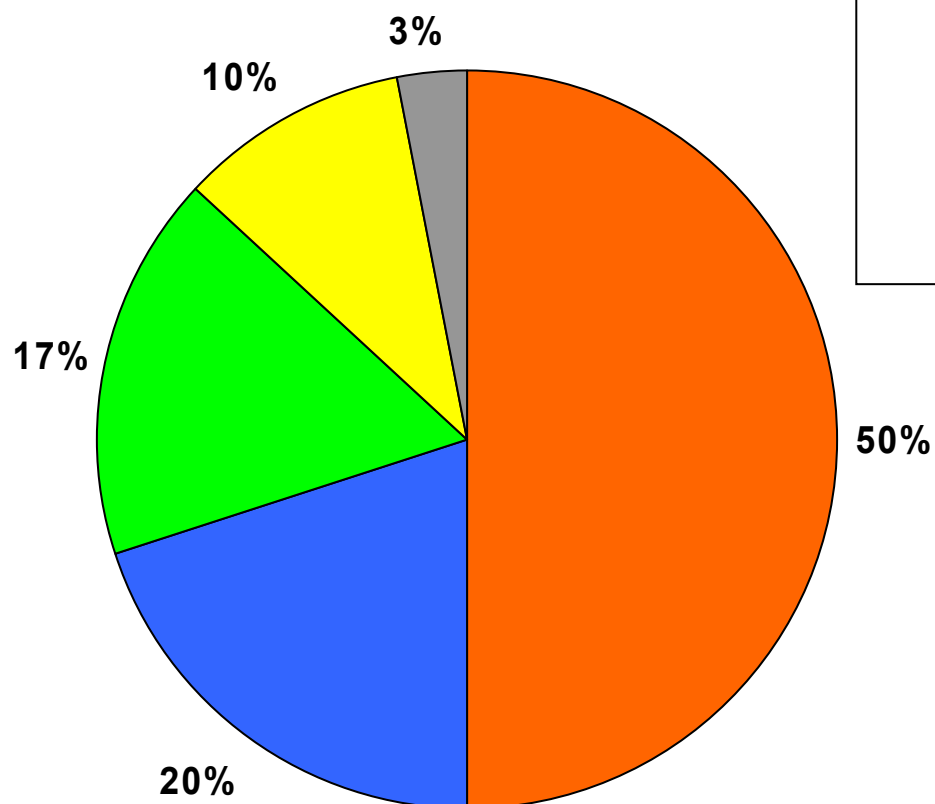


Термоенергетске технологије – Стање и правци развоја и примене

Милан В. Петровић

Универзитет у Београду - Машински факултет
Лабораторија за топлотне турбомашине

Инсталисани капацитети и технологије



**Instalisano
3791 GW
(2002.)**

- Конвенционална парна
- Хидро
- Гасна (GT+КС)
- Нуклеарна
- Дизел + остала

Процена развоја конзума до 2030.

IEA: Процена је да ће се конзум ел. енергије у свету расти:
2.4 %/год

- Базирана на процени раста БДП.

У Европи раст конзума: 1.15 %

IEA –Међународна агенција за енергију

Процена развоја конзума до 2030.

Додатни капацитети:

Од **~3800 GW** у 2002. → **~7000 GW** у 2030.

- **~130 GW /god** нови капацитети

Заменски капацитети:

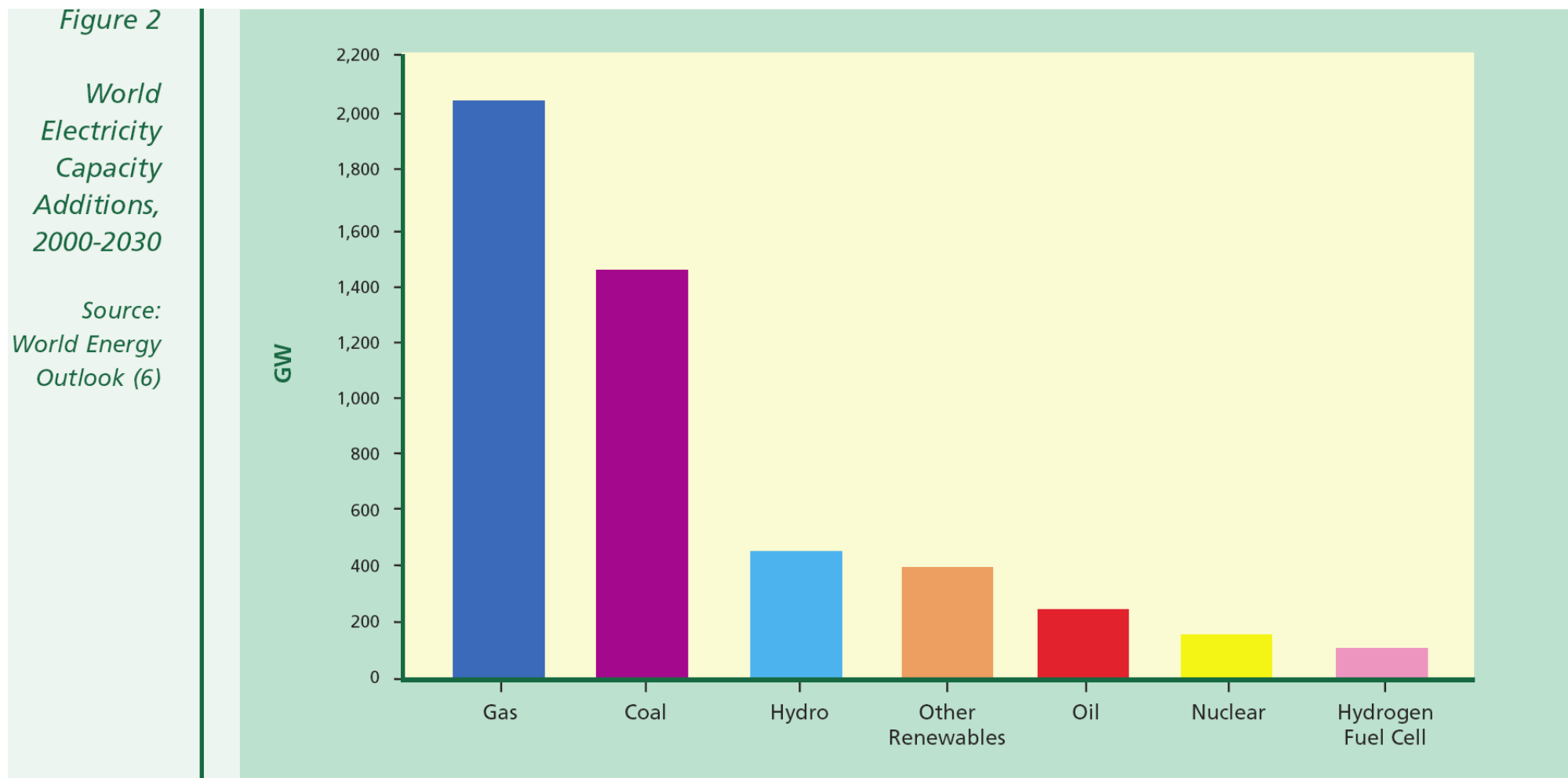
- **80-100 GW /god** постаје старије од 40г. у 2010.-2030.

Укупно у периоду 2010 – 2030.:

- **200-230 GW /god** нова постројења (**~600 MW** дневно).

Удвострочене активности у односу на најинтензивнији период градње у 1970 и 1980-тим годинама!

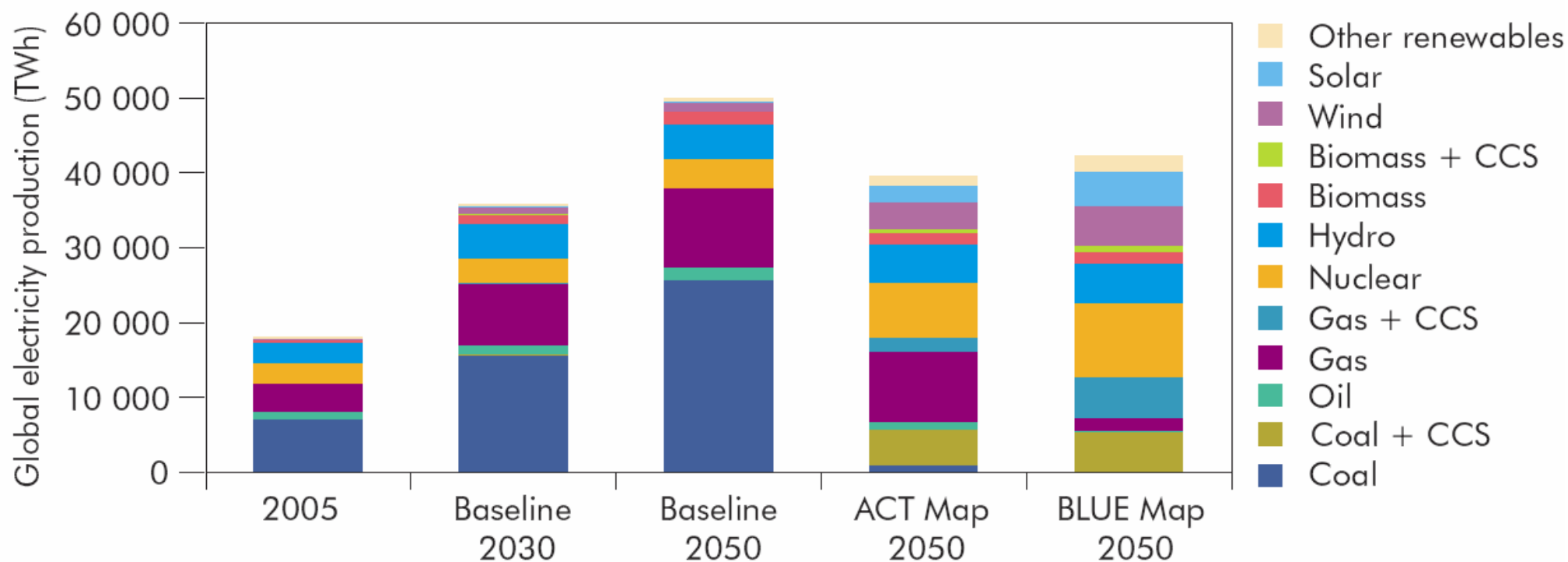
Процена примењених технологија до 2030.



Извор: IEA: Energy Outlook 2006. (IEA –Међународна агенција за енергију)

Доминантне технологије: фосилна горива (гас и **угаљ**)

Процена примењених технологија до 2050.



Извор: IEA, Energy technology perspectives 2008

После 2030. могући различитим сценарији у зависности од:

- развоја становништва и економије
- климатских промена,
- резерви и цена фосилних горива и
- развоја технологија.

