

Erőművek energetikai folyamatai

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem

Budapesti Erőművek
2008/09 I. f.év – 2009 október 1.

Katona Zoltán

zoltan.katona@eon-energie.com

Tel.: 06-30-415 1705

Villamos energia termelés: miből és hogyan?

Villamos energia termelés - közvetetten

- Kémiai reakció: **fosszilis, biomassa tüzelőanyagú** erőművek
- Nukleáris reakció: atomerőművek

Villamos energia termelés - közvetlenül

- Fotovoltaikus: naperőmű
- Mechanikus energia: **vízerőművek**, szélerőművek, ár-ápany erőművek
- Kémiai reakció: tüzelőanyag cella

A fosszilis tüzelésű erőművek, atomerőművek, vízerőművek és sokkal kisebb mértékben a biomassa tüzelésű erőművek adják a világ – és így Magyarország – villamos energia termelésének csaknem egészét!

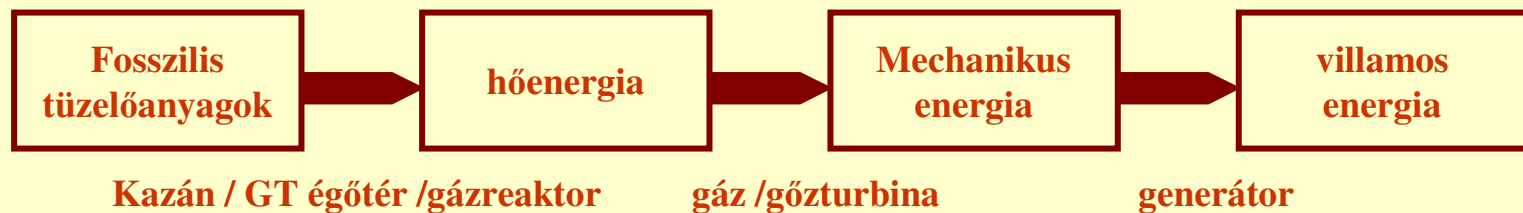
Villamos energia termelés: közvetetten

Szükség van a hőtermelés közbeiktatására!

A villamos energia termelési folyamatok ezért alapvetően hőtani folyamatok!

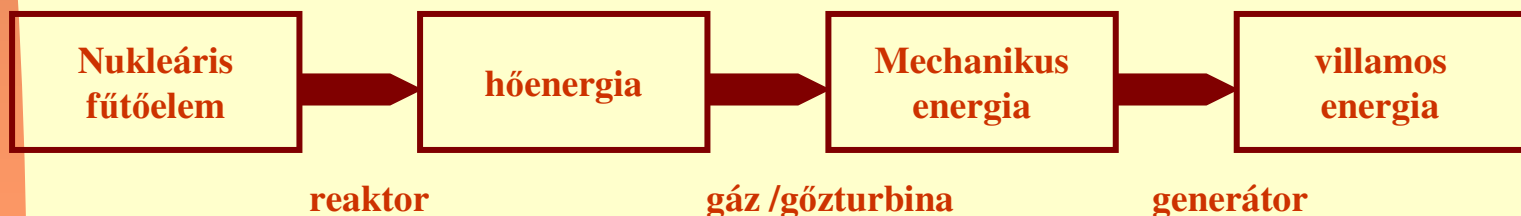
Fosszilis tüzelőanyagok:

Szén, földgáz, olaj tüzlésű erőművek



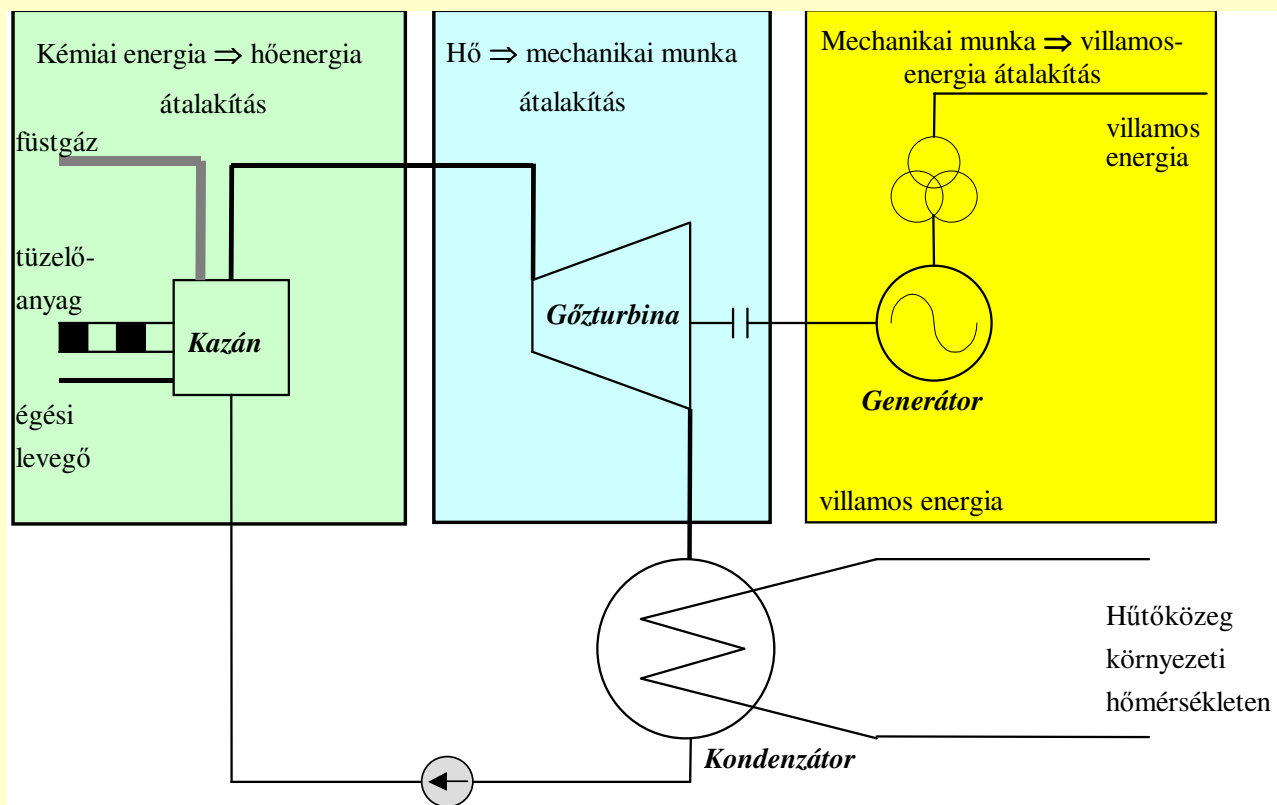
Nukleáris fűtőelemek:

Atomerőművek:



Csak a hőforrás szempontjából különböznek!

Gőzkörfolyamatú erőművek



Alapötlet



Katona Z, 2008.

Forrás: Fossil fuel innovation, Professor Stephen Lawrence
Leeds School of Business
University of Colorado at Boulder

Gáztüzelésű kombinált ciklusú erőmű energiafolyama

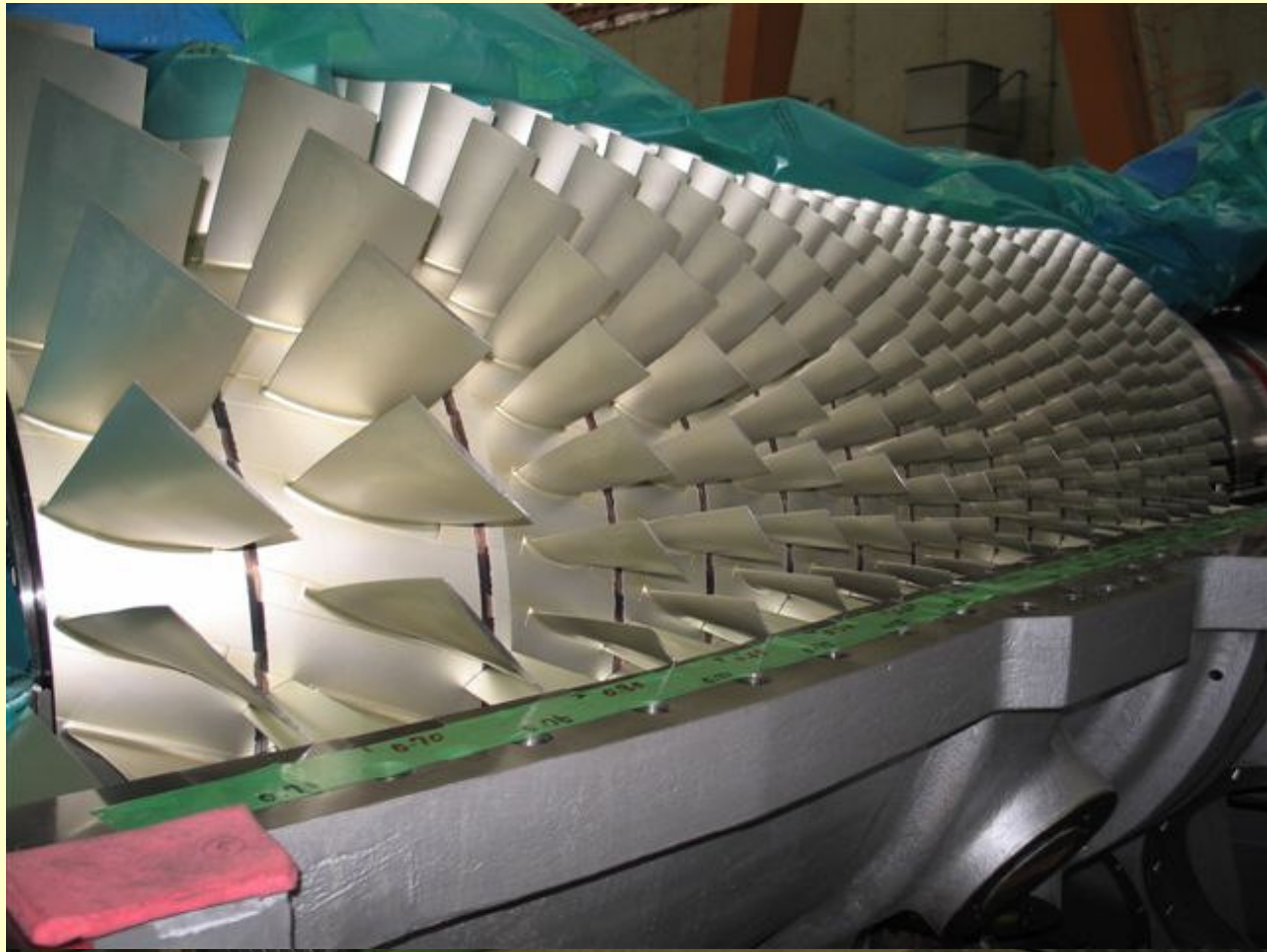
$$\eta_{GT} = \frac{P_{GT}}{\dot{Q}_{\ddot{u}}}$$

39%

$$\eta_{G/G} = \frac{P_{GT} + P_{KE}}{\dot{Q}_{\ddot{u}}}$$

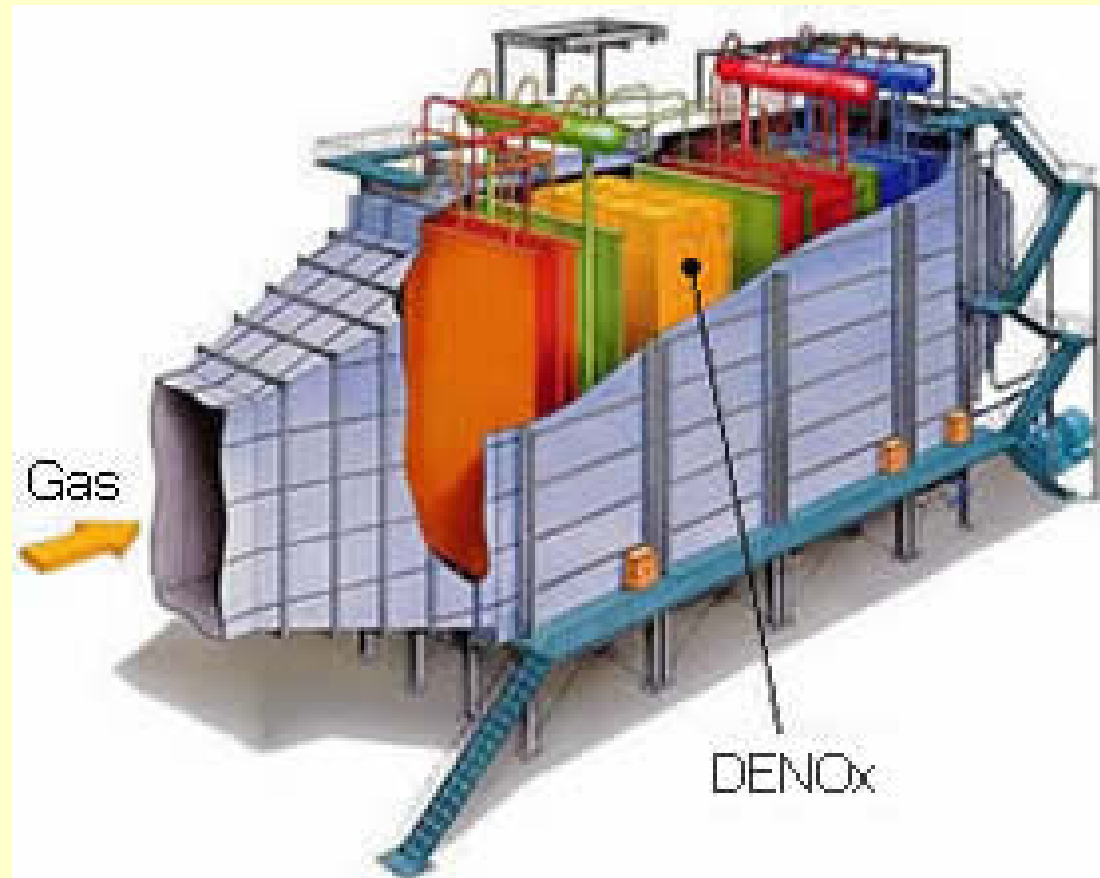
59%

Gázturbina

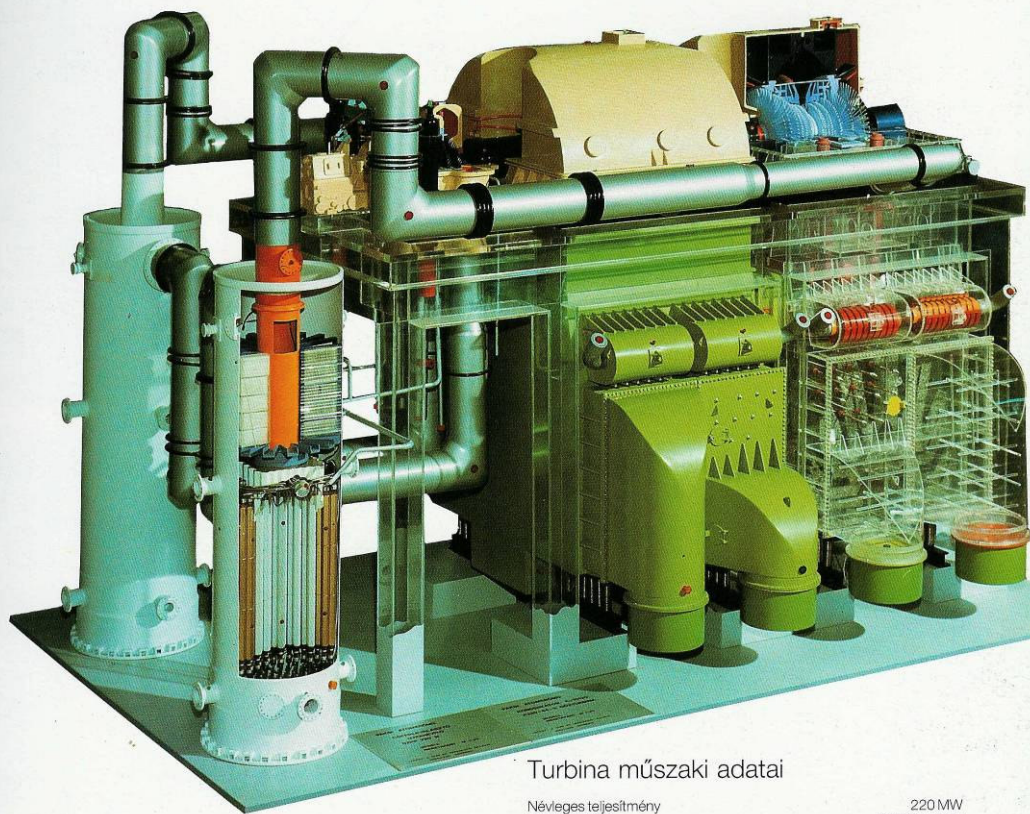


Katona Z, 2008.

