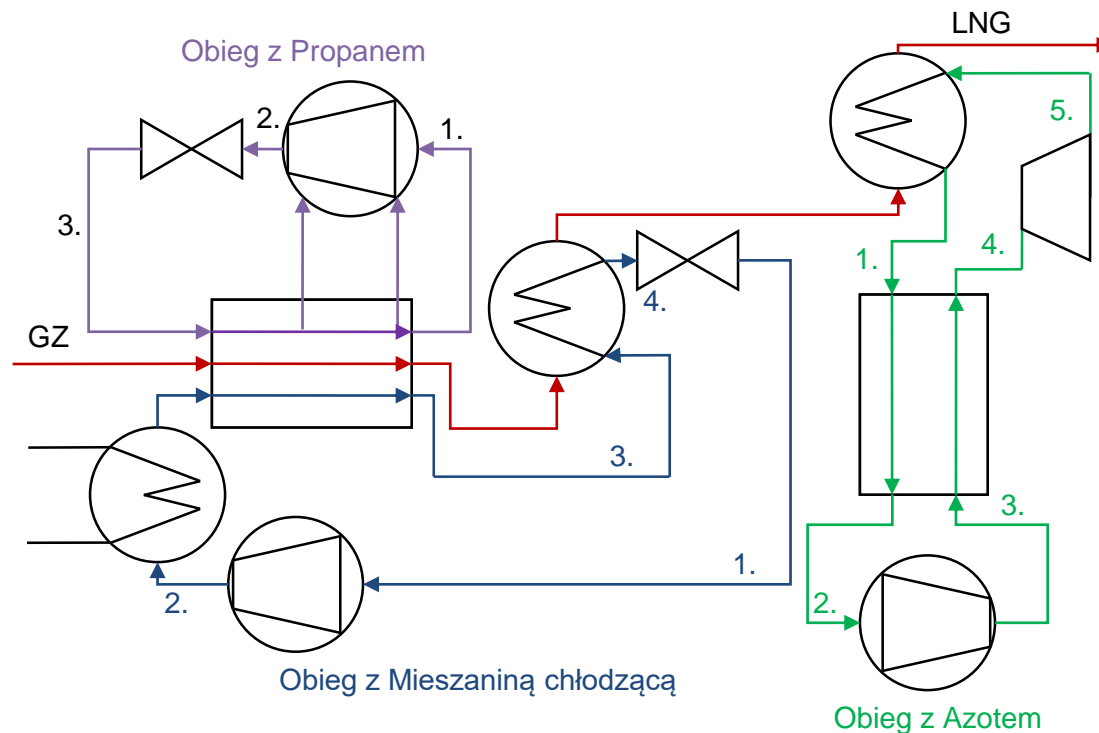
Proces skraplania gazu ziemnego

Proces kaskadowy Philippsa





Proces skraplania gazu ziemnego w technologii AP-X



Metoda oparta na projekcie AP-X jest stosowana jedynie w bardzo dużych instalacjach skraplania gazu ziemnego. Proces został stworzony poprzez rozwinięcie i usprawnienie metody C₃-MR

Proces skraplania gazu ziemnego w technologii MFC (Mixed Fluid Cascade)

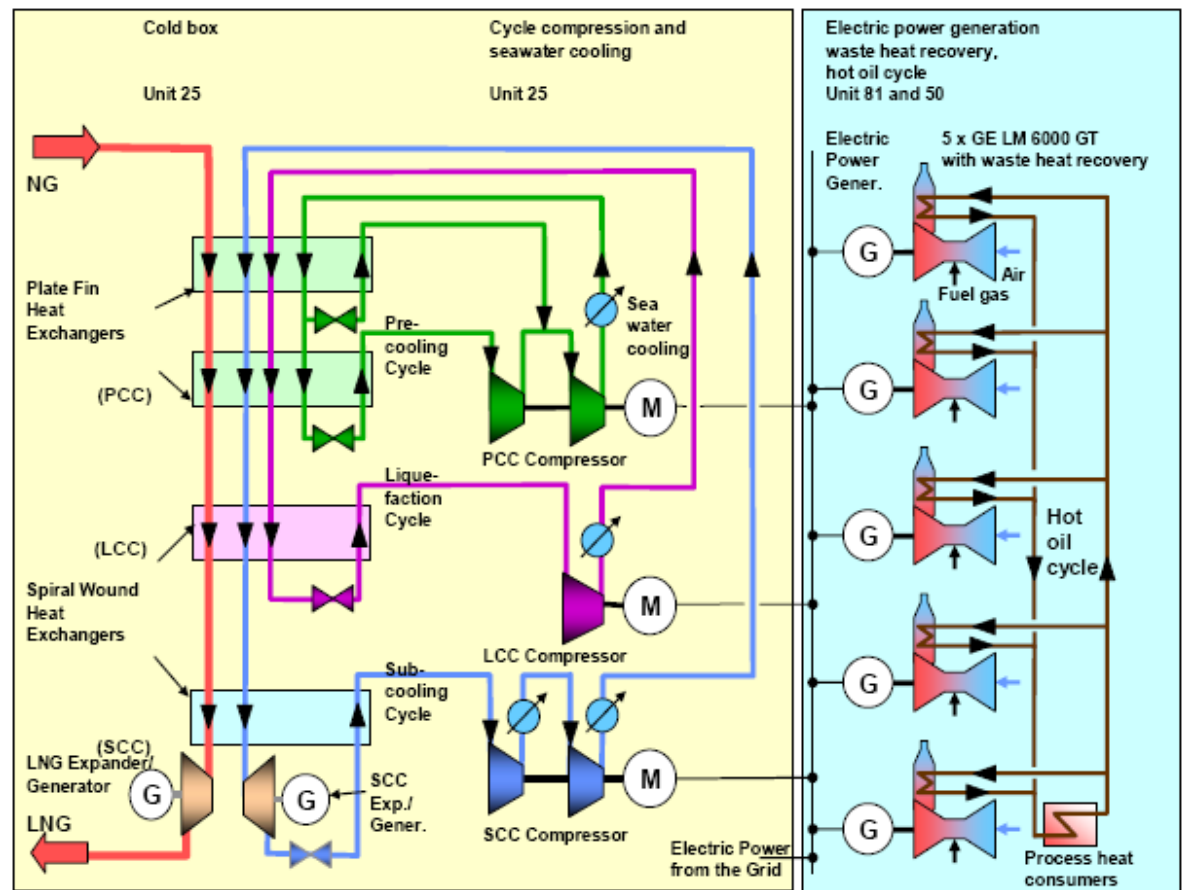
Trzy oddzielne obiegi chłodnicze:

PCC – chłodzenie wstępne

LCC – skraplanie

SCC – przechładzania

W każdym obiegu zastosowano zoptymalizowaną mieszankę czynników chłodniczych.





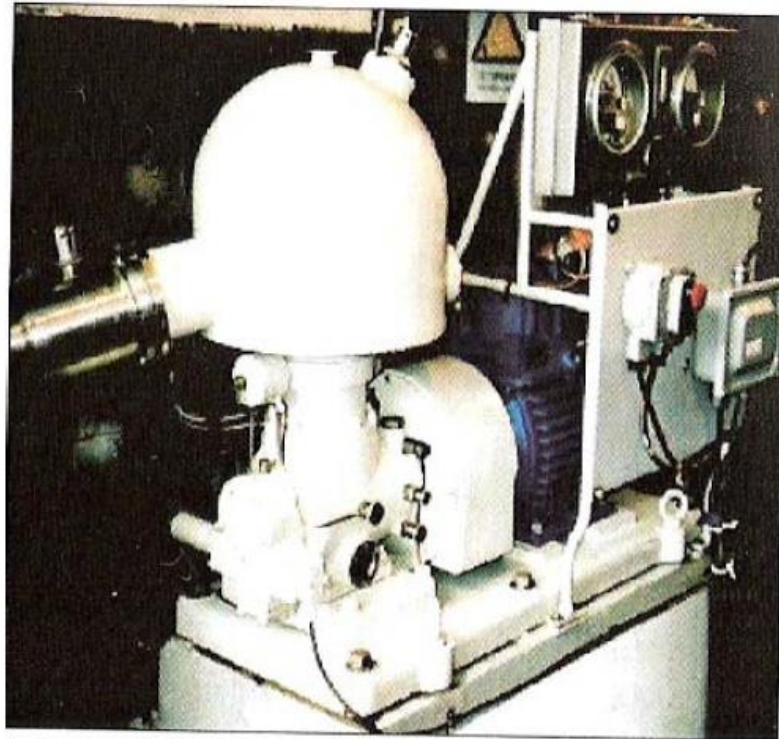
Stirling cryocooler coupled with NG heat exchanger – małe wydajności

Russian variant

Gazotron [1]

200 kg/day

These machines originally developed by Philips and manufactured by more companies, now, are used mostly for liquefaction of boil-off of large flat-bottom LNG tanks





Liquefaction by vaporization of liquid nitrogen (LIN)