Процена заступљености нуклеарне технологија до '30.

Смањење
удела
нуклеарне
енергетике у
производљи
ел. енергије

*Извор: ИАЕА,
Међународна
агенција за
атомску
енергију*

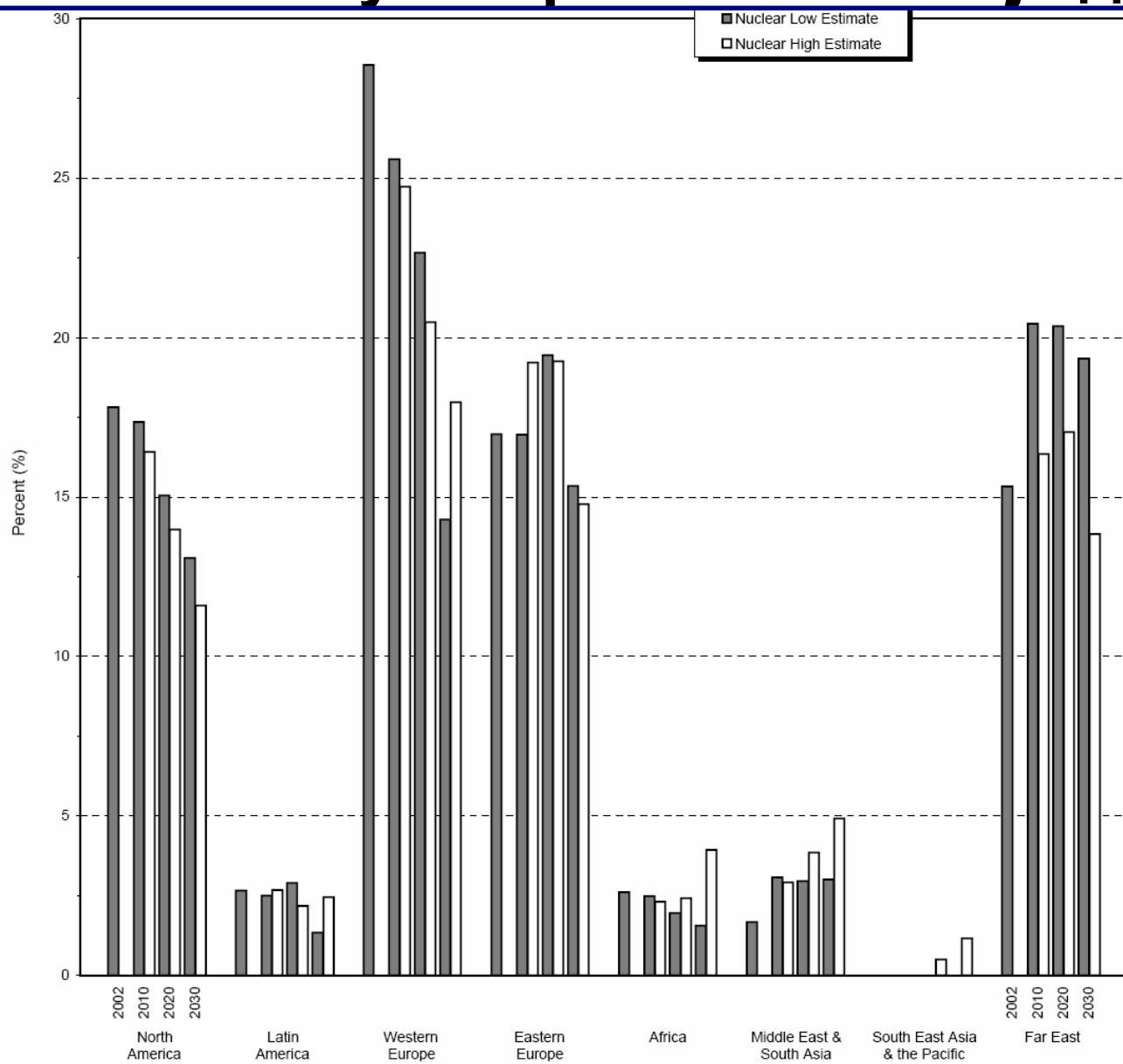
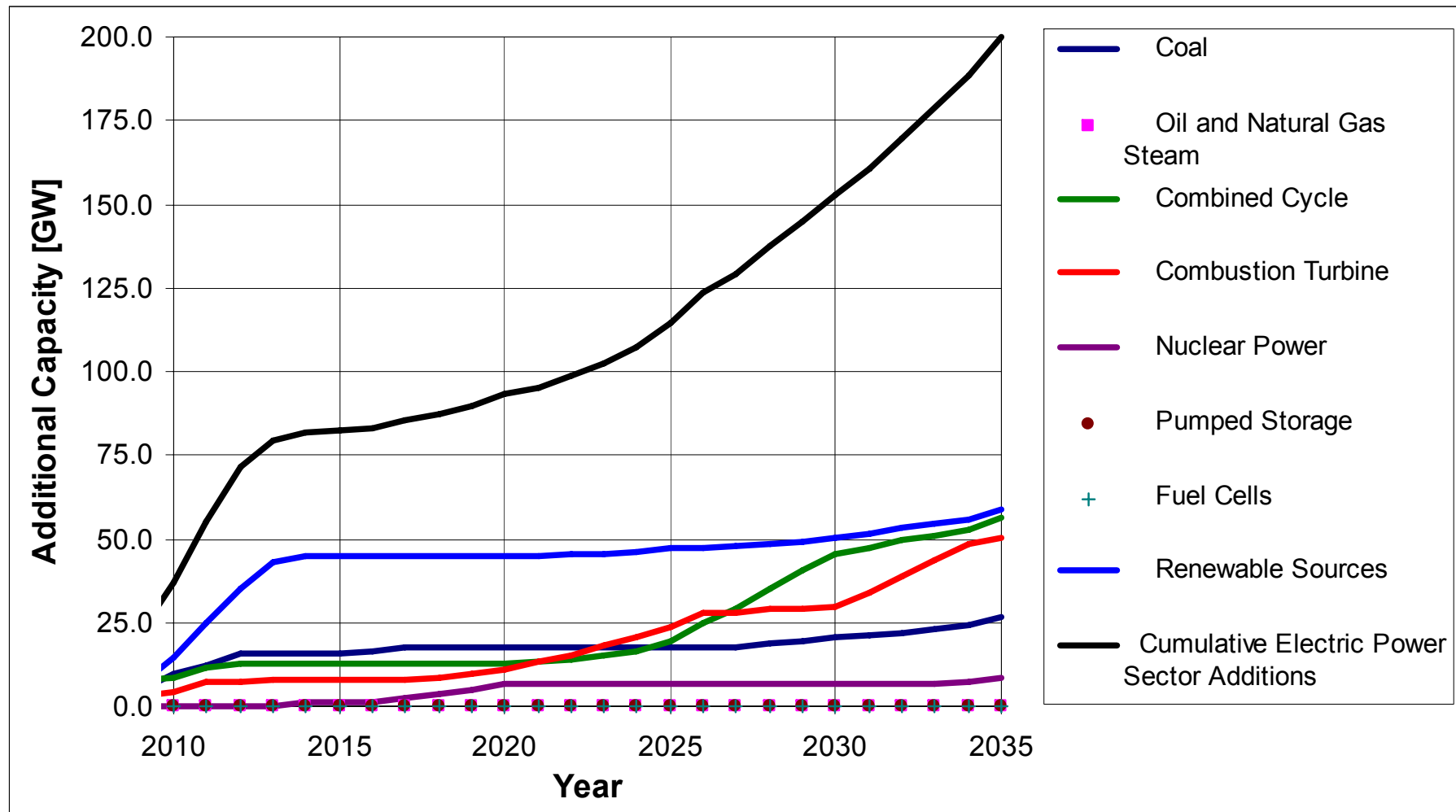


FIGURE 3. PERCENTAGE OF ELECTRICITY SUPPLIED BY NUCLEAR POWER

Процена ен. технологија у САД



Извор: DOE

Околности за развој технологија на фосилна горива

- Гориво (раст цена и ограничене резерве)
- Оштри прописи у погледу емисије
- Дерегулација тржишта ел. енергије
- Оштра конкуренција међу произвођачима опреме

Захтеви за развој парних и гасних турбина

- Висока поузданост и расположивост
- Висок степен корисности
- Флексибилност у погону, учешће у секундарној регулацији

- Ниски трошкови одржавања
- Што нижи инвестициони трошкови
- Високе јединичне снаге

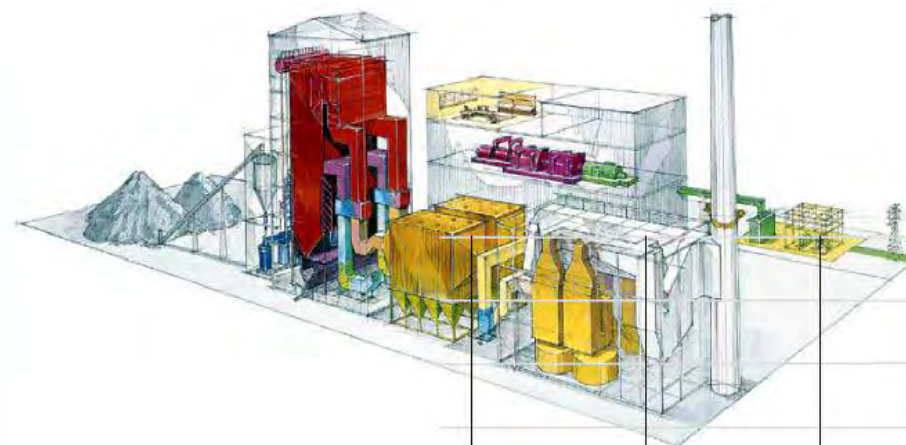
Развој парних и гасних турбина

- Мултидисциплинарни приступ
- Високи трошкови развоја

Последица:

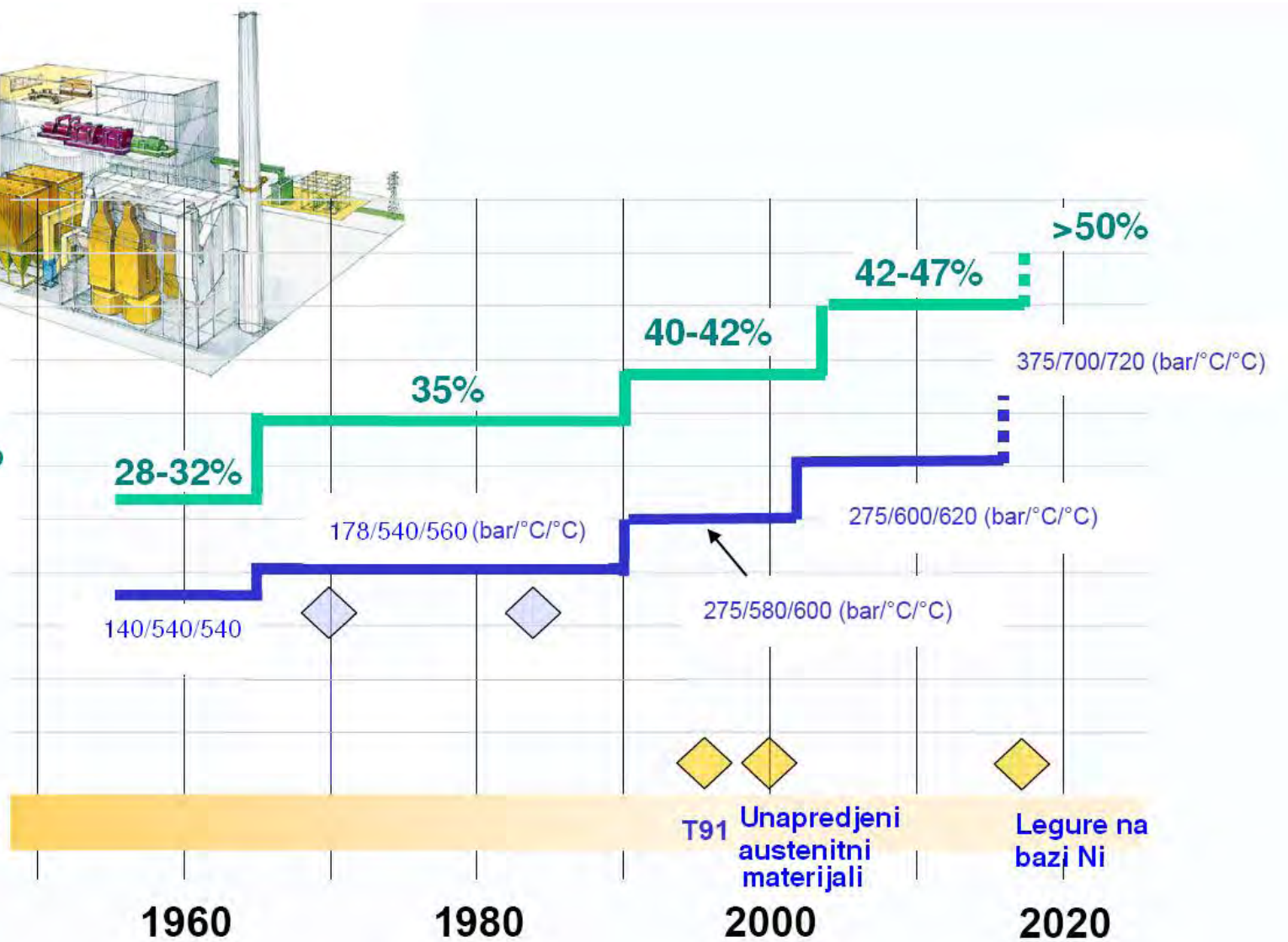
- Потражња и висока цена знања
- Пропаст фирми које нису могле да прате развој

Развој парног блока



- Stepen korisnosti neto
- Parametri pare

Razvoj materijala

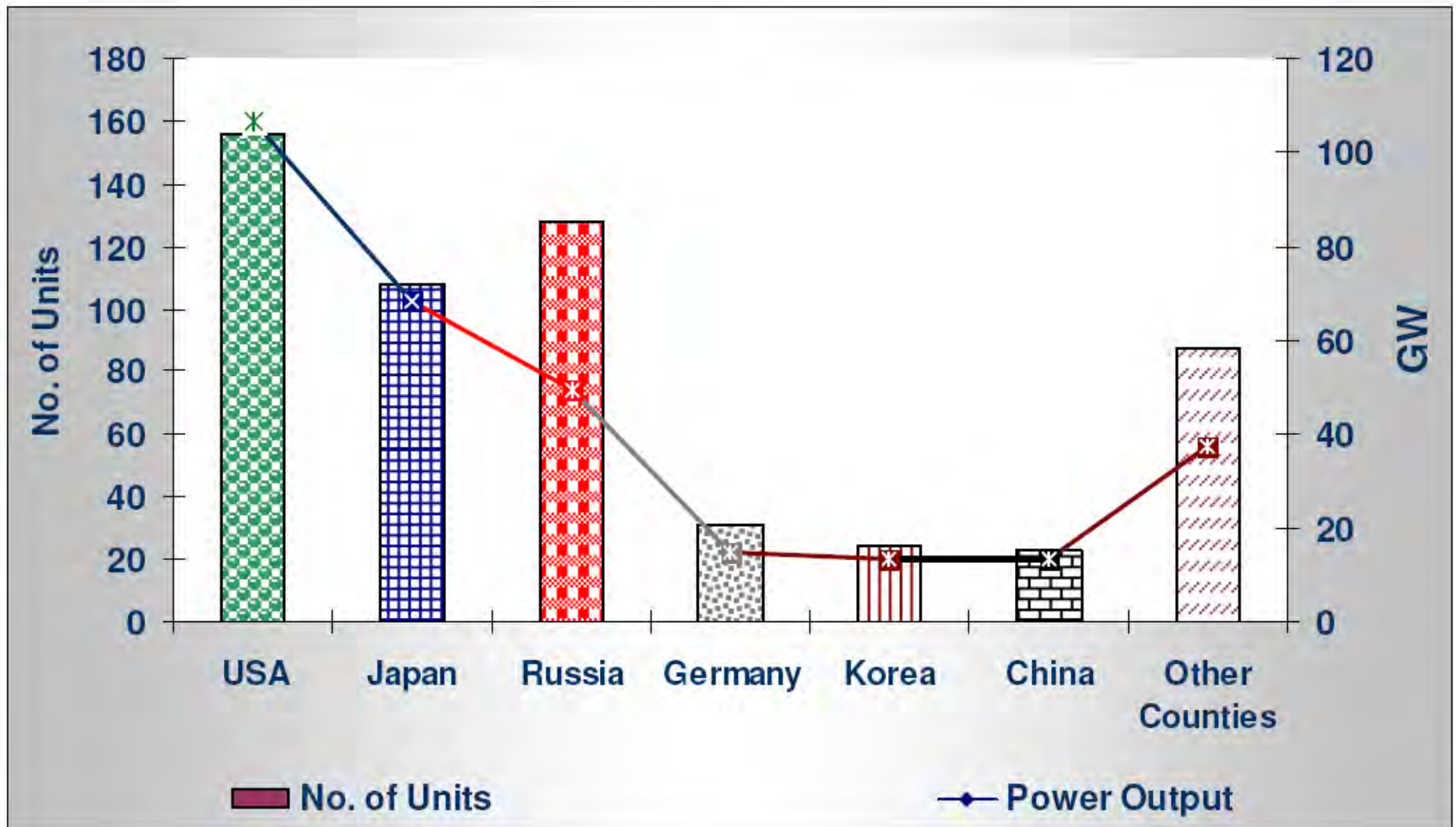


Суперкритични параметри (SC)

Изграђено (стање 2008):

- 570 блокова у 430 термоелектрана
- снага 200 MW – 1300 MW
- укупни капацитет 330 GW

Суперкритични параметри (SC)



Суперкритични параметри (SC)

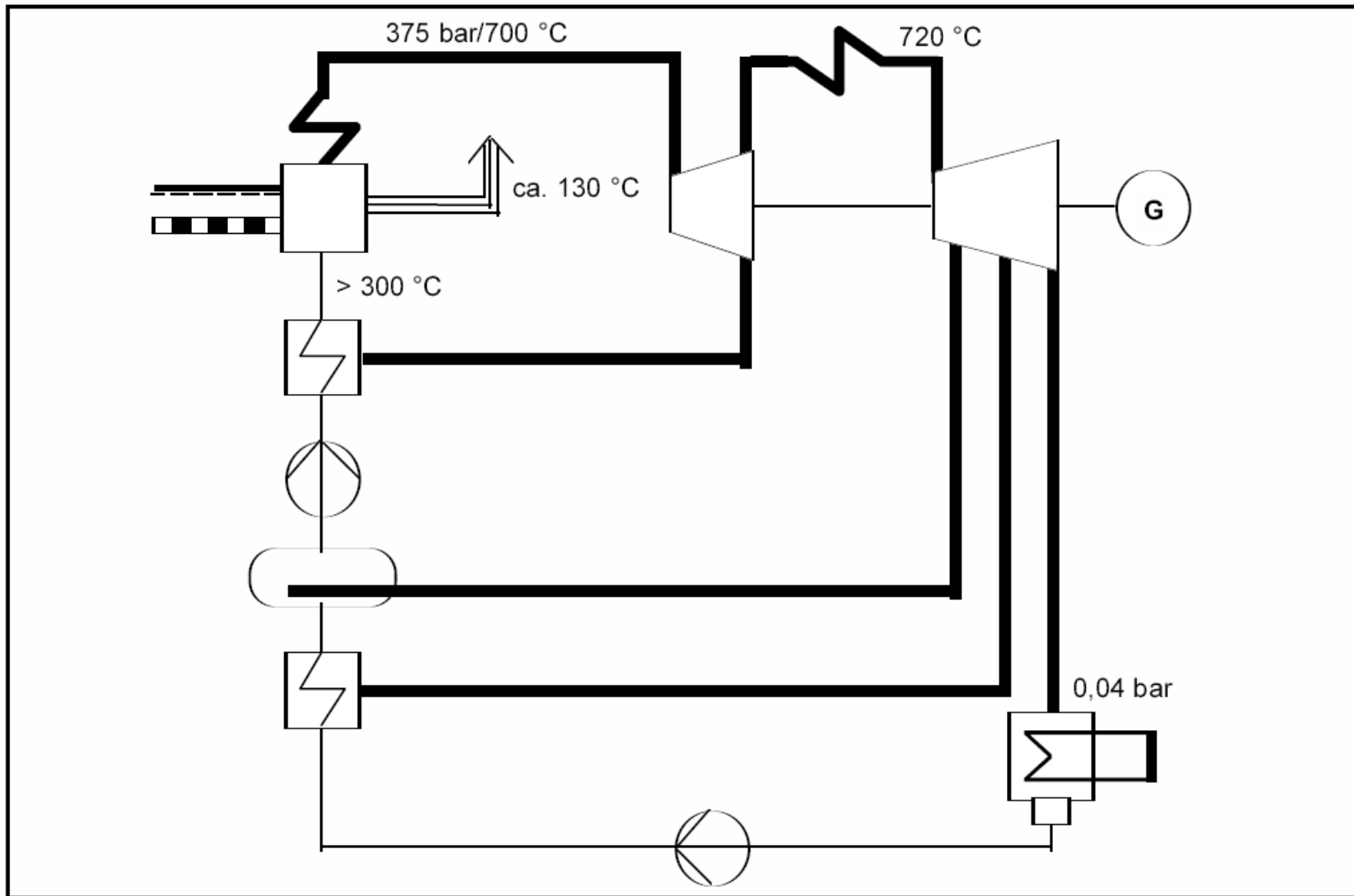
Pos	Power Plant Name	Country	Hz	Power Output MW _{NET} (MW _{GROSS})	Thermal Efficiency % _{LHV/NET} (% _{LHV/GROSS})	Main Steam MPa /°C /°C	COD
1	Boxberg	Germany	50	915	41.7	26.7 / 555 / 578	2000
2	Niederaussem 1	Germany	50	965	43.2	26.0 / 580 / 600	2003
3	Boa 2 & 3 Neurath	Germany	50	2 x 1100	>43.0	26.0 / 595 / 595	2010
4	Westfalen 1 & 2	Germany	50	2 x 765	46.0	28.5 / 600 / 610	>2010
5	Niederaussem 2&3	Germany	50	2 x 1050	45.2	27.2 / 600 / 605	2010/11
6	Council Bluffs	USA	60	790		25.3 / 566 / 593	2007
7	Weston 4	USA	60	500		26.2 / 580 / 580	2008
8	Comanche 3	USA	60	750		26.2 / 570 / 570	2009
9	Elm Road 1 & 2	USA	60	2 x 600		26.2 / 570 / 570	2009/10
10	Iatan 2	USA	60	850		25.5 / 585 / 585	2010
11	Genesee 3	Canada	60	495		25.0 / 570 / 568	2005
12	Emshaven 1 & 2	Netherlands	50	2 x 780	>46.0	28.5 / 600 / 610	>2010
13	Lagisza	Poland	50	460	43.3	27.5 / 560 / 580	2009
14	Misumi	Japan	60	1000		25.5 / 600 / 605	1998
15	Tsuruga 2	Japan	50	700		25.5 / 597 / 595	2000
16	Tachibana-wan 1	Japan	60	(700)		24.1 / 565 / 593	2000
17	Tachibana-wan 2	Japan	60	1050	43.1	26.4 / 605 / 613	2001
18	Hekinan 4 & 5	Japan	60	(2 x 1000)	42.0	25.0 / 571 / 596	2001/02
19	Isogo 1	Japan	50	600	43.0	25.0 / 600 / 610	2002

