



**Energetikai Szakkollégium
2013. november 14.**

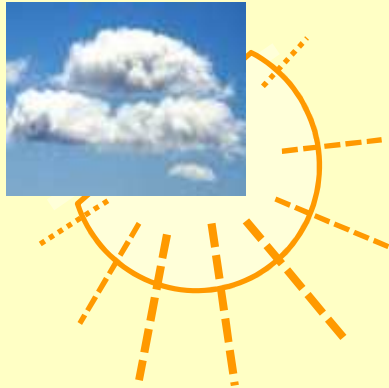
ERŐMŰFEJLESZTÉSI IRÁNYOK A VILÁGBAN

Dr. Korényi Zoltán

TARTALOM

1. **EMBERI LÉTEZÉSÜNK FORRÁSAI**
2. **FÖLDÜNK ENERGIAFORRÁSAI**
3. **MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL**
4. **MŰKÖDŐ ERŐMŰVEK A VILÁGBAN**
5. **AZ ERŐMŰFEJLESZTÉSEK HAJTÓERŐI**
6. **AZ ERŐMŰFEJLESZTÉSEK IRÁNYAI**
7. **HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK**
8. **GÁZTURBINÁS ERŐMŰVEK**
9. **KOMBINÁLTCIKLUSÚ ERŐMŰVEK**
10. **VIRTUÁLIS ERŐMŰVEK**
11. **JÖVŐKÉP**

1. EMBERI LÉTEZÉSÜNK FORRÁSAI



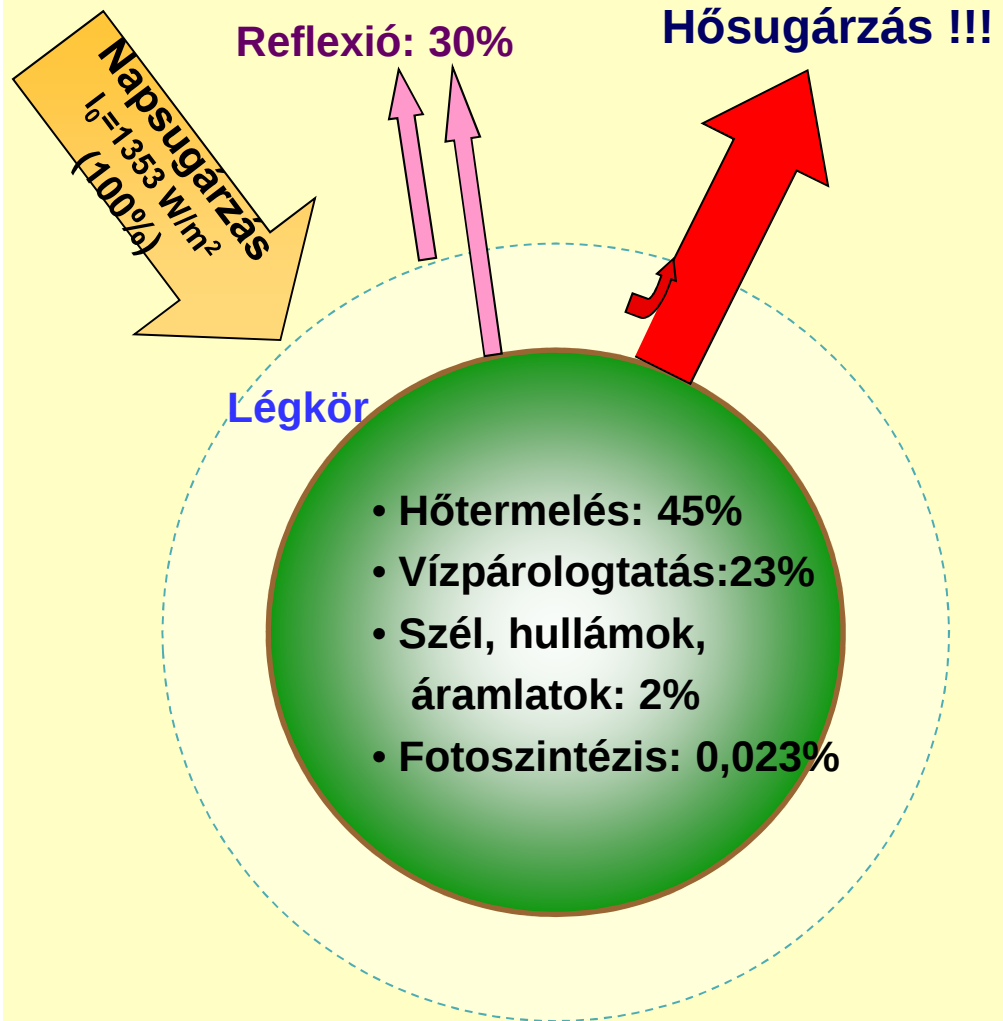
Energia forrása



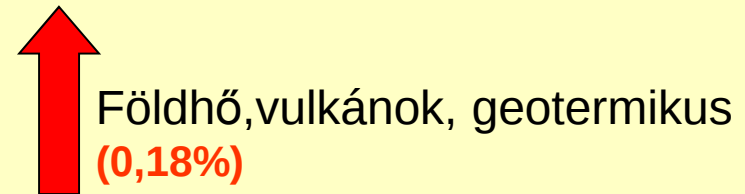
**Anyagok
forrása**

2a. FÖLDÜNK ENERGIAFORRÁSAI

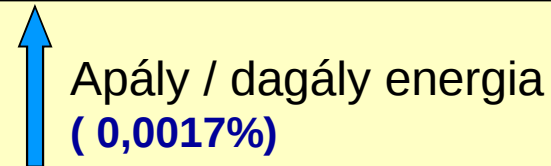
I. MAGFÚZIÓ A NAPBAN



II. IZOTÓP-BOMLÁS A FÖLDBEN



III. BOLYGÓK MOZGÁSA



IV. Fosszilis tüzelőanyagok

szén, olaj, gáz
(0,006%)

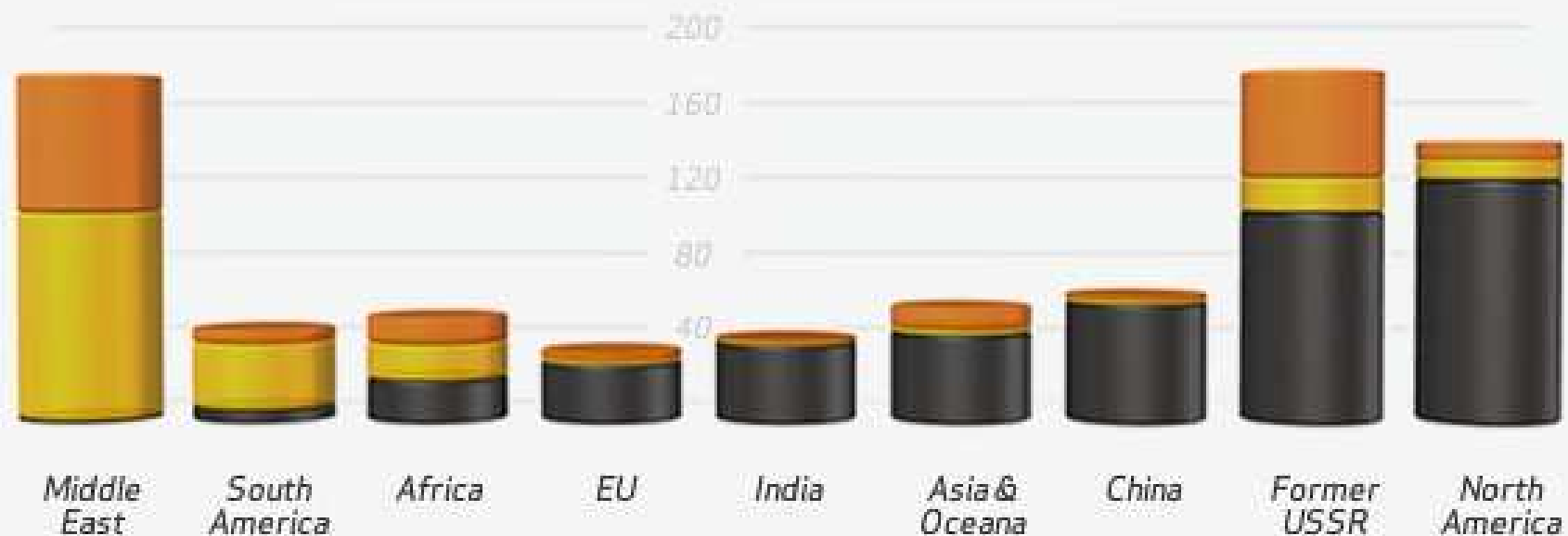
V. Magenergia

(0,00004%)

2b. FÖLDÜNK ENERGIA KÉSZLETEI

Location of the world's main fossil fuel reserves

Coal reserves are available in almost every country worldwide



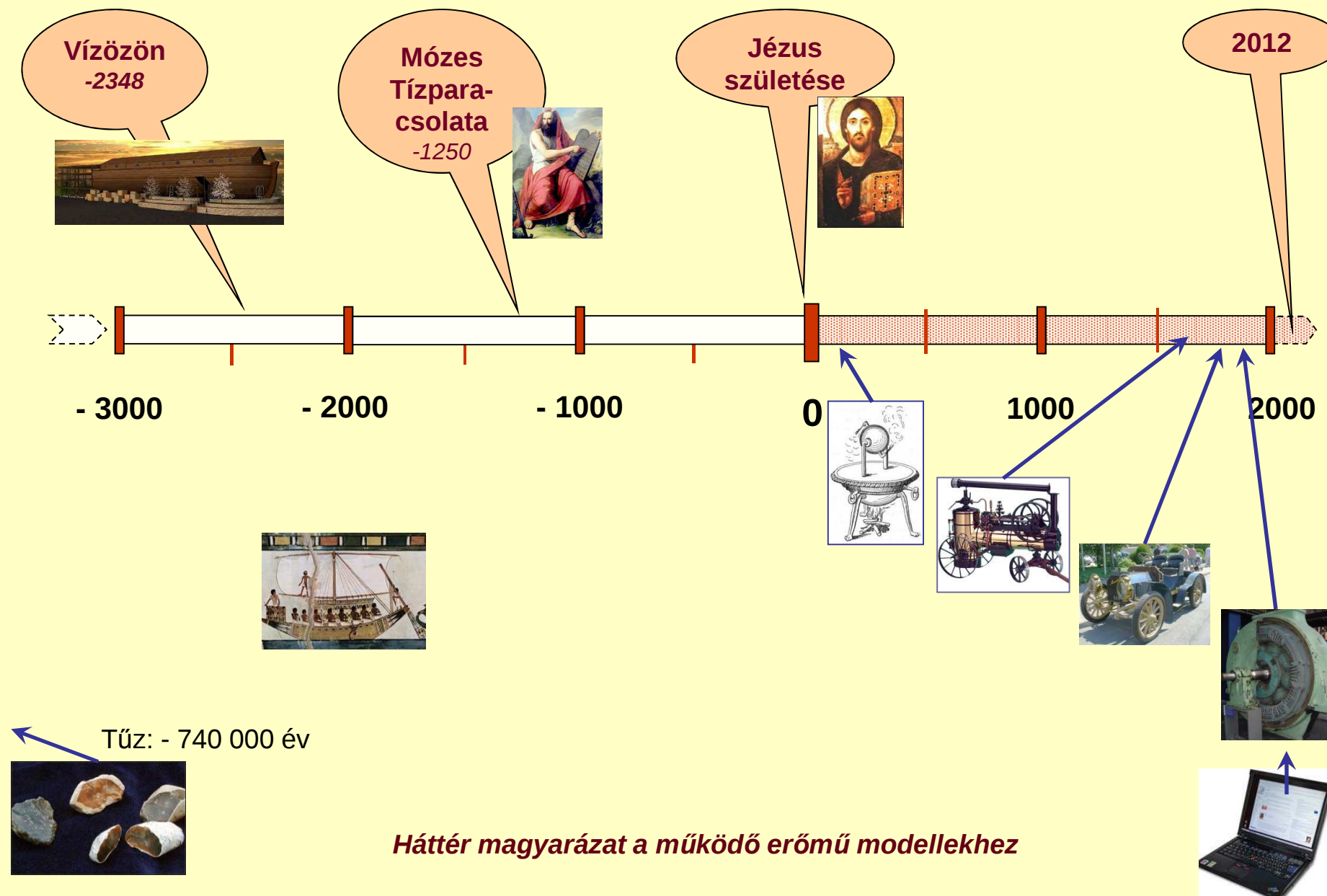
**Gazdaságosan kitermelhető
készletek élettartama a
2011. évi kitermelési szinten:**

- Szén: 112 év
- Olaj: 46 év
- Gáz: 54 év



*BP Statistical Review of World Energy 2011
(billion tonnes of oil equivalent)*

3. MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL



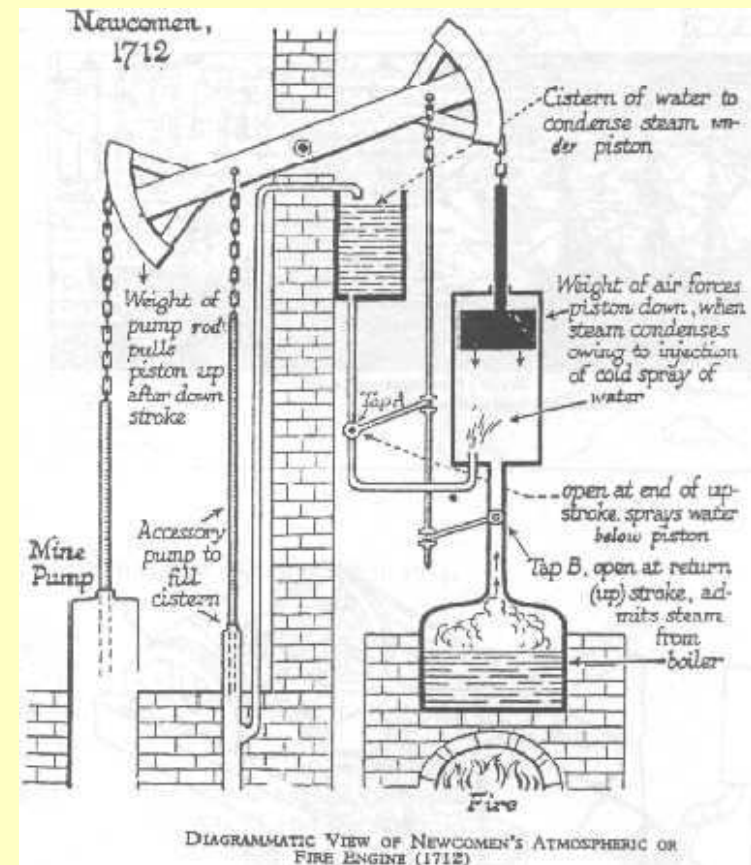
3a. MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL