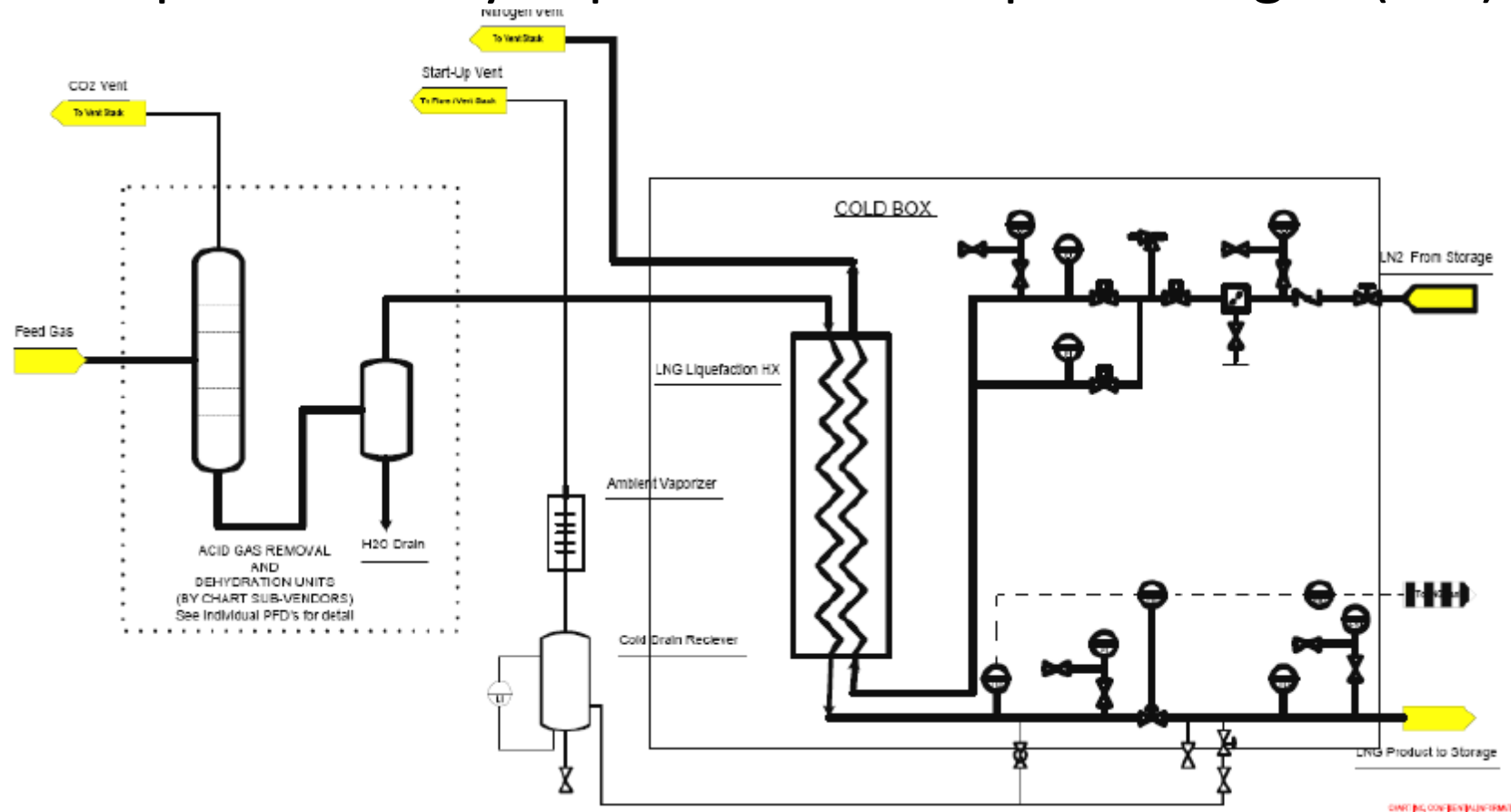


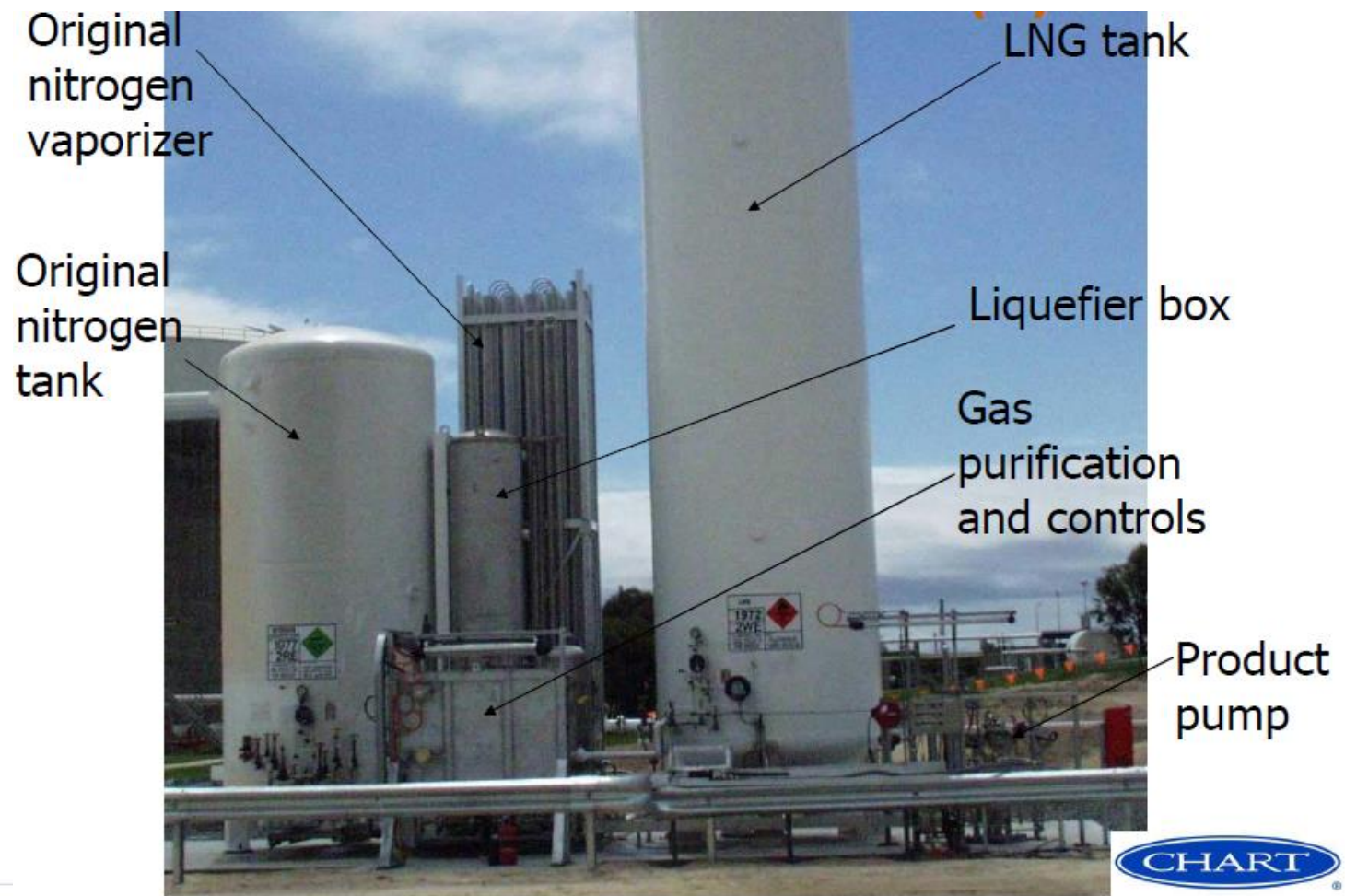
CHART INC. CONFIDENTIAL

CHART Chart Inc. Process Systems Division 880 New York Drive, Suite 100, The Woodlands, TX 77381 USA			
PROCESS FLOW DIAGRAM LPLANT UNIT			
DRAWN BY	SCALE	DATE	REV.
Peres L/Riser PFD and	NONE	A	P
SCALE	NONE	DATE	REV.

06/01/2009 - 09/30/12

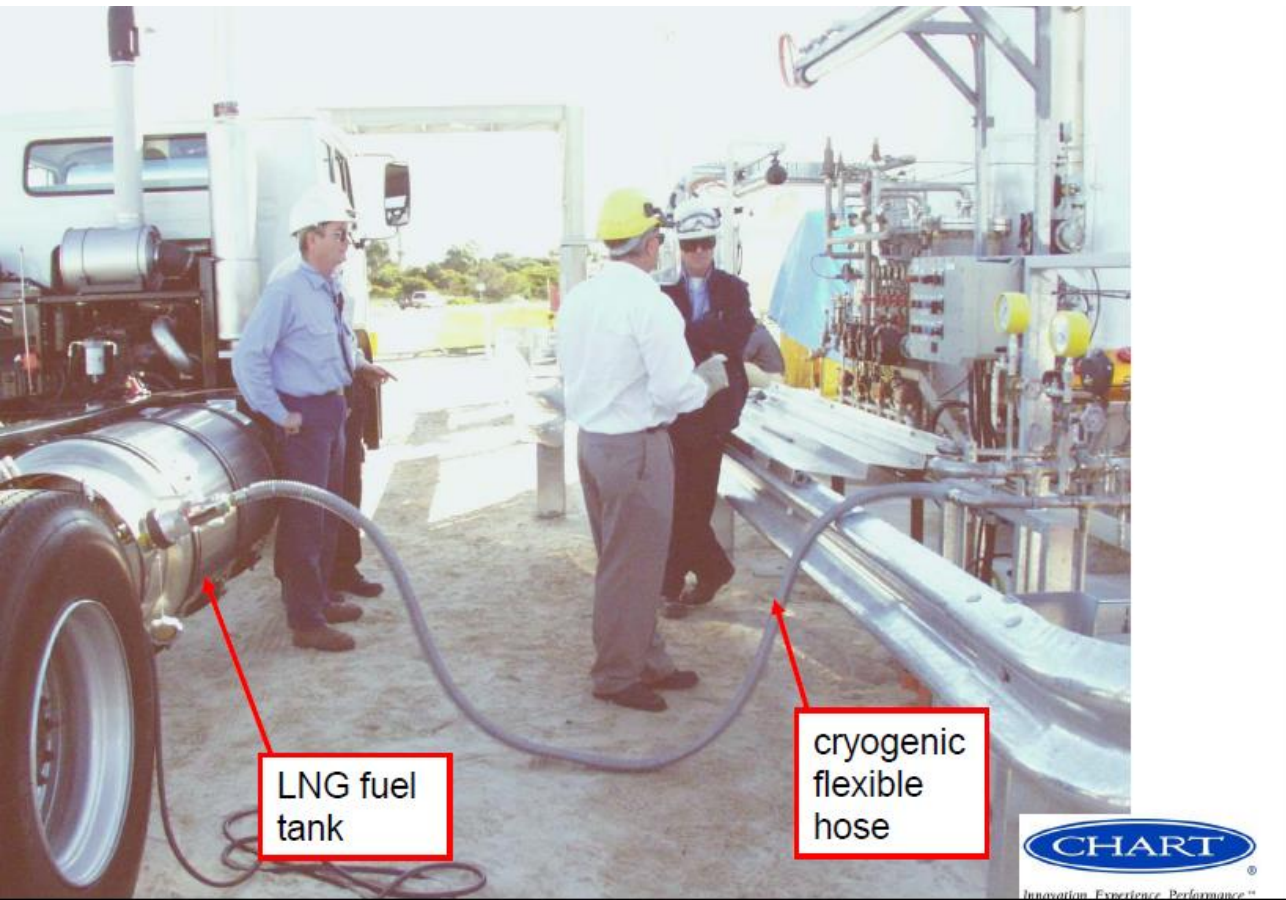


Liquefaction by vaporization of liquid nitrogen (LIN)





Liquefaction by vaporization of liquid nitrogen (LIN)