Pos	Power Plant Name	Country	Hz	Power Output MW _{NET} (MW _{GROSS})	Thermal Efficiency % _{LHV/NET} (% _{LHV/GROSS})	Main Steam MPa /°C /°C	COD
20	Hekinan 4 & 5	Japan	60	2 x 1000		25.0 / 571 / 596	2001/02
21	Tomato-Atsuma	Japan	50	(700)		25.0 / 603 / 602	2002
22	Hitachi-Naka 1	Japan	50	(1000)		25.4 / 604 / 602	2003
23	Kobe 2	Japan	60	700		24.1 / 537 / 565	2005
24	Isogo 2	Japan	50	600		25.0 / 600 / 620	2009
25	Cogan Creek	Australia	50	750		25.0 / 540 / 560	
26	Waigaoqiao I	PR China	50	2 x 900		25.8 / 542 / 568	2004
27	Changshu	PR China	50	3 x 600	42.0	25.9 / 569 / 569	2006
28	Wangqu	PR China	50	2 x 600	43.0	24.7 / 571 / 569	2007
29	Waigaoqiao II	PR China	50	1000		27.0 / 600 / 600	2007
30	Huaneng	PR China	50	4 x 1000		26.5 / 600 / 600	2006/08
31	Yuhuan	PR China	50	4 x 1000	43.0 - 45.0	27.5 / 605 / 600	2006/08
32	Zouxian IV	PR China	50	2 x 1000		27.0 / 600 / 600	2008
33	Yonghung 1 & 2	S. Korea	60	(2 x 800)		25.5 / 569 / 569	2004
34	Tangjin 5 & 6	S. Korea	60	2 x 500		25.5 / 569 / 596	2005
35	Yonghung 3 & 4	S. Korea	60	(2 x 870)		25.5 / 569 / 596	2008/09
36	Poryong 7 & 8	S. Korea	60	2 x 500		25.5 / 569 / 596	2008
37	Taeon 7 & 8	S. Korea	60	(2 x 550)			2008
38	Hadong 7 & 8	S. Korea	60	2 x 500		25.5 / 569 / 596	2009
39	Sasan	India	50	(5 x 800)		25.5 / 569 / 569	2008
40	Sipat	India	50	(3 x 660)	39.0	25.0 / 540 / 568	2008
41	Shahapur	India	50	(3 x 800)			2011
42	Mundra	India	50	(5 x 800)			2012

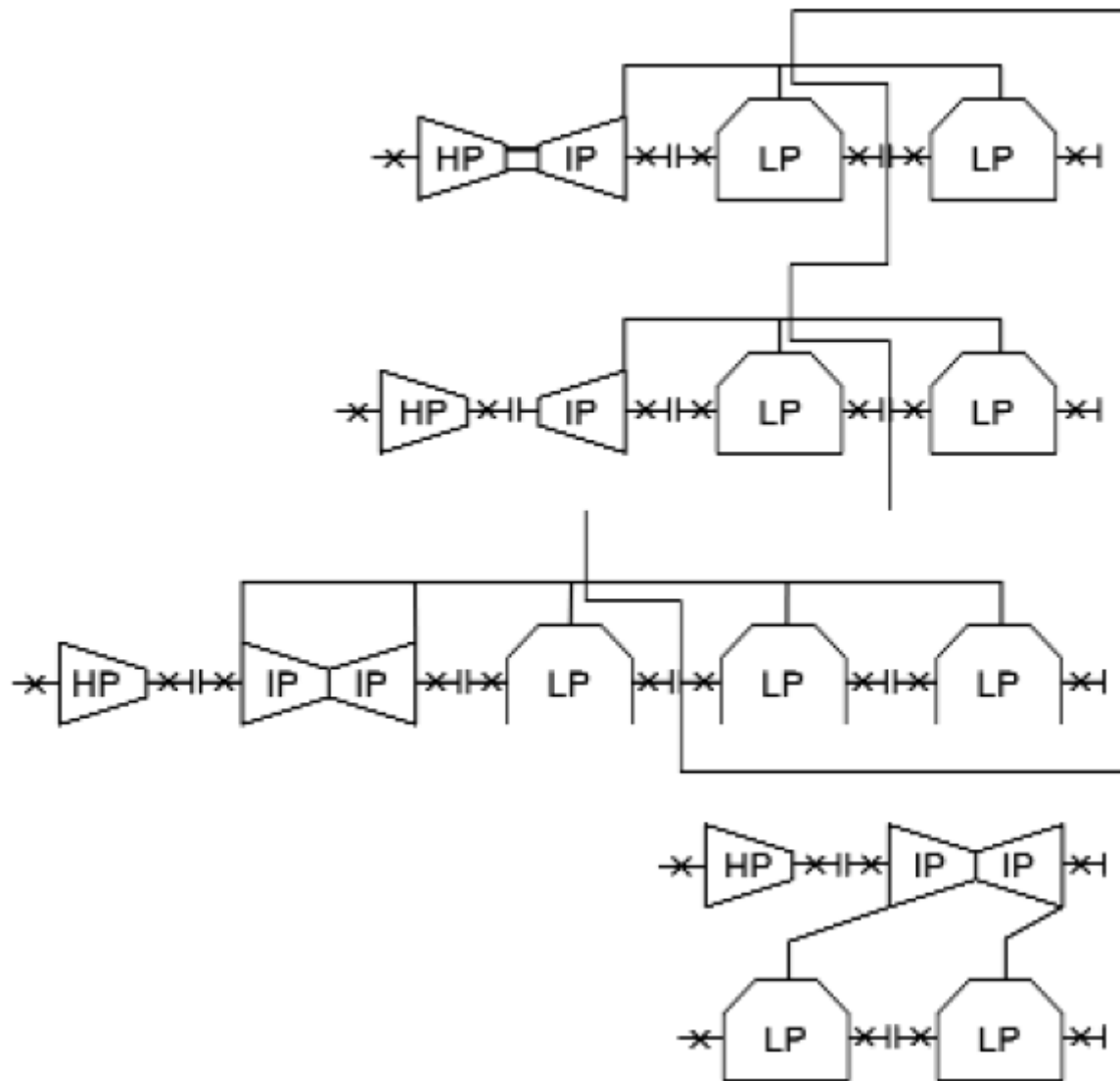
Оптимизација парног циклуса

- Снижавање притиска кондензације
- Снижавање температуре продукта сагоревања из котла
- Снижавање пада притиска и цурења у котлу
- Минимизација “falsch” ваздуха
- Смањење топлотних губитака (котао, турбина, цевоводи)
- Побољшање design-а свих компоненти
- Оптимизација
 - основних термодинамичких параметара
 - притиска **једног** или **два** догревања
 - температуре напојне воде
 - броја и притисака одузимања