I. Erőgépek

1. Alaexandriai Héron (10-75): ókori gőzgép



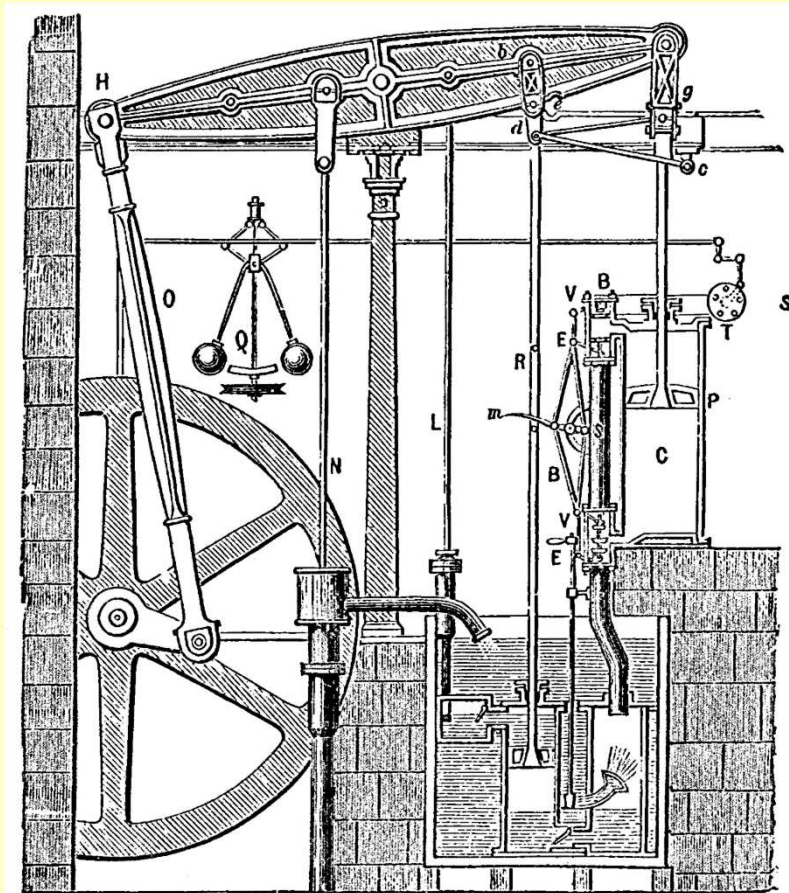
2. Thomas Newcomen (1664-1729): az első működőképes atmoszférikus gőzgép (1712)



3b. MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL

I. Erőgépek

3. James **Watt** (1736-1819): a gőzgép kifejlesztője. Kondenzátor, kettős működés, regulátor, fogaskerék bolygómű (1785)



3c. MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL

II. Villamos energia

1. Otto von **Guericke** (1602-1686): az első dörzselektromos gép (1660)
2. Benjamin **Franklin** (1706-1790): villámhárító.
3. Michael **Faraday** (1791-1867): az első elektromotor elkészítése (1821), elektromágneses indukció felfedezése (1831), elektrolízis (1832).
4. **Jedlik** Ányos (1800-1895): „villanydelejes forgony”, az első egyenáramú, kommutátoros villanymotor (1827), az első dinamó (1861).



Jedlik: dinamó, 1861

5. Nikola **Tesla** (1856-1943): háromfázisú generátor(1881), váltóáramú motor, rádiósugárzás elve.
6. Thomas **Edison** (1847-1931): szénuszalas izzószál (1879), első elektromos erőmű (1882, New York, egyenáram).

3d. MŰSZAKI FEJLŐDÉSÜNK TÖRTÉNETÉBŐL

III. Erőművek

1. **1878, Bajorország:** a világ első erőműve *Ettal* településen, II. Lajos bajor király, *Lindenhof Kastély* kertjében, a Vénuszbarlang meseszerű megvilágítása céljából. A dugattyús gőzgép meghajtású 24 dinamót és a szénelektrodos lámpákat Sigmund Schluckert tervezte és építette.
2. **1882. január, London:** a világ első közvilágítási célú erőműve, az *Edison Electric Light Station*. Thomas Edison kezdeményezte, majd partnere, Edward Johnson valósította meg. A Babcock & Wilcox gyártmányú kazánhoz egy 125 LE-s dugattyús gőzgép csatlakozott, amely egy Jumbo típusú generátort hajtott. A lámpák a Holborn Viaduktot és a környéket világították meg.
3. **1882. szeptember, New York:** A *Pearl Street Station* erőművet Edison építette alsó Mannhattan sziget megvilágítására. A gőzgépek egyenáramú generátorokat hajtottak meg.
4. **1884, Temesvár:** az első magyarországi közcélú erőmű városi utcai világításra.
5. **1888, Mátészalka:** Schwartz Mór és Jakab gőzmalmot, szesz és likörgyárat működtettek. A Párizsi Világkiállításon egyenáramú dinamót vásároltak gyáruk részére. Az áramot elvezették lakásukhoz is, így lett belőle utcai világítás is.
6. **1954, Obnyinszk:** a világ első atomerőműve. 5 MW.

4.1a. A VILÁG LEGNAGYOBB VÍZERŐMŰVE - Kína

Jangce Három-szurdok gát (Jangce Three Gorges Dam), 2008.



4.1b. A VILÁG LEGNAGYOBB VÍZERŐMŰVE - Kína

Jangce Három-szurdok gát (Jangce Three Gorges Dam)

Vízszint magasság: 145-175 m

Tározó a Jangce folyón: 660 km hosszan

$32 \times 700 + 2 \times 50 = 22\,500$ MW (Francis turbina)



4.2 A VILÁG LEGNAGYOBB SZÉNERŐMŰVE – Taiwan

Taichung Power Plant: 1992-2006

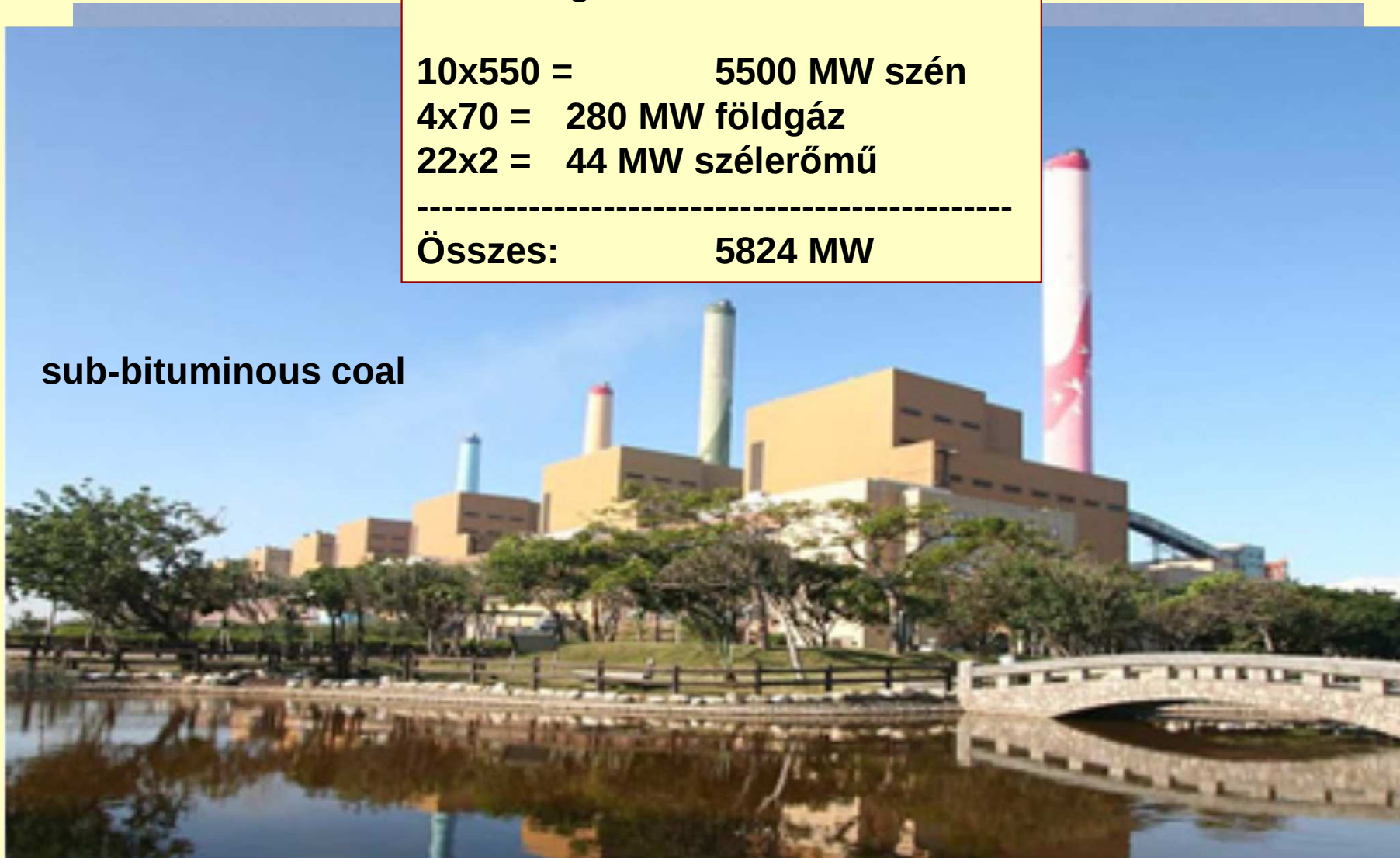
10x550 = 5500 MW szén

4x70 = 280 MW földgáz

22x2 = 44 MW szélerőmű

Összes: 5824 MW

sub-bituminous coal



4.3 A VILÁG LEGNAGYOBB OLAJTÜZELÉSŰ ERŐMŰVE

**Szaud-Arábia: Shoaiba olajtüzelésű erőmű, 5600 MW
két tengervíz sótalanítóhoz gőztermelés**

„A középkelet óriása”

1998-2012 (Alstom-Fichtner-Bechtel)



4.4 A VILÁG LEGNAGYOBB GÁZTÜZELÉSŰ ERŐMŰVE

Oroszország: Szurgut 2. (tulajdonos: E.ON Russia)

6x800 MW – szárított olajgáz, földgáz (1985-1988)

2x400 MW – földgáz, kombinált ciklus (2011)

Összesen: 5600 MW



4.5 A VILÁG LEGNAGYOBB ATOMERŐMŰVE

Japán: Kashiwazaki-Kariwa, (1985-1997)

5 x 1,067 MW (BWR)

2 x 1,315 MW (ABWR)

Összesen: 7965 MW



4.6 A VILÁG LEGNAGYOBB NAPERŐMŰVE – lapos napelem

USA, Arizóna: Agua Caliente (2011-2013)
970 ha: 3,9 ha/MW; háromrétegű vékonyfilm panelek)
250 MW

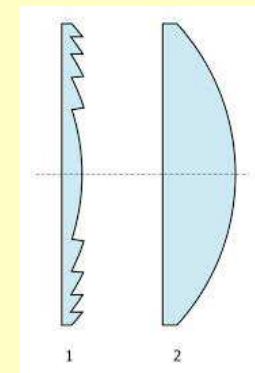


4.7 A VILÁG LEGNAGYOBB NAPERŐMŰVE – koncentráló napelem

USA, Colorado, Alamosa: Agua Caliente (2012)

7560 db Fresnel-lencse, 500-szoros koncentráció, napkövető panelek (91 ha: 2,5 ha/MW)

37 MW



4.9 A VILÁG LEGNAGYOBB OFF-SHORE SZÉLPARKJA

UK: London Array

I. fázis: 175 Siemens torony (2013)

$175 \times 3,6 = 630 \text{ MW}$

II. fázis: 370 MW

Összesen: 1000 MW



4.9 A VILÁG LEGNAGYOBB BIOMASSZA ERŐMŰVE

Lengyelország: Polaniec

Régi erőmű (1979-1983)
8x225 = 1800 MW
széntüzelés



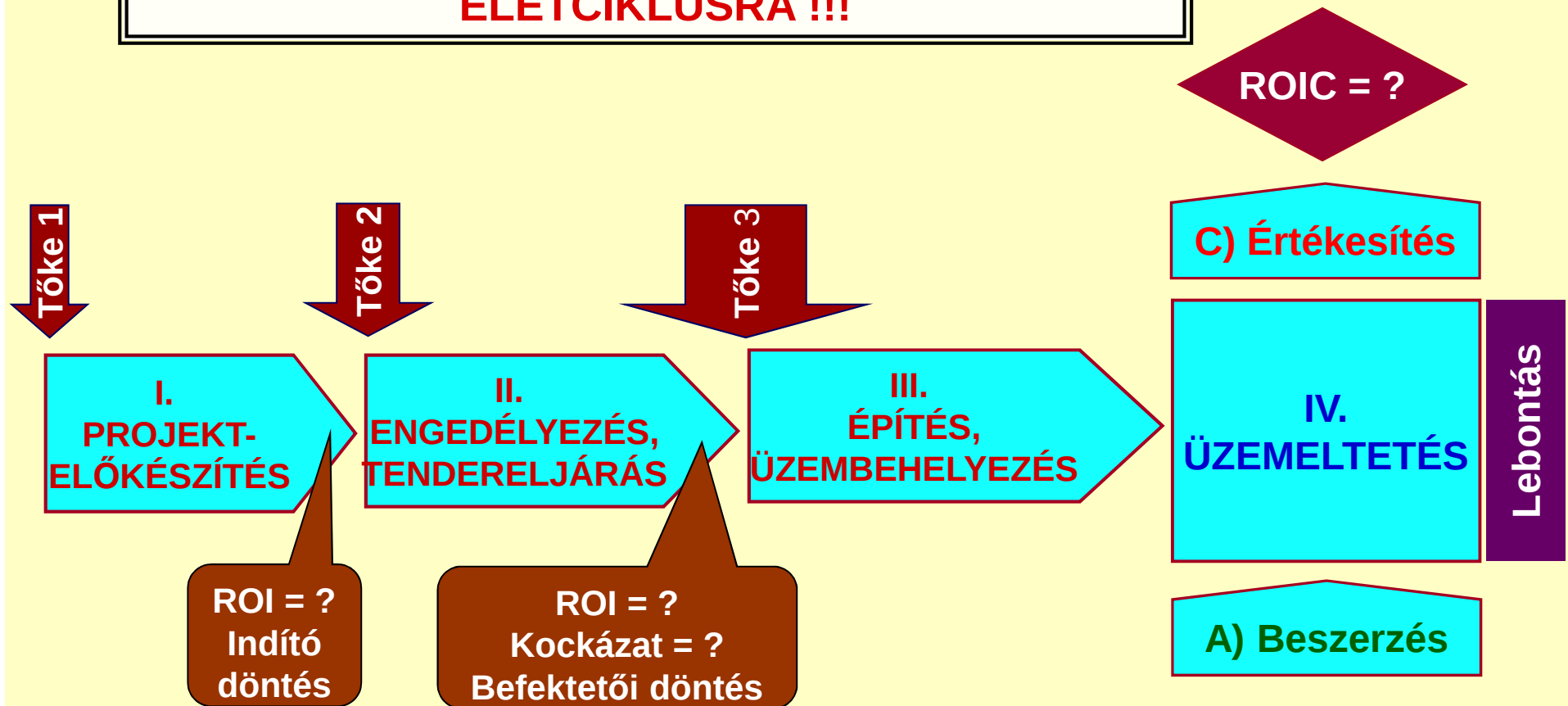
Új erőmű (2012)
205 MW
Faforgács, mezőgazdasági hulladék



Tulajdonos: GDF Suez
Kazán: fluid tüzelésű cirkulációs
EPC: Foster Wheeler
Gőz: 126 bar/535 °C

5. AZ ERŐMŰFEJLESZTÉSEK HAJTÓEREJE

CÉL: a befektetés pénzügyi megtérülése a teljes ÉLETCIKLUSRA !!!