LNG fuel tank

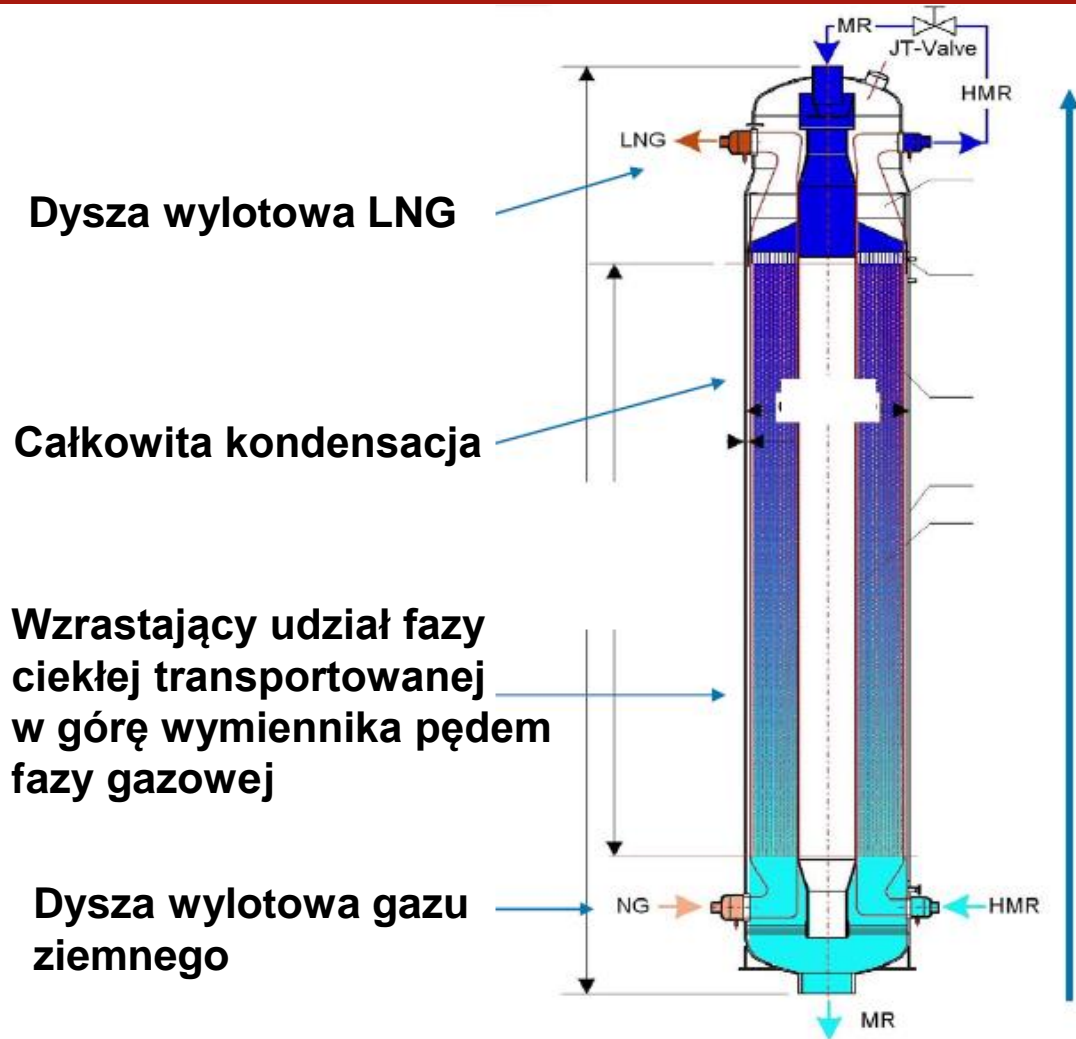
cryogenic flexible hose



Fuelling of a truck with LNG liquefied by vaporization of nitrogen

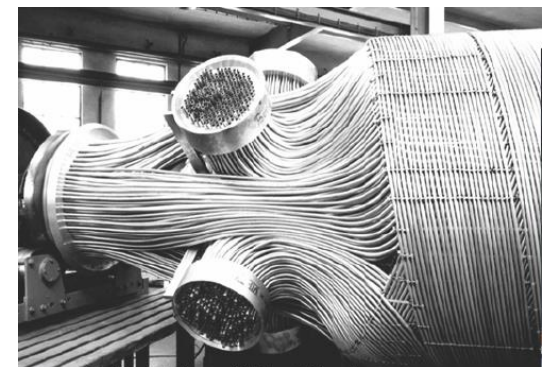
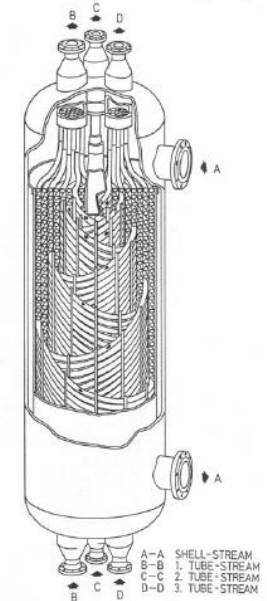


Wymienniki ciepła LNG - wymienniki rurowe



Kierunek przepływu od gazu ziemnego do LNG

Spiral wound heat exchanger (SWHE)



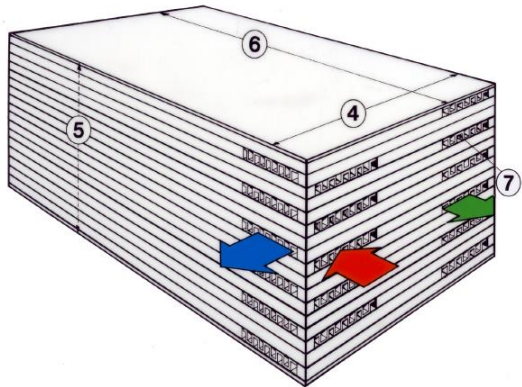
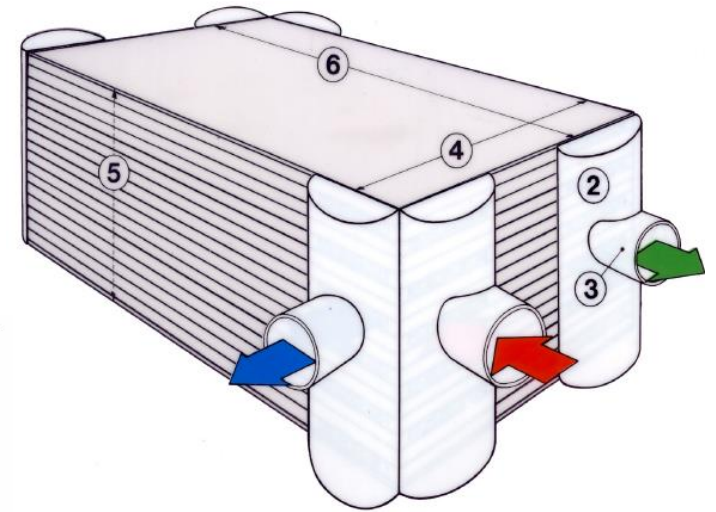
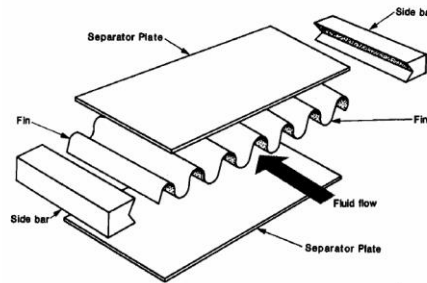
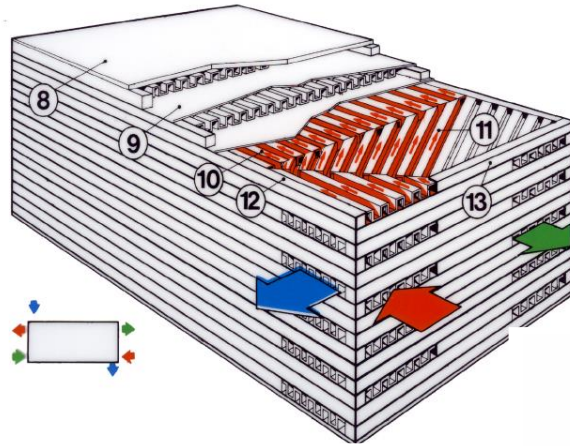
Coil Wound Heat Exchangers

530 km tubes
20.000 m² surface





Wymienniki ciepła LNG - wymienniki płytowe





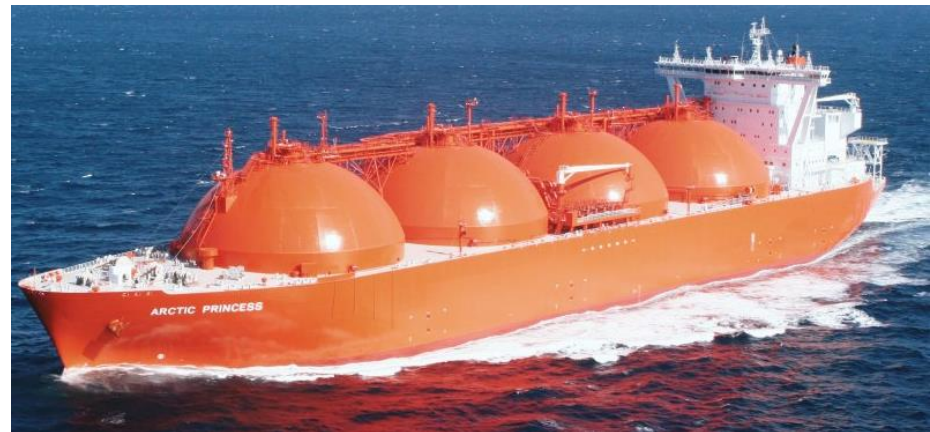
Transport LNG

Główną przyczyną wielkoskalowego skraplania gazu ziemnego jest obniżenie kosztów jego transportu dalekosiężnego. W transporcie morskim dominują dwa rodzaje zbiornikowców LNG:

Zbiornikowce LNG ze zbiornikami membranowymi

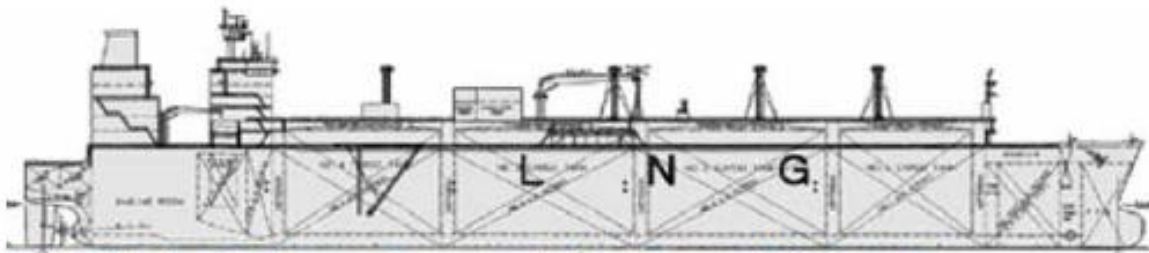


Zbiornikowce LNG ze zbiornikami sferycznymi

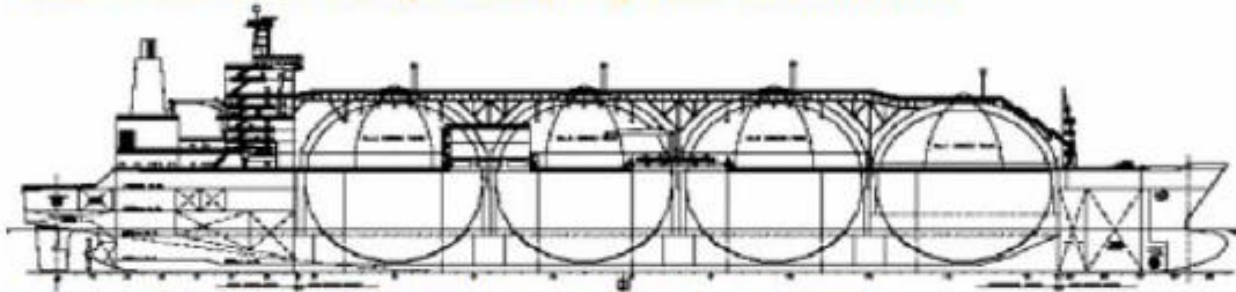




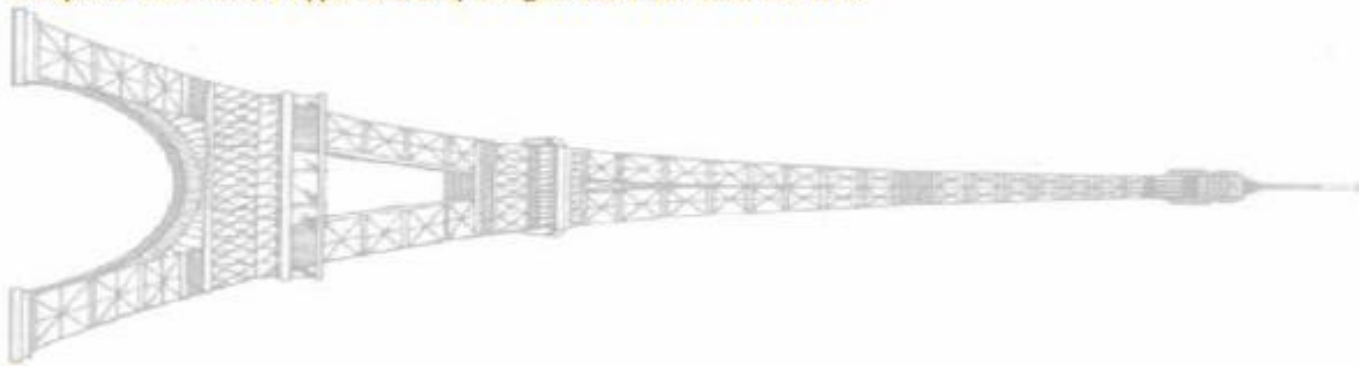
Transport LNG



138,000 cbm Membrane type vessel, length over all 266 metres



145,000 cbm Moss type vessel, length over all 288 metres





Wrocław University of Technology

Master programmes in English
at Wrocław University of Technology



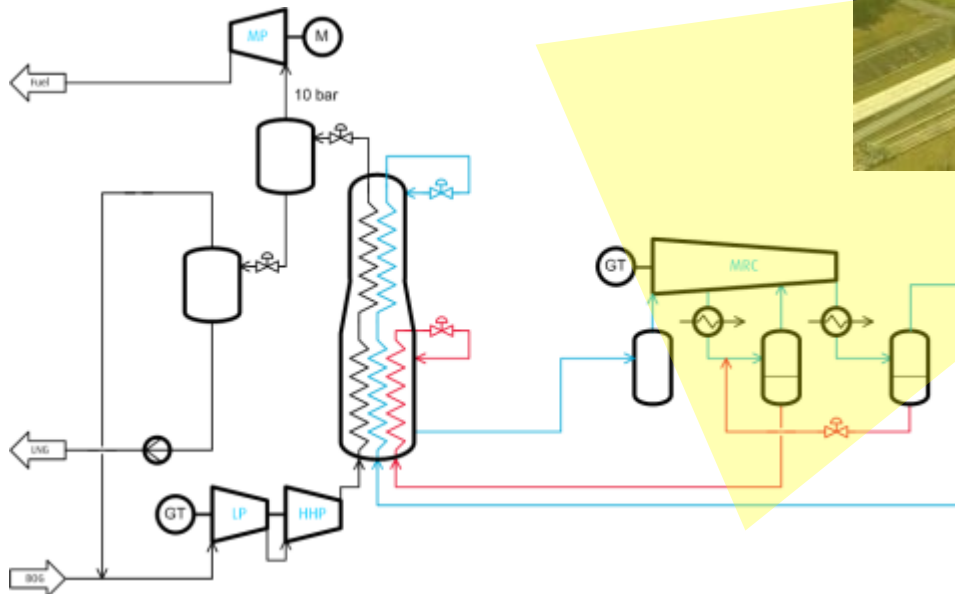
Terminale LNG (fot. Norwegia)