Vízszintes elrendezésű hőhasznosító gőzkazán

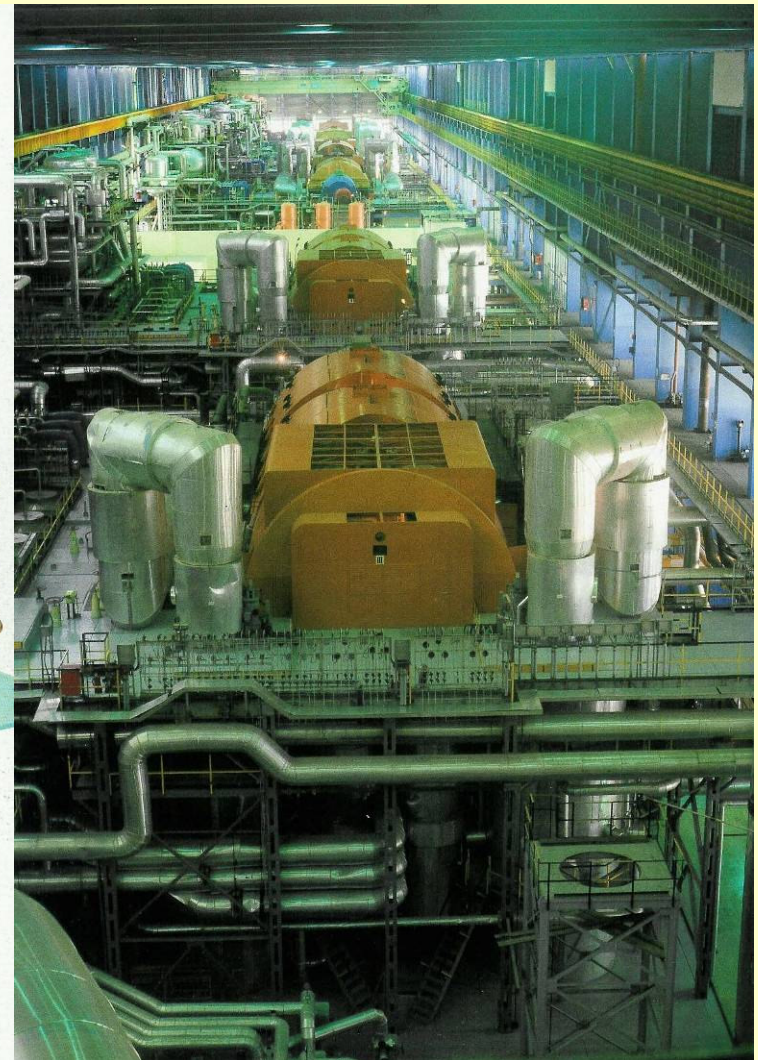


Gőzturbina

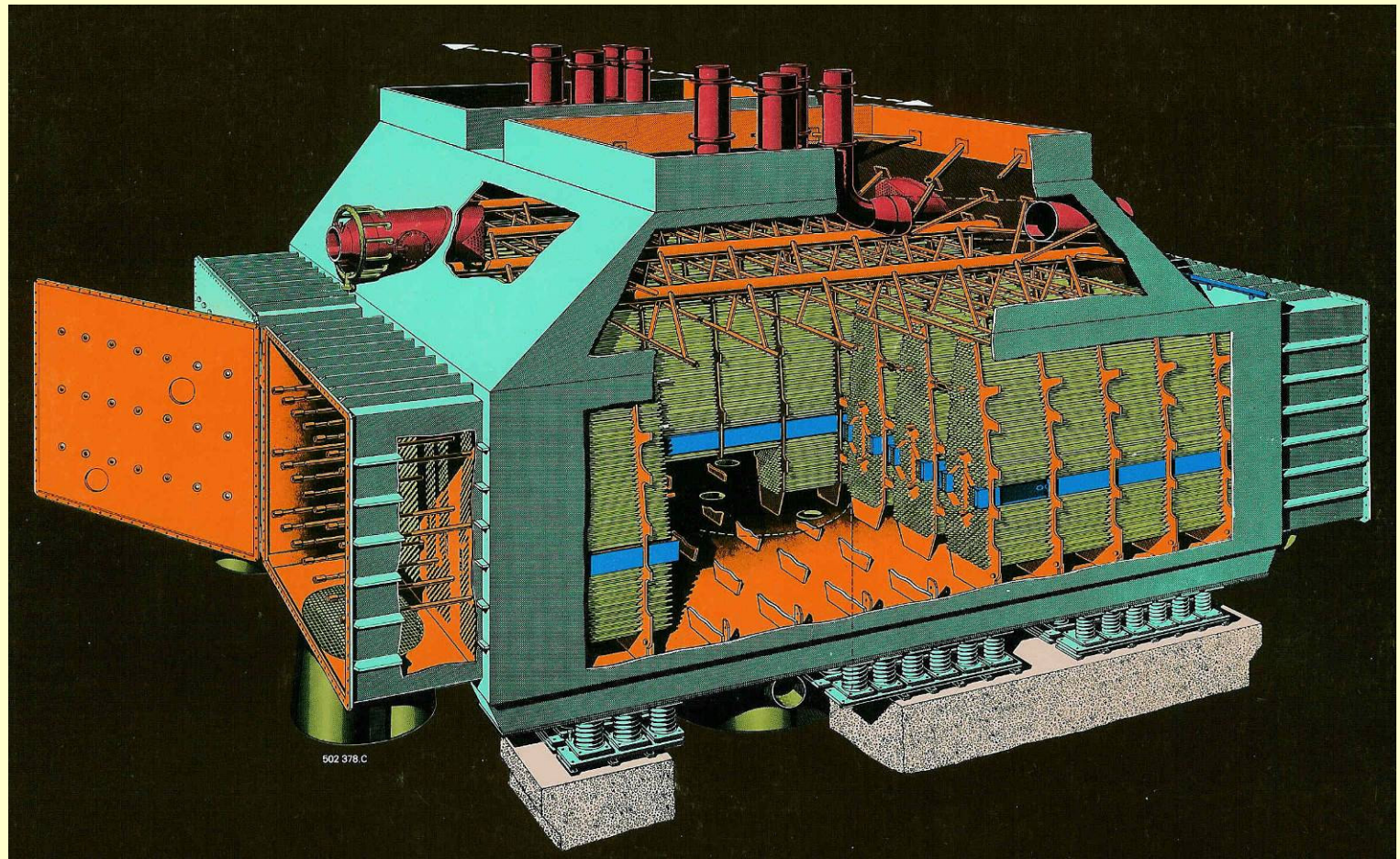


Turbina műszaki adatai

Névleges teljesítmény	220 MW
Fordulatszám	3000 ford/min
Gőznyelés	1350 t/h
A friss gőz nyomása a turbina előtt	43 bar
Frissgőz nedvességtartalom	0,25%
Névleges kondenzátor vákuum	35 mbar
Névleges hűtővíz hőmérséklet	12°C
Névleges hűtővíz mennyiség	44000 m ³ /h



Vízhűtésű kondenzátor



Szénportüzelésű kazánok

ModernPowerSystems

858 MWe LIGNITE FIRED POWER PLANT at BELCHATOW, POLAND

ALSTOM

BOT
Elektronikus Biztonság SR

Key to the plan

- 1 Fuel tank
- 2 Furnace and grate
- 3 Grate
- 4 Furnace and water wall
- 5 Fuel of water
- 6 Water treatment area
- 7 Cooling tower

Site plan (indicated existing with our shows)

Technical Specifications:

Boiler	1 582
Water level	10 45
Temperature (°C)	30
Pressure (MPa)	27
Boiler type	Water Walls Evaporator System FGD
Control system	400 g/s water
Condensing plant	
Condensing water temperature (°C)	37
Condensate pressure (bar)	43
Condensate pump (MW)	1.4021
Feedwater heating plant	
Feedwater heater	4
Feedwater temperature (°C)	270
Moisture separator	
Moisture separator	3 x 2000, 2000 g/s
Moisture separator pump (MW)	2 x 1000
Moisture separator pump	2 x 1000
Boiler pumps	
Boiler feed pump	1 x 1000, 1000 g/s
Boiler feed pump (MW)	2 x 1000
Boiler feed pump	2 x 1000
Condensing water pumps	
Condensing water pump	2
Moisture separator	
Moisture separator	3 x 2000
Moisture separator pump (MW)	2 x 1000
Moisture separator pump	2 x 1000
Boiler feed pumps	
Boiler feed pump	3000000
Boiler feed pump (MW)	2700000
Moisture separator	
Moisture separator	3000000
Moisture separator pump (MW)	2700000
Moisture separator pump	2700000
Moisture separator	
Moisture separator	3000000
Moisture separator pump (MW)	2700000
Moisture separator pump	2700000

Main features:

- Boiler: Subcritical, Pulverized
- Control: BOT (Babcock)
- Control system: Project (Siemens)
- Control type: Distributed control system

Main boiler characteristics:

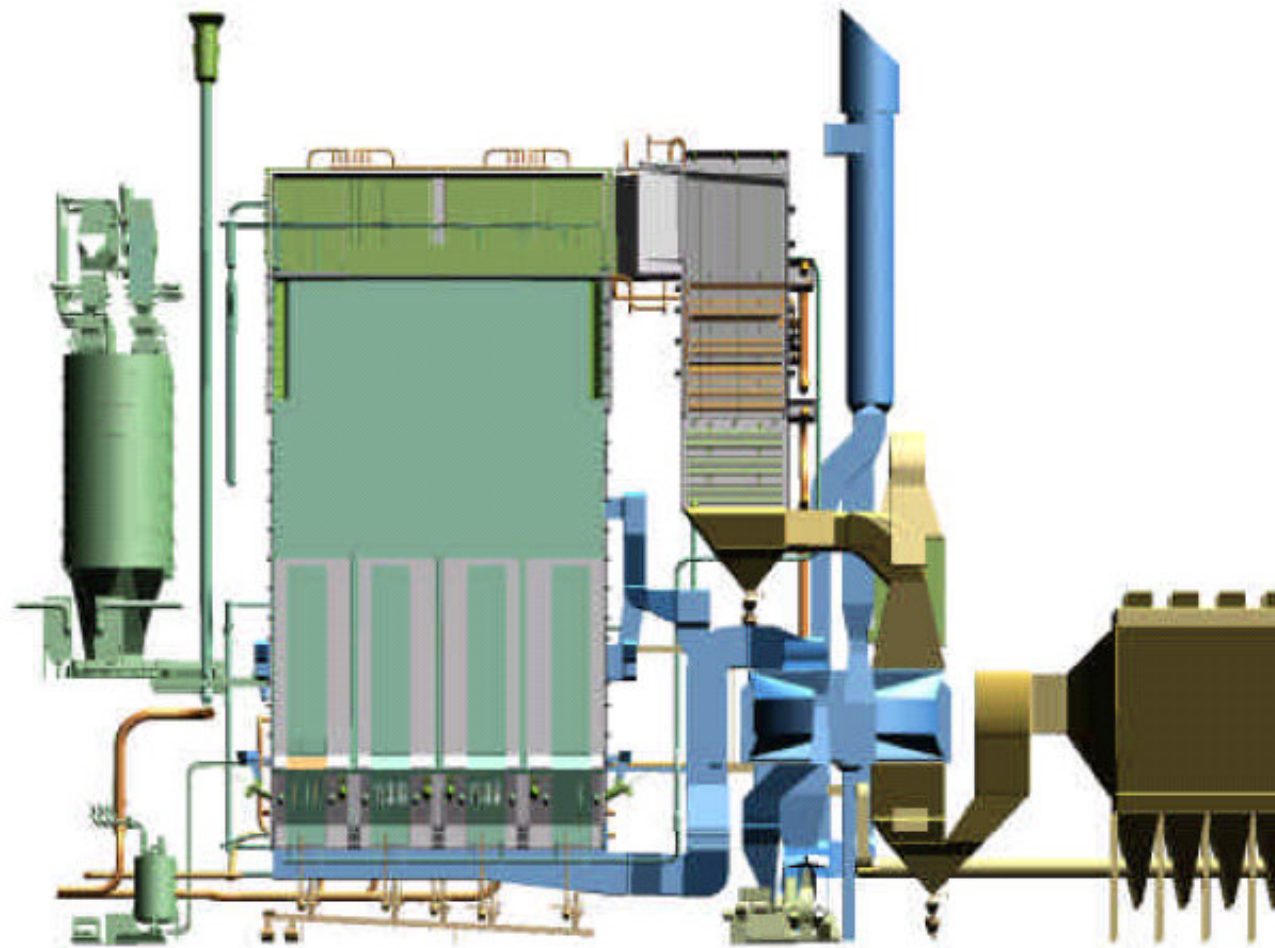
Year	2002
Boiler area (m²)	215
Boiler pressure (bar)	27
Boiler temperature (°C)	270
Boiler type	Water Walls
Boiler material	Steel
Boiler weight (t)	2000

Key:

- 1 Boiler
- 2 Water level
- 3 Condenser
- 4 Condenser
- 5 Fuel tank
- 6 Moisture separator
- 7 Fuel of water
- 8 Fuel of water
- 9 Fuel of water
- 10 Fuel of water
- 11 Fuel of water
- 12 Fuel of water
- 13 Fuel of water
- 14 Fuel of water
- 15 Fuel of water
- 16 Fuel of water

Schematic diagram

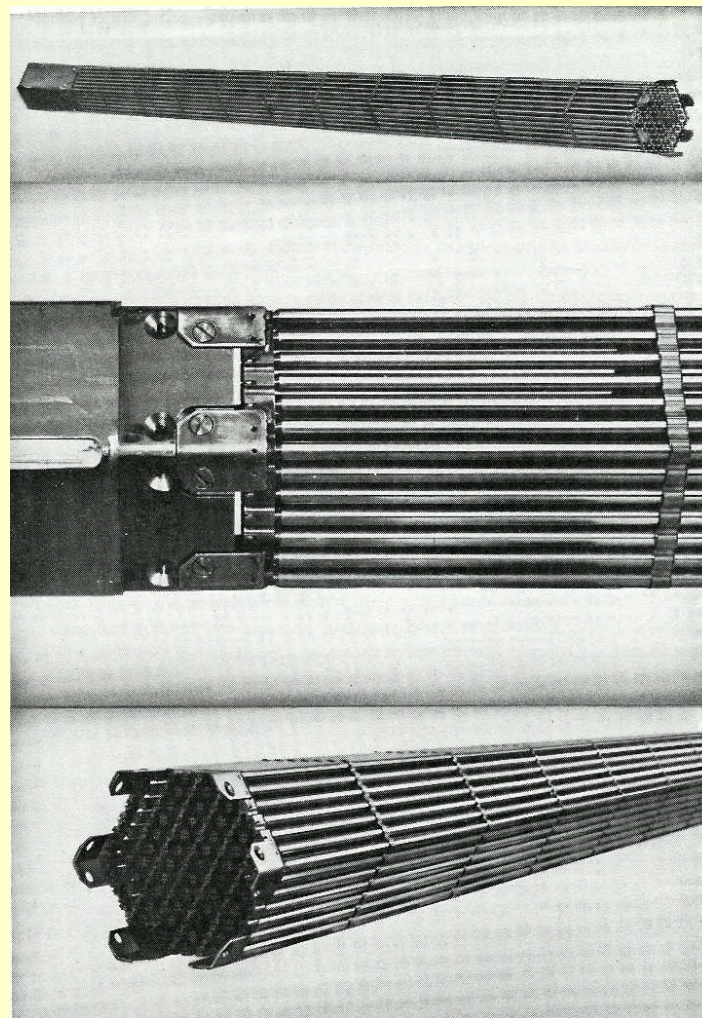
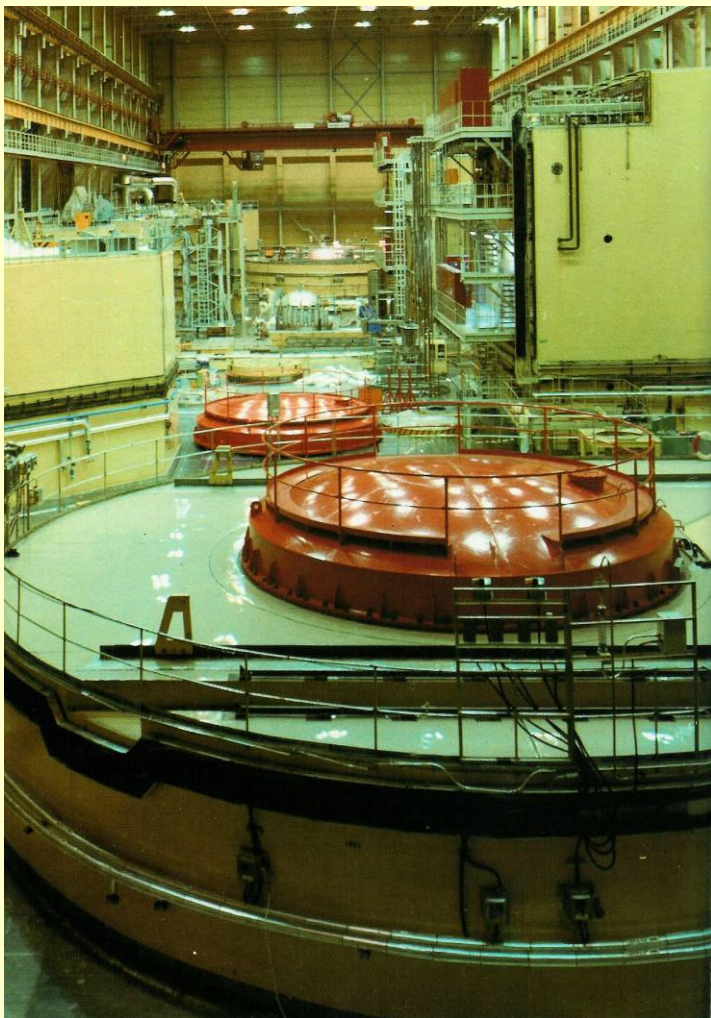
Fluidágy