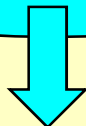
ROI: Return On Investment / Tervezett beruházás belső megtérülési térülési mutatója

ROIC: Return Of Invested Capital / Befektetett tőke adózott hozama

5a. AZ ERŐMŰFEJLESZTÉSEK HAJTÓEREJE

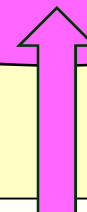
CÉL: a befektetés pénzügyi megtérülése a teljes ÉLETCIKLUSRA !!!

KÖLTSÉGEK
minimalizálása



1. Tüzelőanyag vásárlás (**hatásfok!**)
2. Tőkeköltség (**beruházási költség!**)
3. Munkabér (**automatizálás**)
4. Hűtővíz ()
5. Segédanyagok (kenőolaj, vegyszer)
6. Hulladékanyag kezelése (salak, pernye, szennyvíz, ...)
7. CO₂ kvóta vásárlás
8. Környezetvédelem
9. Karbantartás (anyag és munkabér)
10. Önfogyasztás

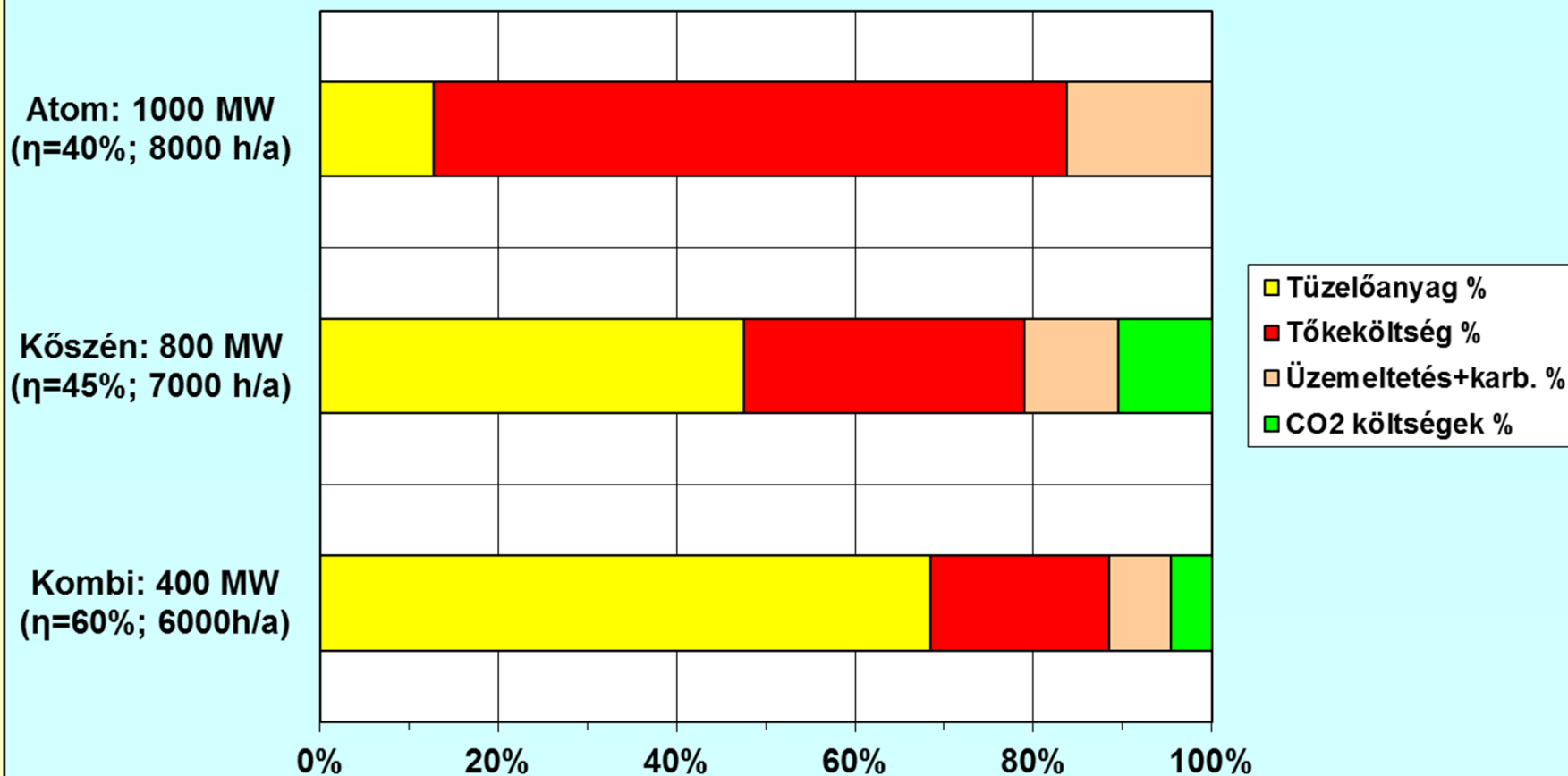
BEVÉTELEK
maximalizálása



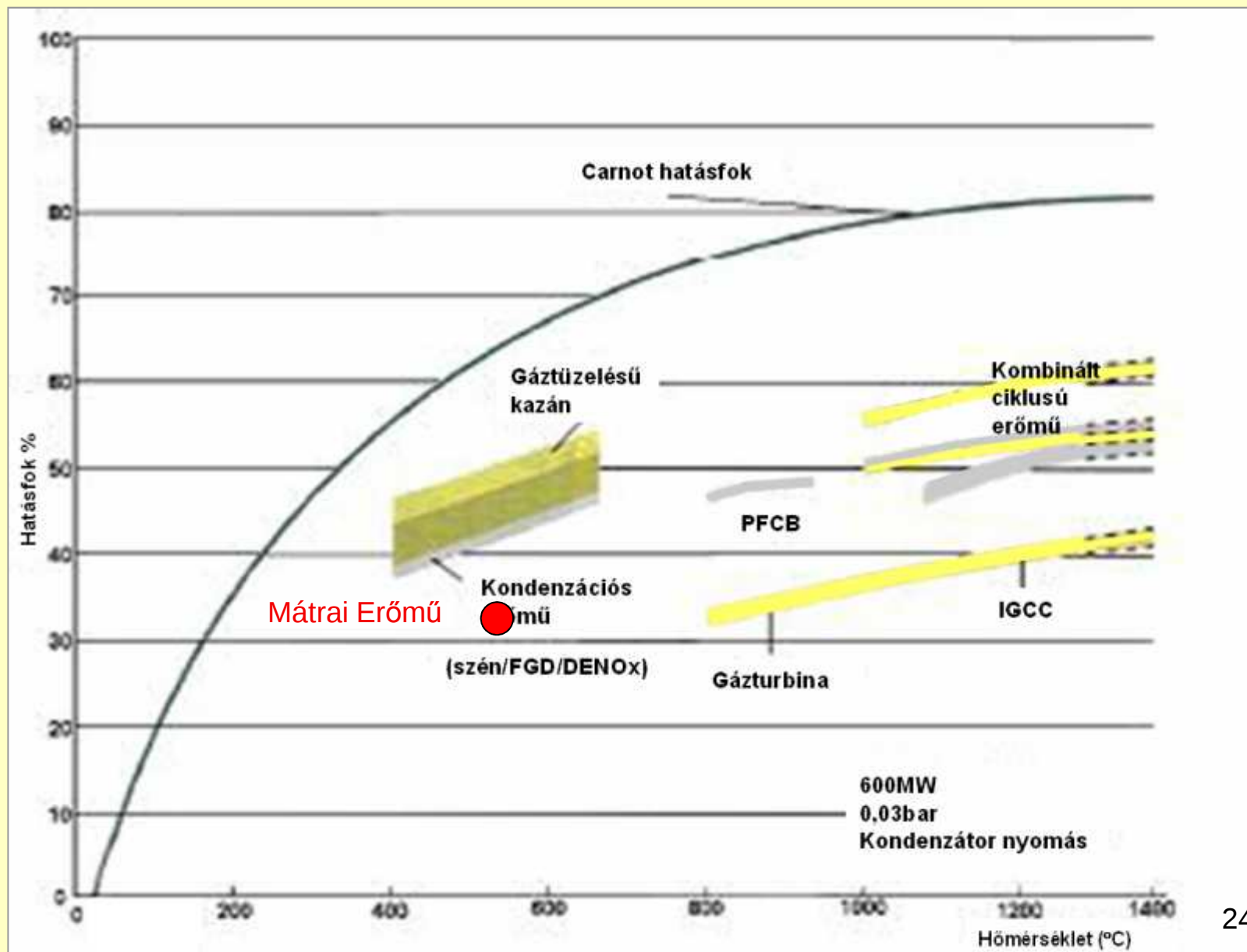
1. Villamos energia értékesítés (kWh)
2. Kiegyenlítő energia (mérlegkör)
3. Kapacitás (MW)
4. Rendelkezésre állás (gyors indíthatóság)
5. MAVÍR rendszerszintű szolgáltatás (primer, szekunder, tercier szabályzás). Gyors terhelésváltoztatás (**MW/perc**).
6. Hőenergia értékesítés (GJ)

5b. ERŐMŰTÍPUSOK KÖLTSÉG ÖSSZETÉTELE

ERŐMŰVEK ÉVES KÖLTSÉGÖSSZETÉTELEI - Példa (EEX, 2012)



5c. ERŐMŰVEK ELMÉLETI ÉS VALÓSÁGOS HATÁSFOKAI



5d. ERŐMŰVI HATÁSFOKOK – „nyolc-éta-formula”

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

$$\eta_{KE} = \eta_H \cdot \eta_{cs} \cdot \overbrace{\eta^{(id)} \cdot \eta_{T,b} \cdot \eta_{T+G,m}} \cdot \overbrace{\eta_G \cdot \eta_{Tr} \cdot \eta_\varepsilon} ;$$

η_{KE} Kondenzációs erőmű eredő (nettó) hatásfoka.

η_H Hőforrás (kazán, reaktor) hatásfoka.

η_{cs} Csővezeték rendszer hatásfoka (hőveszteségek).

$\eta_{T,er} = \eta^{(id)} \cdot \eta_{T,b} \cdot \eta_{T+G,m}$; Eredő körfolyamati hatásfok- a generátor bemenetére.

$\eta_{V,er} = \eta_G \cdot \eta_{Tr} \cdot \eta_\varepsilon$; Villamos alrendszer eredő hatásfoka
(generátor+transzformátor+vill. önfogyasztás).

$\eta^{(id)}$ Ideális (veszteségmentes) körfolyamat hatásfoka.

$\eta_{T,b}$ Turbina belső hatásfoka.

$\eta_{T+G,m}$ Turbina és generátor (turbó gépcsoport) mechanikai hatásfoka.

η_G Generátor hatásfoka.