LNG Export Terminals

MR process (CWHE) with transcritical open LNG cycle

Bintulu / Malaysia
700,000 tpa LNG

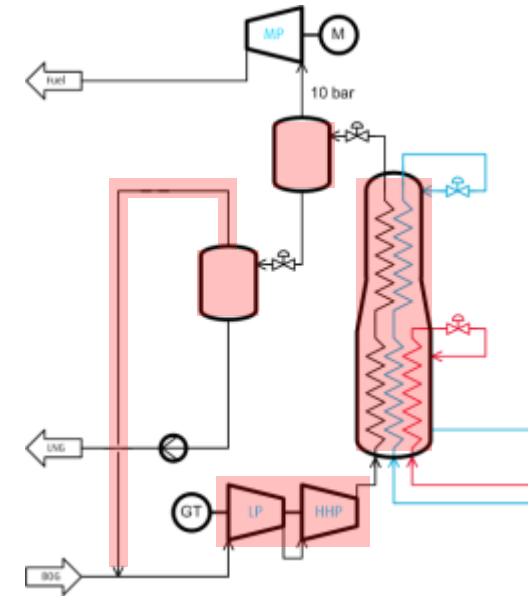
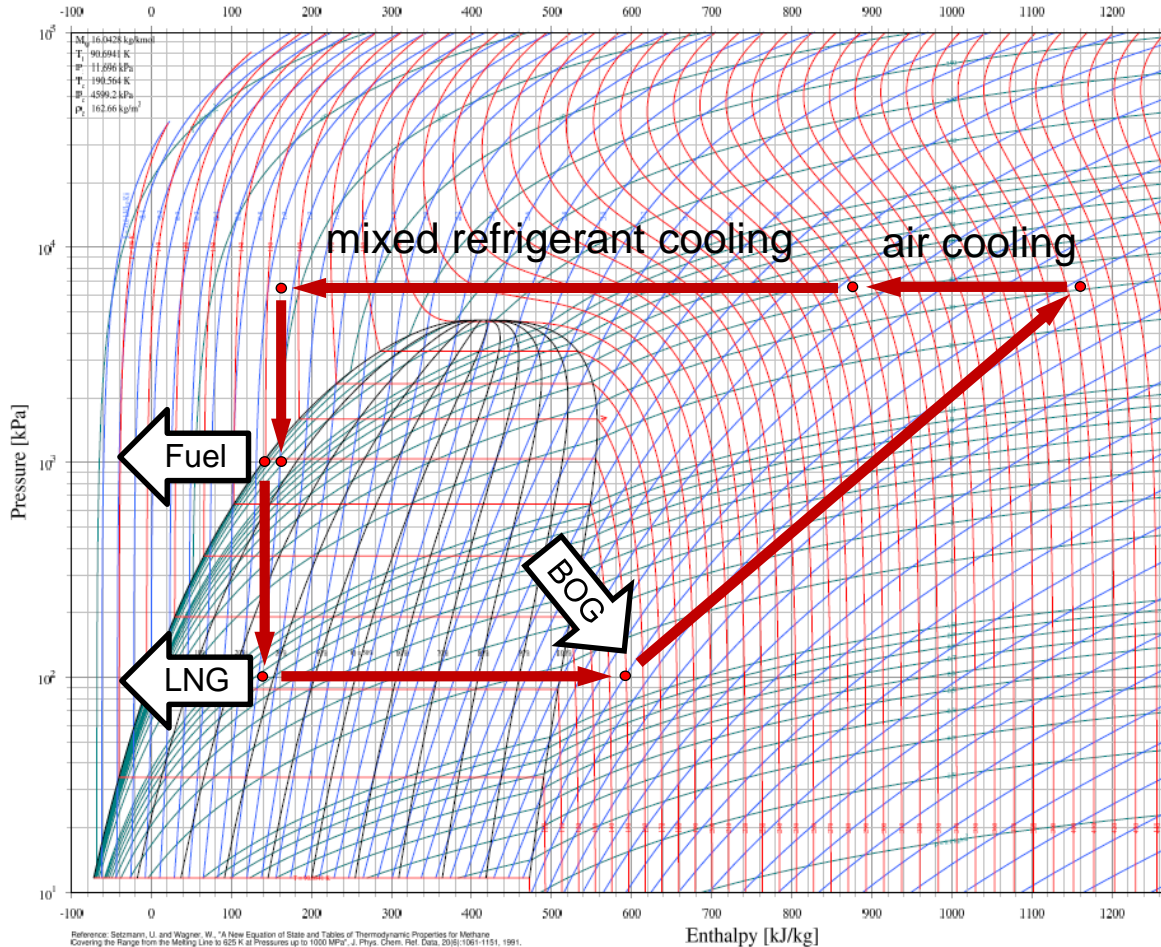


Large boil-off gas compressor with mechanical drive
Nitrogen rich (up to 30 vol%) fuel for gas turbines

LNG Export Terminals

Pressure-Enthalpy Diagram: Methane (CH₄)

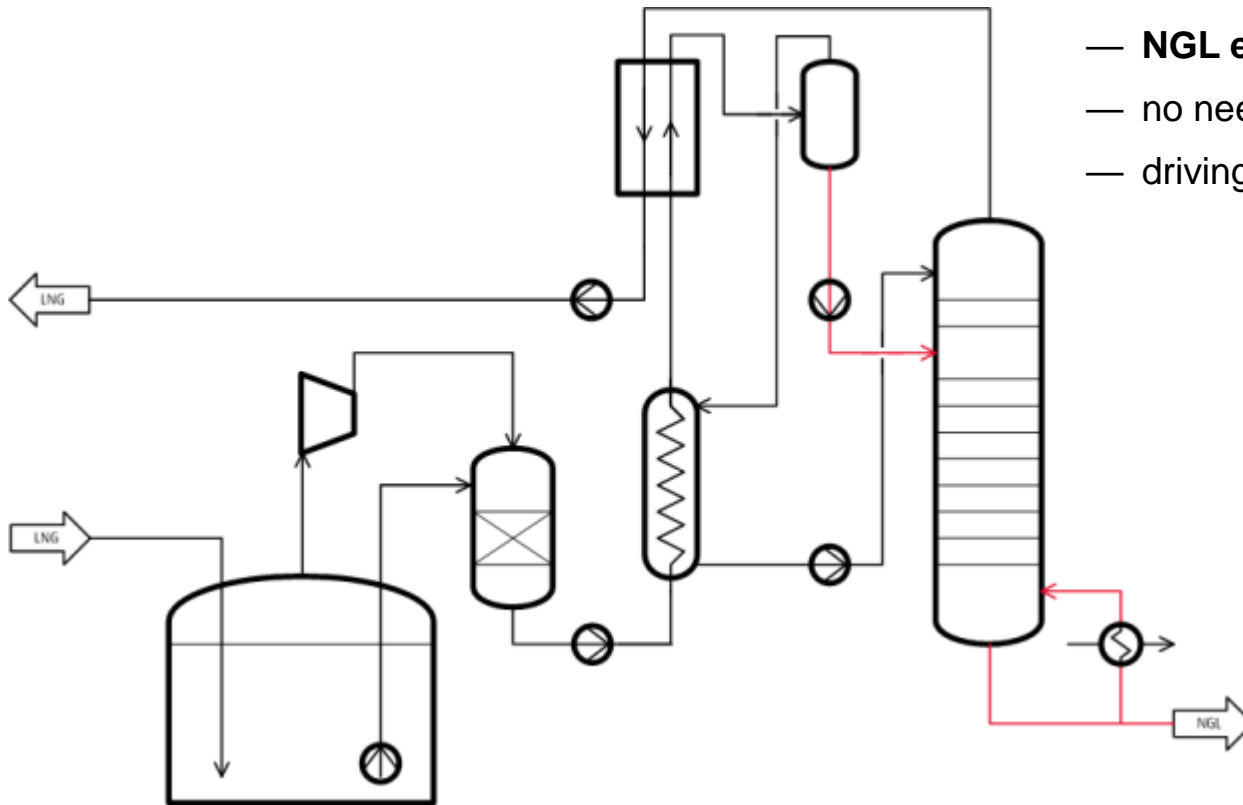
Vapor Quality [Q %] Temperature [T K] Density [ρ kg/m³] Entropy [S kJ/kg·K]



- compression
- - - cooling
- · · 1st expansion
- · - 2nd expansion
- recycle

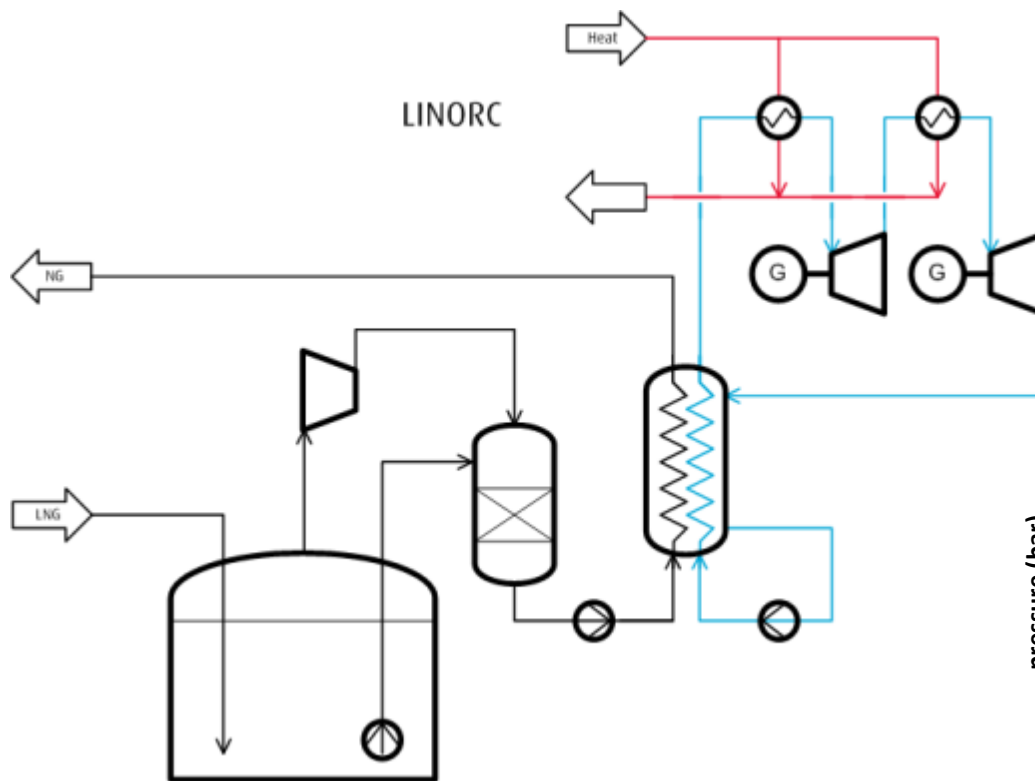
Reference: Steinhilber, U. and Wagner, W. "A New Equation of State and Tables of Thermodynamic Properties for Methane Covering the Range from the Melting Line to 625 K at Pressures up to 1000 MPa." J. Phys. Chem. Ref. Data, 20(6):1561-1551, 1991.