The 460 MW_e once-through CFB design for Lagisza.

http://www.fossil.energy.gov/education/energylessons/coal/coal_cct4.html
Ludquist et al: Major step forward – the supercritical CFB boiler, PowerGen 2003

A Paksi Atomerőmű primerköre

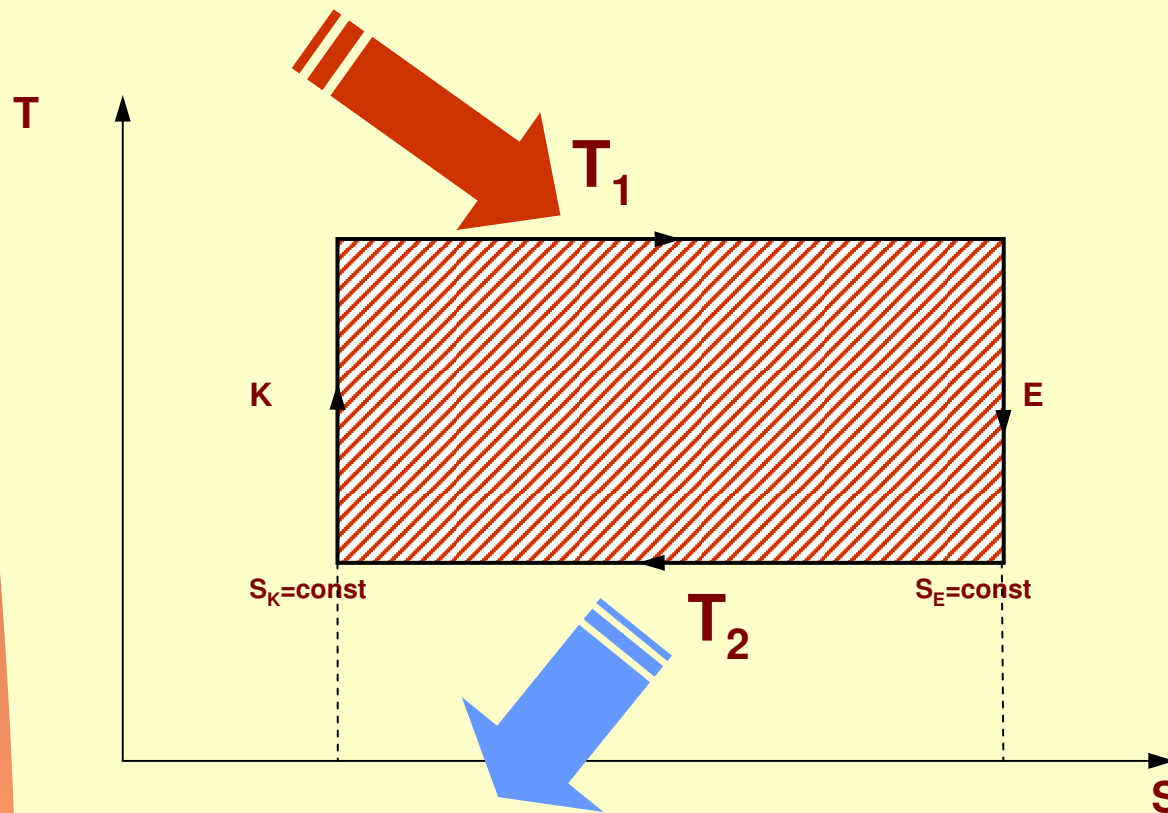


Erőműfejlesztés

Cél: gazdaságosság növelése

- Tüzelőanyagköltség csökkentés - **hatásfok növelés**
- Beruházási költség csökkentés (legkisebb mértékű növelése)
- Egyéb üzemeltetési és karbantartási költség csökkentés
- Bevétel maximalizálás (pl. rendelkezésre állás növelése)

Carnot körfolyamat



$$q_{be} = T_1 \cdot \Delta s_1$$

$$q_{el} = T_2 \cdot \Delta s_2$$

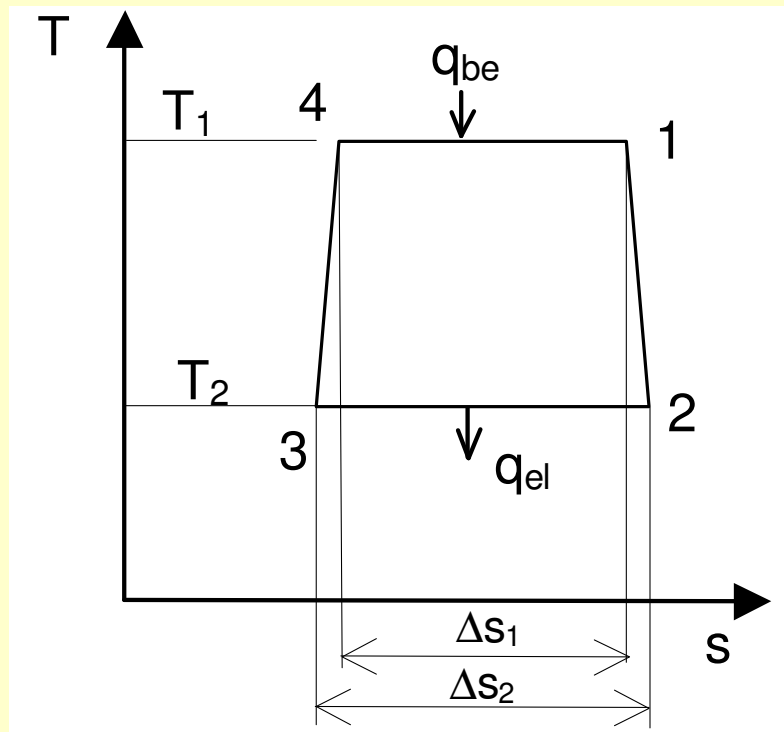
$$P_{vill} = q_1 - q_2$$

$$\eta_{vill} = \frac{P_{vill}}{q_1}$$

$$\eta_{vill} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Cél: a hőbevezetés átlaghőmérsékletét növelni
a hőelvonás átlaghőmérsékletét csökkenteni

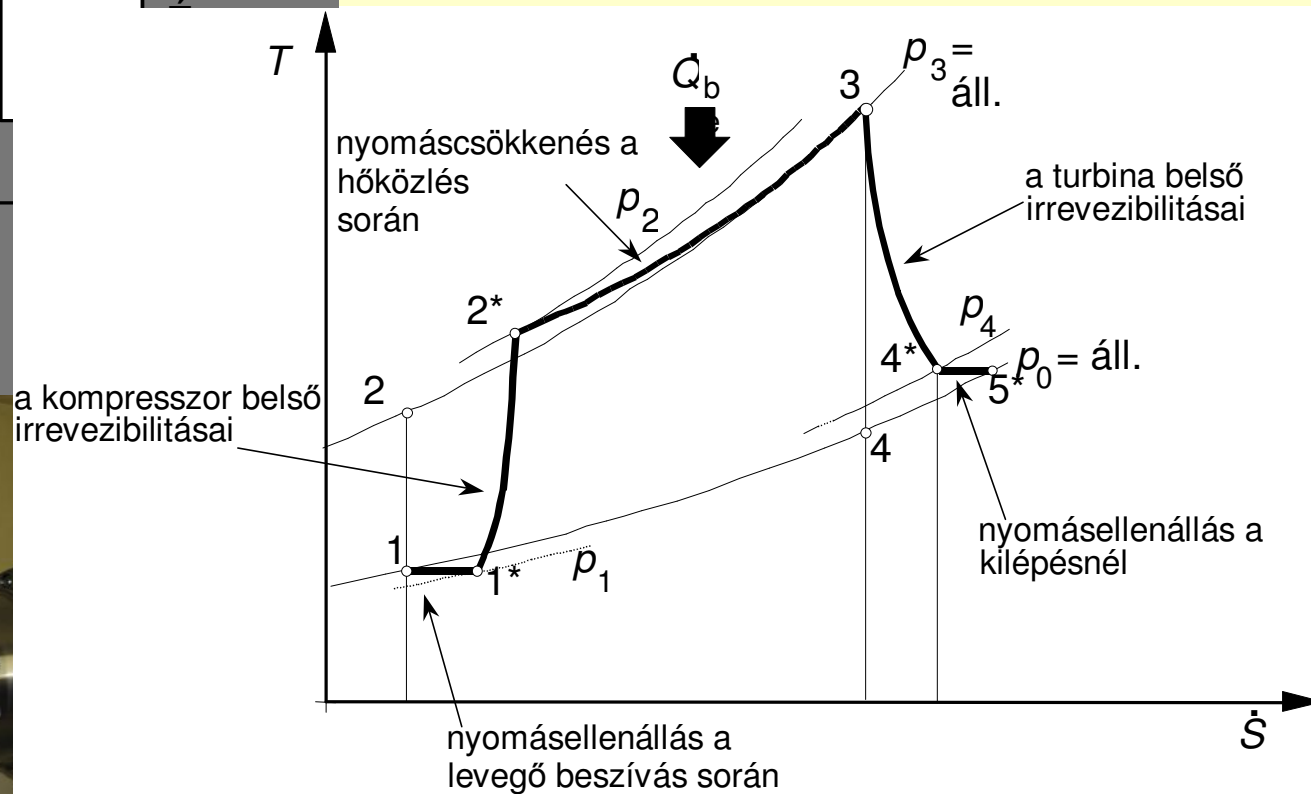
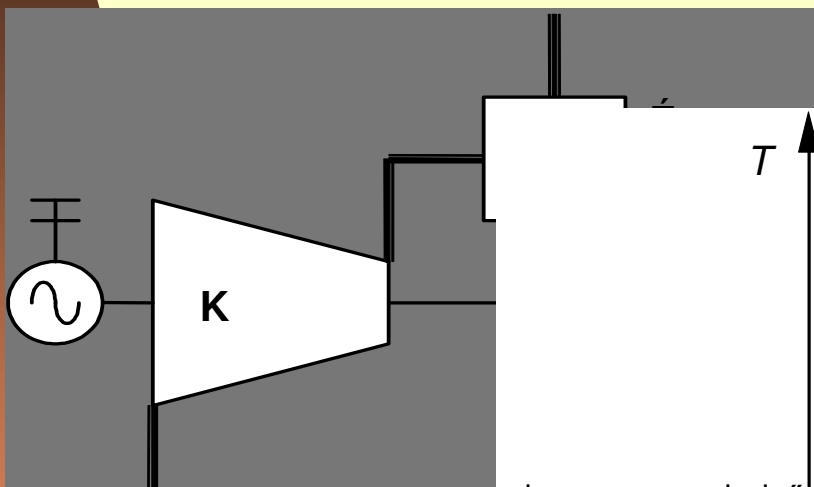
Valós kompresszió és expanzió



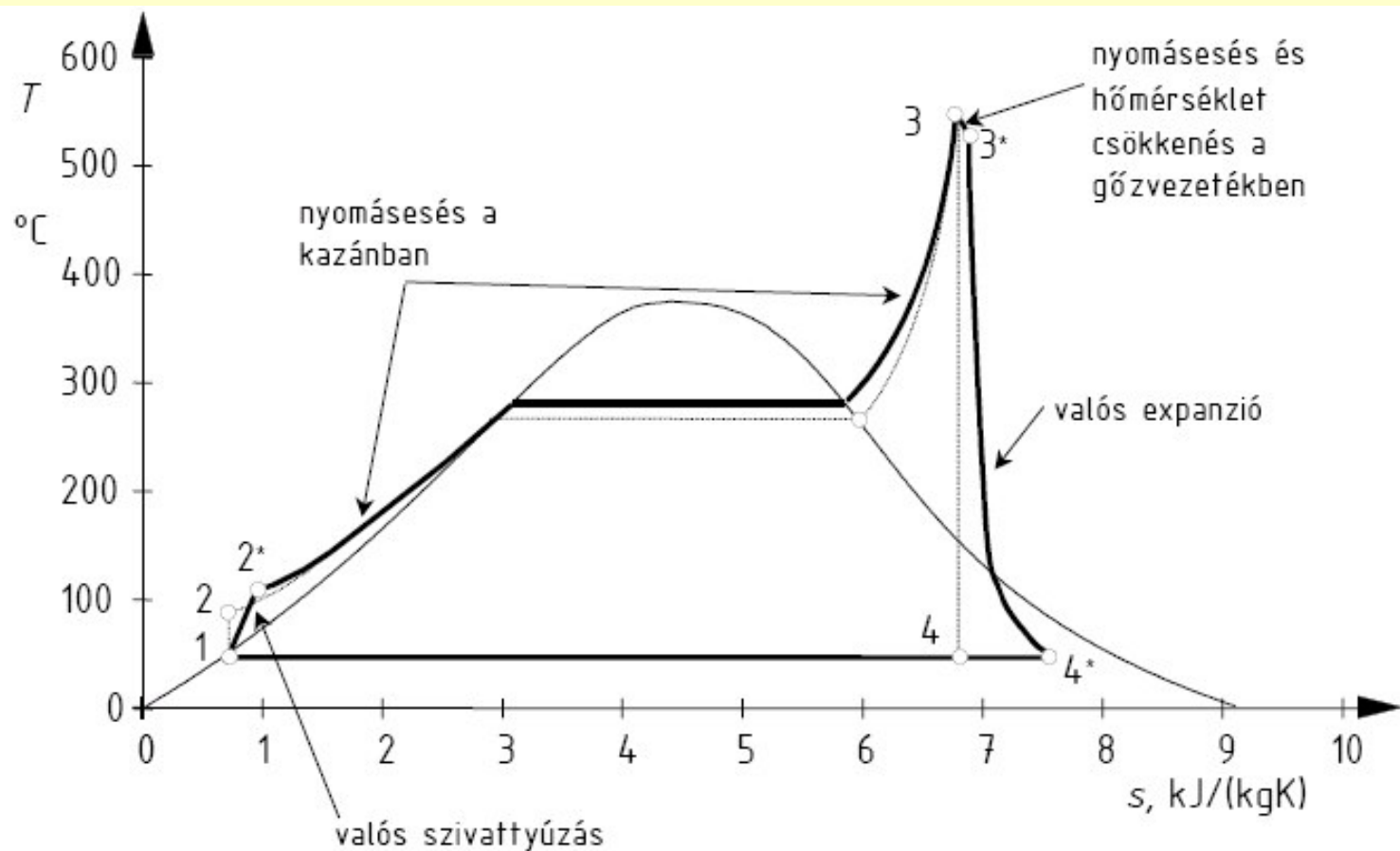
**Körülzárt terület
nem azonos az
egységnyi közegből
kinyerhető munkával !!**

$$\eta = 1 - \frac{q_{el}}{q_{be}} = 1 - \frac{T_2 \cdot \Delta s_2}{T_1 \cdot \Delta s_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \cdot \rho$$

Ideális és valós gázturbinás körfolyamat (nyíltciklusú GT)