η_{Tr} Transzformátor hatásfoka

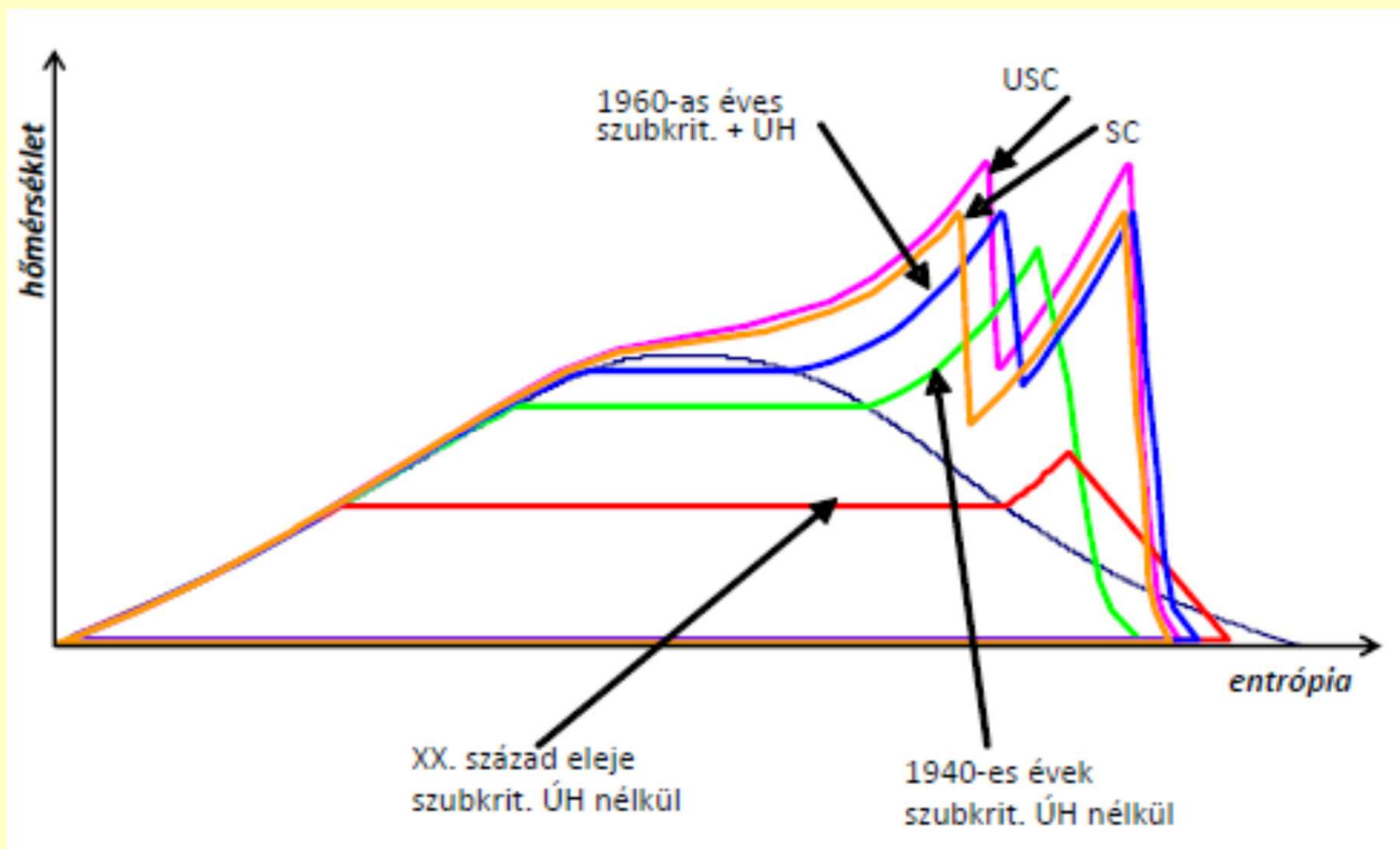
η_ε ; = 1- ε ; Önfogyasztási hatásfok

6. AZ ERŐMŰFEJLESZTÉSEK FŐ IRÁNYAI

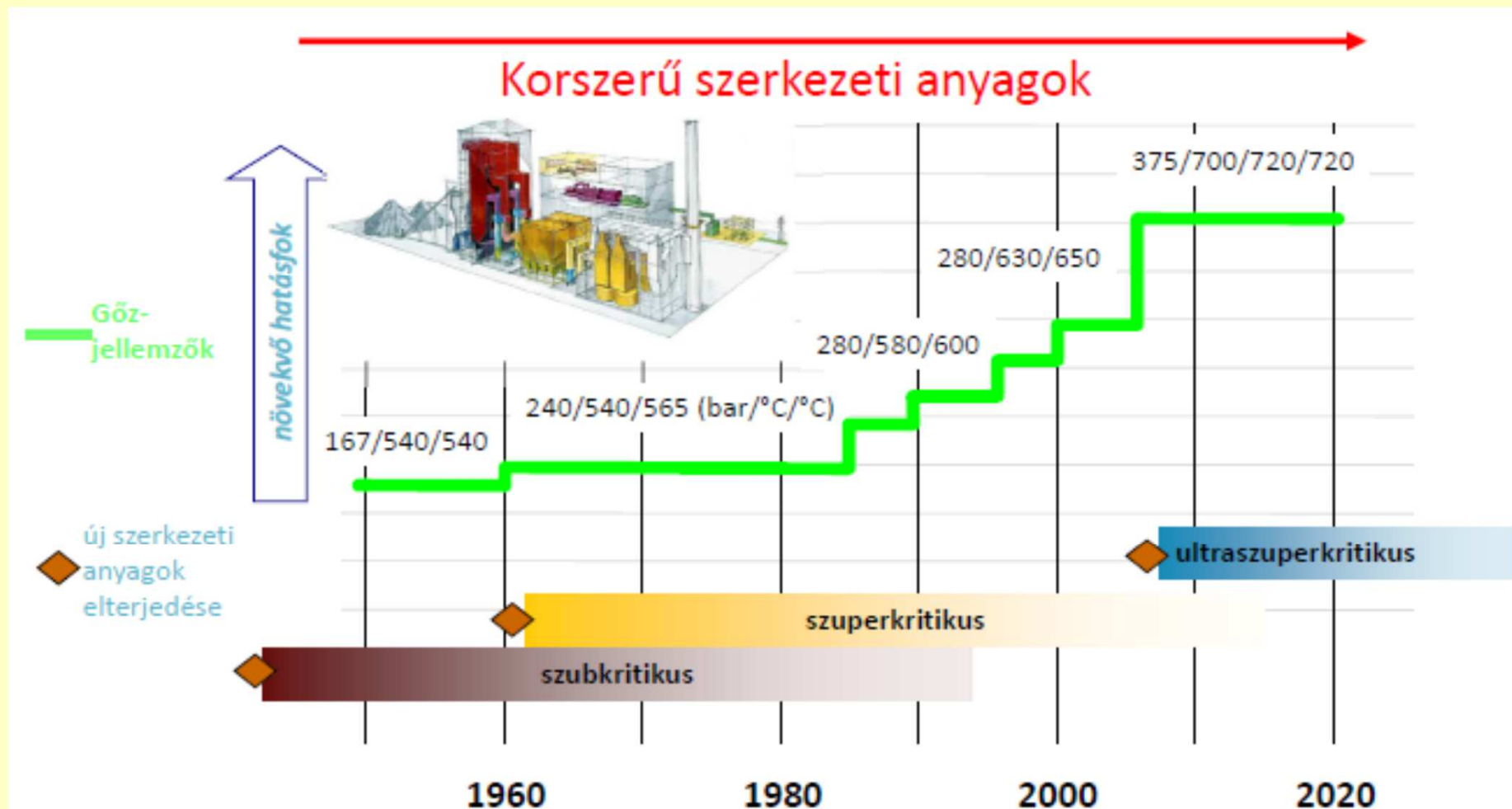
- (1) Körfolyamat hatásfokának növelése - *hőközlés hőmérséklet szintjének emelése / új szerkezeti anyagok!*
- (2) Komponensek **hatásfokának** növelése (*kazán, turbina, generátor, szivattyúk*)
- (3) **Károsanyag** kibocsátások csökkentése
- (4) **Rendelkezésre állás** növelése
- (5) **Rugalmasság** növelés (*gyors indítás, terhelésváltoztatás*)
- (6) **Meglévő erőművek** korszerűsítése, átépítése.
- (7) Piaci igényekhez történő **újszerű megoldások.**

7. HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK – kezdő paraméterek

Vízgőz kritikus nyomása: 221 bar
Vízgőz kritikus hőmérséklete: 374 °C



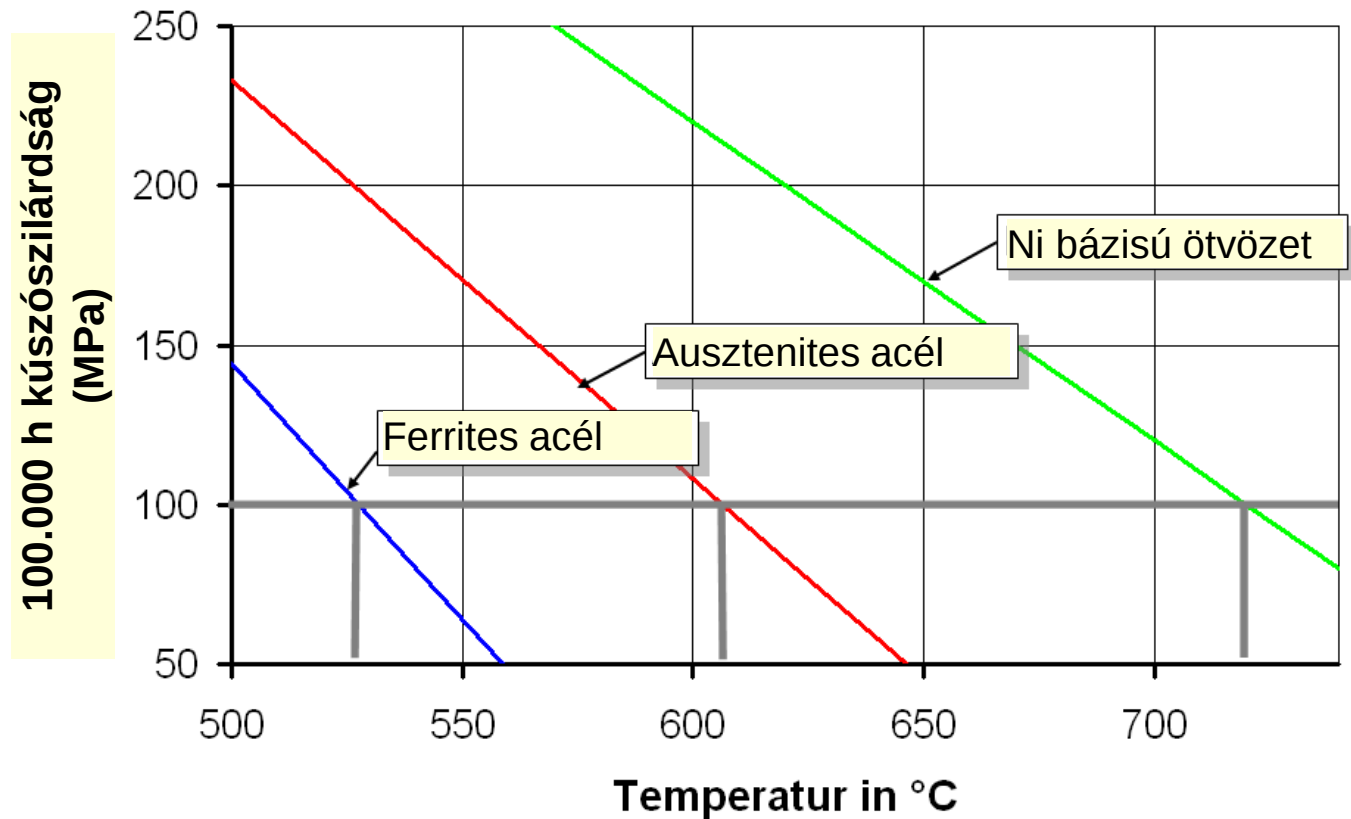
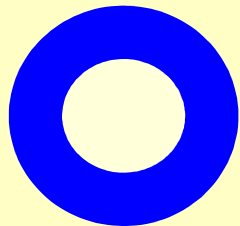
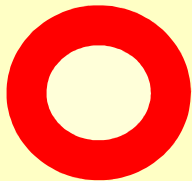
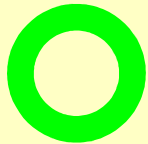
7.1 HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE



7.2 HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE

Csővestegség – Hőmérséklet - Anyagminőség

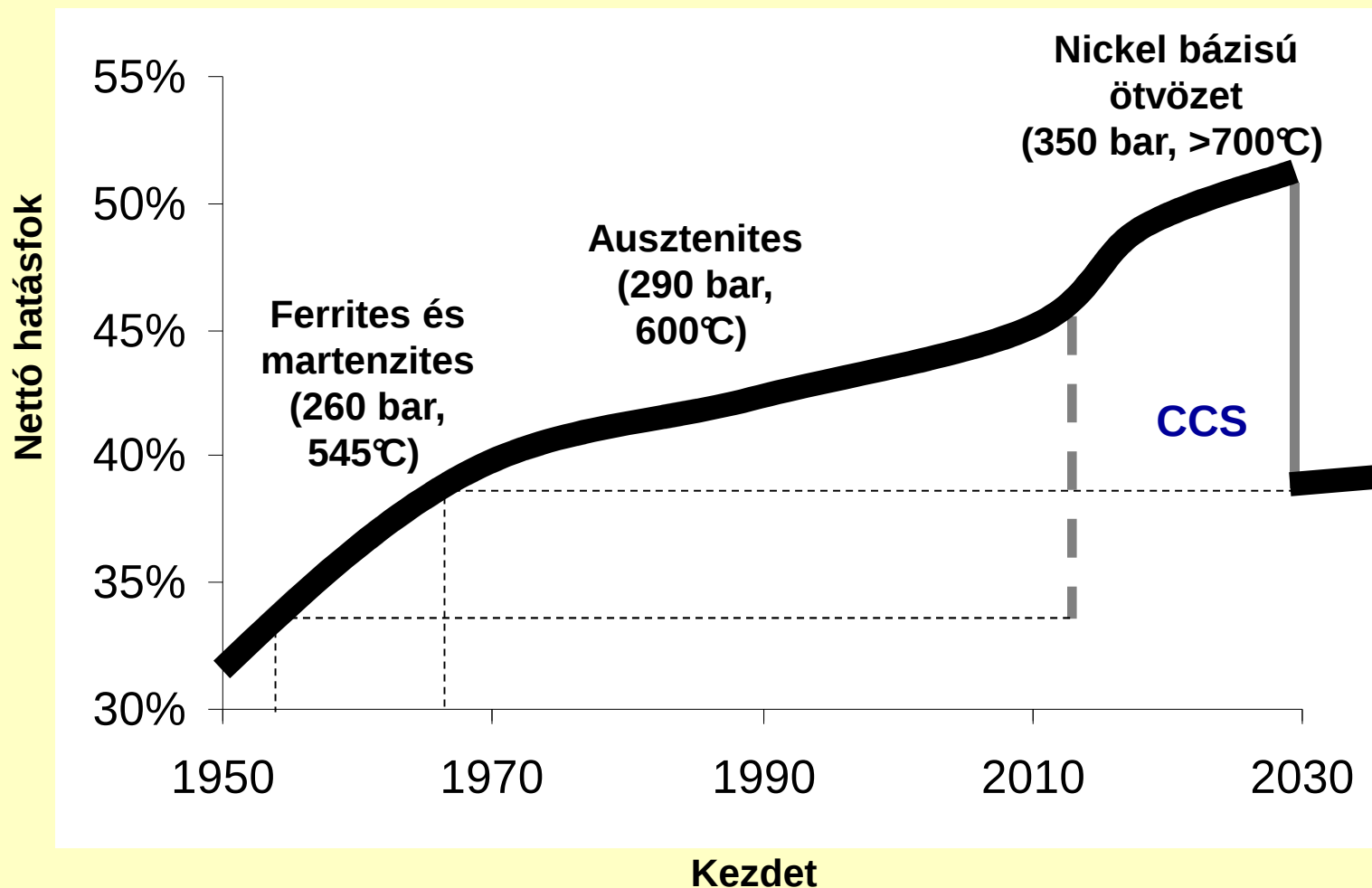
Cső
falvastagság



⇒ Anyagok alkalmazása: váltás a ferrites/ausz tenites anyagokról nikkel bázisúra

7.3 HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE

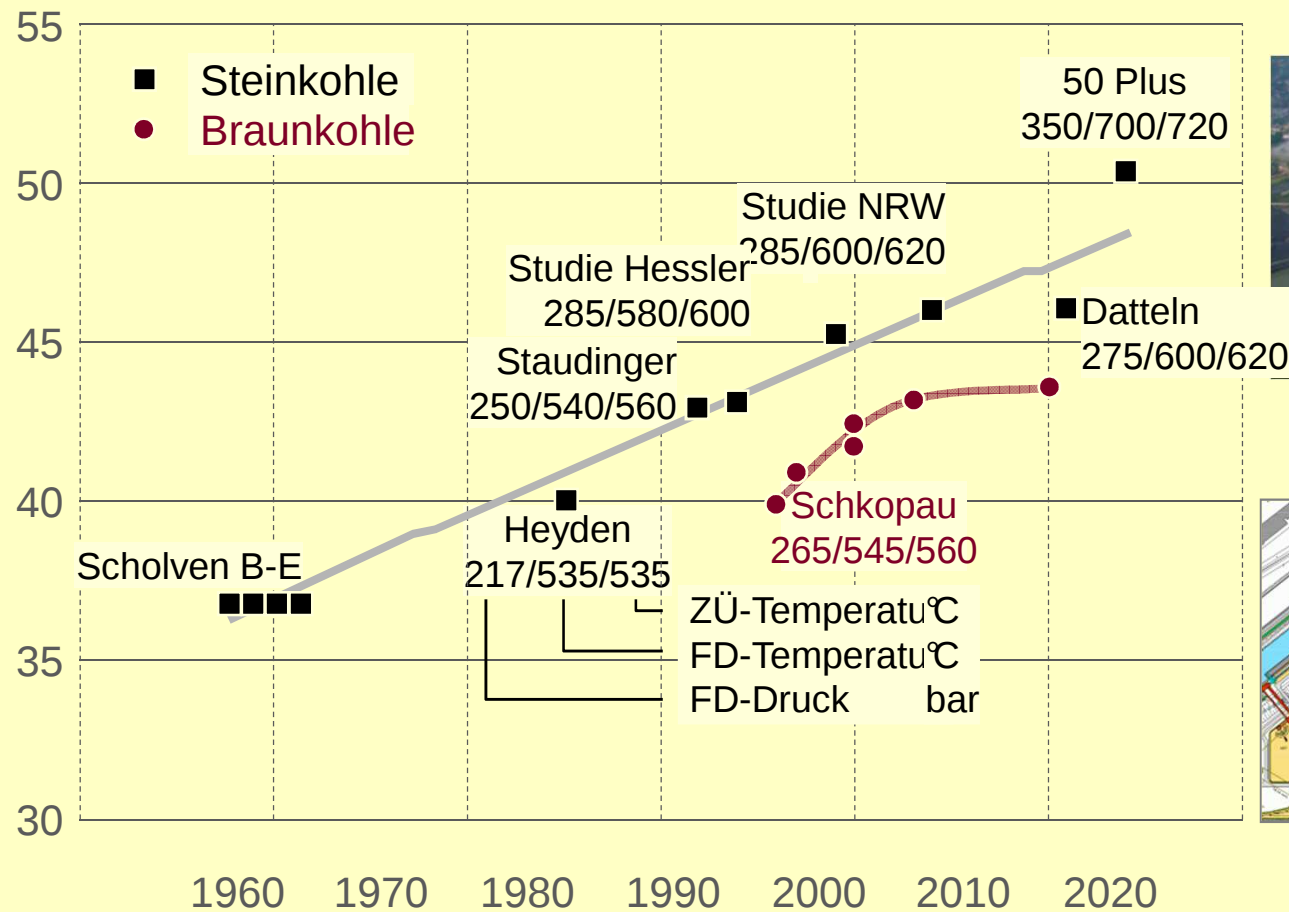
Széntüzelésű erőművek hatásfokának növekedése