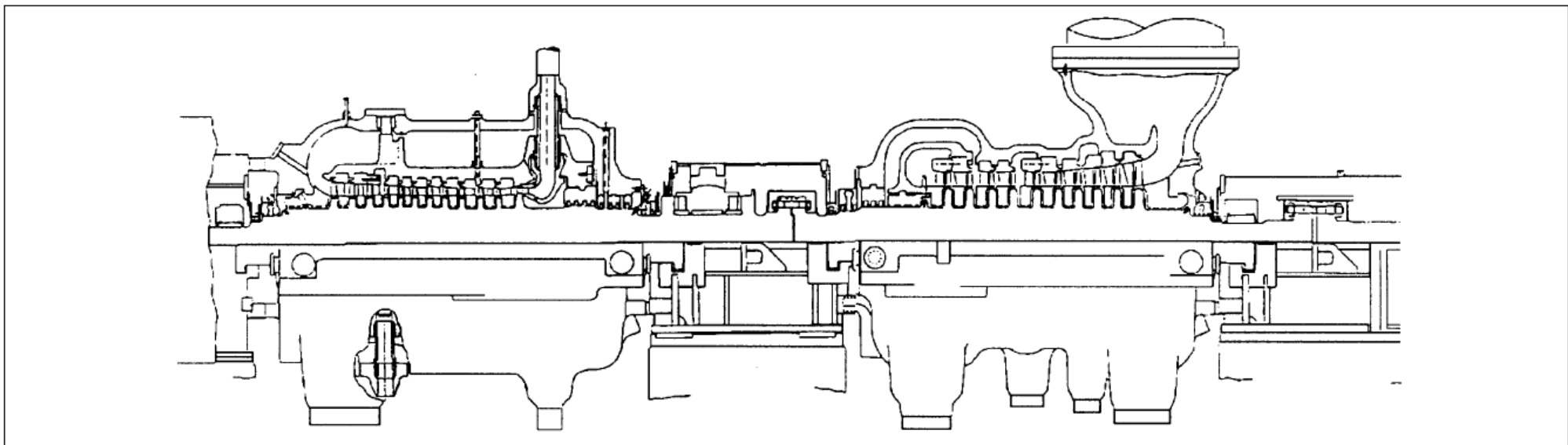
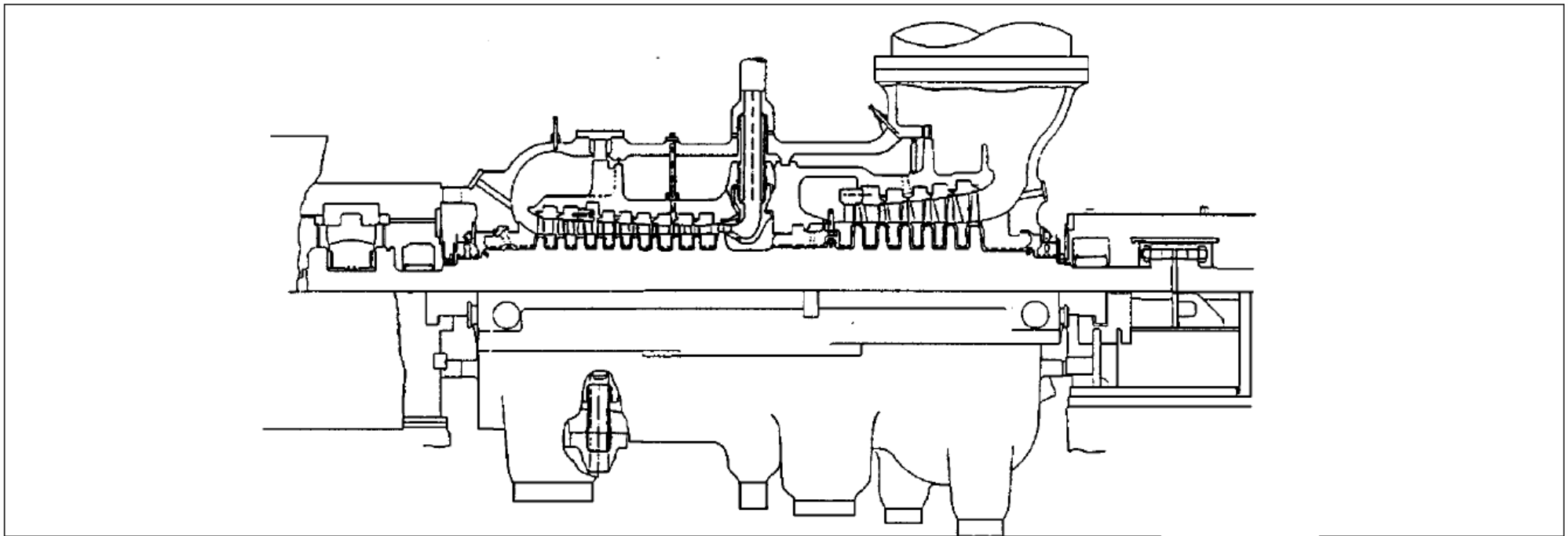
Ултра суперкритични параметри (USC)



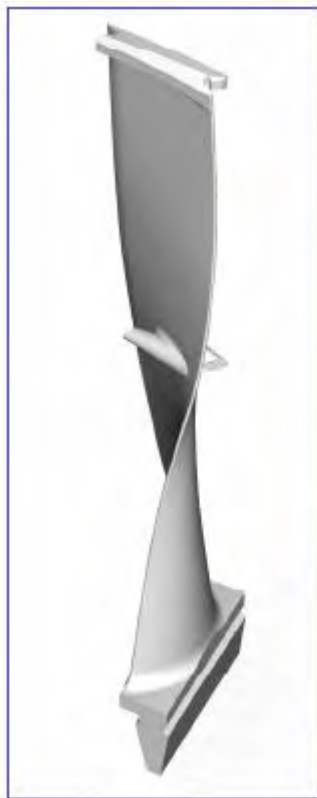
Развој парног блока



Rating Range (MW)		
2-Flow	4-Flow	6-Flow
350-500	450-750	--
350-500	450-750	--
500-700	500-800	700-1100
--	700-1100	--



Задњи ступањ турбине



Design features 16 m² - last stage blade

- Rotor diameter ~ 1900 mm
- Blade length 1400 mm (55'')
- Velocity at blade end 750 m/s (~ Ma = 2.0)
- Mach-number Supersonic at blade end
- Blade connection Shroud & snubber
- Exit losses 3D effects

Материјали за високе температуре и притиске

Komponenta	565 °C	600 °C	700 °C	760 °C
Kućište (oklop, ventili, zaptivke)	CrMoV (cast) 10CrMoVMb	9–10% Cr (W) 12CrW (Co) CrMoWVNbN	CF8C-Plus CCA617 Inconel 625 In 718 Nimonic 263	CCA617 Inconel 740 CF8C-Plus
Vijci	422 9–12% CrMoV Nimonic 80A In 718	9–12% CrMoV 12 CrMoWVNbN	Nimonic 105 Nimonic 115 In 718 Waspaloy Allvac 718Plus	Nimonic 105 Nimonic 115 U700 U710 U720
Rotori/Discs	1CrMoV 12CrMoVNbN 26NiCrMoV11 5	9–12 % CrWCo 12CrMoWVNbN	CCA617 Inconel 625 Inconel 740 Hynes 230	CCA617 Inconel 740
Lopatice	422 10CrMoVNbN	9–12% CrWCo 10CrMoVCbN	Wrought Ni-based	Wrought Ni-based
Parovodi	P22	P92	CCA617	Inconel 740

Гасни блок

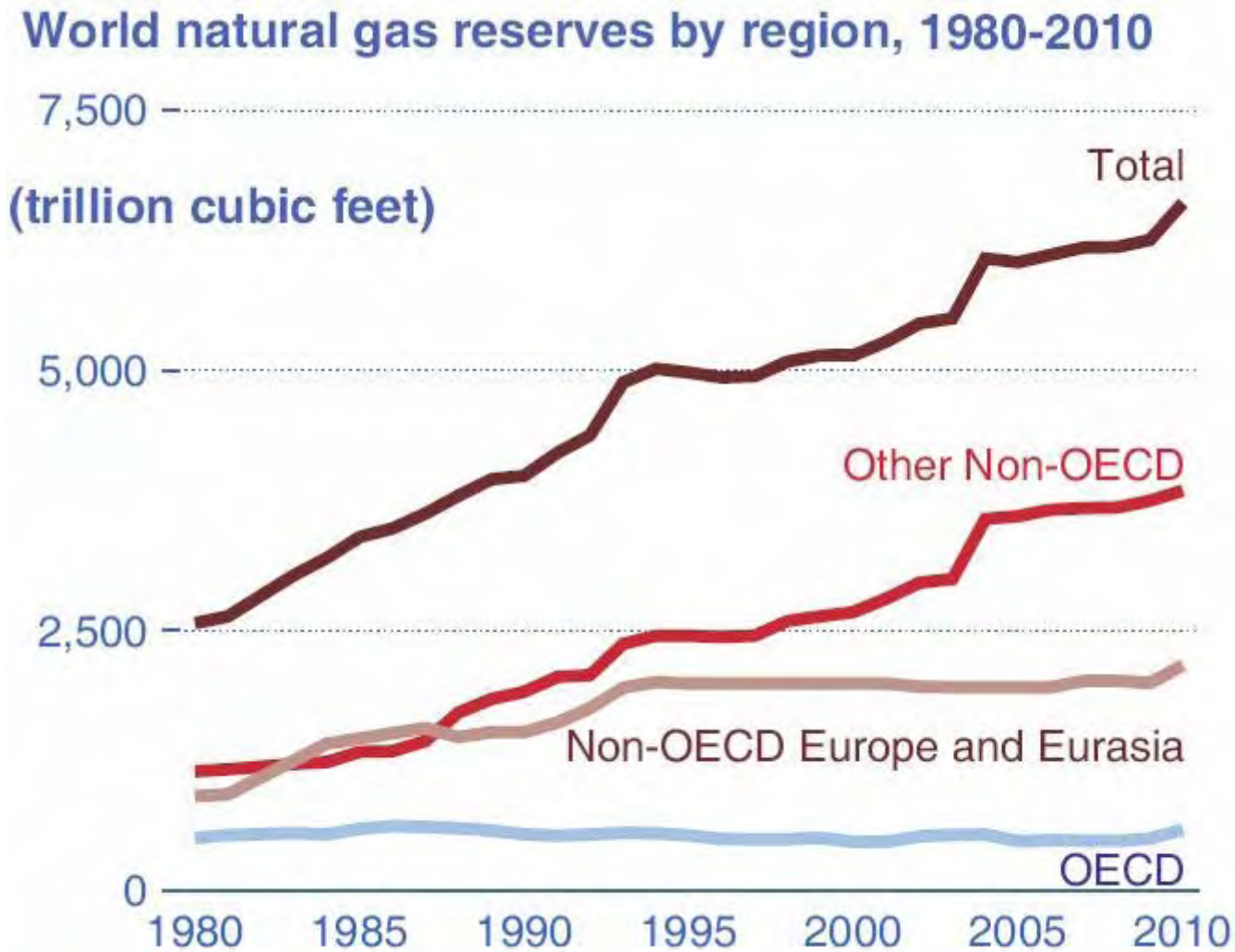
Гасна турбина ће одиграти кључну улогу у енергетици у 1. половини XXI века.

- У оквиру комбинованих постројења
- Самостално у базном циклусу.

Разлог:

- Снажан развој и даље велики развојни потенцијал ГТ,
- Техноекономске предности (цена, η , емисија)
- Резерве природног гаса

Резерве гаса



Izvor: International Petroleum Encyclopedia and Oil & Gas Journal.