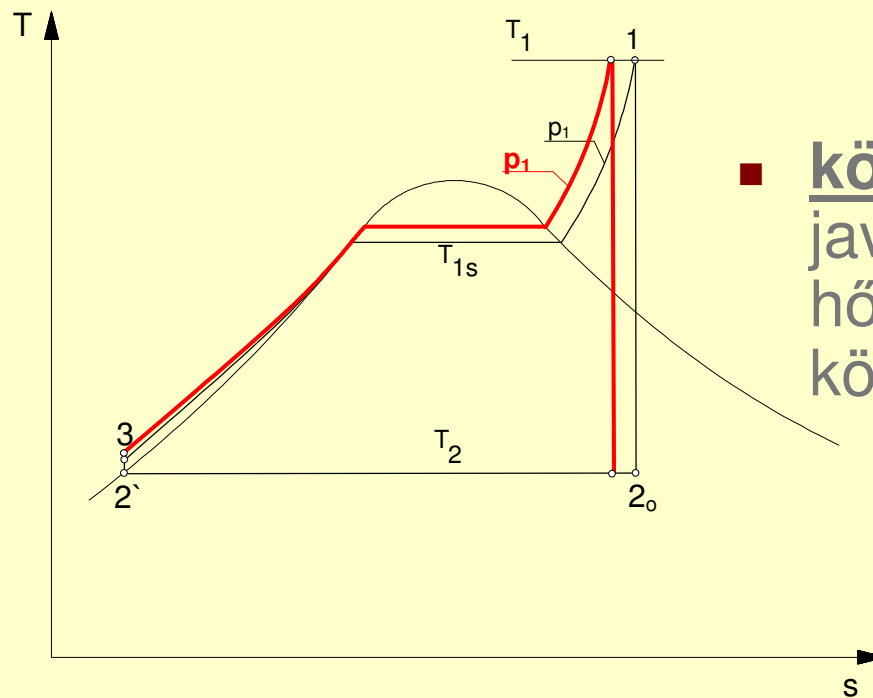
Ideális és valós gőzkörfolyamat



Hatásfoknövelés módjai

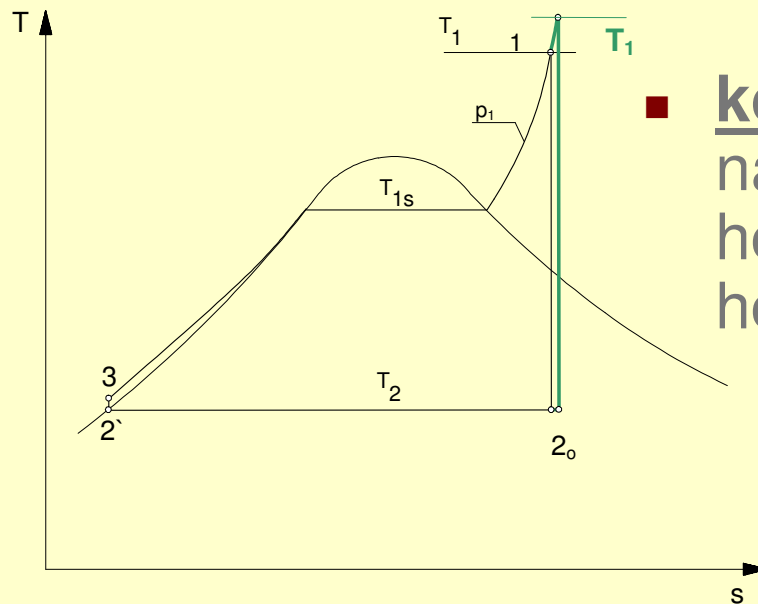
- expanzió kezdeti paraméterének növelése:
 - gőz paraméterek növ. vagy CCGT
- újrahevítés
- kondenzátor-nyomás csökkentése
- tápvízelőmelegítés

Frissgőz nyomásának növelése állandó teljesítmény mellett



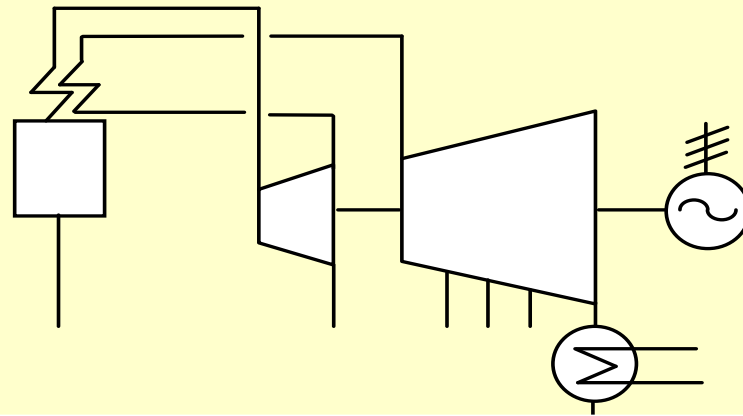
- körfolyamat hatásfoka: javul, mert a hőbevezetési középhőmérséklet nő,

Frissgőz hőmérsékletének növelése állandó teljesítmény mellett

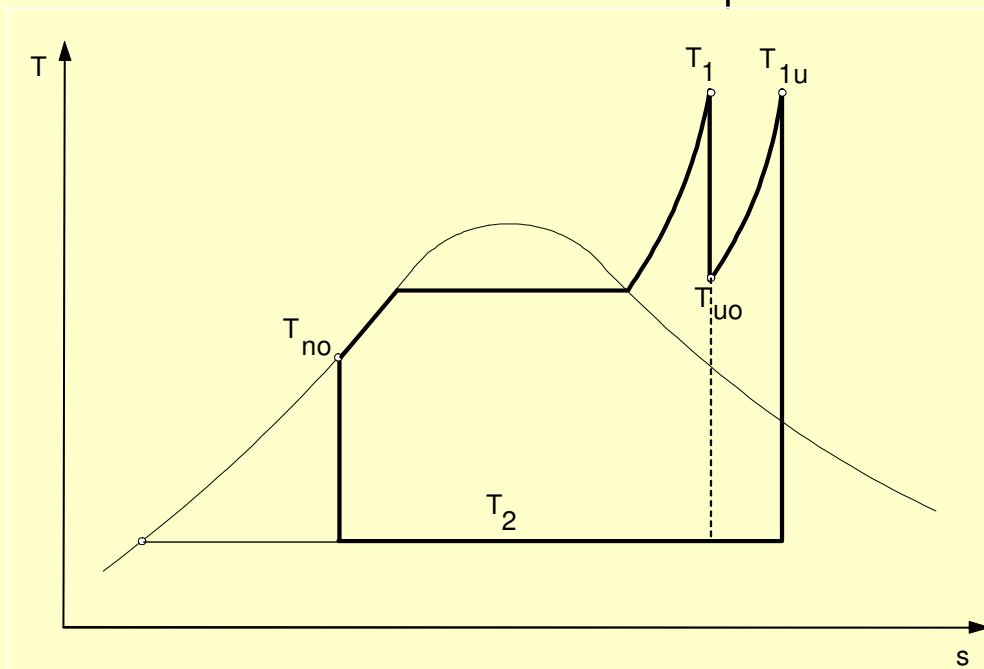


- körfolyamat hatásfok:
nagymértékben javul, mert a hőbevezetés átlagos hőmérséklete jelentősen nő

Újrahevítés



- körfolyamat
hatásfok:
nagymértékben
javul, mert a
hőbevezetés
átlagos
hőmérséklete
jelentősen nő

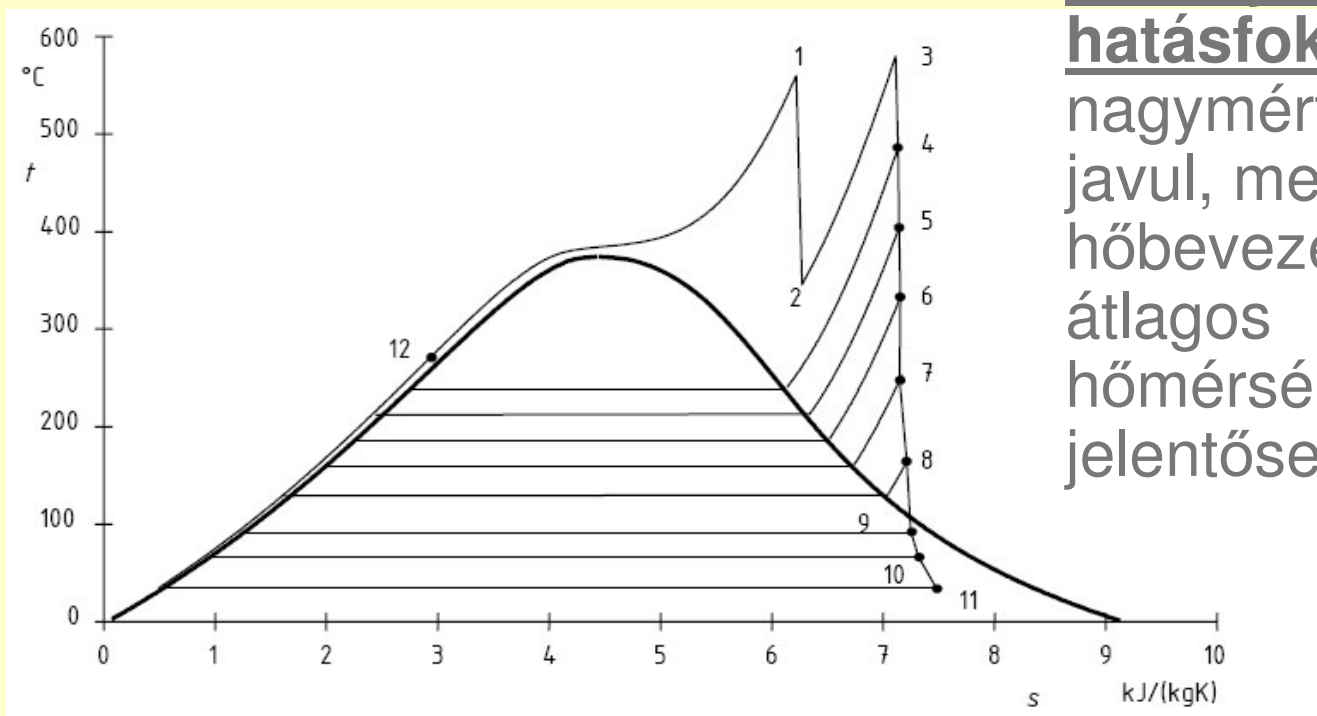


Szuperkritikus gőzjellemzők

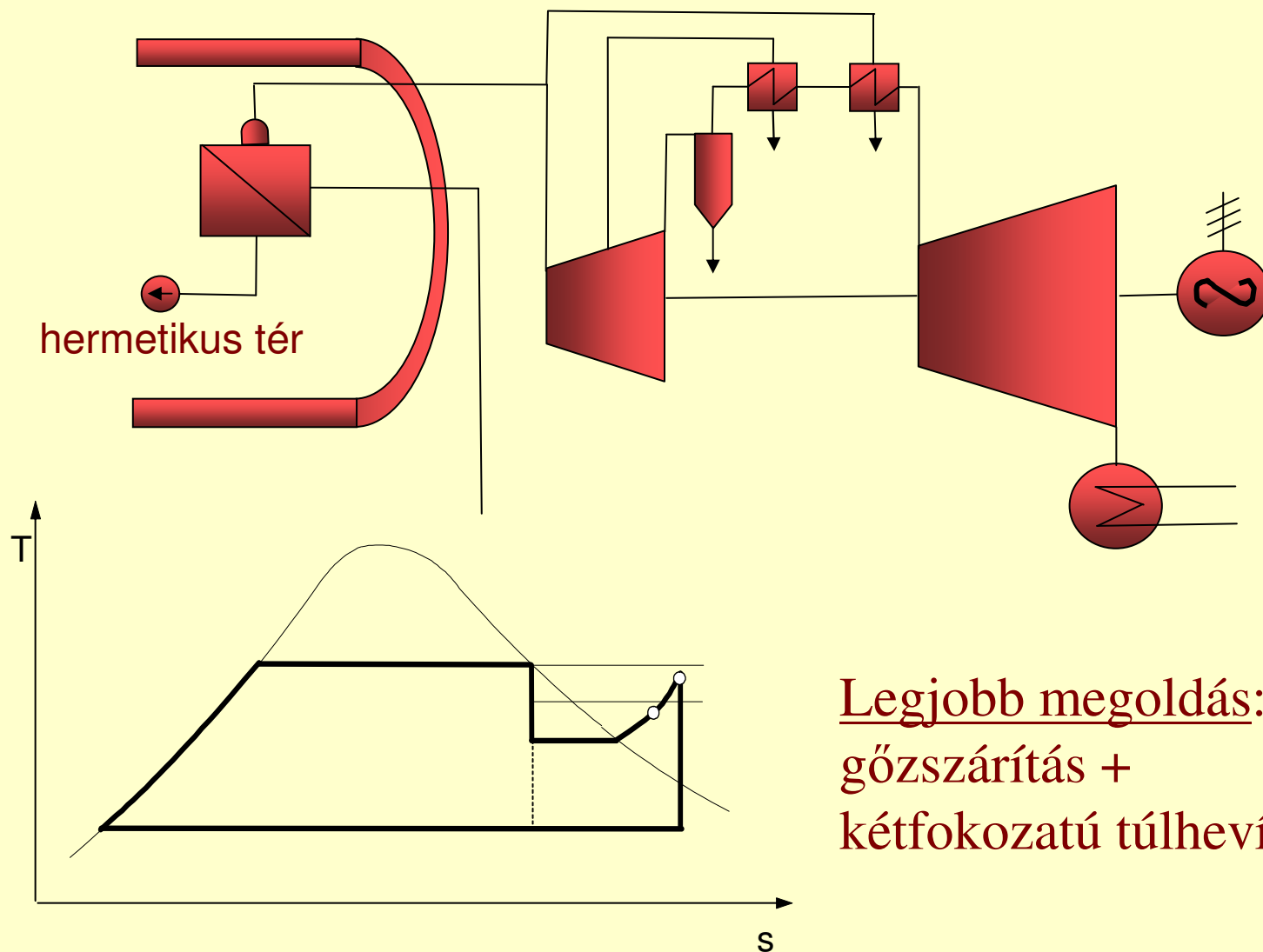
$P = 250 \text{ bar } (>221 \text{ bar})$

$T = 560 \text{ °C}$

- körfolyamat
hatásfok:
nagymértékben
javul, mert a
hőbevezetés
átlagos
hőmérséklete
jelentősen nő