7.4 HAGYOMÁNYOS GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE

Német erőművek hatásfoka

Nettó hatásfok %



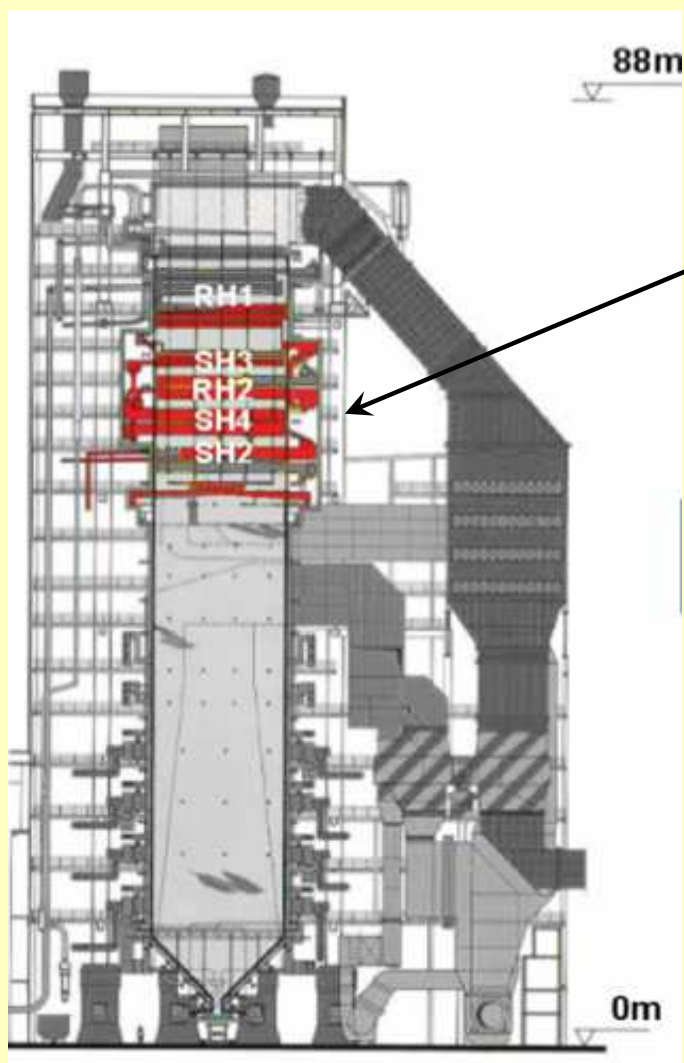
Staudinger (1962 – 2007)



Datteln (2004 - 2011)

7.5 GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE – német 50 plusz program

Kazán

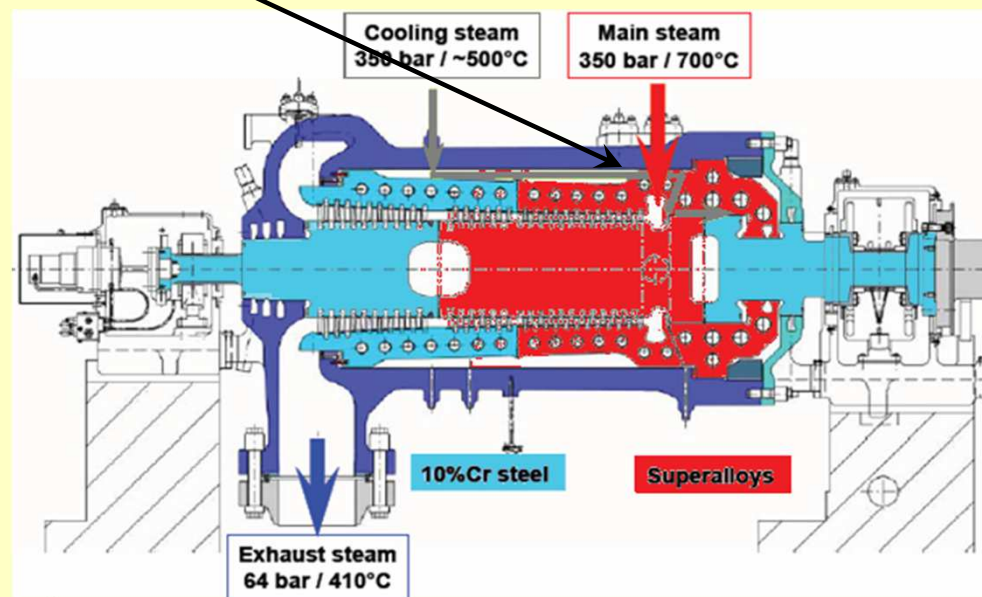


Gőzturbína



Nagyméretű szelepek

700 °C
gőz



10% Cr-acél

szuperötvözet

7.5 GŐZERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE – a német 50 plusz program

(1) Ambiciózus tervek;

(2) Cél:

- $\eta = 45,4\%$ - 600°C technológia
- $\eta = 50,0\%$ - 700 °C technológia

(3) A kutatás, a kísérletek elindulnak: 2000-es évek elején

(4) Főbb témakörök:

- Nickel-alapú szerkezeti anyagok bevetése, vizsgálata:
 - tüztérfa (HCM12, In 617),
 - túlhevítők (Auszenit + 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) vizsgálata,
- Gyártási és hegesztési tulajdonságok vizsgálata,
- Füstgázkorrózió vizsgálata,
- Hőátadási jelenségek vizsgálata,

(5) A gazdasági válság kifulladásztotta a programot

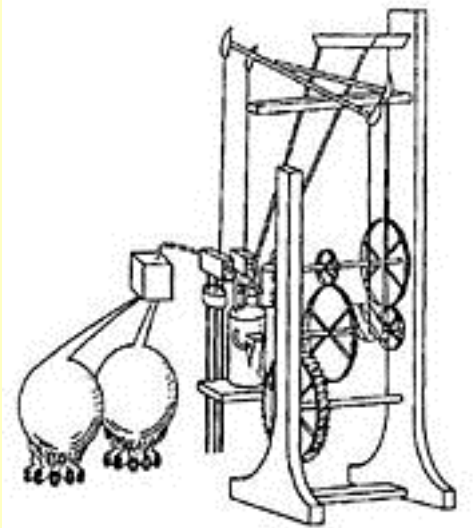
8. GÁZTURBINÁK – történeti visszapillantás

A) Történeti visszapillantás

Alexandriai Héron Kr. u. 10-75	Heron ladba: Víz forralása a gőz reakció ereje: Forgó mozgás	
Kínaiak Kr. u. 1232 Kr. u. 1232 Kai-Keng-i csata a mongolok ellen	„Repülő tüzes nyilak”: puskapor bambusz nádiban Az első rakéták	 Chinese soldier launches fire-arrow

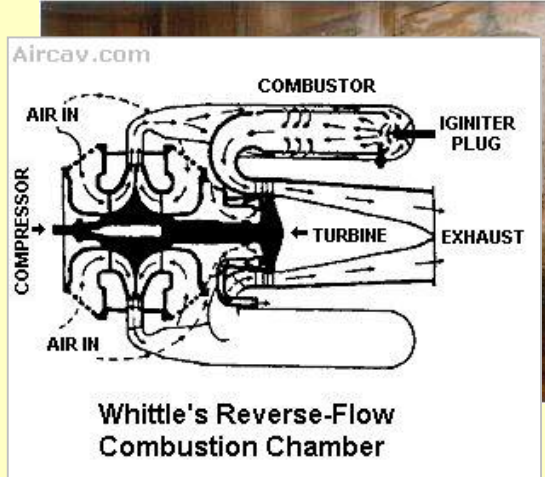
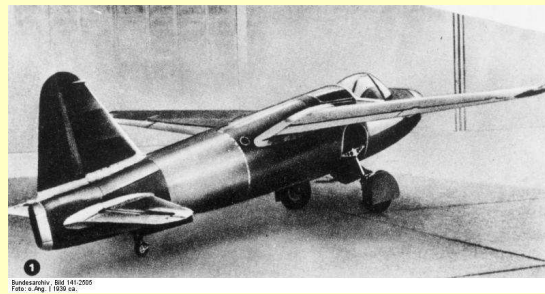
8. GÁZTURBINÁK – történeti visszapillantás

B). Történeti visszapillantás

John Barber 1734-1801 Angol bányamester	Az első igazi gázturbinás szabadalom (1791). Fa, szén, olaj gázosítása. Levegő-gázkeverék komprimálása, lánc hajtású dugattyús kompresszorral. Égőkamra, lapátkerék megfűvése. Nem volt önfenntartó.	
Egidius Elling 1861-1949 A gázturbina norvég atyja	Első szabadalma: 1884. Az első önfenntartó gázturbina (1903). Forgó kompresszor és turbina. $t_3=400\text{ °C}$, 17000 1/p; 11 LE	

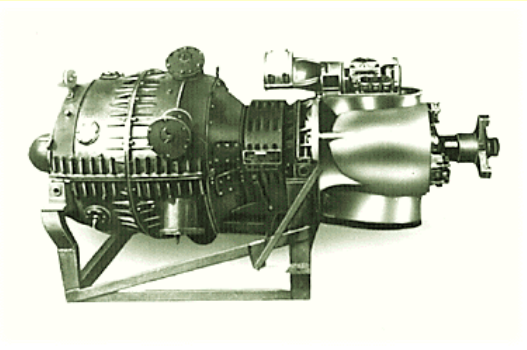
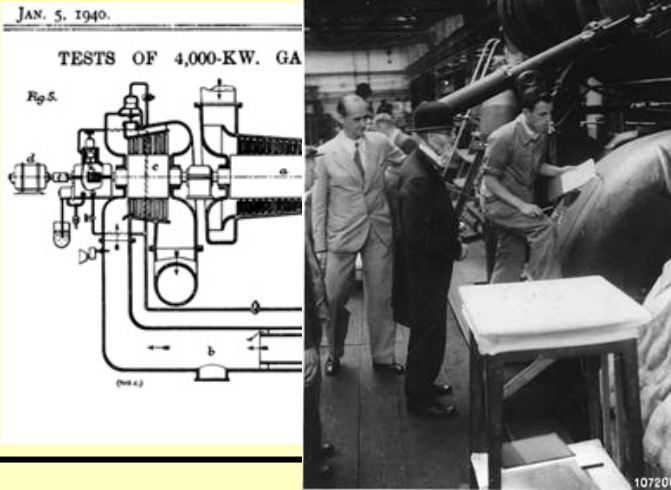
8. GÁZTURBINÁK – történeti visszapillantás

C). Történeti visszapillantás

Sir Frank Whittle 1907-1996 Angol repülőmérnök, a RAF tisztje, a sugárhajtómű atyja	Az első gázturbinás sugárhajtómű. Szabadalom: 1930. Sikeres megvalósítás: 1937 Első repülés: 1941	 A technical diagram of a gas turbine engine. It shows a central shaft with a compressor at the front and a turbine at the back. Air enters from the sides (AIR IN), is compressed (COMPRESSOR), and then enters the combustor (COMBUSTOR) where it is ignited by an igniter plug (IGINITER PLUG). The exhaust (EXHAUST) is shown at the rear. The diagram is labeled 'Whittle's Reverse-Flow Combustion Chamber' and has 'Aircav.com' in the top left corner.
Hans von Ohain 1911-1998 Német fizikus, a sugárhajtásos repülő atyja	Az első felszálló sugárhajtásos repülőgép hajtóműve. Szabadalom: 1936 Első repülés: 1939	 A black and white photograph of the Heinkel He 178, the world's first turbojet-powered aircraft. It is a single-engine, single-seat aircraft with a high-wing configuration and a tail fin. The aircraft is shown in profile, facing right.