Правци развоја ГТ:

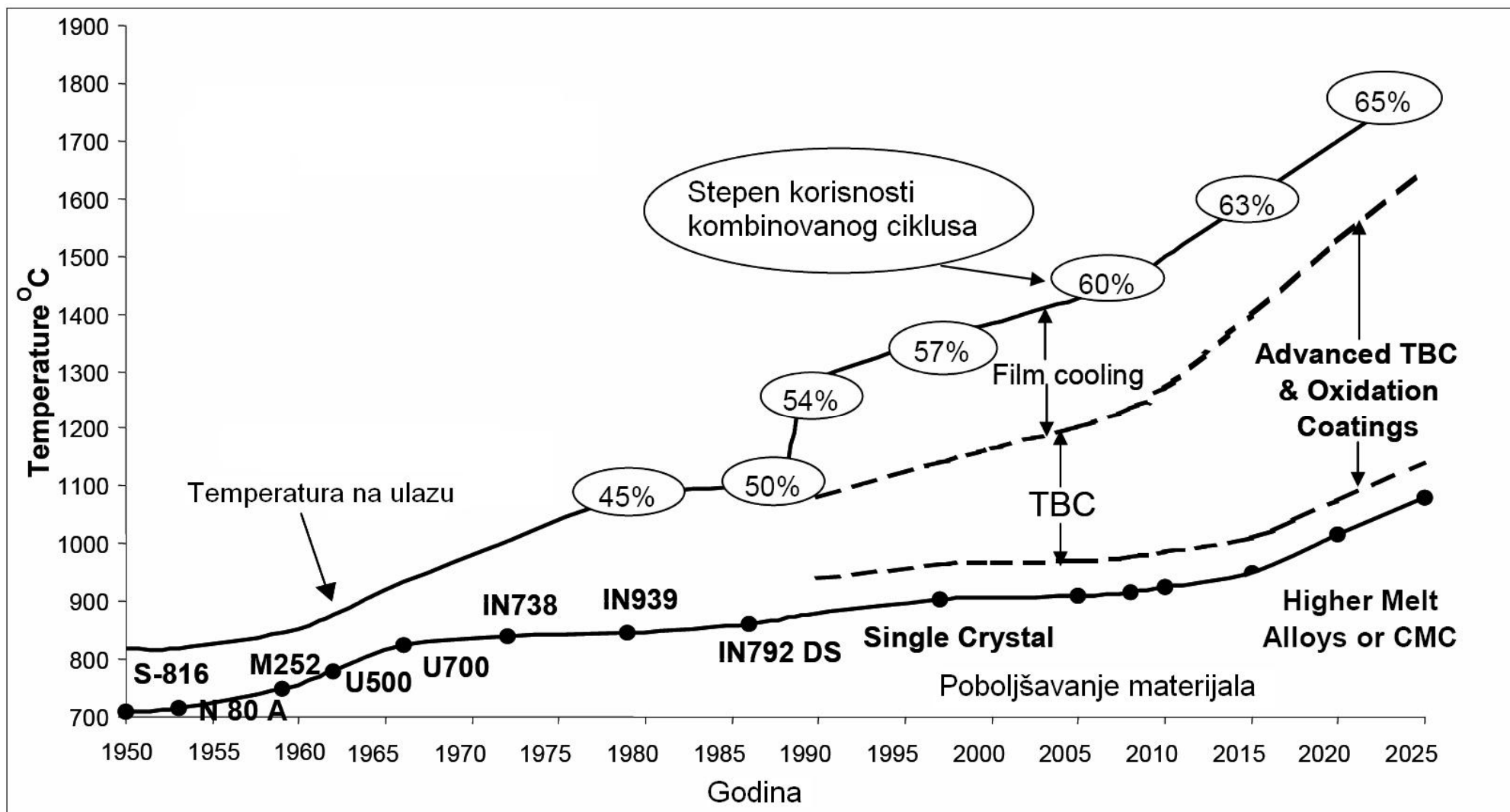
- Пораст температуре гасова на улазу,
- Хлађење лопатица и нови материјали
- Увођење воде/паре у циклус
- Сложенији циклуси
- Даље усавршавање компонената

Комбинована постројења ГТ и ПТ:

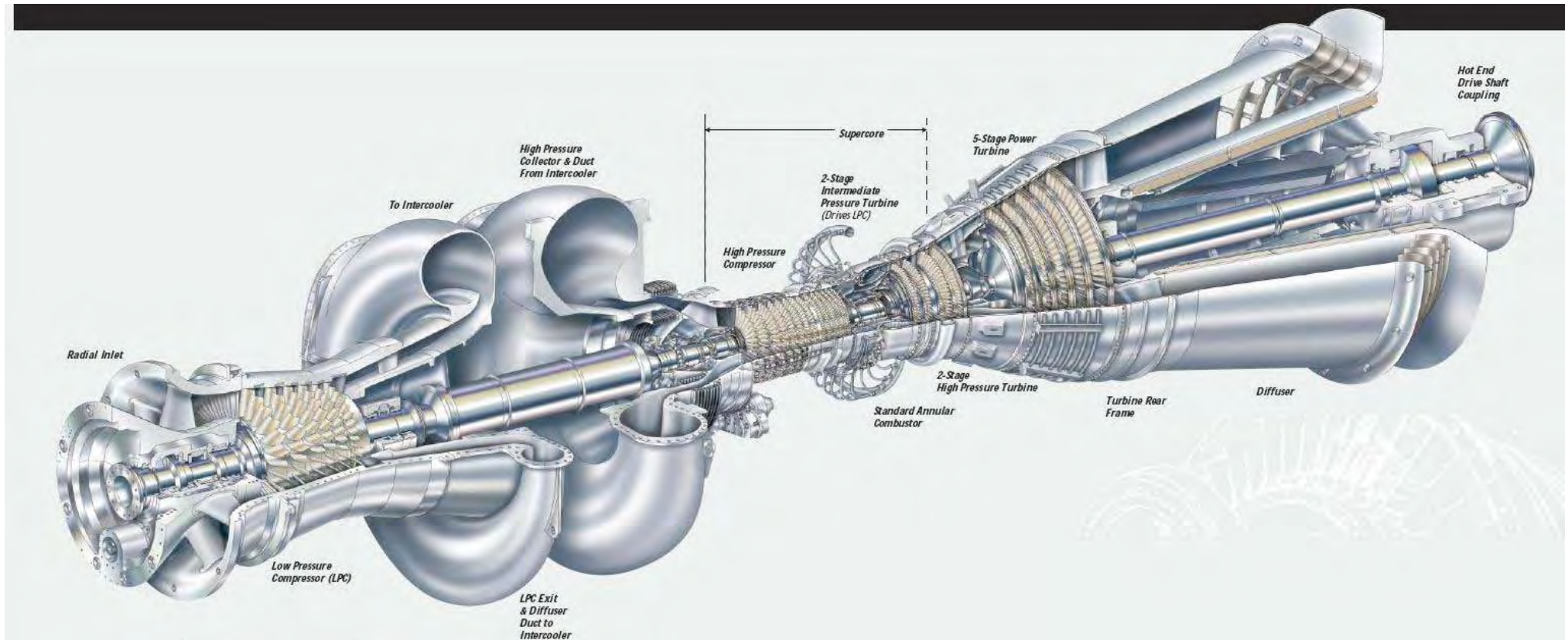
- Све предности нових развоја ГТ и ПТ
- Оптимизација топлотних шема и параметара ГТ и ПТ

- Драматичан раст јединичних снага
- Пад спец. инвестиционих трошкова
- Пораст η

Комбинована постројења ГТ и ПТ:



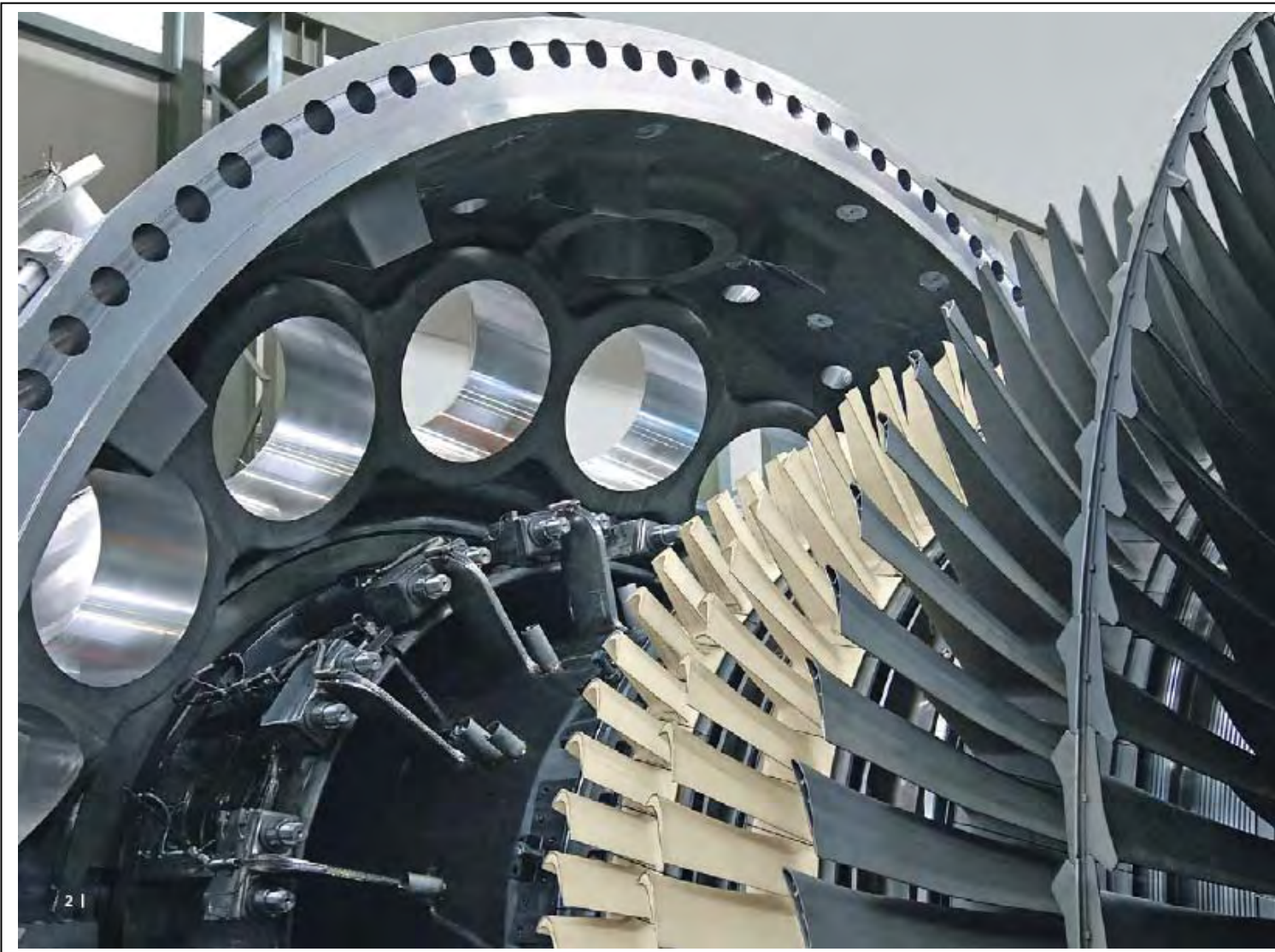
Гасне турбине – развој, пример 1



Model	Output (MWe)	Heat Rate (KJ/KWH)	Efficiency %
DLE	99	7921	45
SAC (w/Water)	102.5	8247	44
SAC (w/Steam)	102.2	7603	47
STIG	110.8	7263	50

Ел. снага 100 MW
 Распоживост: 97,5%
 Степен корисности: 44-50%

Гасне турбине – развој, пример 2

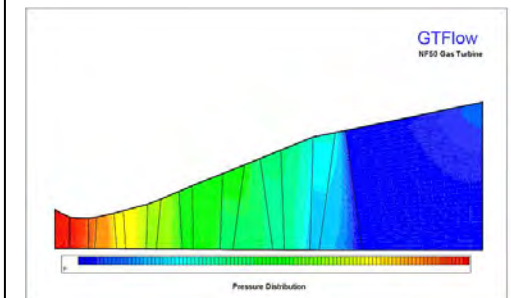


ГТ

Снага 375 MW
 $\eta > 40\%$

**Комбиновано
постројење:**

Снага 570 MW
 $\eta > 60\%$



Нуклеарна енергетика (НЕ)

Питање НЕ је техноекономско.