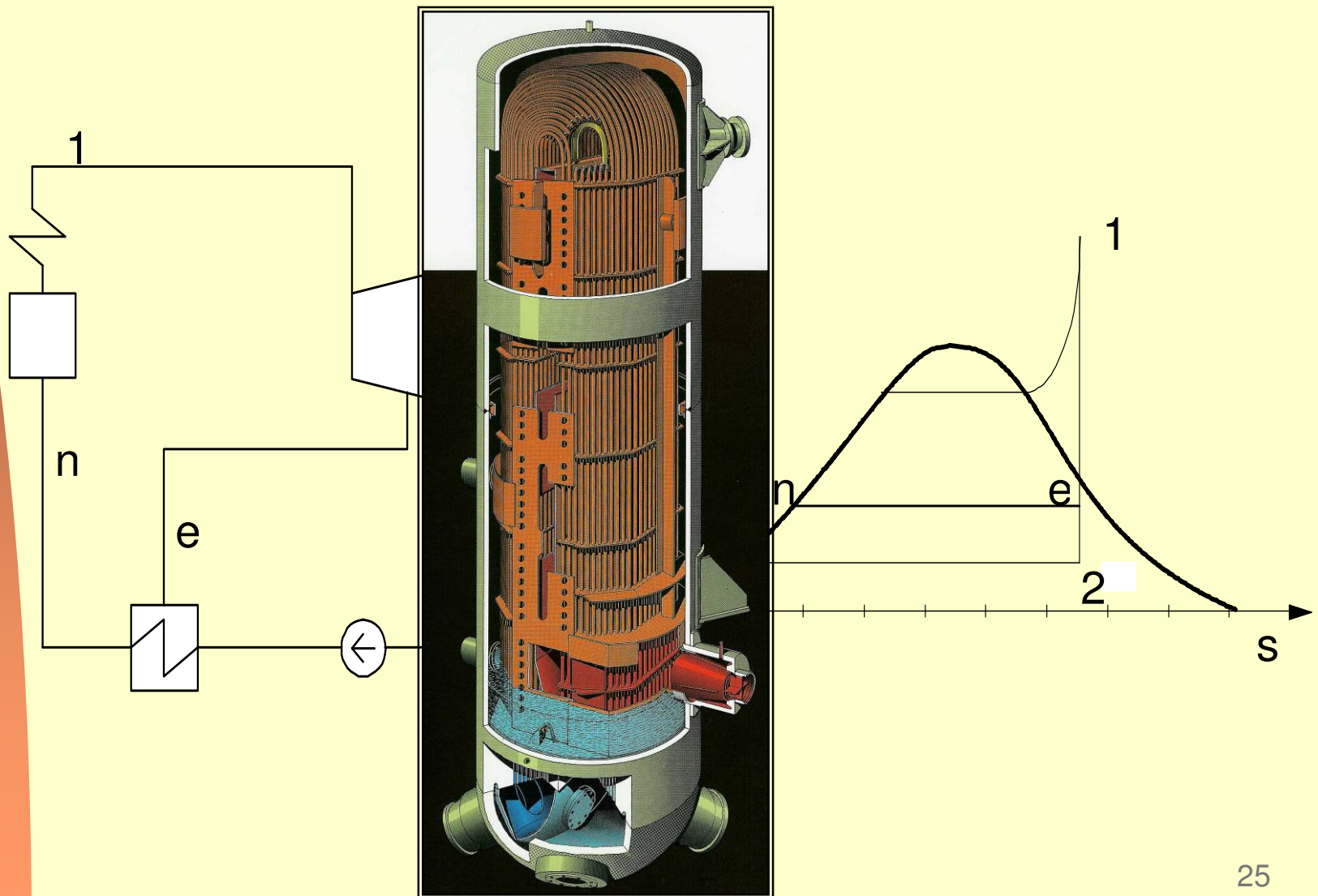


Atomerőművi újrahevítés

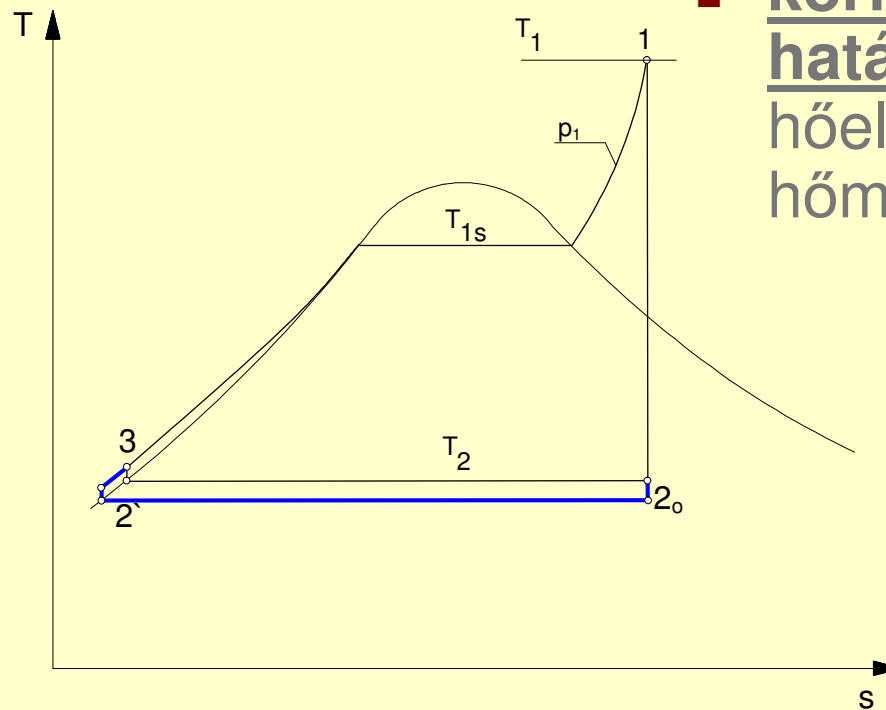


Legjobb megoldás:
gőzsárítás +
kétfokozatú túlhevítés

Tápvízfelmelegítés csapolt gőzzel

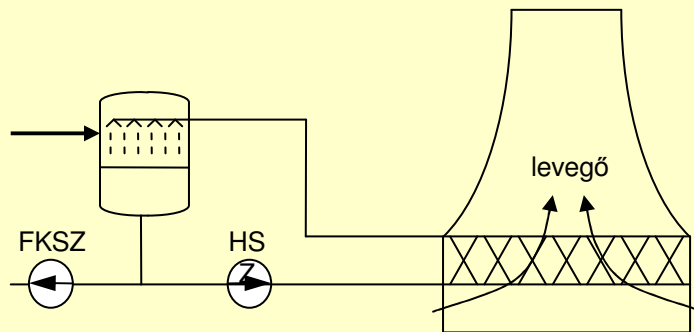
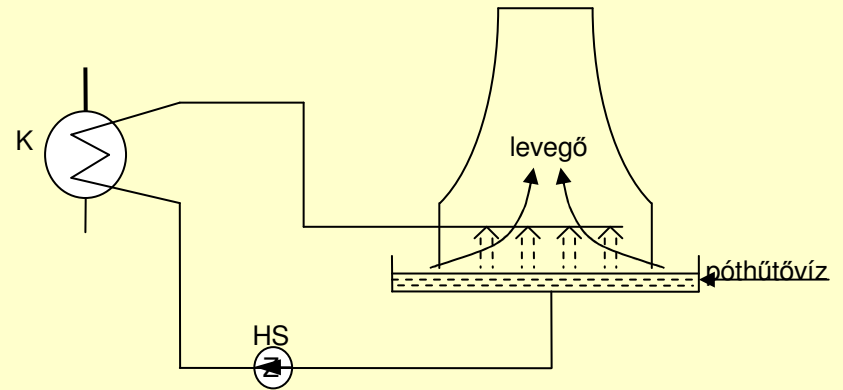
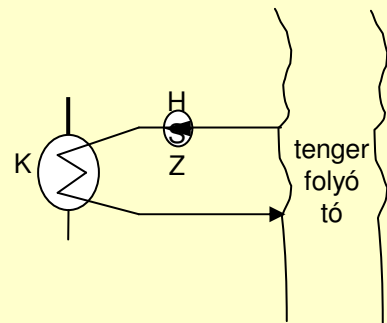


Kondenzátor hőmérsékletének (nyomásának) csökkentése

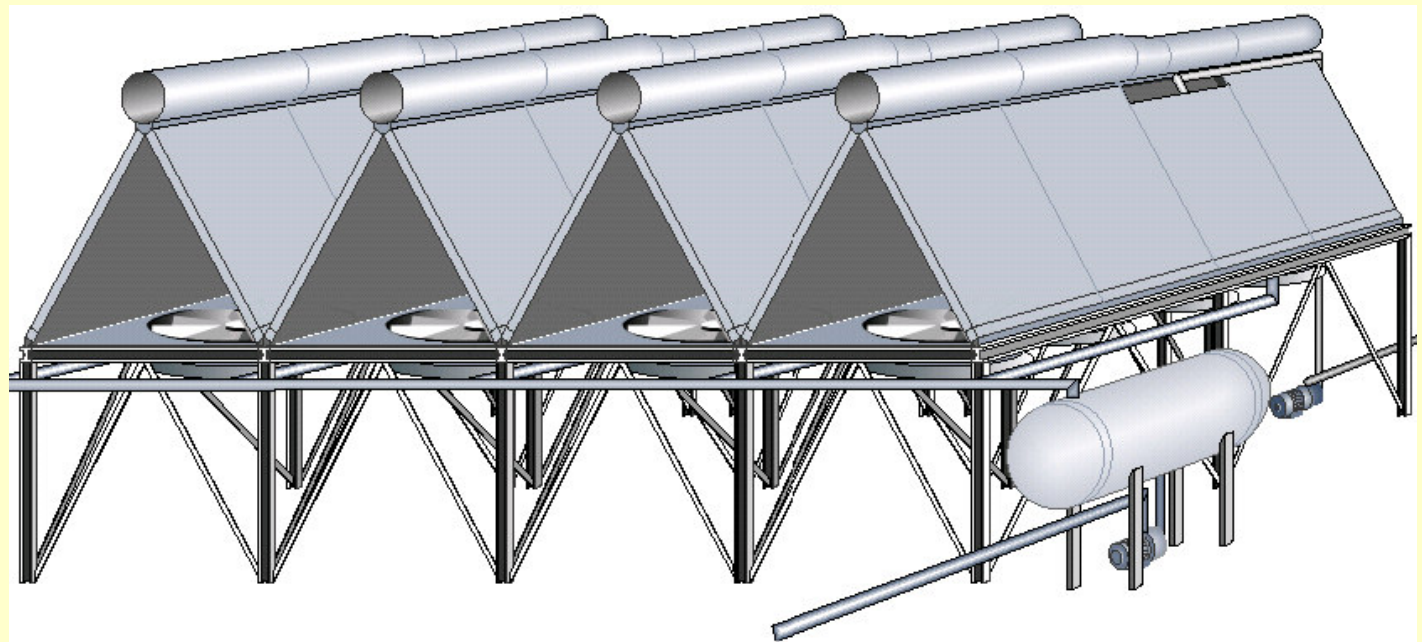


- körfolyamat hatásfoka: javul, mert a hőelvezetés átlagos hőmérséklete csökken,

Kondenzátor-hűtési módok – indirekt hűtés frissvíz hűtés, nedves és száraz hűtőtorony



Kondenzátor-hűtési módok: direkt hűtés – léghűtésű kondenzátor



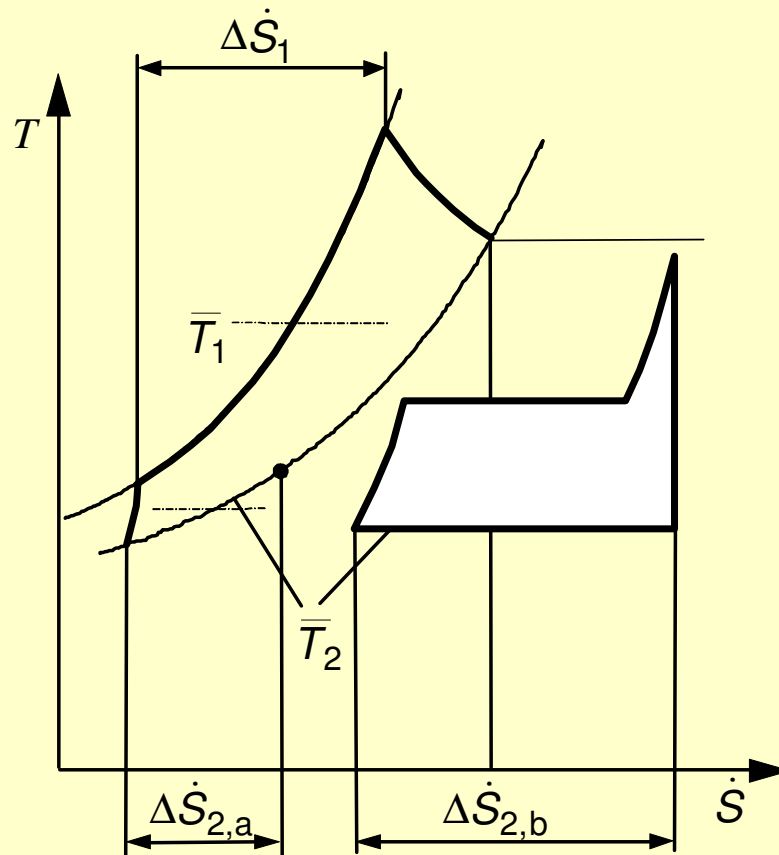
GEA
Energy Technology
Division

▶ Play

Bitte drücken Sie "Pause" und "Play" um die Tour anzuhalten und wieder fortzufahren.

© GEA Energy T

Gáz- és gőzkörfolyamat összekapcsolása



Gázkörfolyamat:

magas hővezetési
középhőmérséklet

kilépő hőmérséklet:
 $500 \Rightarrow 600^\circ\text{C}$

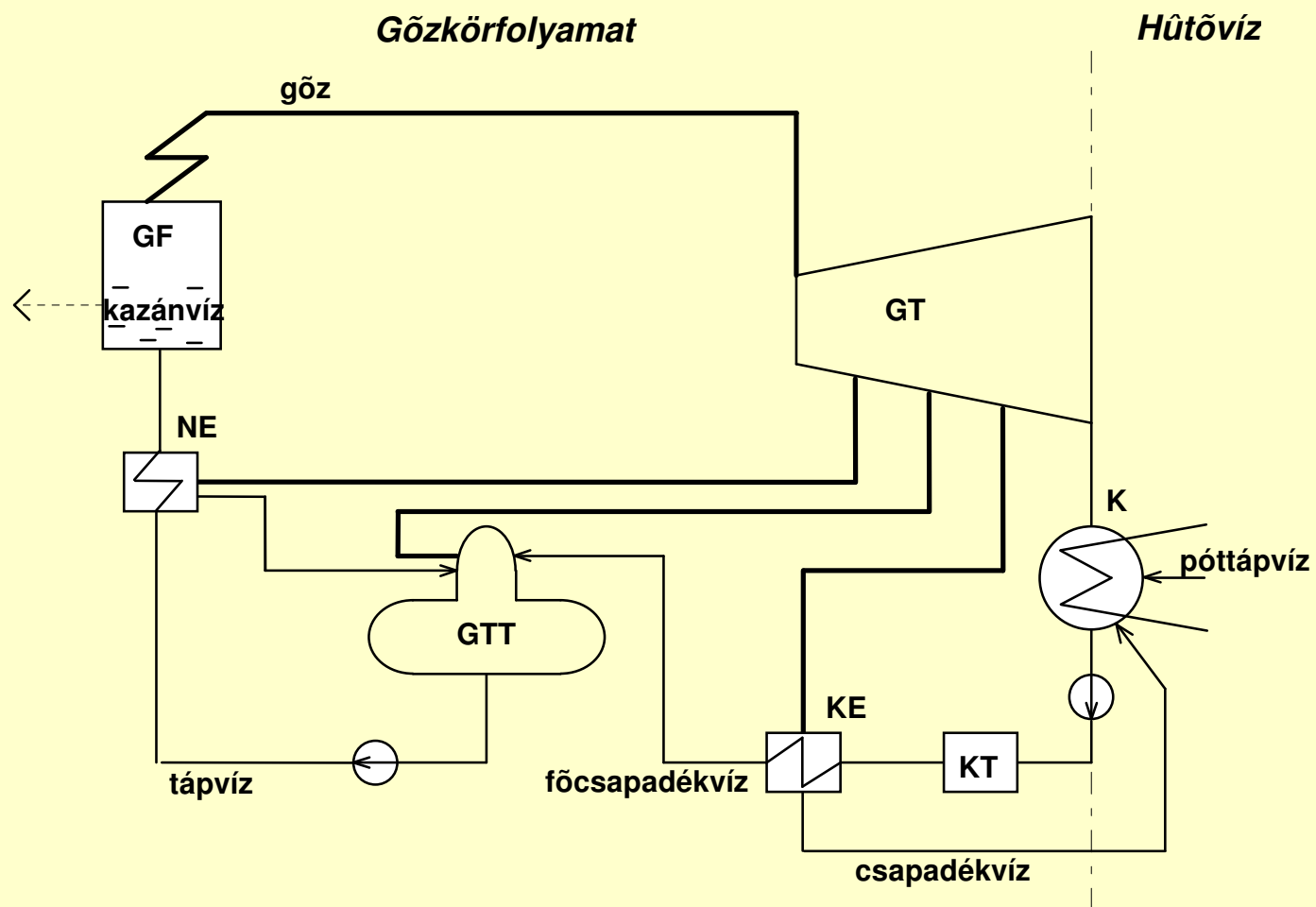
Gőzkörfolyamat:

alacsony hővezetési
középhőmérséklet

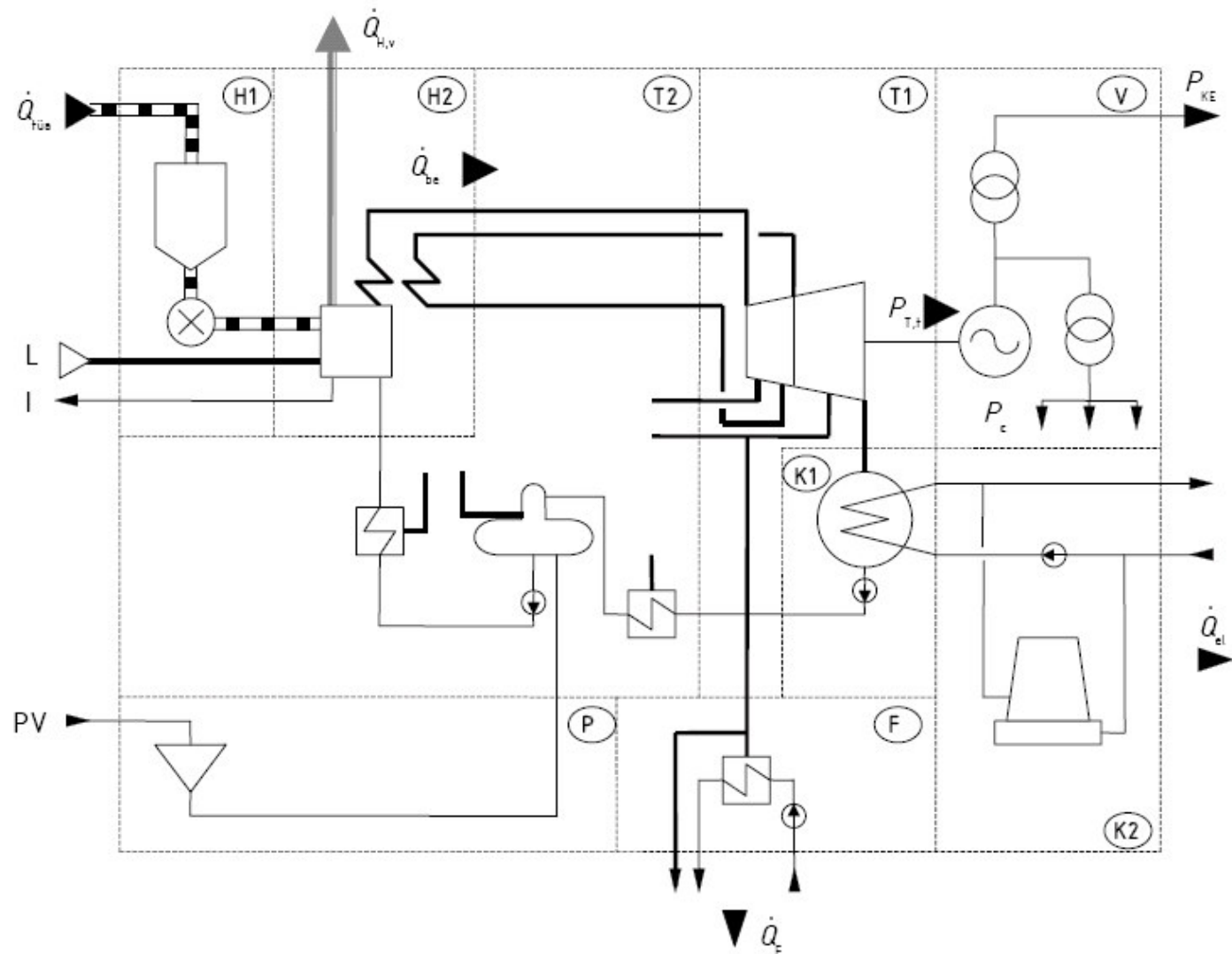
Erőművi kapcsolások

- **Gőzkazán: széntüzelés (olaj, földgáz)**
 - **Széntüzelés: szénpor és fluidtüzelés**
- **IGCC**
- **Nedvesgőzös atomerőmű**
- **Kombinált ciklusú erőmű**
- **Kapcsolt energiatermelés**