LNG Import & Regasification Terminals

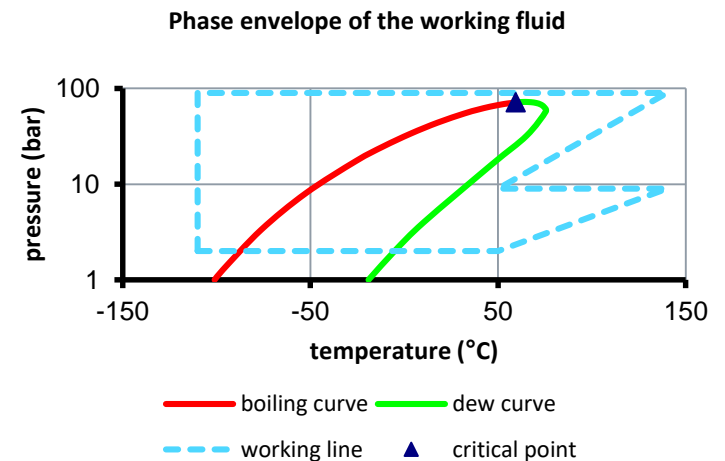


- **NGL extraction**
- no need for gas compression
- driving force is subcooled LNG

LNG Import & Regasification Terminals



- **cold energy utilization**
- mixed working fluid (C1-C5)
- heat sources above ambient temperature boost power output





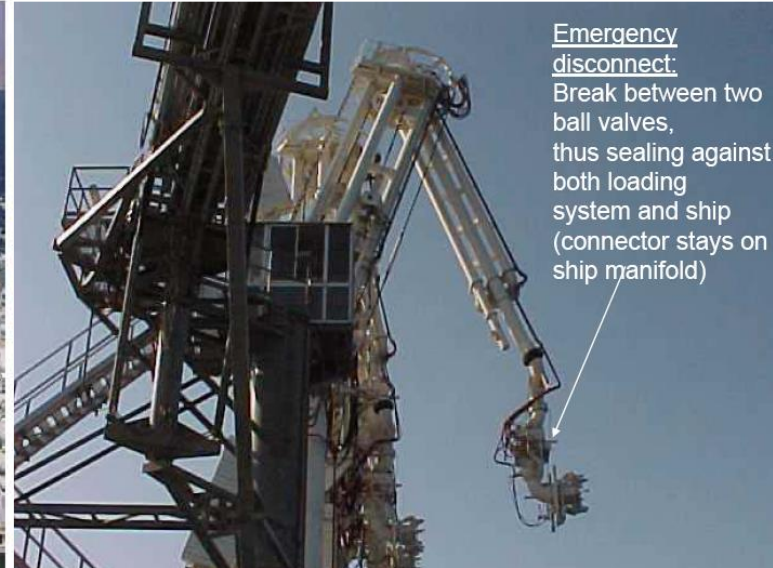
Przelewanie LNG z i do tankowca

Loading Jetty





Przelewanie LNG z i do tankowca



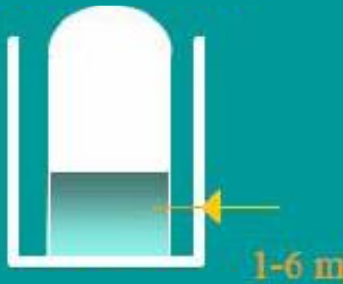


Magazynowanie LNG

Pojedyncza obudowa bezpieczeństwa



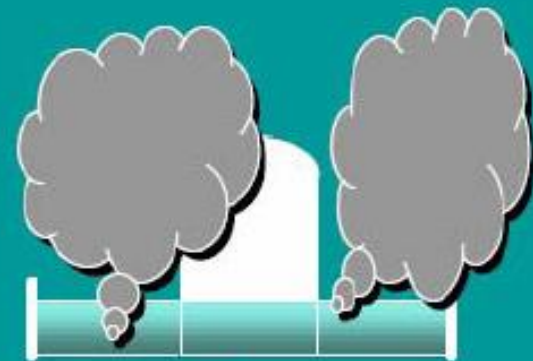
Podwójna obudowa bezp.



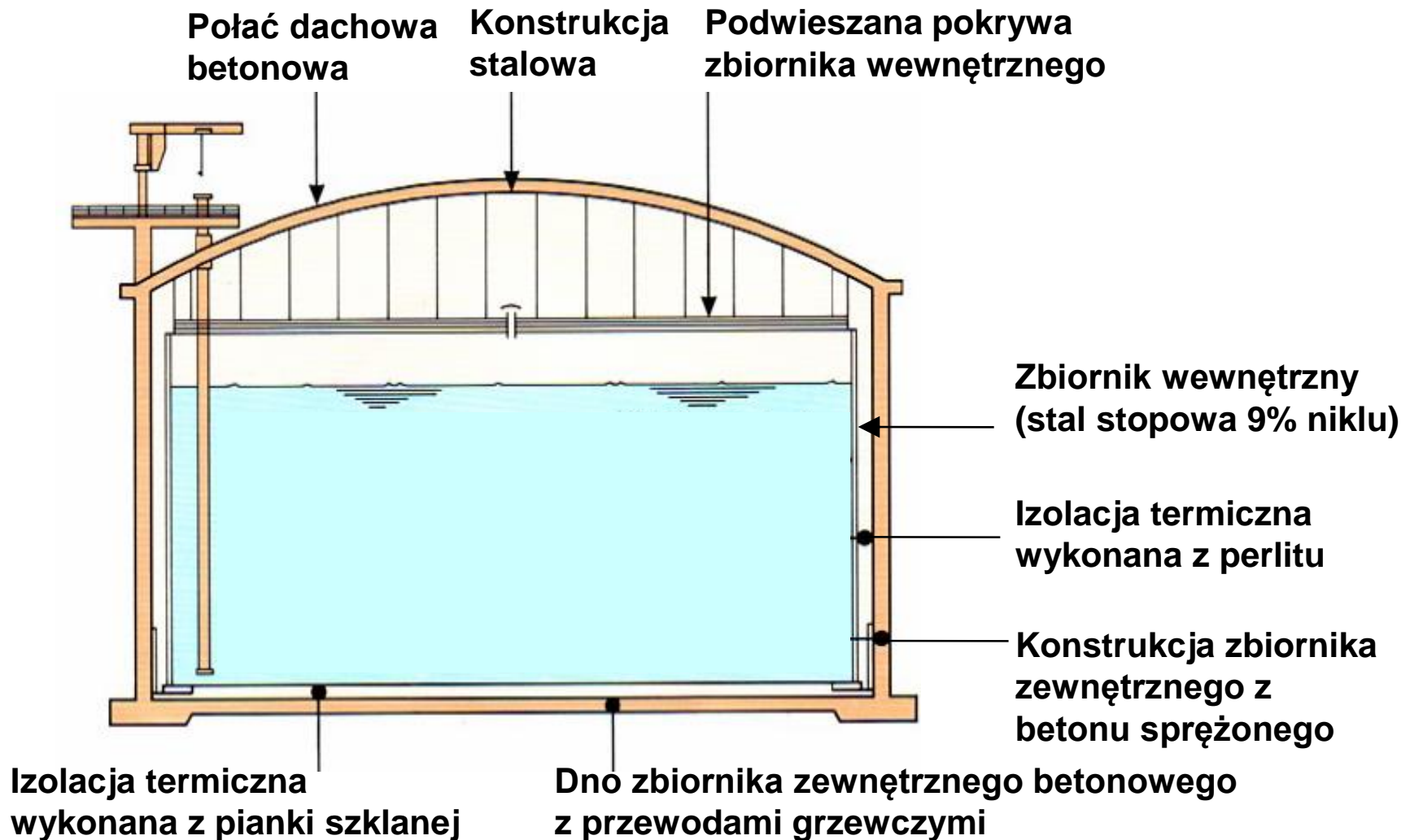
Pełna obudowa bezp.



W przypadku
nieuszczelności
zbiornika
wewnętrznego



Magazynowanie LNG

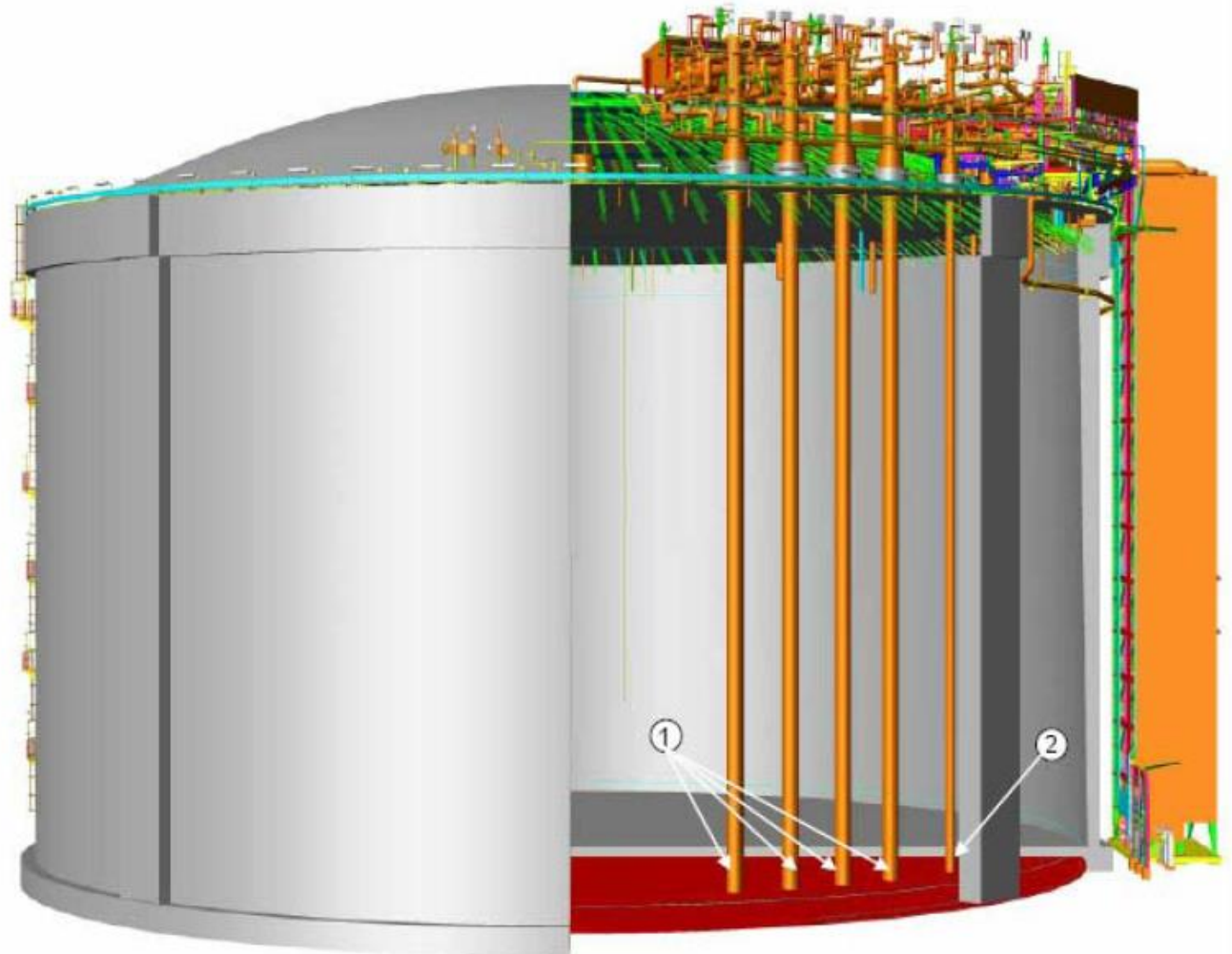
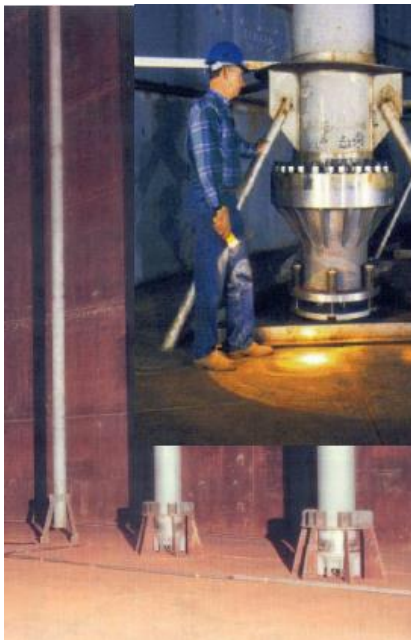