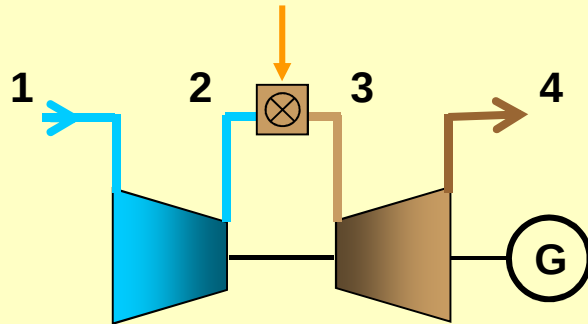
8. GÁZTURBINÁK – történeti visszapillantás

D). Történeti visszapillantás

Jendrassik György 1898-1954	Első szabadalma: 1929. A világ első gyűrűs égéstere (1938). 6 fokozatú axiális kompresszor. $t_3=450\text{ °C}$, 100 LE. A világ első légcsavaros gázturbinájának terve (1000 LE)	 Cs-1 légcsavaros gázturbina
Brown Boveri (Svájc) Áramlástechnikai tervező: Prof. Aurel Stodola (1859-1942)	A világ első erőművi gázturbinája (1939), BBC Üzemben: 1939-2002, Neuchatel, 4 MW, 17,4 %	

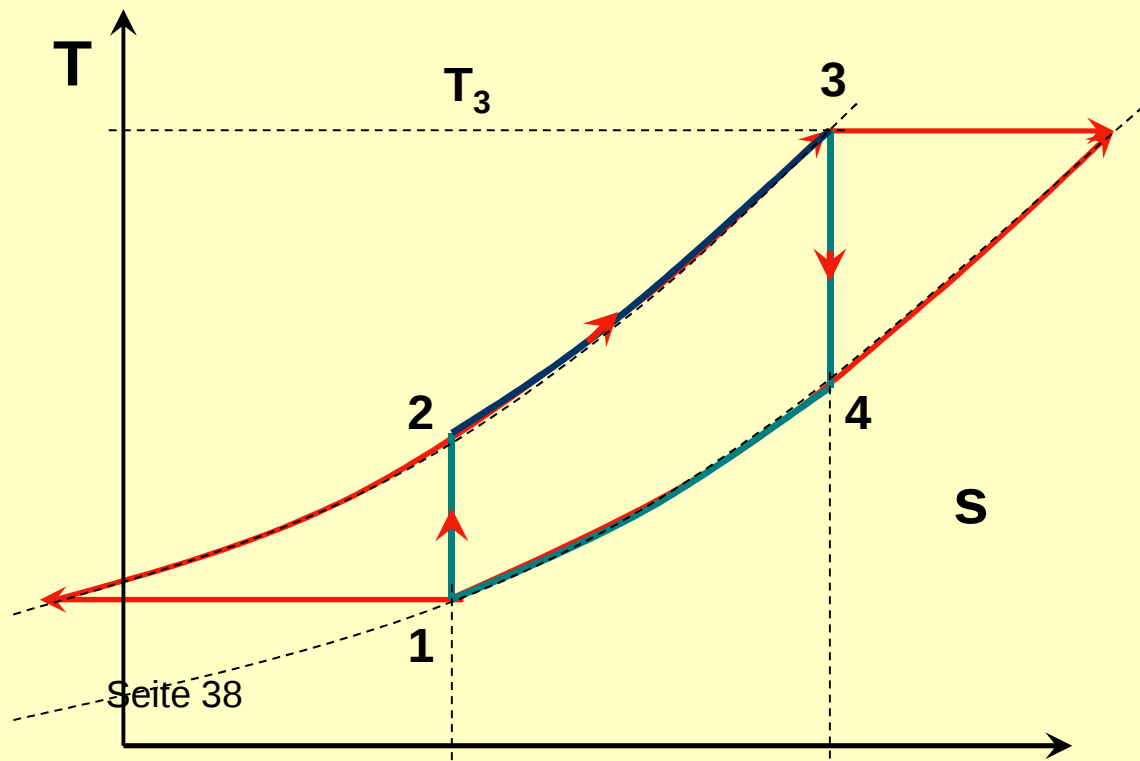
8.1. GÁZTURBINÁK – elméleti körfolyamat

A gázturbina fejlesztésének elméleti alapjai – Brayton körfolyamat

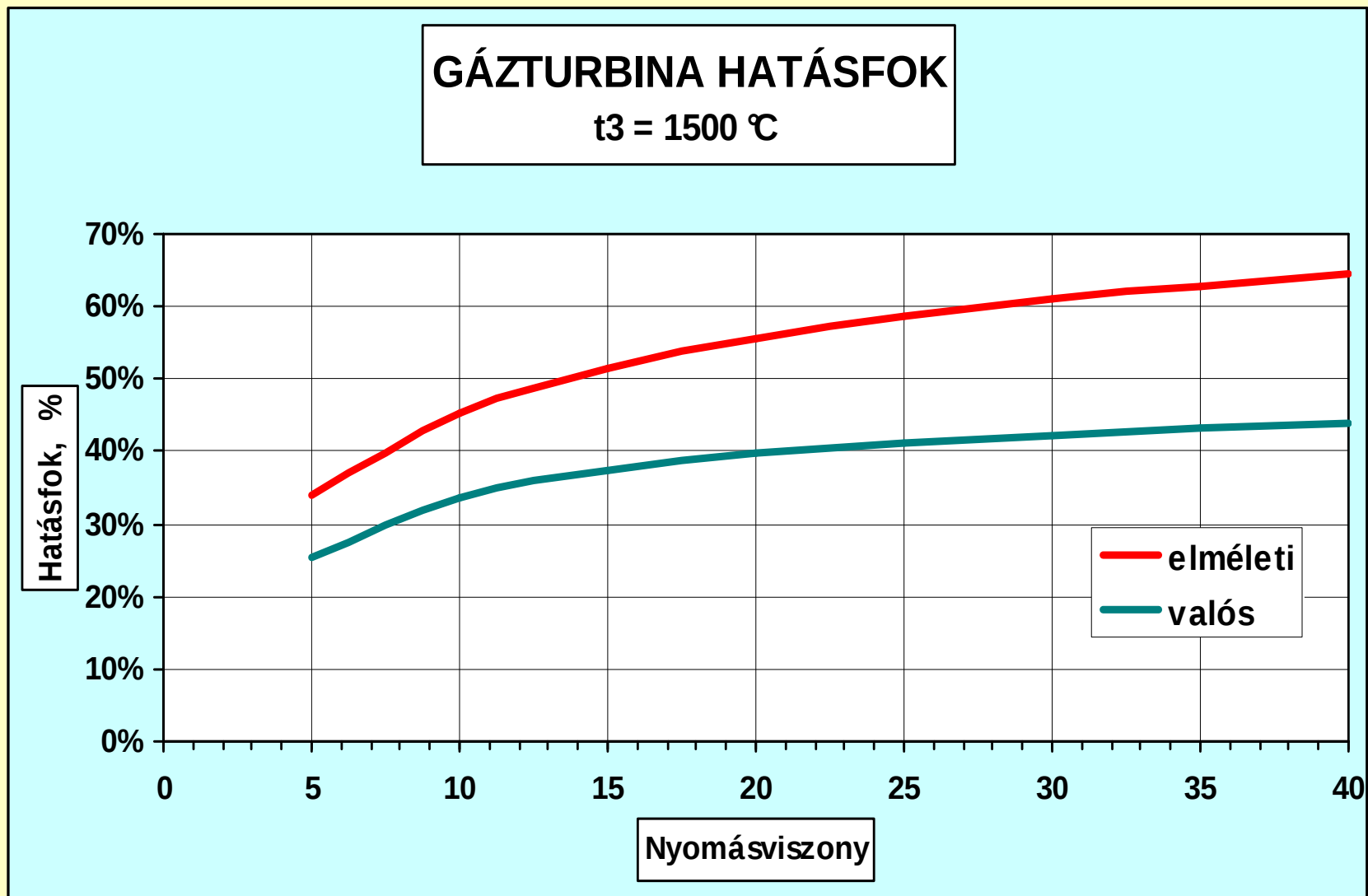


BRAYTON, George Bailey
1830 – 1892

Ackeret-Keller
Körfolyamat
1939

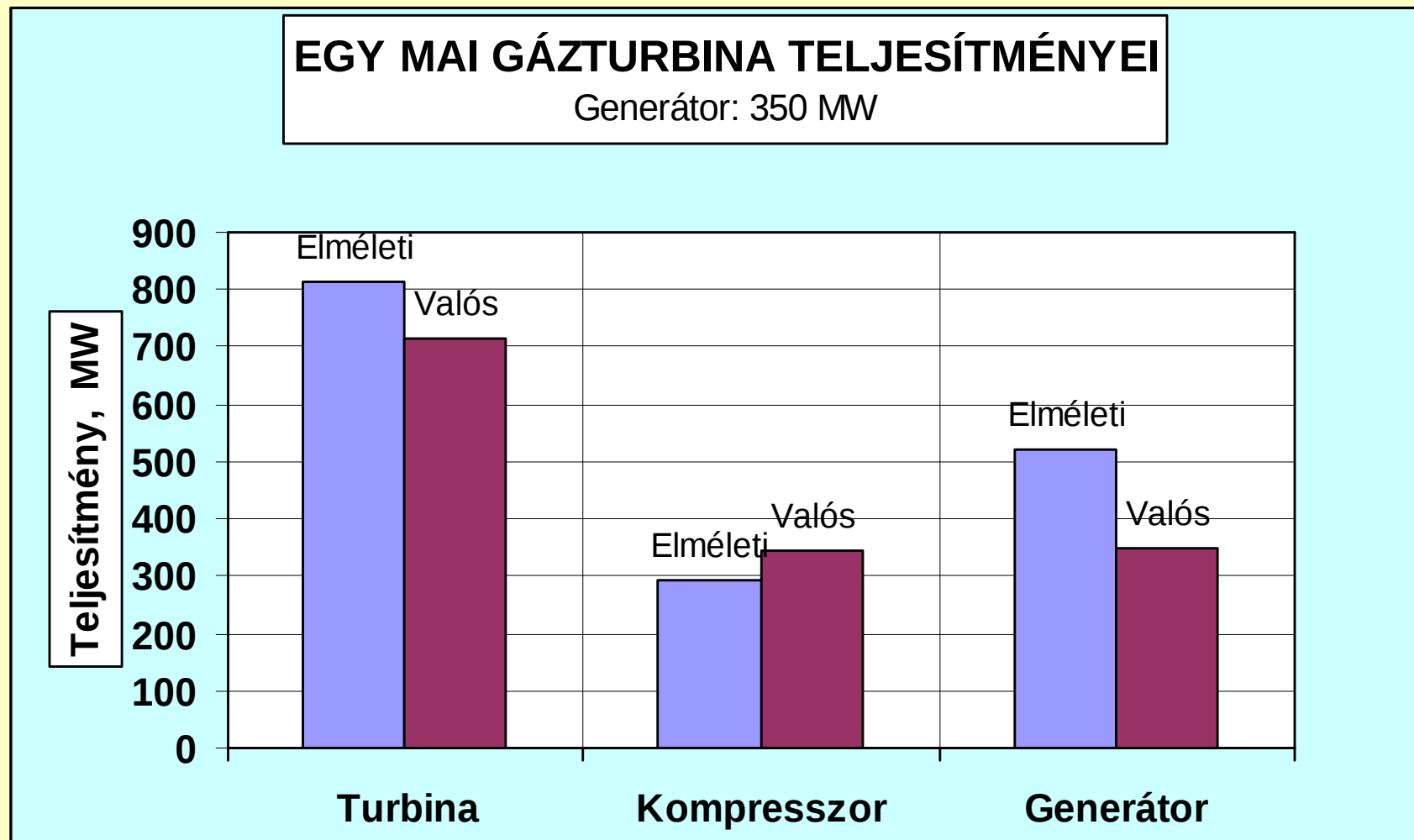


8.1a. GÁZTURBINA HATÁSFOKA



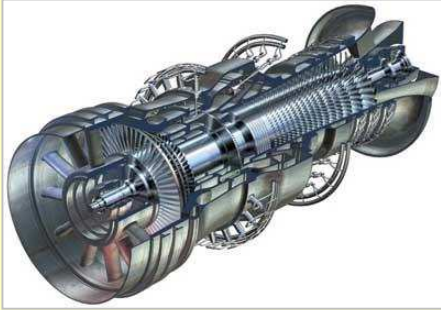
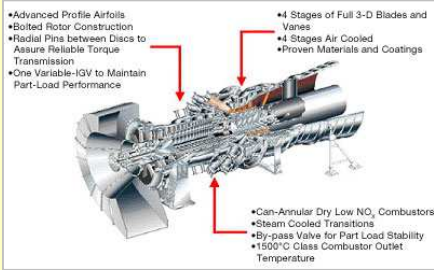
8.1b. GÁZTURBINA TELJESÍTMÉNYVISZONYAI

Névleges teljesítmény: 350 MW



8.2. ÚJABB GÁZTURBINÁK – négy cég

A technikai fejlesztés újabb gázturbinái, 250 MW felett [12]

ALSTOM	GE	MITSUBISHI	SIEMENS
		 •Advanced Profile Airfoils •Bolted Rotor Construction •Radial Pins between Discs to Assure Reliable Torque Transmission •One Variable-IGV to Maintain Part-Load Performance •4 Stages of Full 3-D Blades and Vanes •4 Stages Air Cooled •Proven Materials and Coatings •Can-Annular Dry Low NO_x Combustors •Steam Cooled Transitions •By-pass Valve for Part Load Stability •1500°C Class Combustor Outlet Temperature	
GT26 270 MW	9H 270 MW	M701 G 334 MW	SGT5-8000H 375 MW $\eta_{\text{brutto}} = 40 \%$

8.3a. ÚJABB GÁZTURBINÁK - Alstom

A technikai fejlesztés újabb megoldásai – Alstom GT26/K26; [4], [12]

A főbb újdonságok:

- Osztott-kamrás gyűrűs égőtér, 24 égővel, Dry Low NOx: „alacsony” tüztérhőmérséklet, gyűrűs láng
- Rugalmas üzem: 40-100 % terhelés. 1. fokozatú égőtérrel: 25% terhelésig
- $\Pi = 30 : 1$; 22 hangsebesség alatti fokozat, fokozatonként optimalizálva, CDA kivitel, 3 sorral szabályoz
- 5-fokozatú turbina, ebből 4 hűtve (film- és konvekciós hűtés kombinációja).
A felvett hő bekerül a víz-gőz körfolyamatba

Jellemzők	Dim.	KA26-1	KA26-2 ICS™
Gépelrendezés	-	Egytengelyű/többt.	Egytengelyű/többt.
Turbina belépő hőmérséklet	°C	?	?
Füstgáz tömegárama	kg/s	623	1246
Nyomásviszony	-	30	30
Nettó teljesítmény (kombi ciklus)	MW	425,5	859,1
- ebből GT		270	540
Nettó hatásfok	%	58,5	59
NOx	ppm(v)	25	25

8.3b. ÚJABB GÁZTURBINÁK - Alstom

A technikai fejlesztés újabb megoldásai – Alstom GT26/K26; [4], [12]