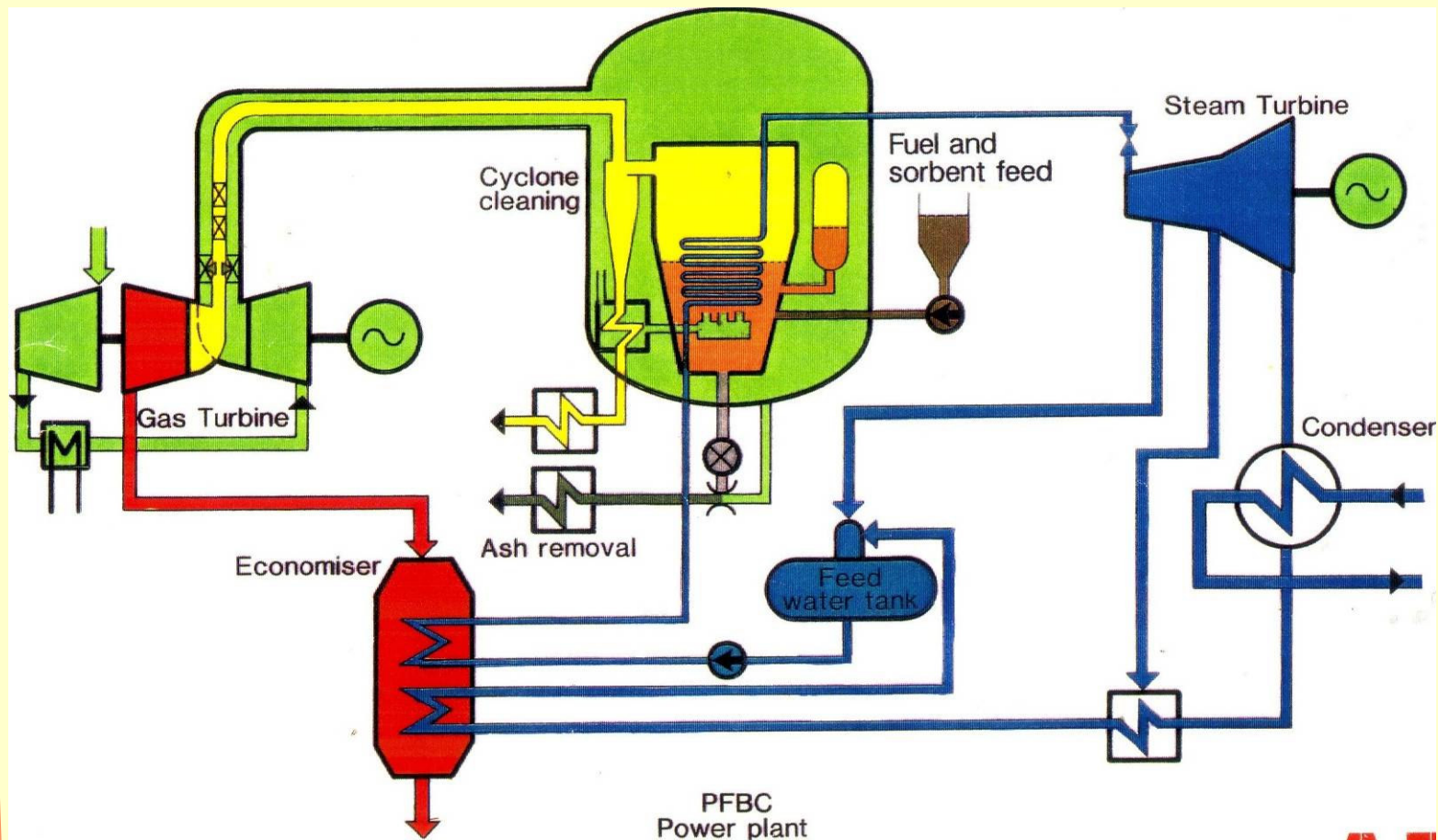
Erőművi kapcsolások – hagyományos széntüz. erőmű



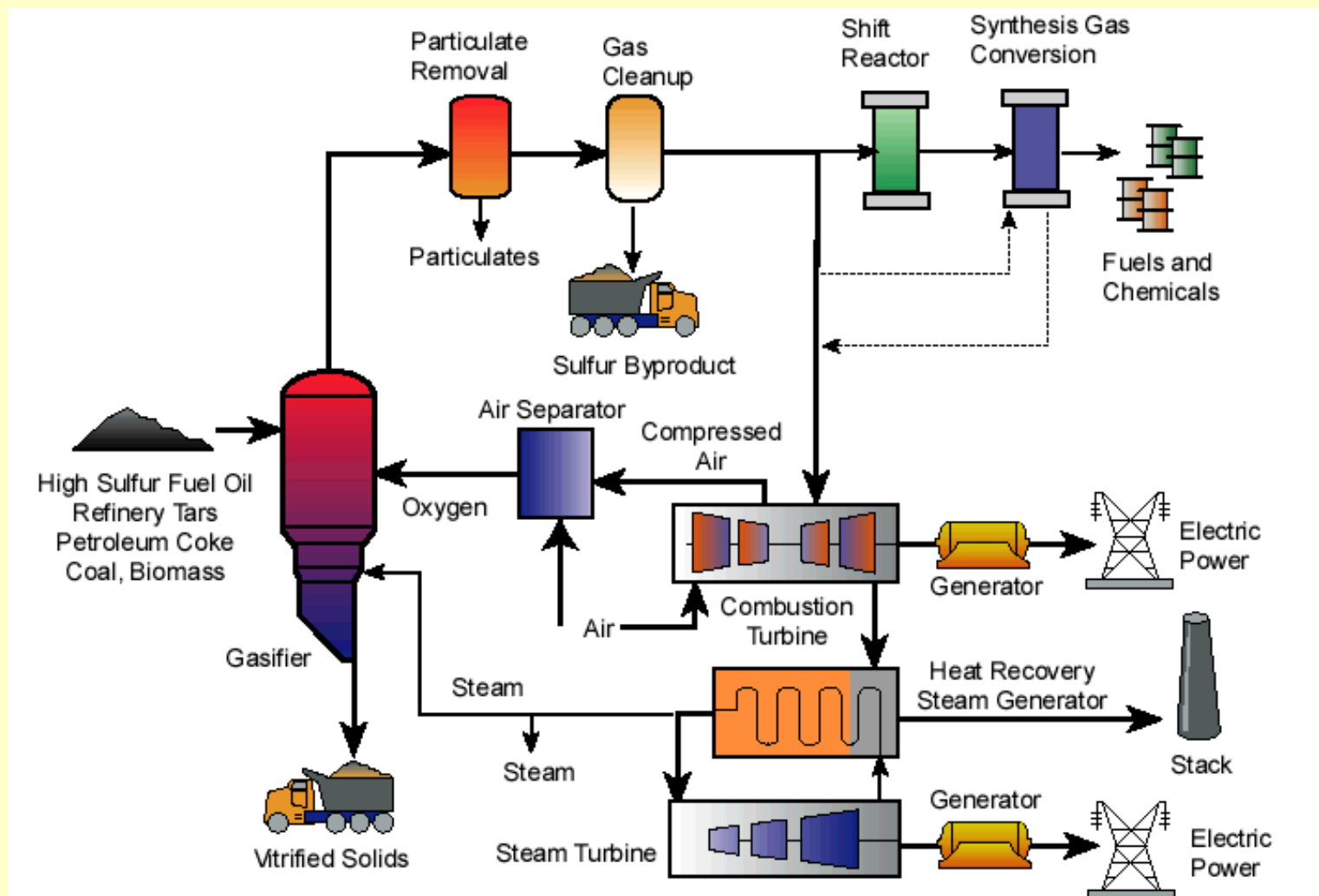
Erőművi kapcsolás - újrahevítéssel



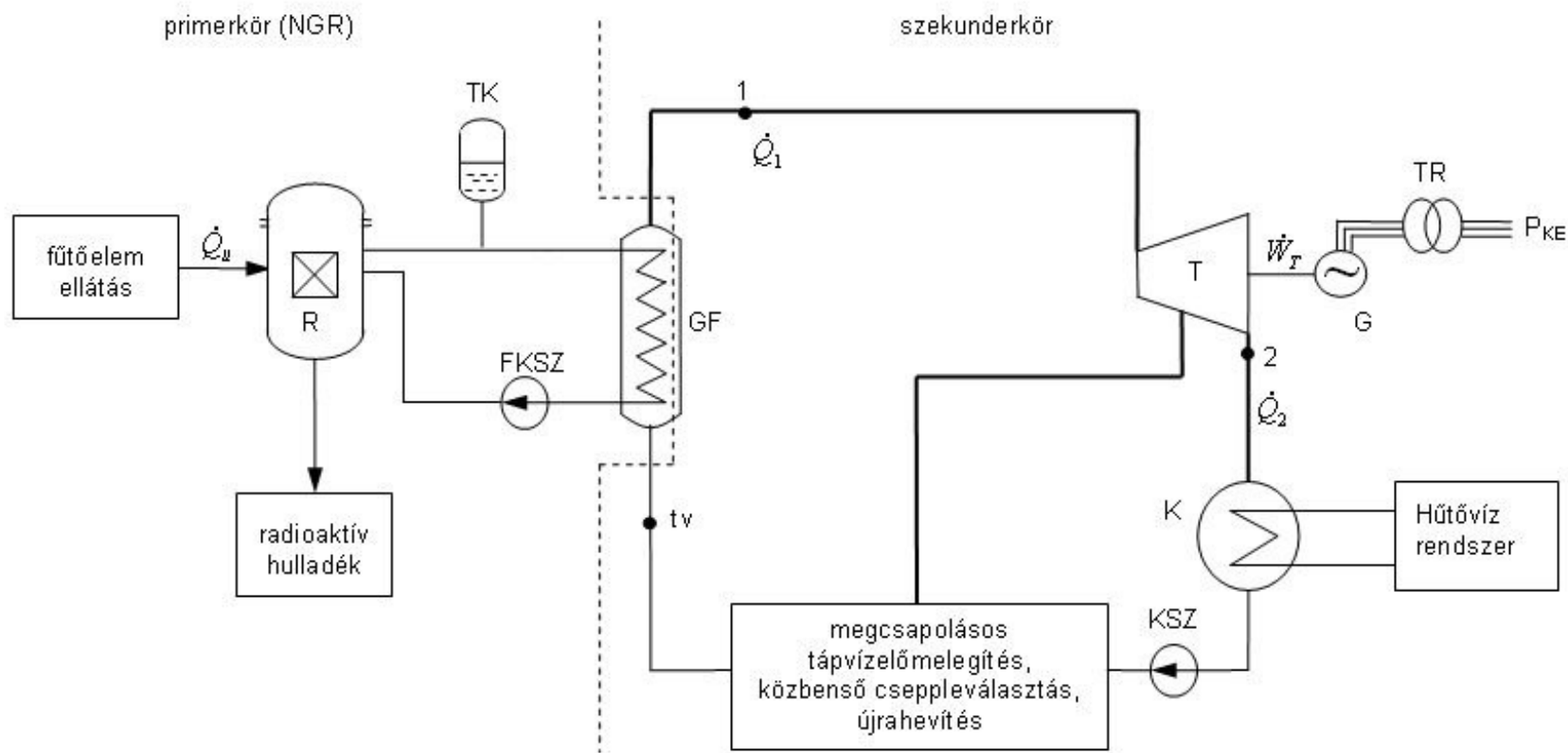
Erőművi kapcsolás - PFBC



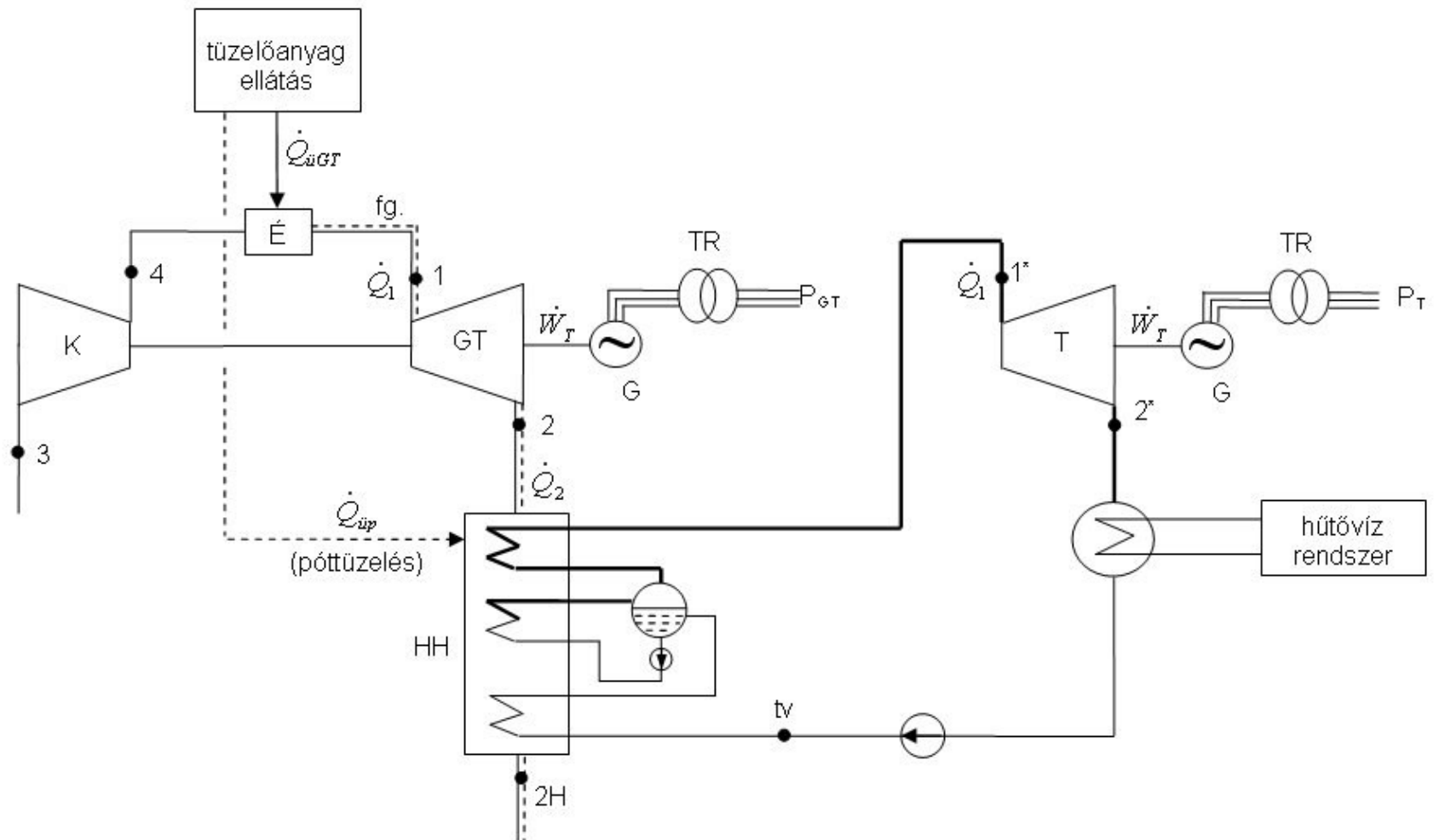
Erőművi kapcsolás - IGCC



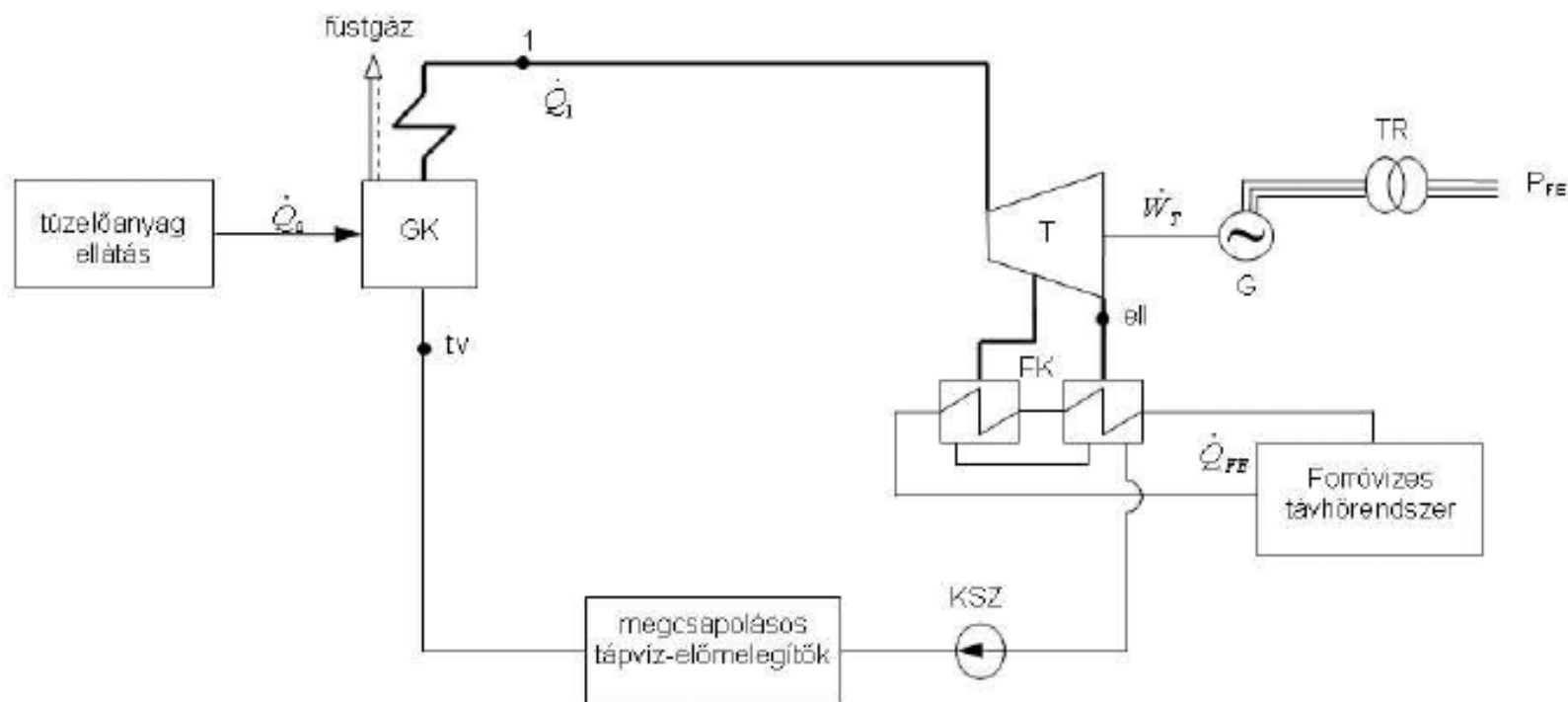
Erőművi kapcsolások – nyomottvizes atomerőmű