Magazynowanie LNG

**1 – Cztery pompy
LNG głębinyne
przeładunkowe**

**2 – Pompa LNG
mieszalnikowa
(anty rollover)**

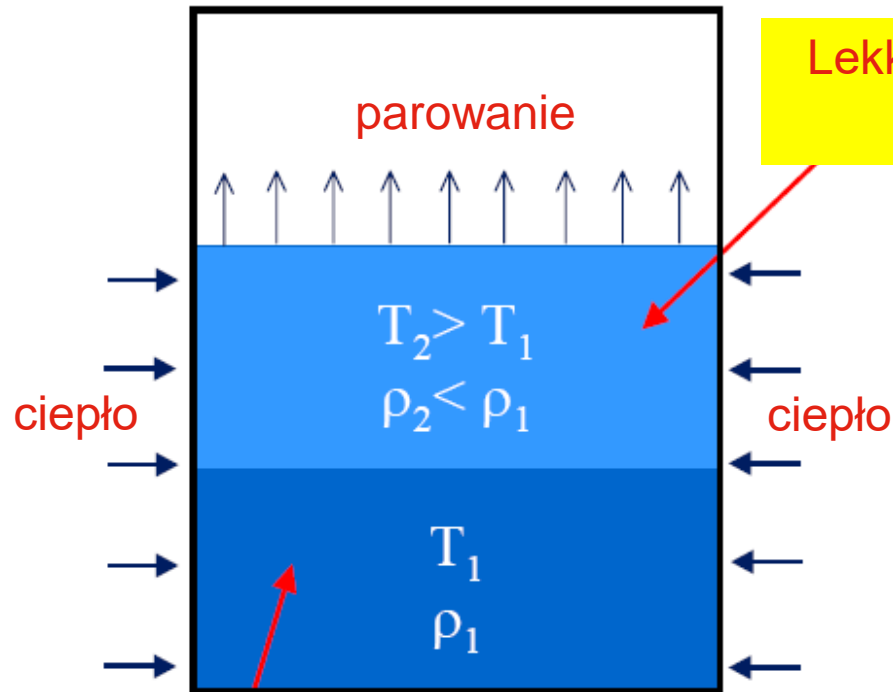




Magazynowanie LNG



Magazynowanie LNG - zjawisko „rollover”



Lekkie frakcje odparowują
Wzrasta gęstość!

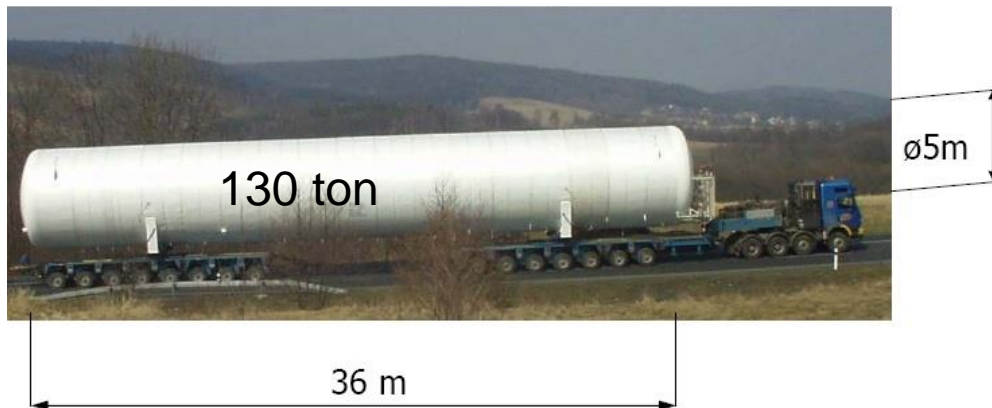
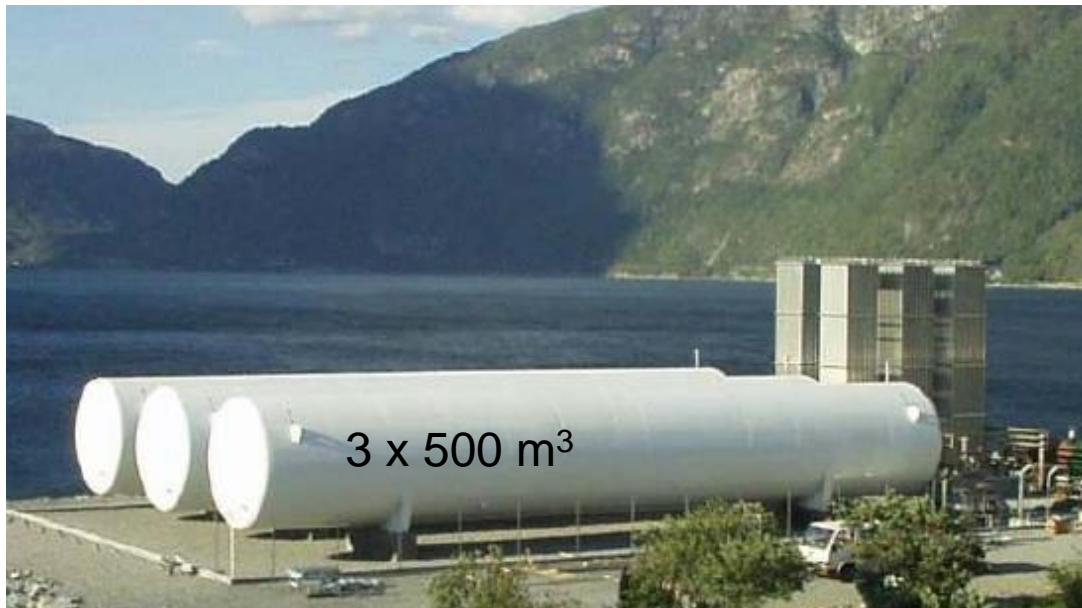
Gdy gęstość górnej warstwy stanie się wyższa od gęstości warstwy dolnej wówczas może nastąpić gwałtowne przemieszczenie się obu warstw – rollover.

Zjawisku temu towarzyszy gwałtowne parowanie skroplonego gazu i silny wzrost ciśnienia w zbiorniku!!!

Wzrost temperatury!
Gęstość maleje!