Kétfokozatú égőkamra

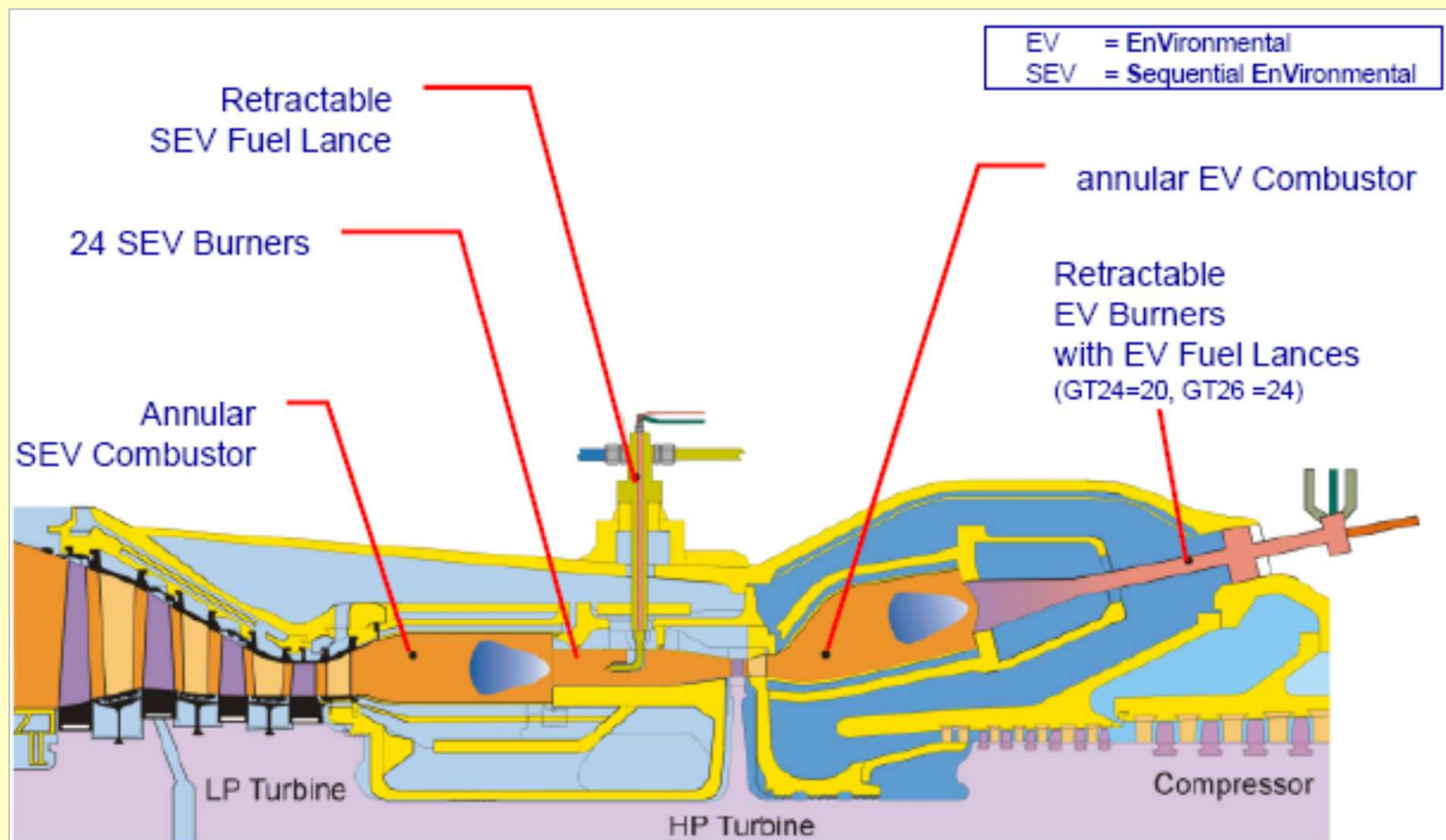


Figure 1: GT24/GT26 Sequential Combustion

8.4a. ÚJABB GÁZTURBINÁK - GE

A technikai fejlesztés újabb megoldásai – GE: *H System*TM; [6], [12]

A főbb újdonságok:

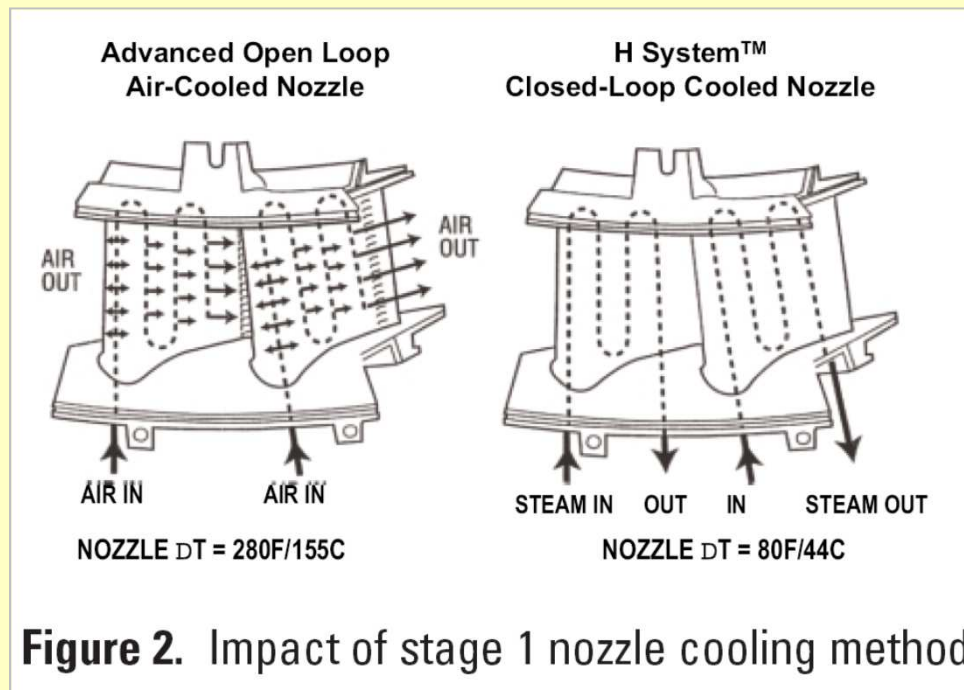
- $\Pi = 23 : 1$, repülőgép kompresszor, 18 fokozat
- 14 szegény előkeveréses csöves égőkamra, Dry Low NOx
- 4 turbina fokozat, LM6000 repülőgép alapú gázturbina
- 1 - 2. fokozat gőzhűtésű zárt körben (NNY-KNY gőzturbina között), a 3. fokozat levegő hűtésű, a 4. fokozat hűtés nélküli.
- A fejlesztés kezdete: 1992

Jellemzők	Dim.	9FA	9H
Gépelrendezés	-	Egytengelyű	Egytengelyű
Turbina belépő hőmérséklet	°C	1316	1430
Levegő tömegárama	kg/s	625	685
Nyomásviszony	-	15	23
Nettó teljesítmény (kombi ciklus)	MW	391	520
Nettó hatásfok	%	56,7	60
NOx	ppm (vd)	25	25

8.4b. ÚJABB GÁZTURBINÁK - GE

A technikai fejlesztés újabb megoldásai - GE: *H System*TM; [6], [12]

Lapáthűtési megoldások



Gőzhűtés előnye:

- Δt kisebb az első lapátsoron ($t_3 = 1430^\circ C$)
- Alacsonyabb lehet a t_3
- a gőz hője hasznosul a gőzturbinában
- A kompresszor „ballaszt” levegőárama csökken

Eredmény: $\Delta \eta = 2\%$

1. fokozat: egykristályos szuperötvözet anyag,
kerámia bevonattal

8.4c. ÚJABB GÁZTURBINÁK - GE

A technikai fejlesztések új megoldásai - GE: *H System*TM; [6], [12]

Égőkamra

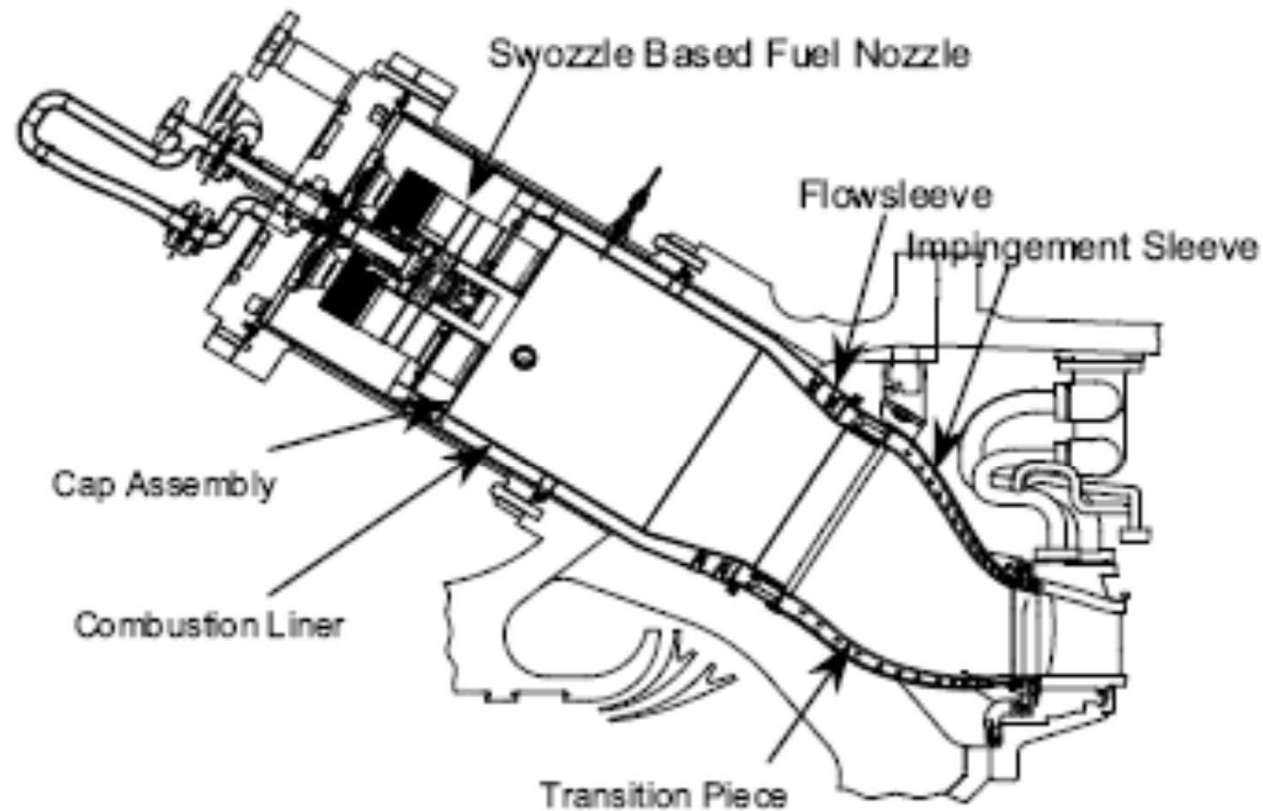


Figure 11. Combustion system cross-section

8.5 ÚJABB GÁZTURBINÁK - Mitsubishi

A technikai fejlesztés újabb megoldásai – Mitsubishi: G2; [11], [12]

A főbb újdonságok:

- $\Pi = 21$; 14 fokozatú kompresszor
- Csöves-gyűrűs égőkamra, átmeneti idom gőzhűtéssel
- 4 fokozatú turbina, gőz hűtéssel

Jellemzők	Dim.	M701 G2	„J” sorozat
Gépelrendezés	-		
Turbina belépő hőmérséklet	°C	1500	1600
Levegő tömegárama	kg/s		
Nyomásviszony	-	21	
Nettó teljesítmény (kombi ciklus)	MW	489	460
- ebből GT		334	320
Nettó hatásfok	%	58,8 %	>60 %
NOx	ppm (vd)		

8.6a. ÚJABB GÁZTURBINÁK - Siemens

A technikai fejlesztések új megoldásai – Siemens: SGT5-8000H; [7], [8], [9], [10]

A főbb újdonságok:

- $\Pi = 23$; 13 fokozat, 4 lapátsor változtatható
- Csöves-gyűrűs égőkamrák
- 4 fokozatú turbina: az első egykristályos, a többi nano-bevonattal. Levegőhűtéssel
- Rövid indítási idő (40 perc), rugalmas üzem
- GT súlya: 444 tonna

Jellemzők	Dim.	SGT5/SCC5 – 4000F	SGT5/SCC5 - 8000H
Gépelrendezés	-	Egytengelyű	Egytengelyű/többt.
Turbina belépő hőmérséklet	°C	1250	1500
Füstgáz tömegárama	kg/s	689	820
Nyomásviszony	-	27	19,2
Nettó teljesítmény (kombi ciklus)	MW	425	570
- ebből GT		286	375
Nettó hatásfok	%	>58	>60
NOx	ppm(v)	25	25

8.6b. ÚJABB GÁZTURBINÁK - Siemens

SIEMENS

Evolution of Siemens Combined Cycle Technology

1991	1996	2008	2011	~2015
SGT5-2000E	SGT5-4000F (Intro)	SGT5-4000F (latest upgrade)	SGT5-8000H (Intro)	SGT5-8000H: (next steps)
> 50% CC efficiency*	> 56% CC efficiency*	> 58,5% CC efficiency*	> 60% CC efficiency*	> 61,5% CC efficiency*
				
CCPP Killingholme (2x1) 2 x 450 MW	CCPP Didcot B (2x1) 2 x 705 MW	CCPP Mainz (1x1) 405 MW	CCPP Irsching 4 (1S) 578 MW	CCPP SCC5-8000H (1S) > 600 MW
525 °C / 80 bar 2PR-non RH	540 °C / 110 bar 3PR-RH	565 °C / 125 bar 3PR-RH	600 °C / 170 bar 3PR-RH, Benson	t.b.d.

▶ **~10 % points increase in efficiency over approx. 20 years**

▶ **Future**

* at ISO conditions

Page 17

PowerGen Europe 2012, Cologne

© Siemens AG 2012
Energy Sector

49

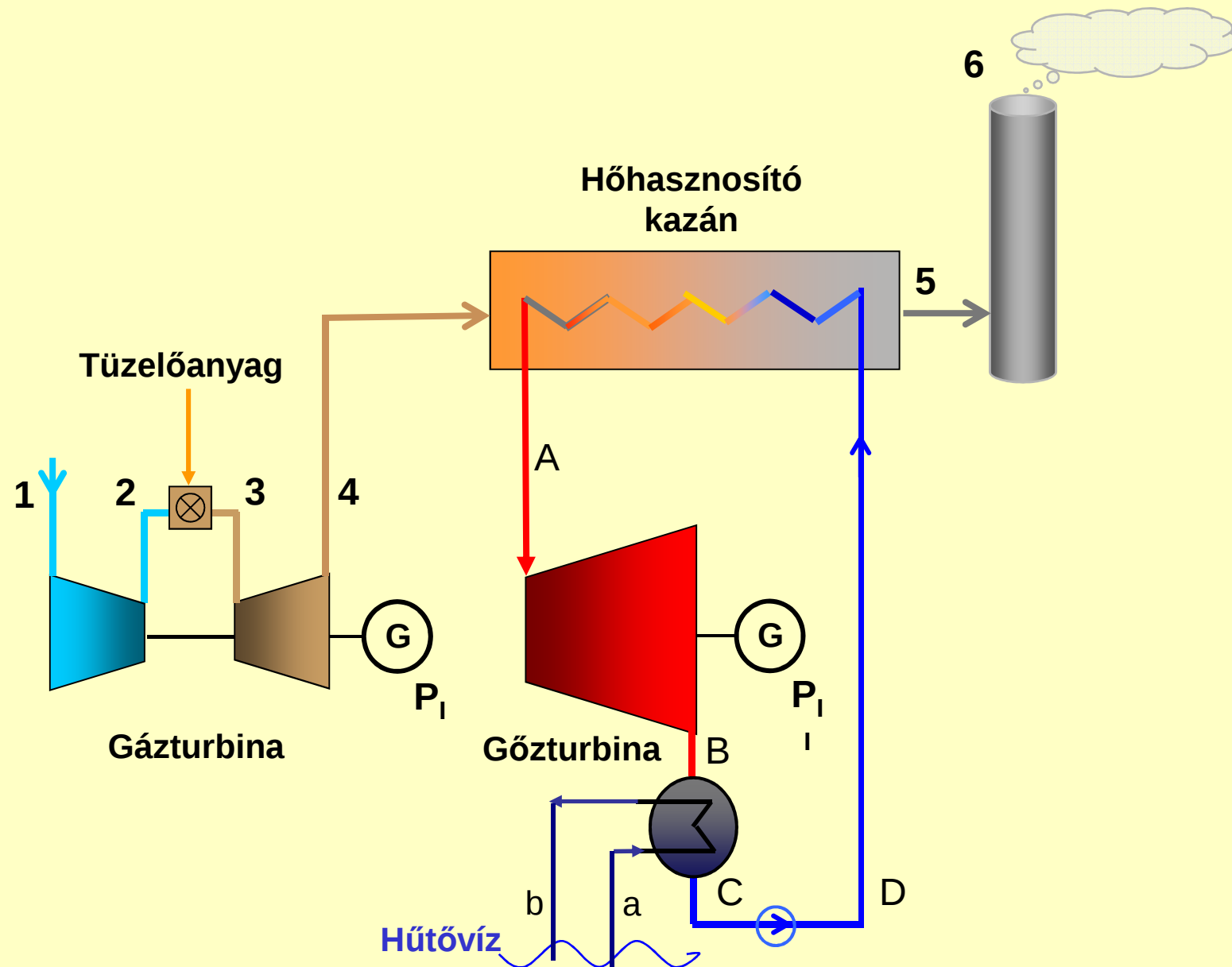
8.6c. ÚJABB GÁZTURBINÁK - Siemens

Kiszállítás a gyári csarnokból, SGT5-8000H; [9], [10], [12]