Erőművi kapcsolások - CCGT



Erőművi kapcsolás – ellennyomású kapcsolt energiatermelés



Széntüzelésű erőművi technológiák fejlesztése

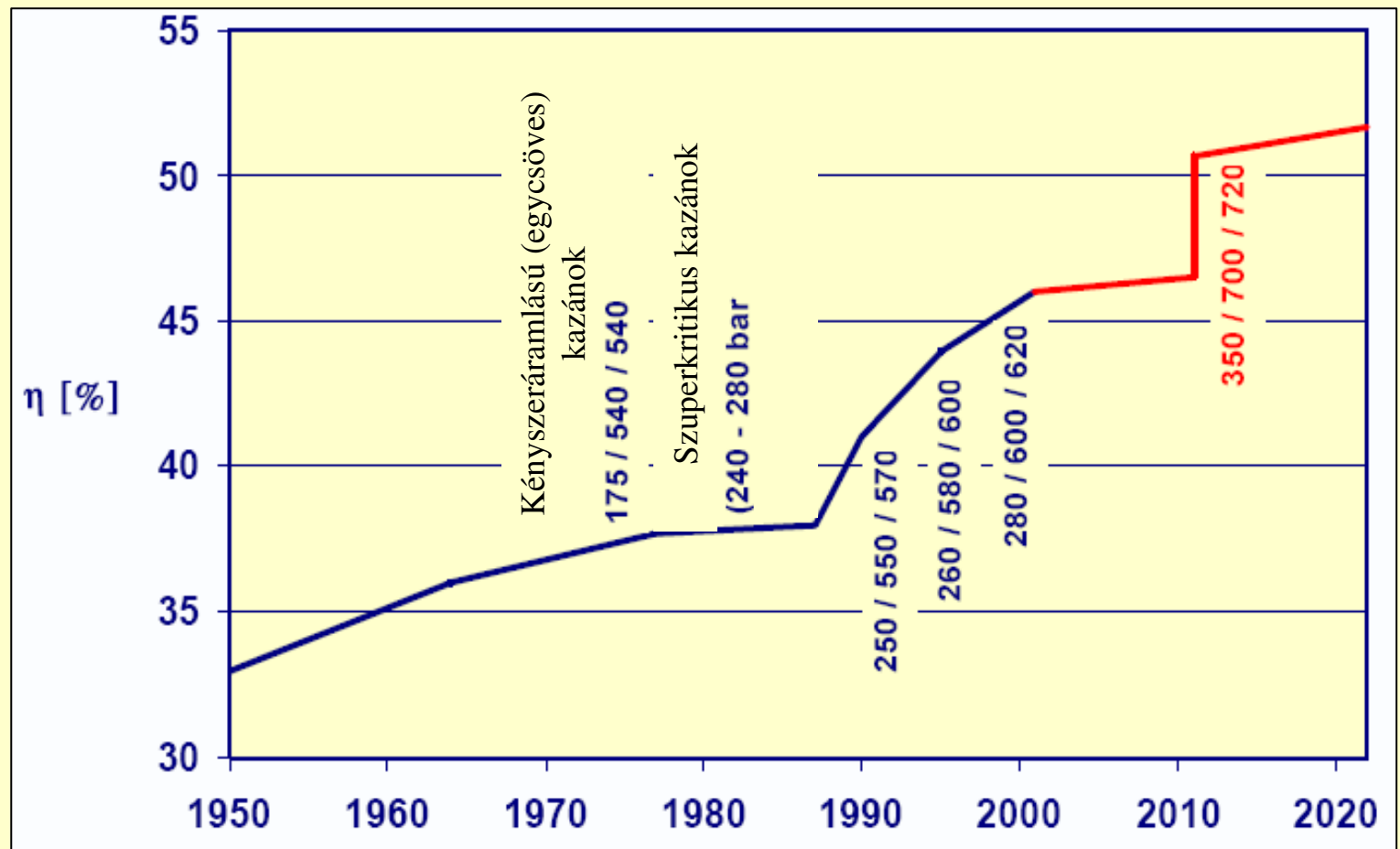
USA

- IGCC fejlesztés
 - ★ 166 üzem világszerte
 - ★ Cél: 250 MW-ról 600 MW-ra, 42% hatásfokról 48%-ra.
 - ★ 15-20%-al magasabb CAPEX mint szénportüz (1400 USD/kW).
 - ★ Cél: Zeró emisszió

Eu

- Szénportüzelésű USC erőművek
 - ★ Több mint 400 szuperkritikus erőmű
 - ★ Jelenleg: 45 % hatásfok, cél: 50%+
 - ★ Hőmérséklet növelési cél: 700/720 °C, 350 bar
 - ★ Nyomásnövelési cél: 649 °C, 414 bar
- Szuperkritikus CFBC erőművek
 - ★ Jelenleg: szubkritikus 300 MW (2002, USA)
 - ★ Építés alatt: 460 MW, 43%

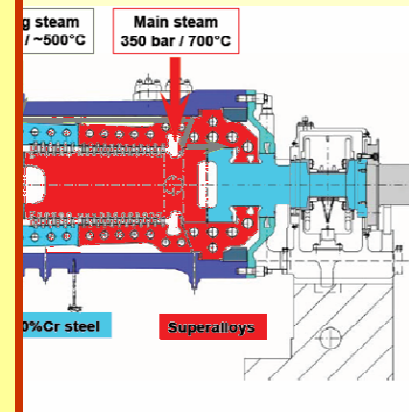
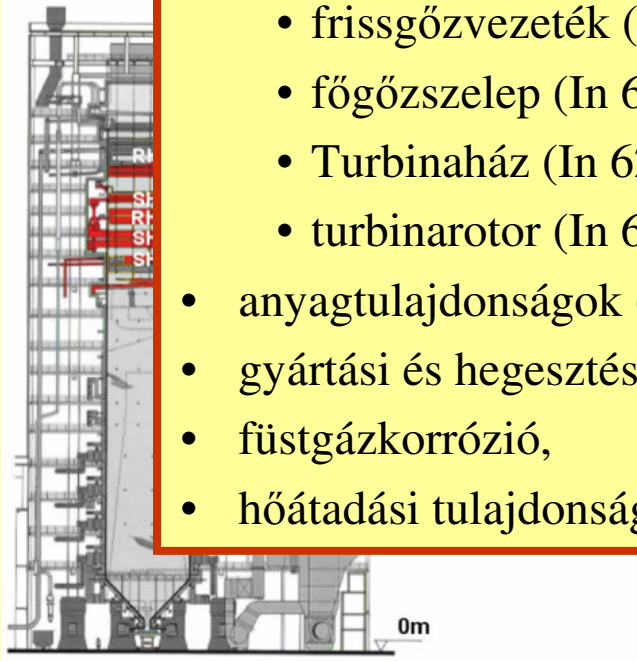
Szénportüzelésű erőművek hatásfoka



50%+ erőművi fejlesztések

Name		
In 617		Al, Fe
C263		b, Mo, Ti, Al, Fe

- Nickel bázisú anyagok:
 - tüztérfal (HCM12, In 617),
 - túlhevítők (Ausztenit + In 617, 740),
 - kilépő kamrák
 - frissgőzvezeték (In 617, C263),
 - főgőzszelep (In 625, In 617),
 - Turbinaház (In 625, In 617),
 - turbinarotor (In 625, In 617)
- anyagtulajdonságok (kúszás),
- gyártási és hegesztési tulajdonságok,
- füstgázkorrózió,
- hőátadási tulajdonságok

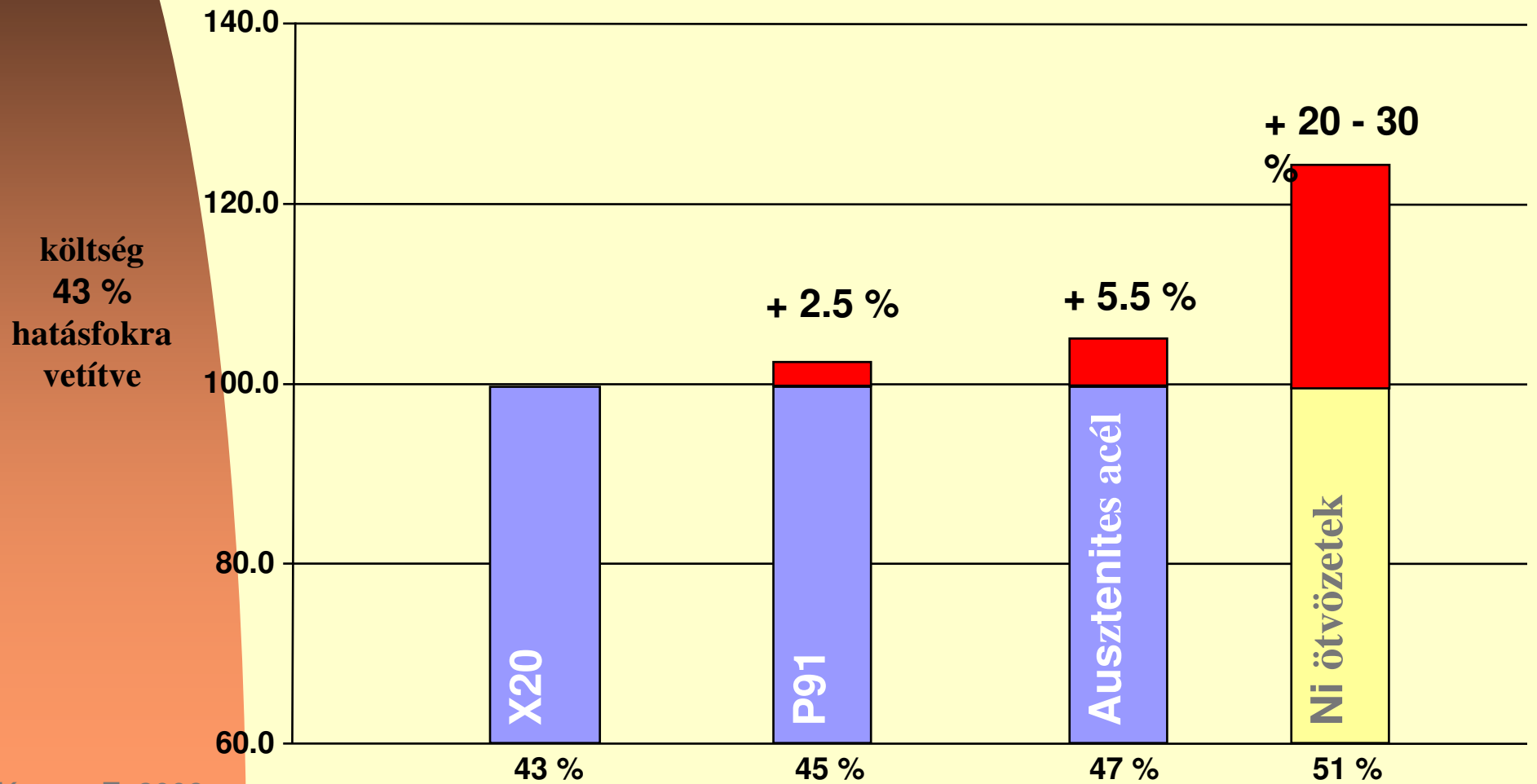


600 °C-os technológia hatásfoka: 45,4%

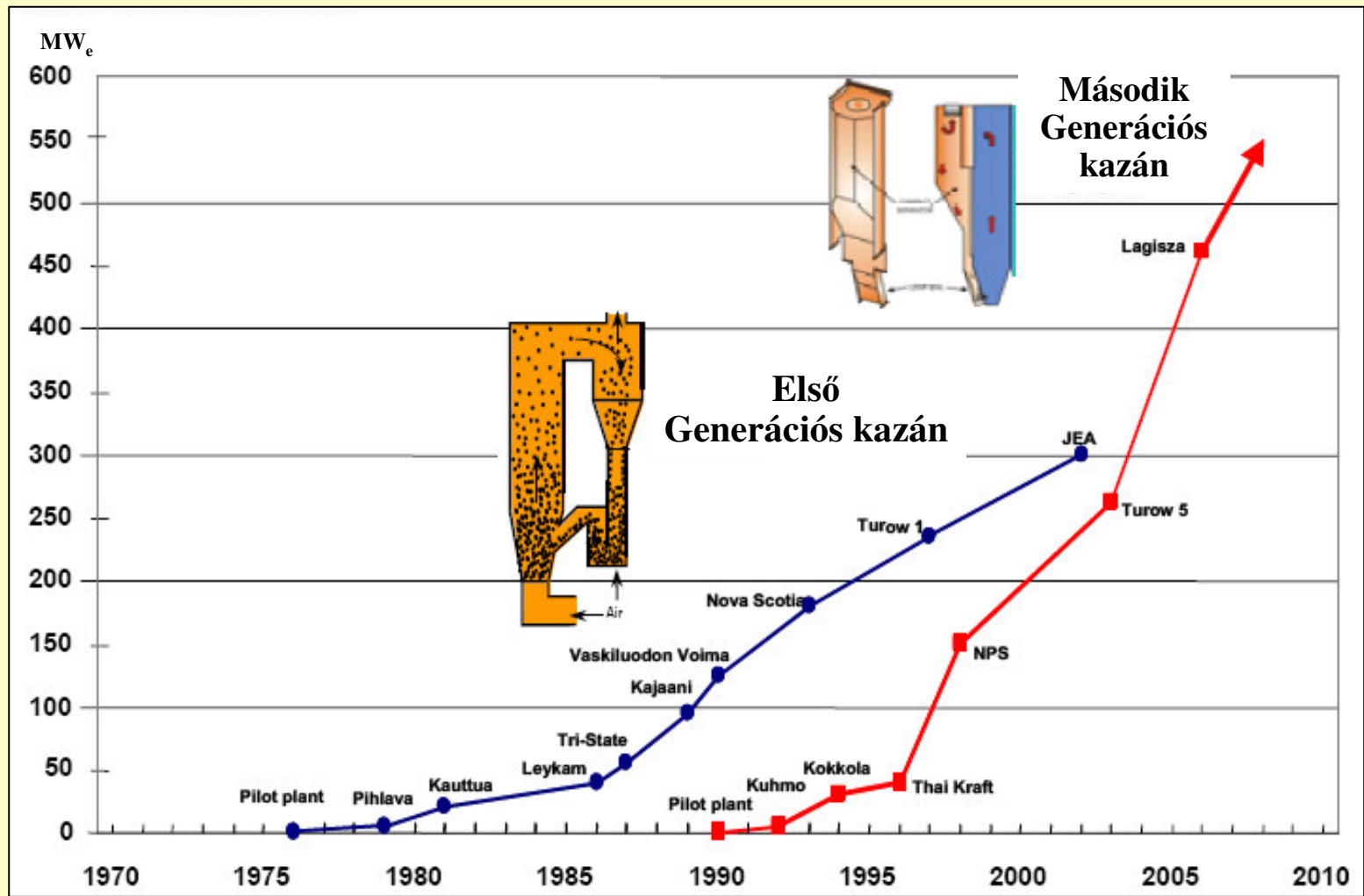
700 °C-os technológia hatásfoka:

50%

Hatásfoknövelés / költségnövekedés



Szuperkritikus CFBC



Katona Z, 2008.