Magazynowanie LNG - zbiorniki ciśnieniowe





Satelitarne stacje LNG



Stavanger VT60/12,6 500 Nm³/hr

Snøhvit

Cold Box Transport

THE LINDE GROUP

Linde



Snøhvit

Process Barge Transport

THE LINDE GROUP

Linde



Snøhvit LNG Plant

THE LINDE GROUP

Linde

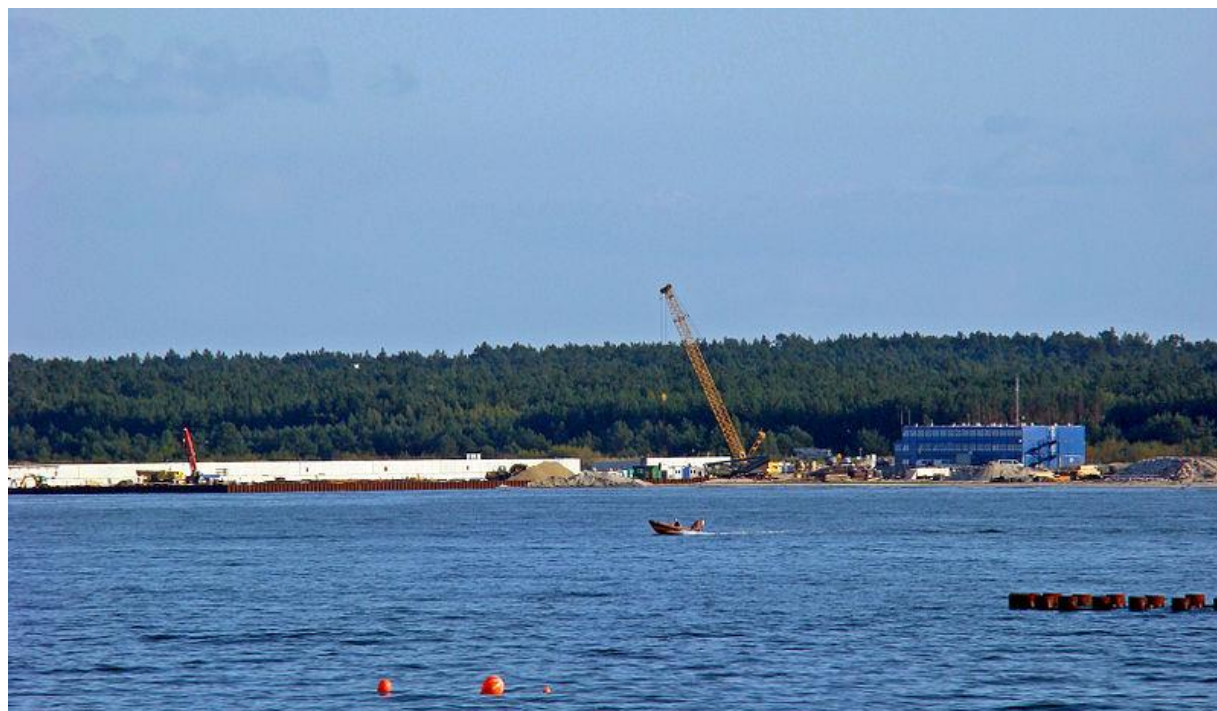


Snøhvit LNG Plant





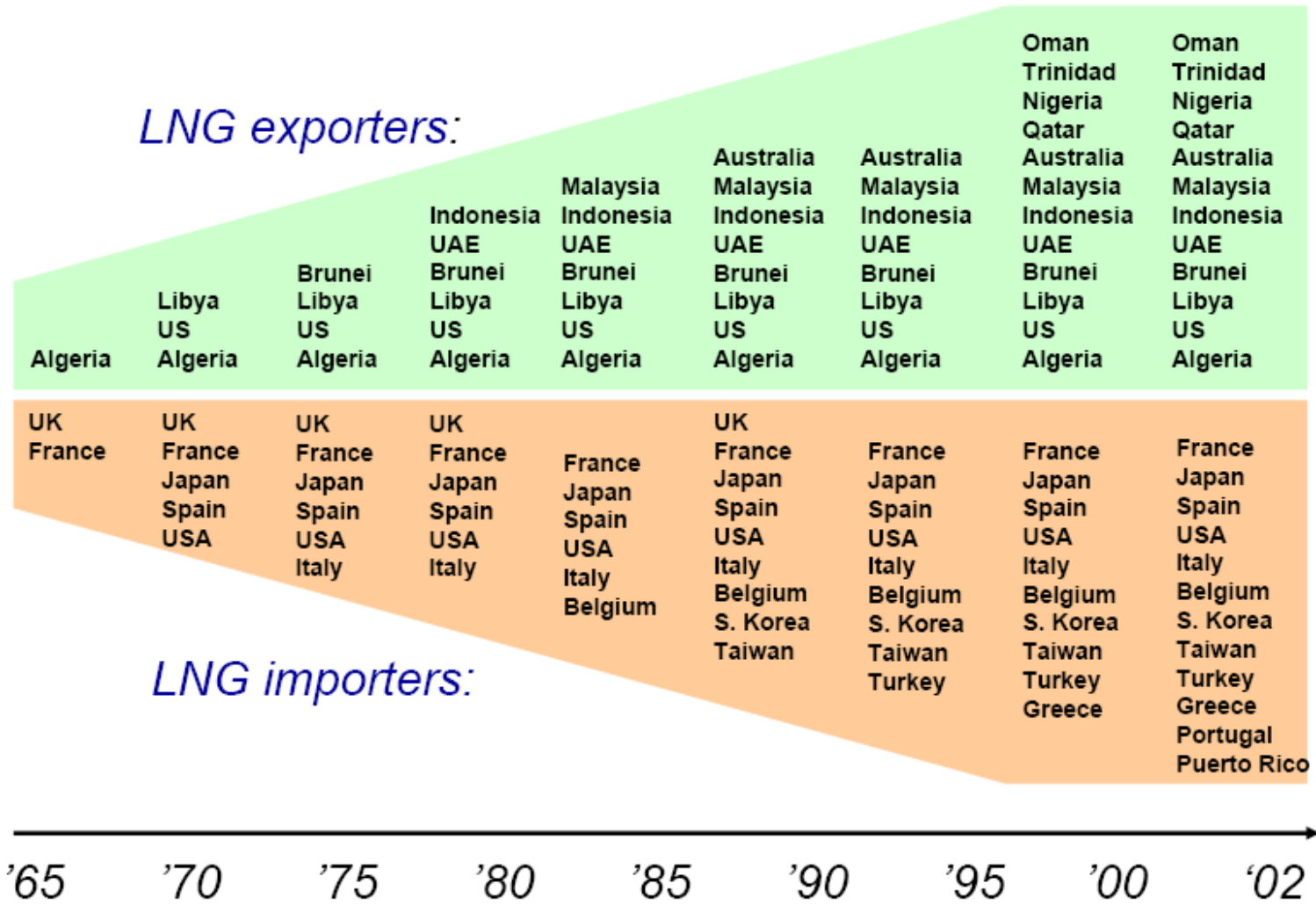
Budowa terminala LNG w Świnoujściu



Koszt gazoportu wyniesie około 2,5 mld zł. Wokół budowy gazoportu trwały spory dotyczące m.in. dotacji ze strony UE oraz głębokości tras żeglugowych przecinanych przez budowany Gazociąg Północny.