НЕ ће доћи у примену

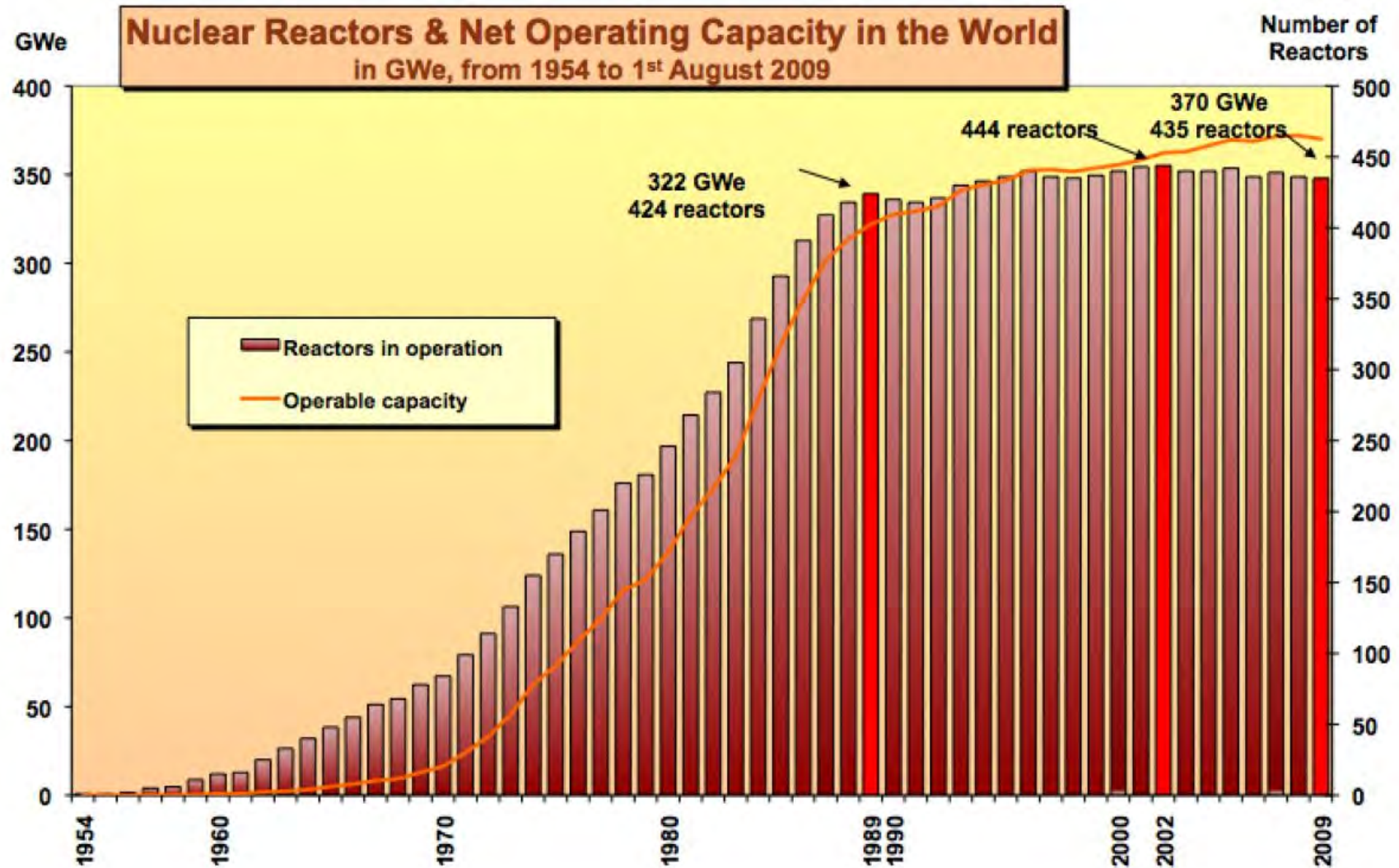
- онда и
- тамо

где покаже техноекономске предности према другим технологијама.

Према IEA и IAEA у свету :

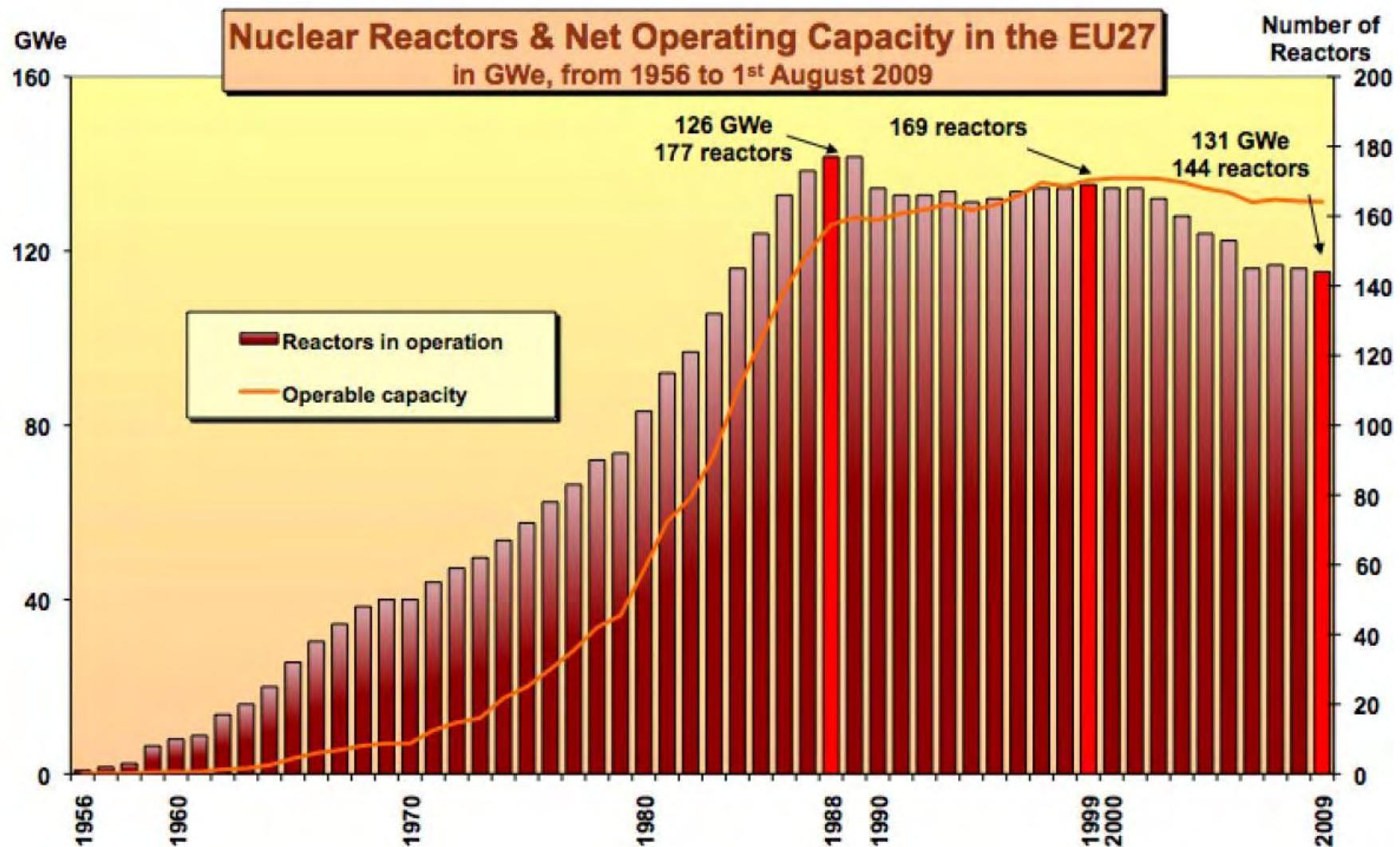
НЕ неће повећати удео у производњи ЕЕ у наредних 20-25 г.

Нуклеарна енергетика (НЕ)