Forrás: S. J. Goidich at al: Design Aspects of the Ultra-supercritical CFB Boiler, 2005

Szuperkritikus CFBC

- Szénportüzeléssel akar versenyezni: erőmű méret és hatásfok
- Lagisza projekt, PKE, feketeszén
- Foster Wheeler típus (kompakt szilárd leválasztók)
- 460 MWe, kényszerátáramlású (OTU) 275 bar, 560 °C/580 °C
- Siemens Benson technológia
- Konvencionális szerkezeti anyagok.
- Nettó hatásfok 0,4%-al magasabb (PC hasonló gőzparaméterekkel)
- Rugalmas tüzelőanyagválasztás (pl. max. 30% nedves széniszap)

Köszönöm a figyelmet!

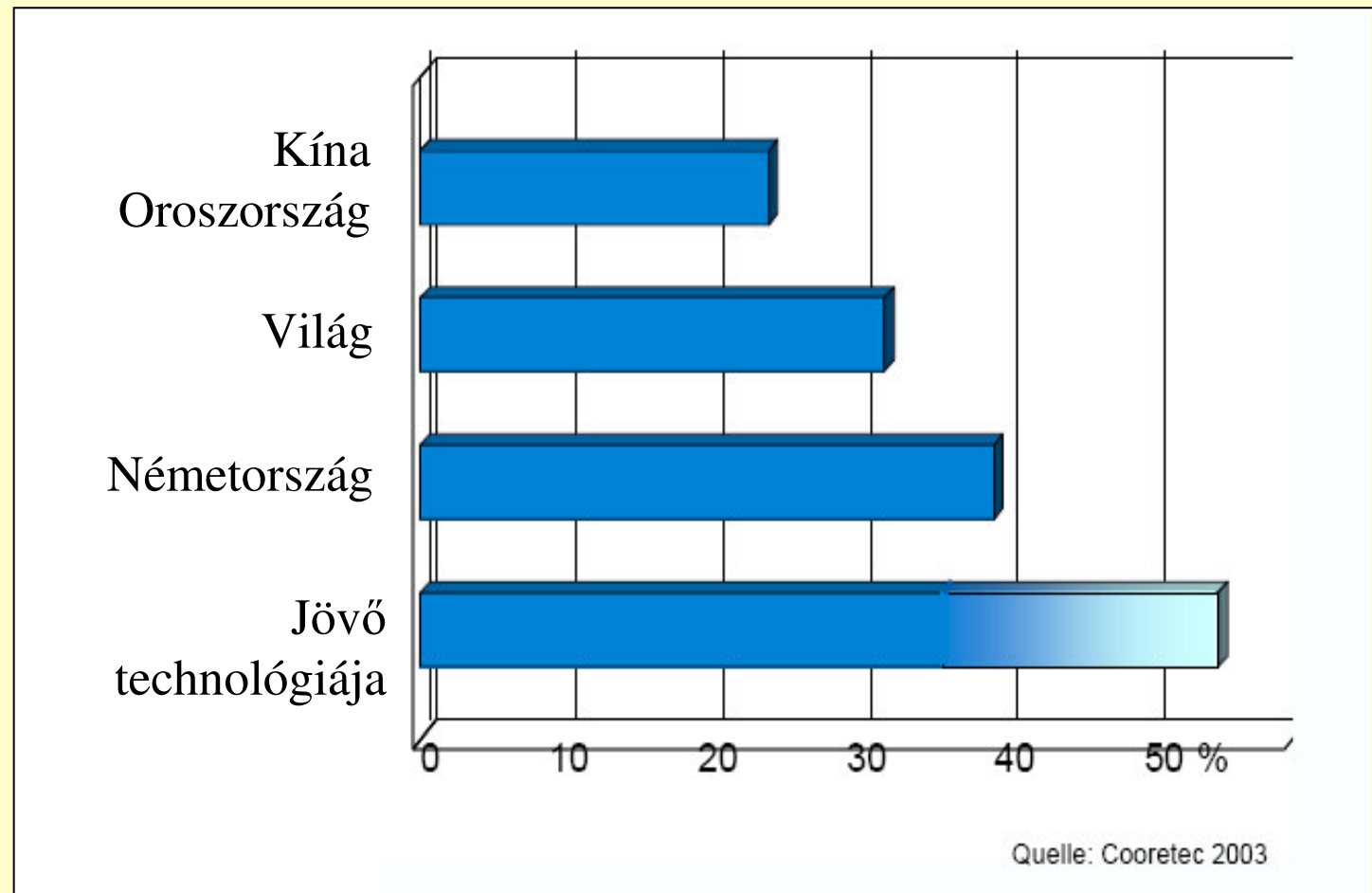
Katona Zoltán

zoltan.katona@eon-energie.com

Tel.: 06-30-415 1705

Háttéranyagok

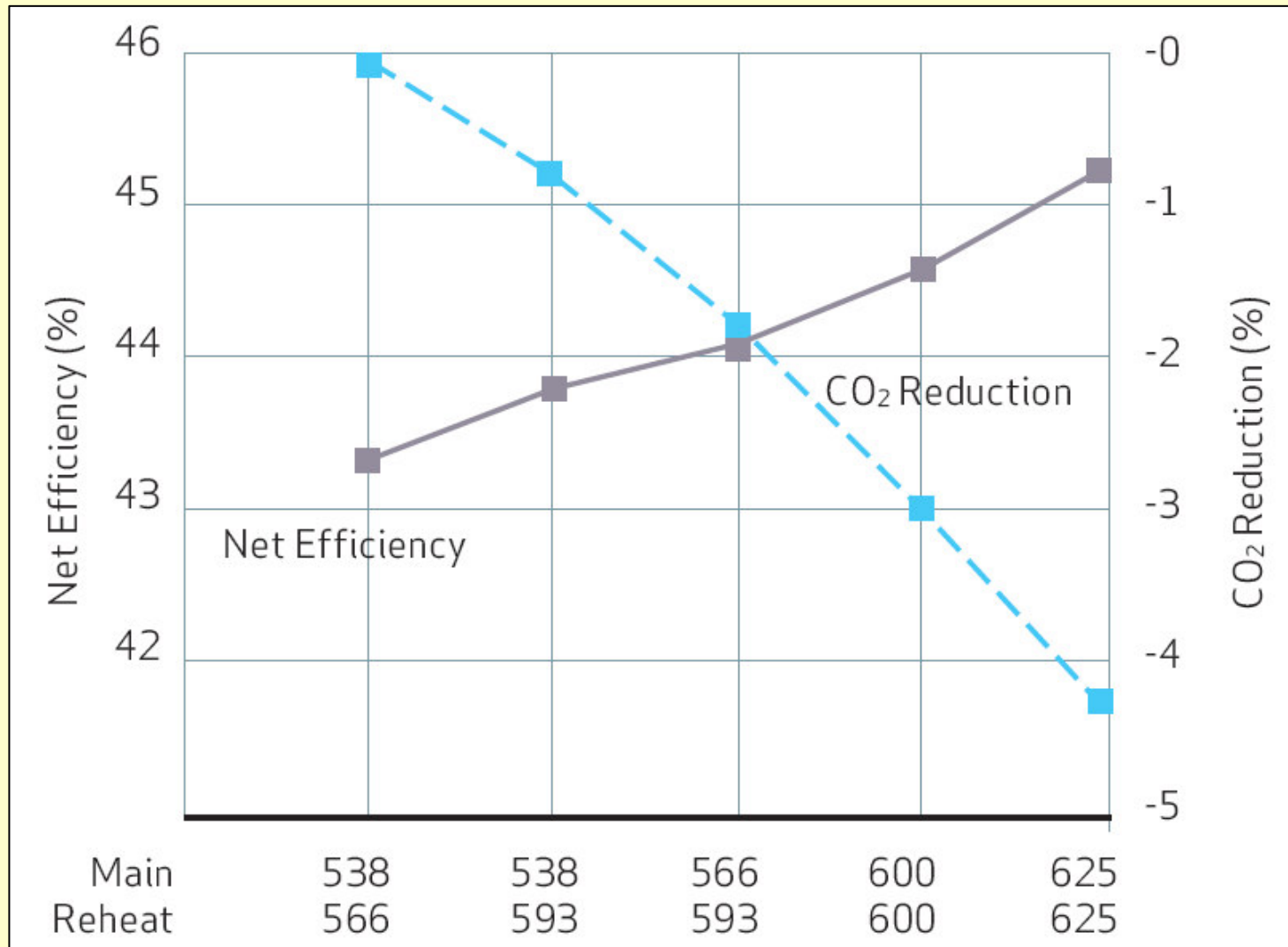
Szénportüzelésű erőművek hatásfoka



Gőzparaméterek hatása

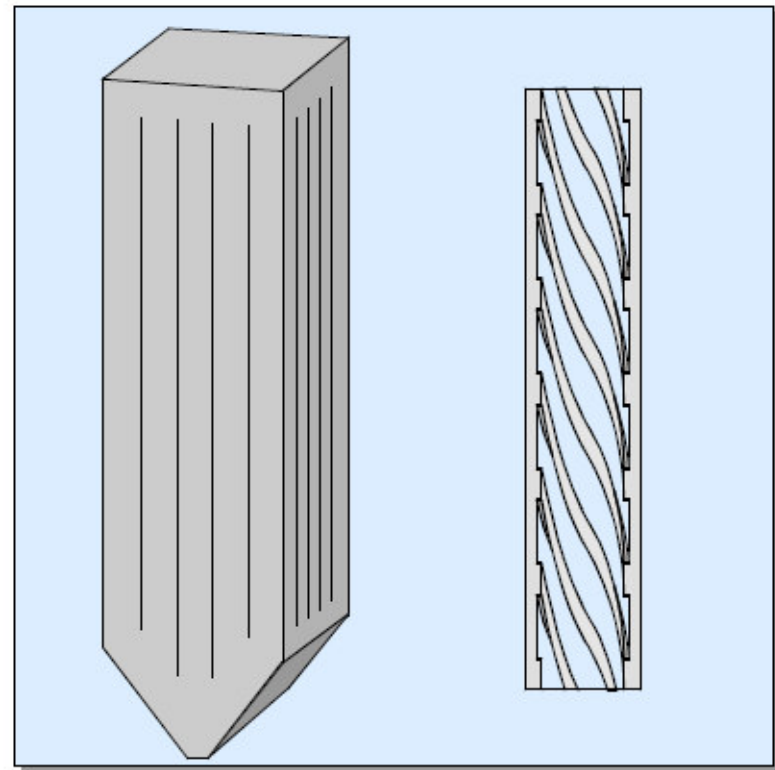
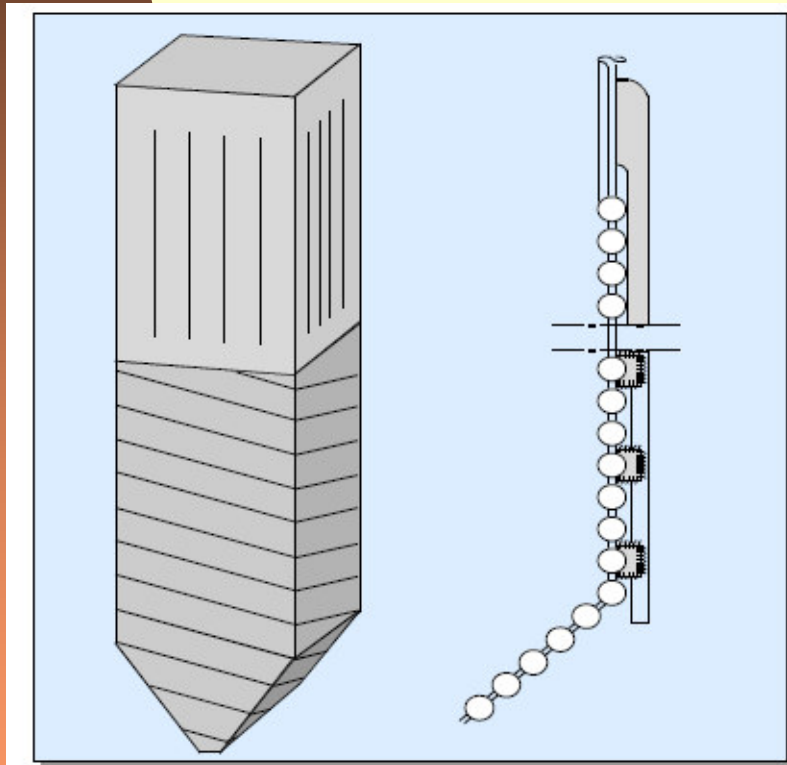
(szénportüzelés)

forrás: WCI report 2006



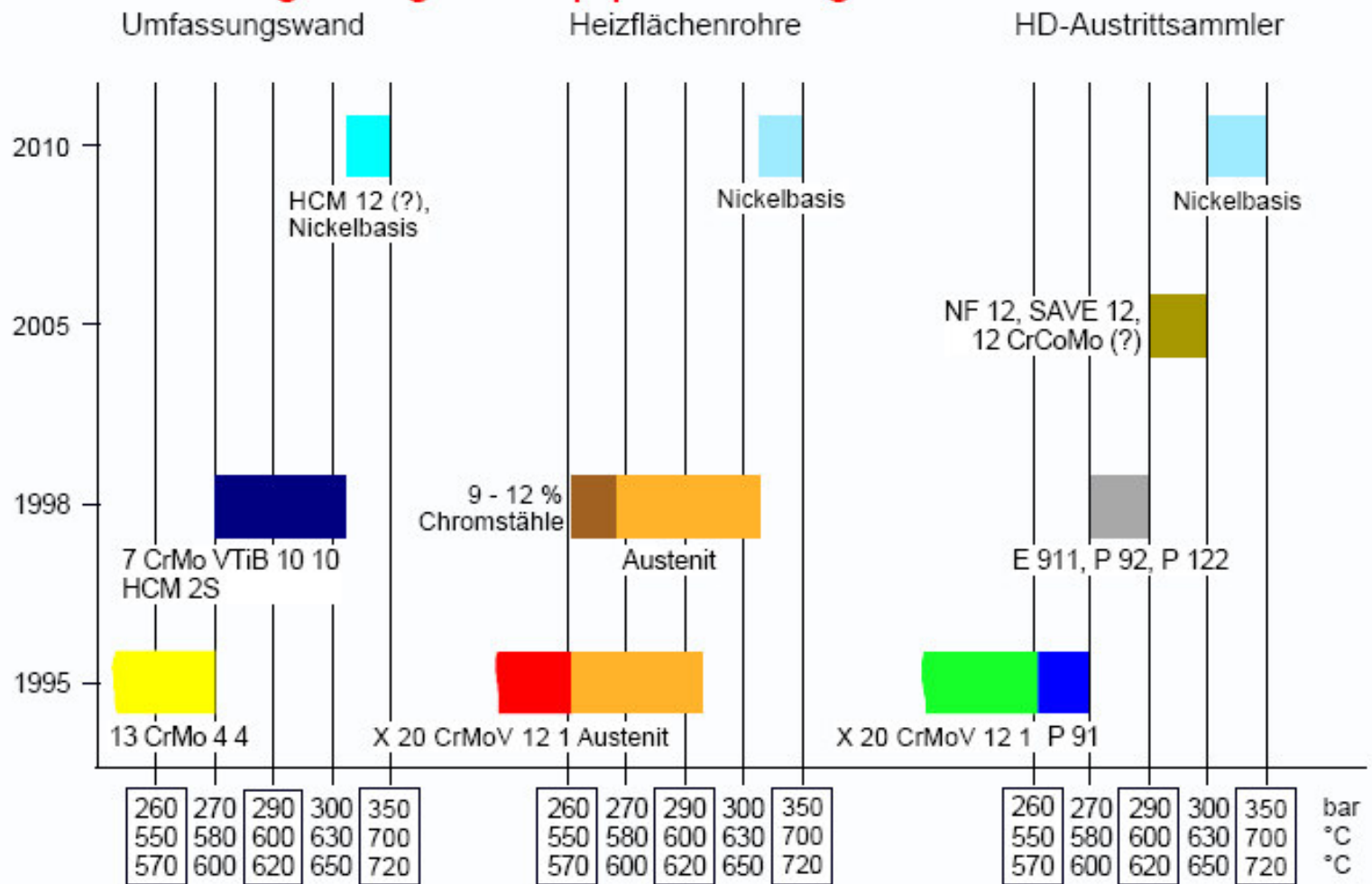
Benson alacson tömegáramú kazán

(2002 óta üzemben)



Szerkezeti anyagok

und zugehörige Dampfparametergrenzwerte



700 °C-os Erőmű – Ütemterv és költség

2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

2006

Folyamatban levő
R & T programok

20 - 30 M€

COMTES700 erőmű

400 MW 700 °C erőmű üzemeltetése