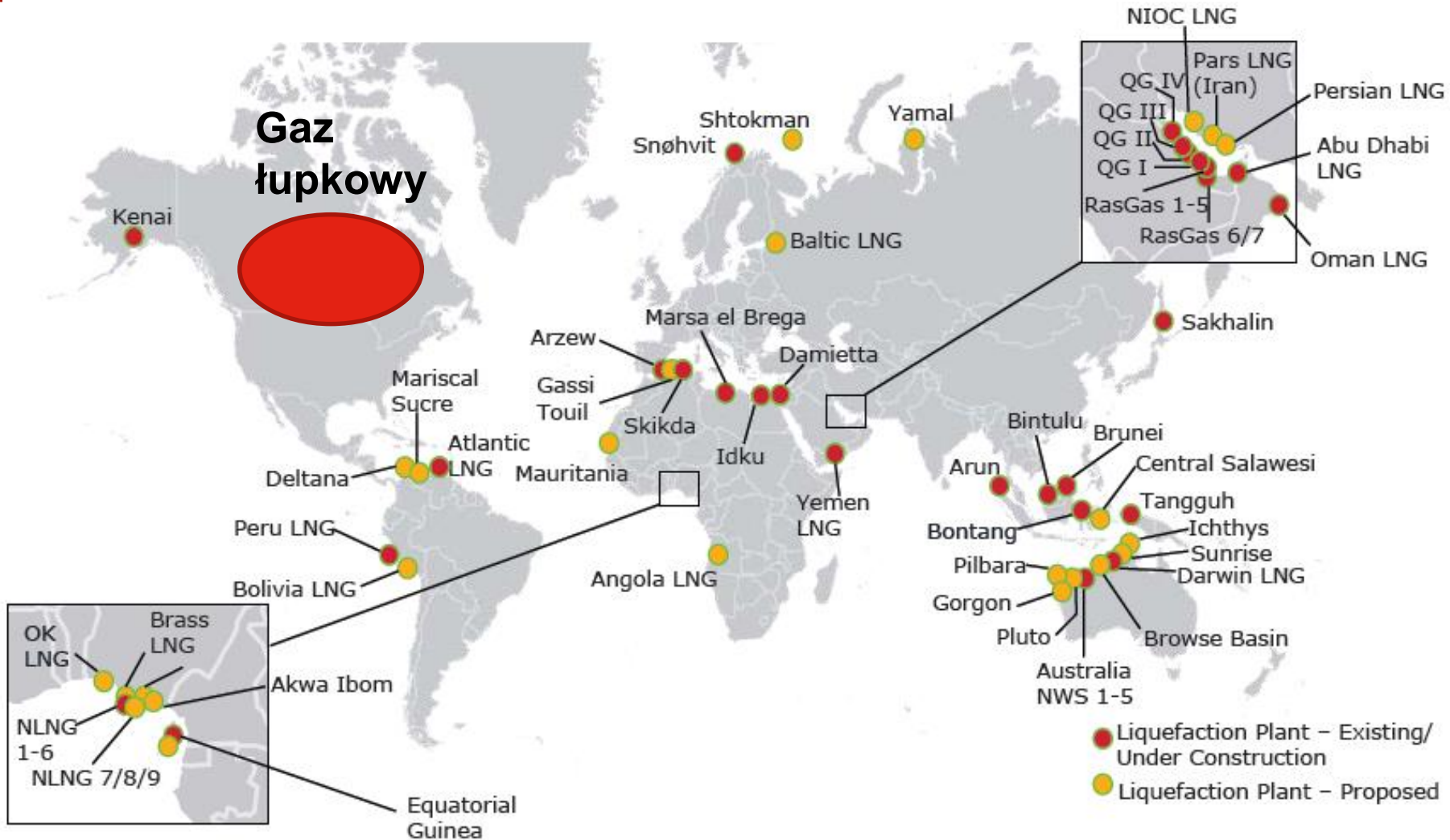


Zestawienie krajów eksportujących i importujących LNG



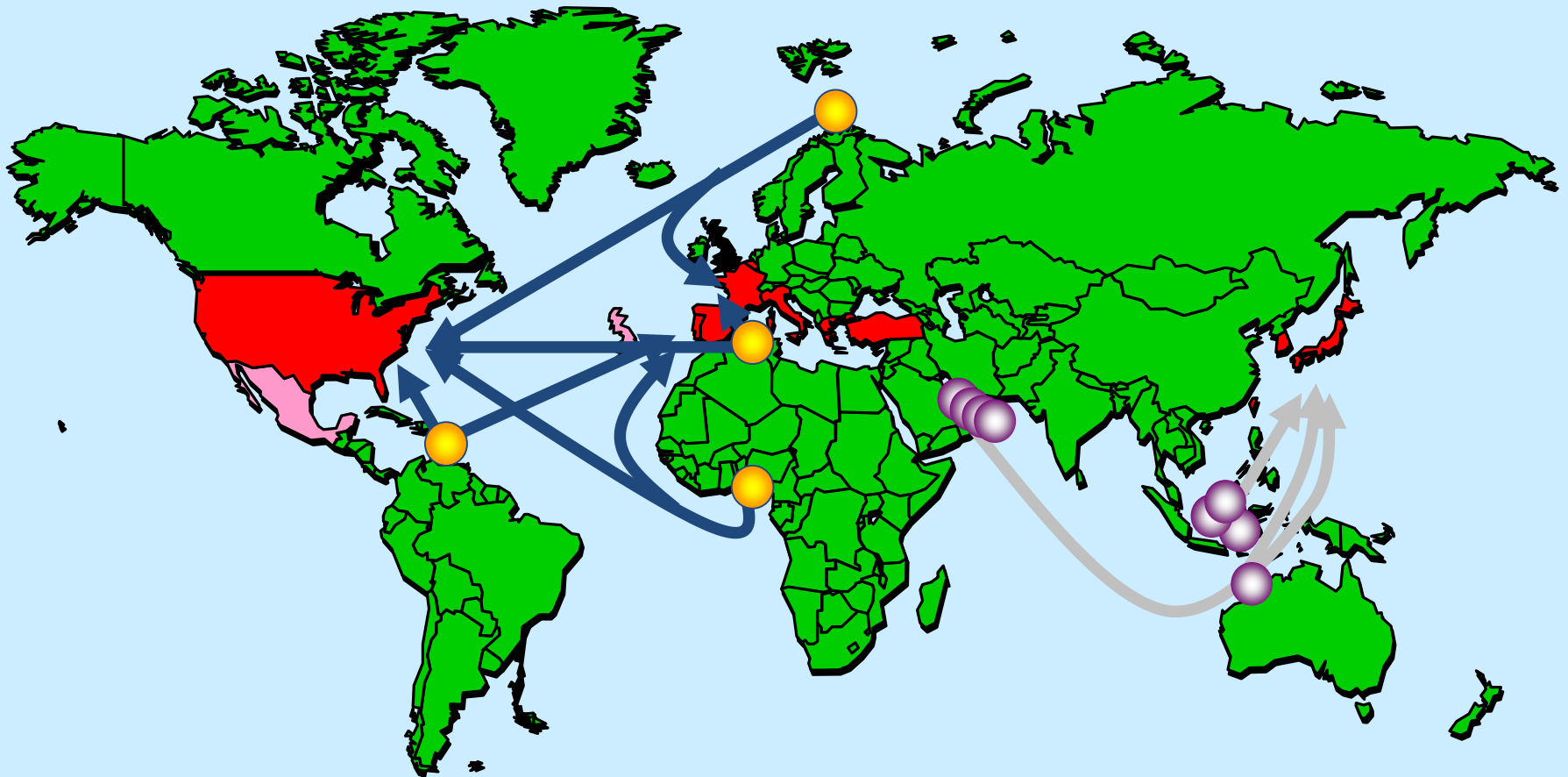


Lokalizacja produkcji LNG na świecie



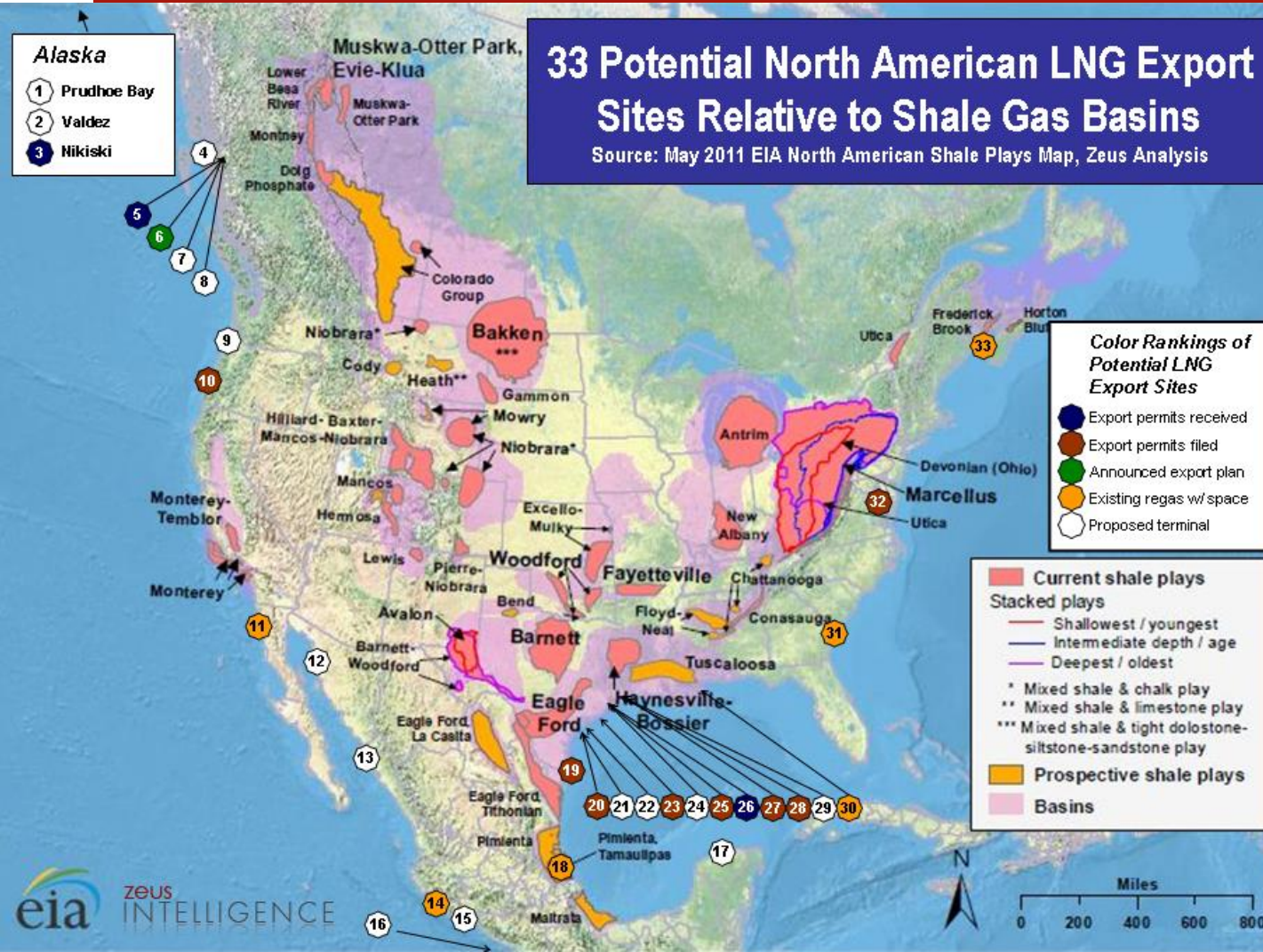


Prognoza kierunków sprzedaży LNG z lat 90 –tych XX wieku





Zmiana kierunku dostaw LNG w USA - z importu na eksport



LNG będzie największą rewolucją energetyczną najbliższej dekady i może mieć istotne reperkusje polityczne.

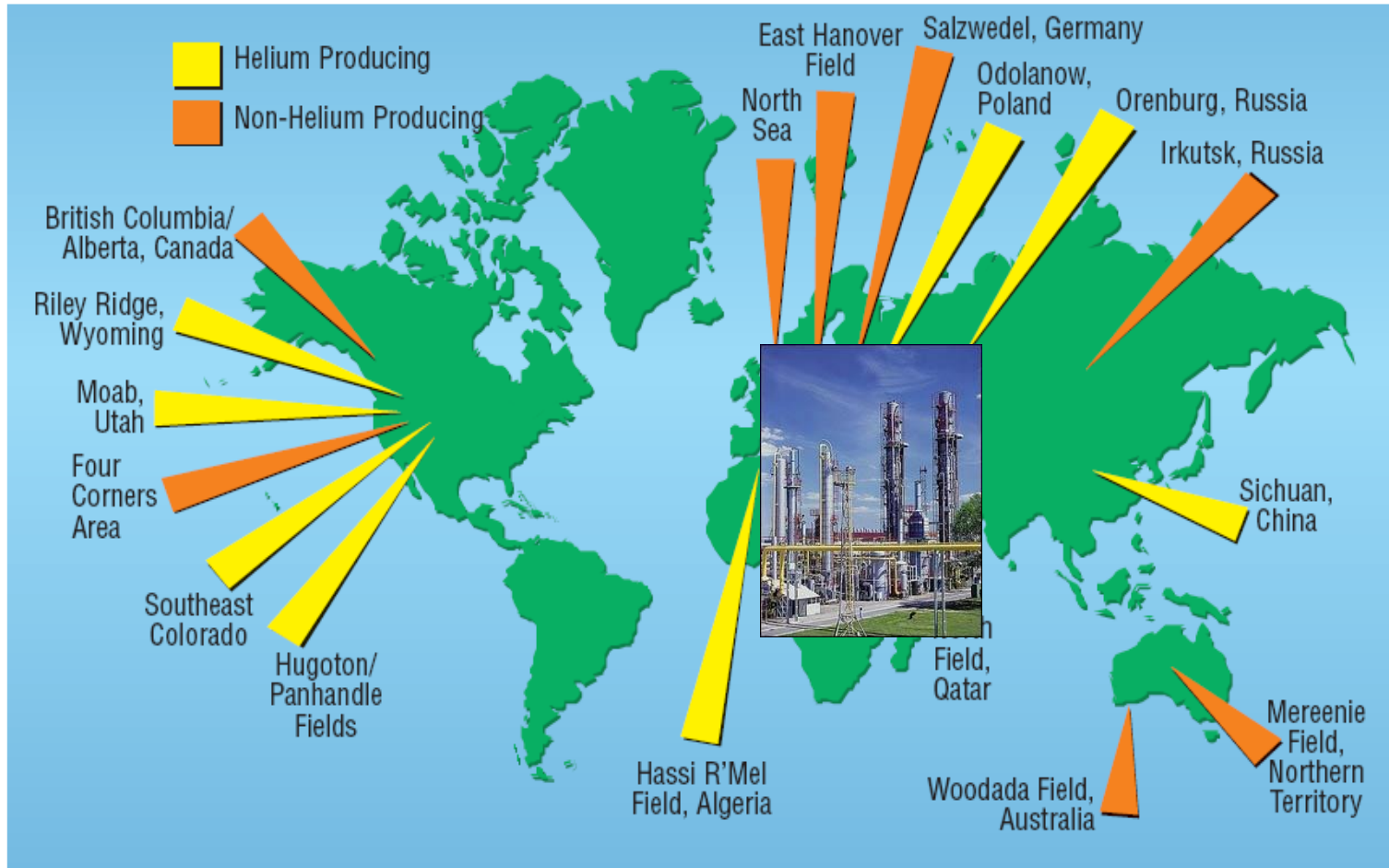


Fig 1 Helium can be extracted from only a few natural gas fields around the world. The richest field is in the state of Utah in the U.S.

World helium consumption: 75 tons/day , 27 375 tons/year, most of it is recovered from natural gas

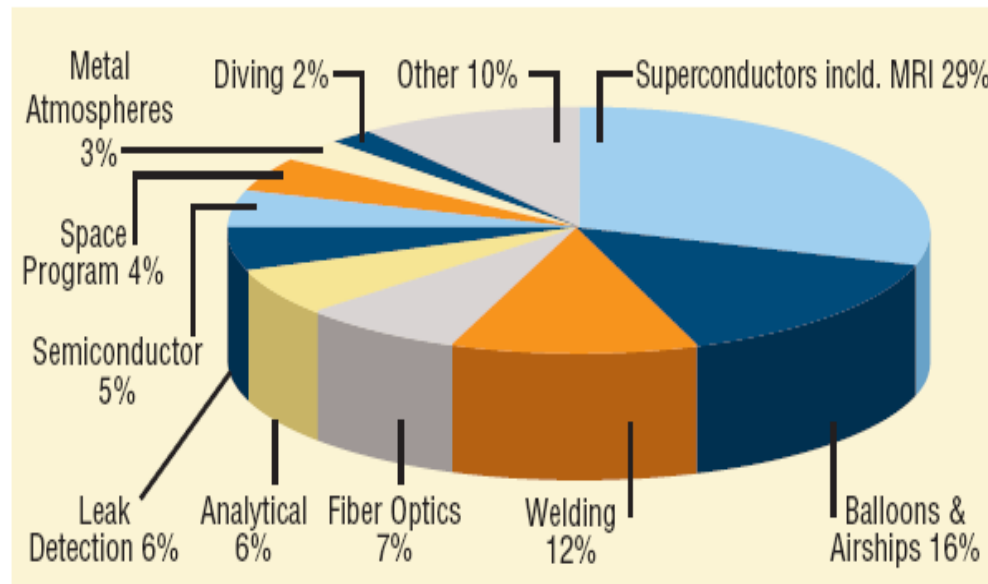


Fig 3 Helium use in various applications

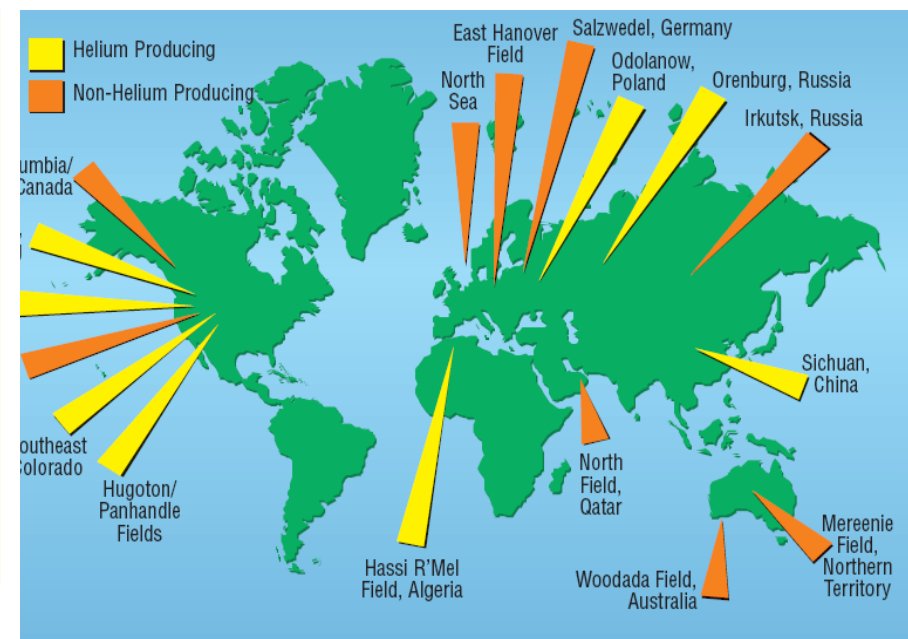


Fig 1 Helium can be extracted from only a few natural gas fields around the world. The richest field is in the state of Utah in the U.S.

Most of the helium is lost by definition – the helium will be available as long as natural gas is produced

The only place in Europe where helium is produced from natural gas is PGNiG Odolanow, Poland



Helium: 446 ton/year
1.6% of world consumption

Natural gas (pipe): about 3500 ton/day
About 30% of Poland gas production



Low-methane gas purification



Low temperature distillation of natural gas



Helium purification, liquefaction and storage

Liquid Natural Gas (LNG):
About 150 ton/day (ca 4% of total gas production)

Can we manage without cryogenics? Yes but sometimes it can be impractical!!!



Thanks for
the
attention