Source: IAEA-PRIS, MSC, 2009

Нуклеарна енергетика (НЕ) – ЕУ27



Source: IAEA-PRIS, MSC, August 2009

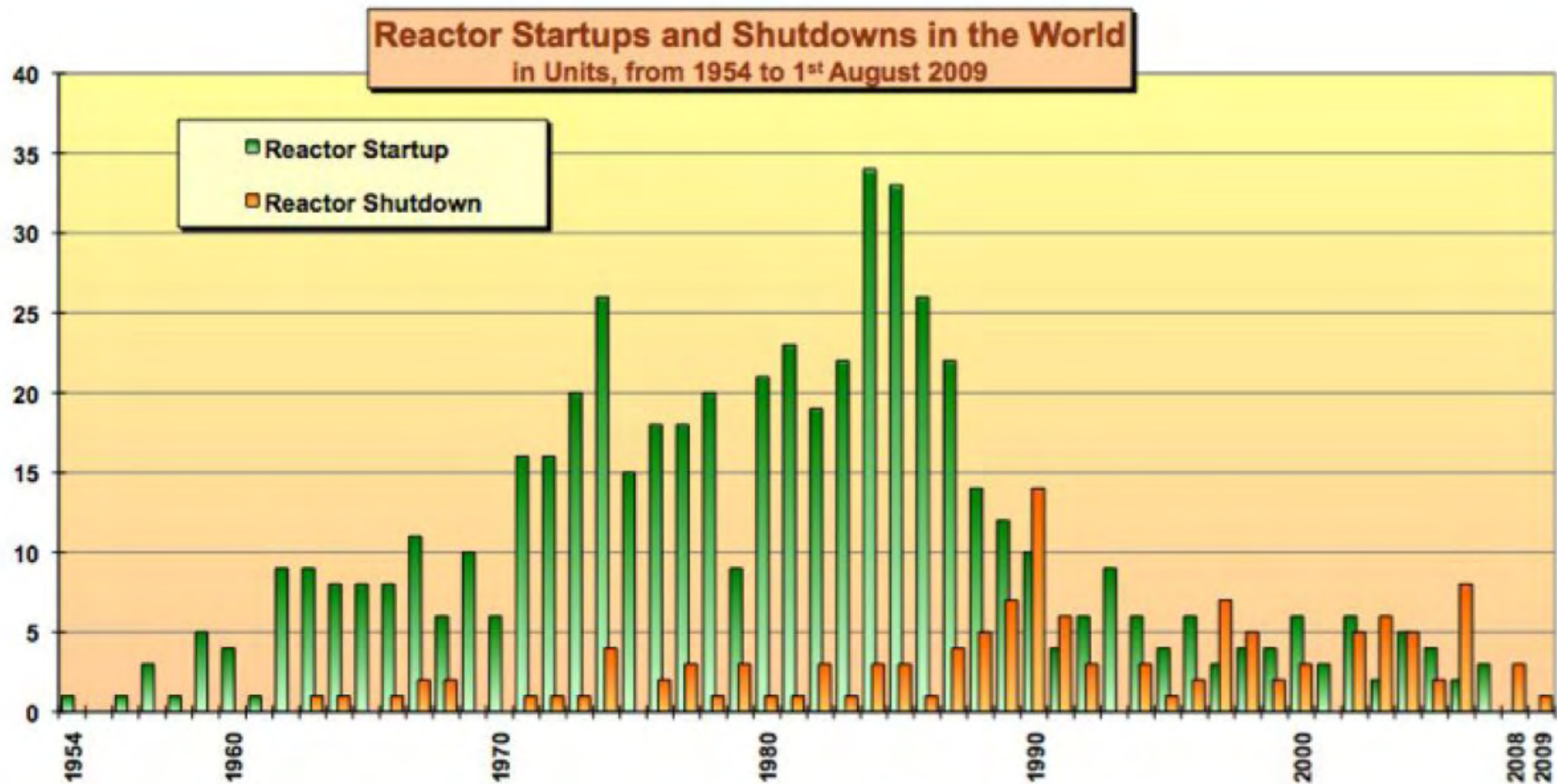
Нуклеарна енергетика (НЕ) – ЕУ27

У Европи (без Русије) није изграђен ниједан реактор започет од 1987.

Тренутно у градњи 2:

- У Финској Olkiluoto 1600 MW
(уговорен за $3 \cdot 10^9$ EUR, премашен буџет >60%, касни >2 г.)
- У Француској Flamanville

Нуклеарна енергетика (НЕ)



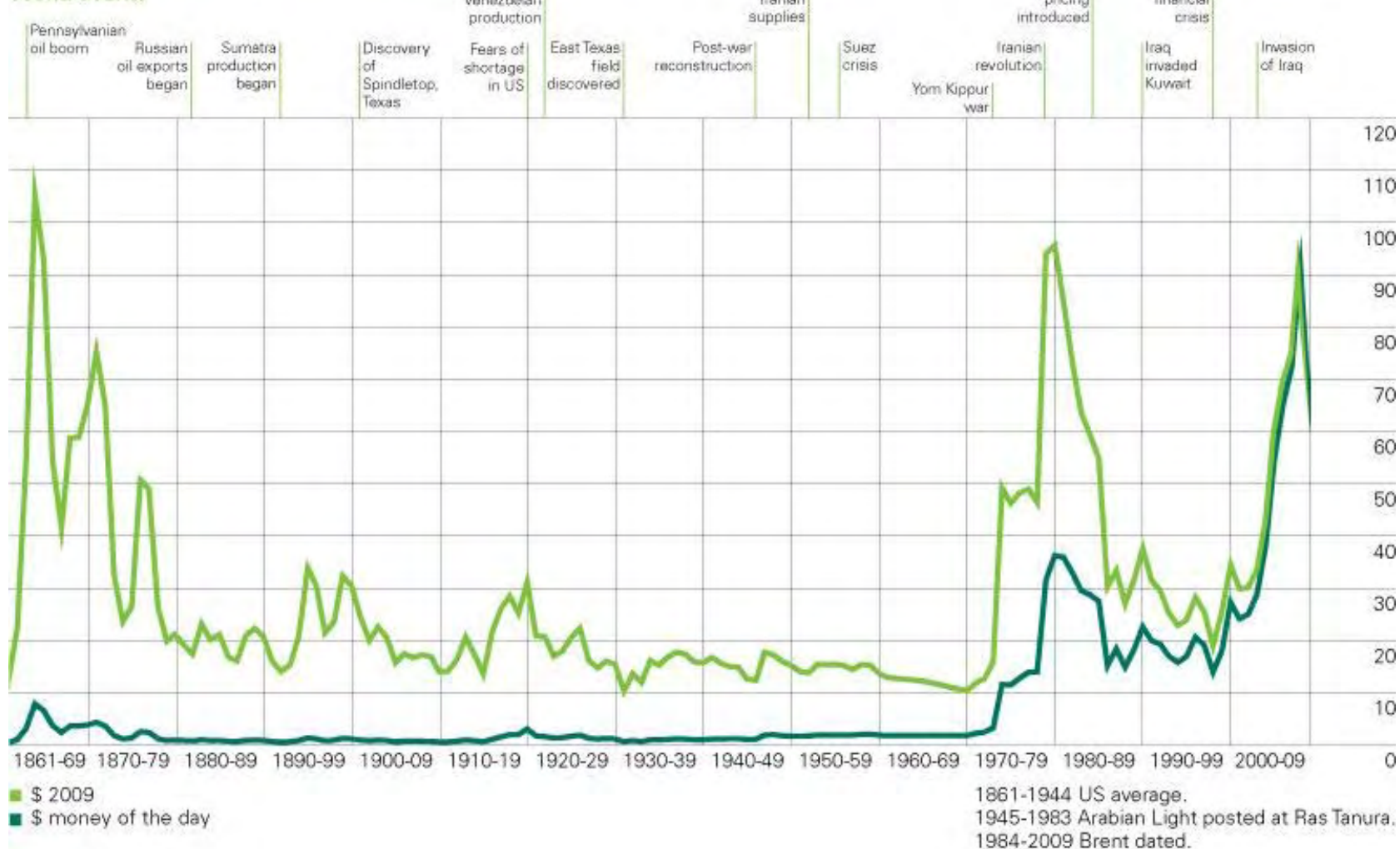
Source: IAEA-PRIS⁹, MSC, 2009

Цена фосилних горива и НЕ

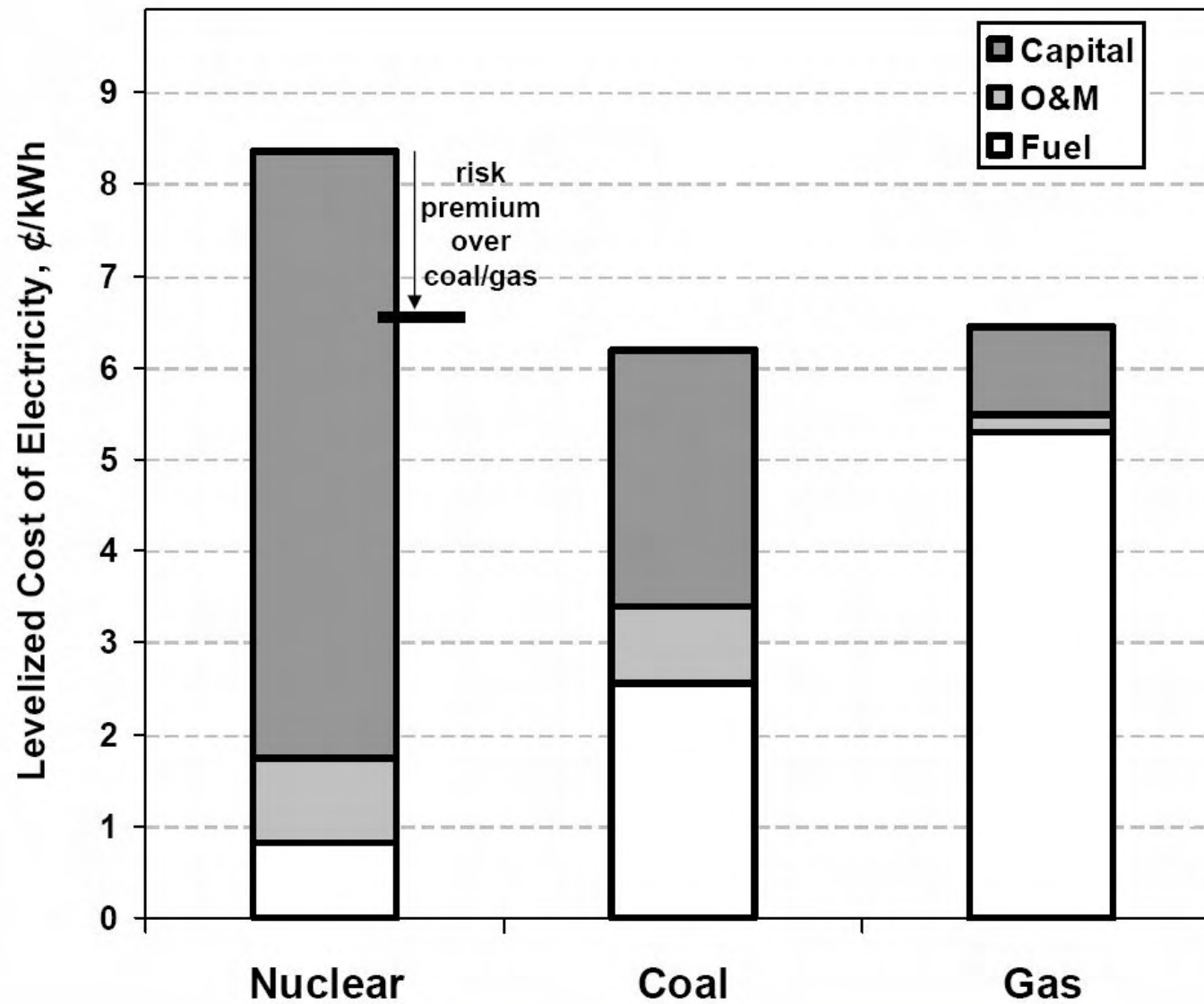
Crude oil prices 1861-2009

US dollars per barrel

World events



Цена kWh из HE



Извор: MIT

Србија - Закључак

Треба да базира развој на угљу и мирно чека расплет у трци технологија.

Србија нема потребе да у наредних 20(30) г. размишља о НЕ.

Шта ће се после 2030. градити зависи:

- климатских промена
- количине и цене фосилних горива (нарочито гаса)
- напретка и конкурентности нуклеарних технологија
- напретка других енергеских технологија.