Berlin, 2007. december

9. KOMBINÁLT CIKLUSÚ ERŐMŰ



9.1 KOMBINÁLT CIKLUSÚ ERŐMŰVEK FEJLŐDÉSE

A kombinált ciklusú erőművek négy generációja, [6], [12]

GENE-RÁCIÓ	GÁZTURBINA	ALKAL-MAZÁS	GŐZKÖR-FOLYAMAT	EMISSZIÓ	FŐ JELLEMZŐK
I.	1950 - 60-as évek GT szóló optimált	erőmű rehabilitáció, tüz. lev. Kapcsolt term.	Újrahev. nincs. 1-2 nyomás. $\Delta\eta=5-6\%$ Sima csövek	nem téma	3-5 MW $\eta \approx 30-40\%$
II.	1960-70-es évek GT szóló optimált	Áramtermelés Tápvíz előm.	Újrahev. nincs. 1-2-3 nyomás. $\Delta\eta=5-6\%$ Spirál bordák	NO _x mérés SCR, víz, gőz befecsk,	50-100 MW $\eta \approx 40-45\%$
III.	1980-90-as évek GT kombi optimált $t_3=1315^\circ\text{C}$, $\pi=15$ Lapátanyag, bevonat Lapáthűtés levegővel	Áramtermelés Tápvíz előm.	Újrahevítés, 3 nyomású, Gőzturbina opt.	NO _x mérés SCR, víz, gőz befecsk,	70-250 MW $\eta \approx 45-58\%$
IV.	2000-es évektől GT kombi optimált $t_3=1400^\circ\text{C}$, $\pi=20-25$ kerámia, bevonat Lapáthűtés gőzzel	Áramtermelés	Most: 565°C , 95-125 bar Később: szuperkritikus	NO _x mérés SCR, víz, gőz befecsk,	400-600 MW $\eta > 60\%$

9.2 KOMBINÁLT CIKLUSÚ ERŐMŰ - Gönyű

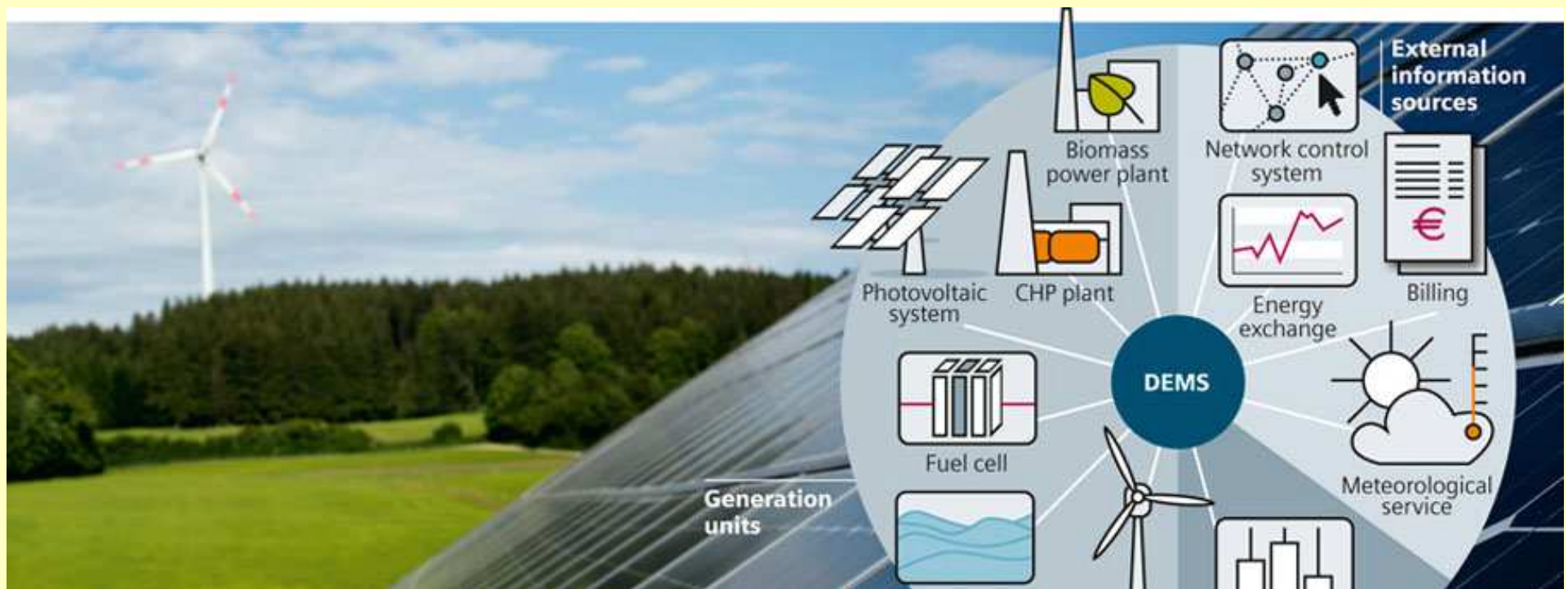


**Beépített kapacitás:
433 MW**

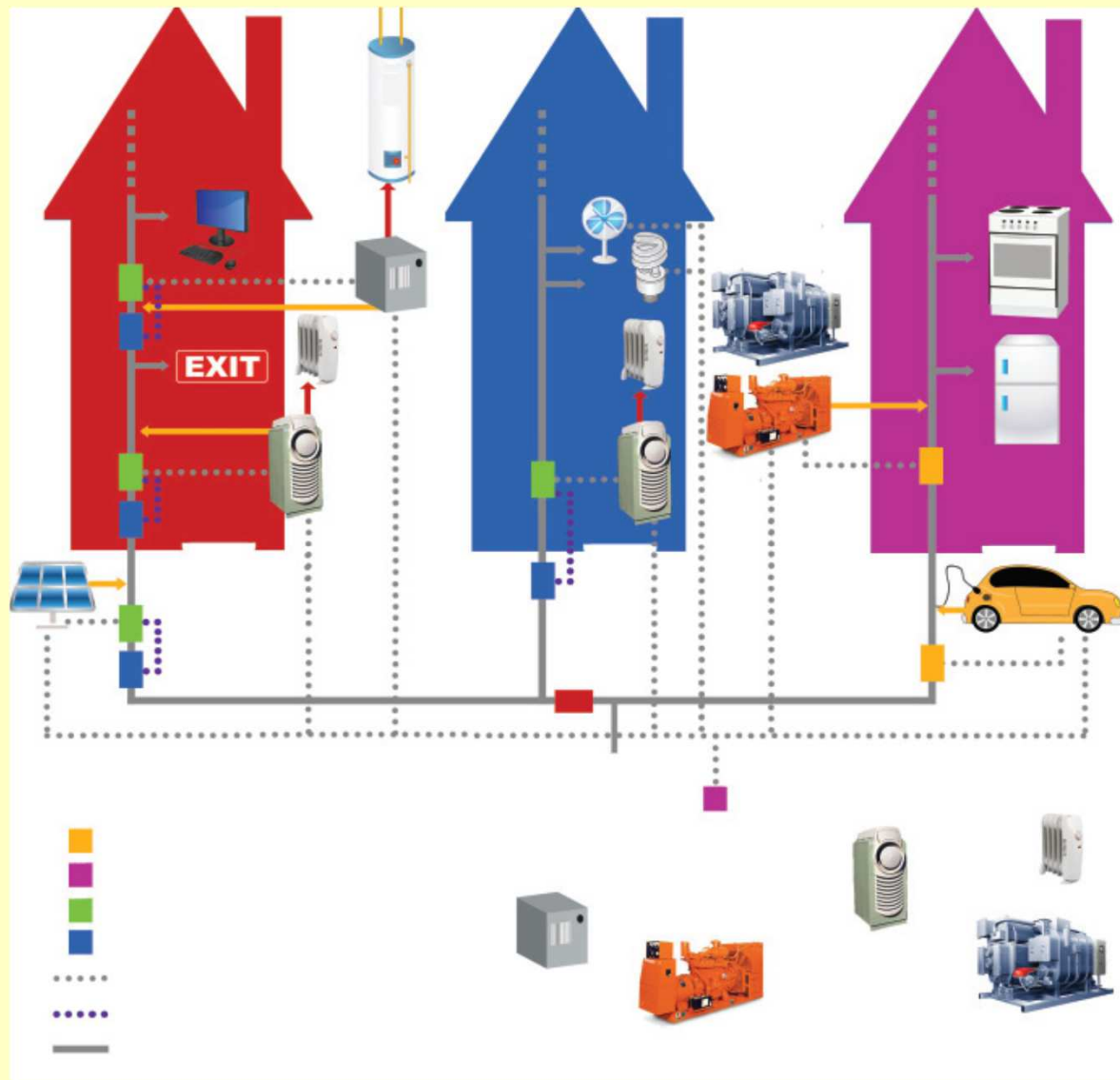
$\eta_{\text{évi, bruttó}} \approx 57 \%$

10.1 DECENTRÁLIS MEGOLDÁSOK – DEMS, virtuális erőmű,

- (1) DEMS: Decentralized Energy Management Systems – szoftver rendszer „real-time” árak, fogyasztói igények, időjárási adatok, optimált, piacképes kapacitásprofil kidolgozása.
- (2) Komplex keresleti és kínálati integrált intelligens rendszer (mikroerőmű, kiserőmű, PV, szélerőmű egyesítése virtuális erőművé = egy nagyerőmű)



10.2. MIKROHÁLÓZAT KONCEPCIÓJA

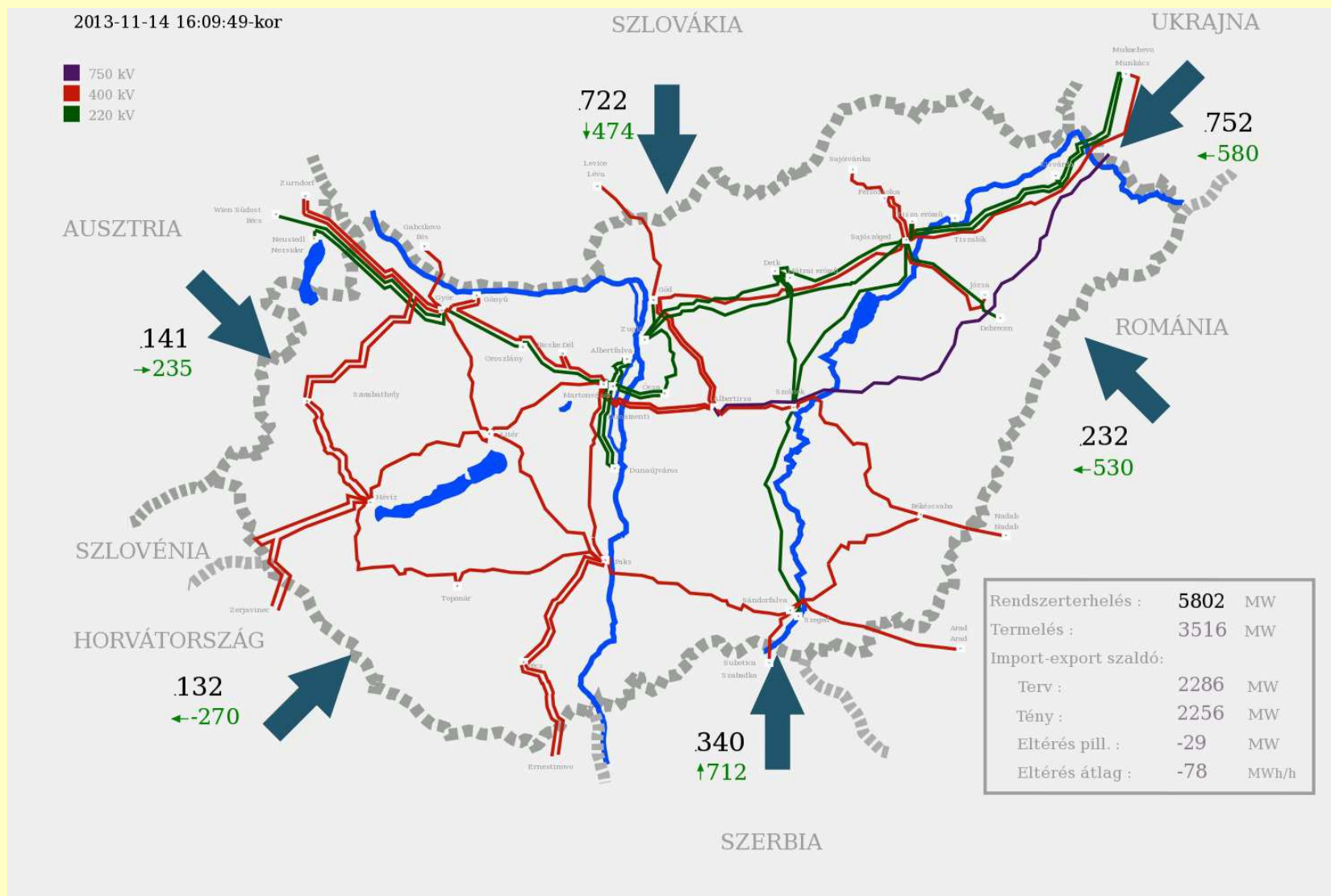


SENSITIVE LOADS
ADJUSTABLE LOADS
SHEDDABLE LOADS

Static
Switch
Point of Common
Coupling
Market and
Climate Conditions
Fuel Cell
Reciprocating Engine
Micro Turbine
Radiator
Absorption Chiller
Traditional Interconnection

Source: DNV KEMA
Energy Manager
Power Flow Controller
Differential Current Circuit Breaker
Communications
Protection Data
Electric Wires

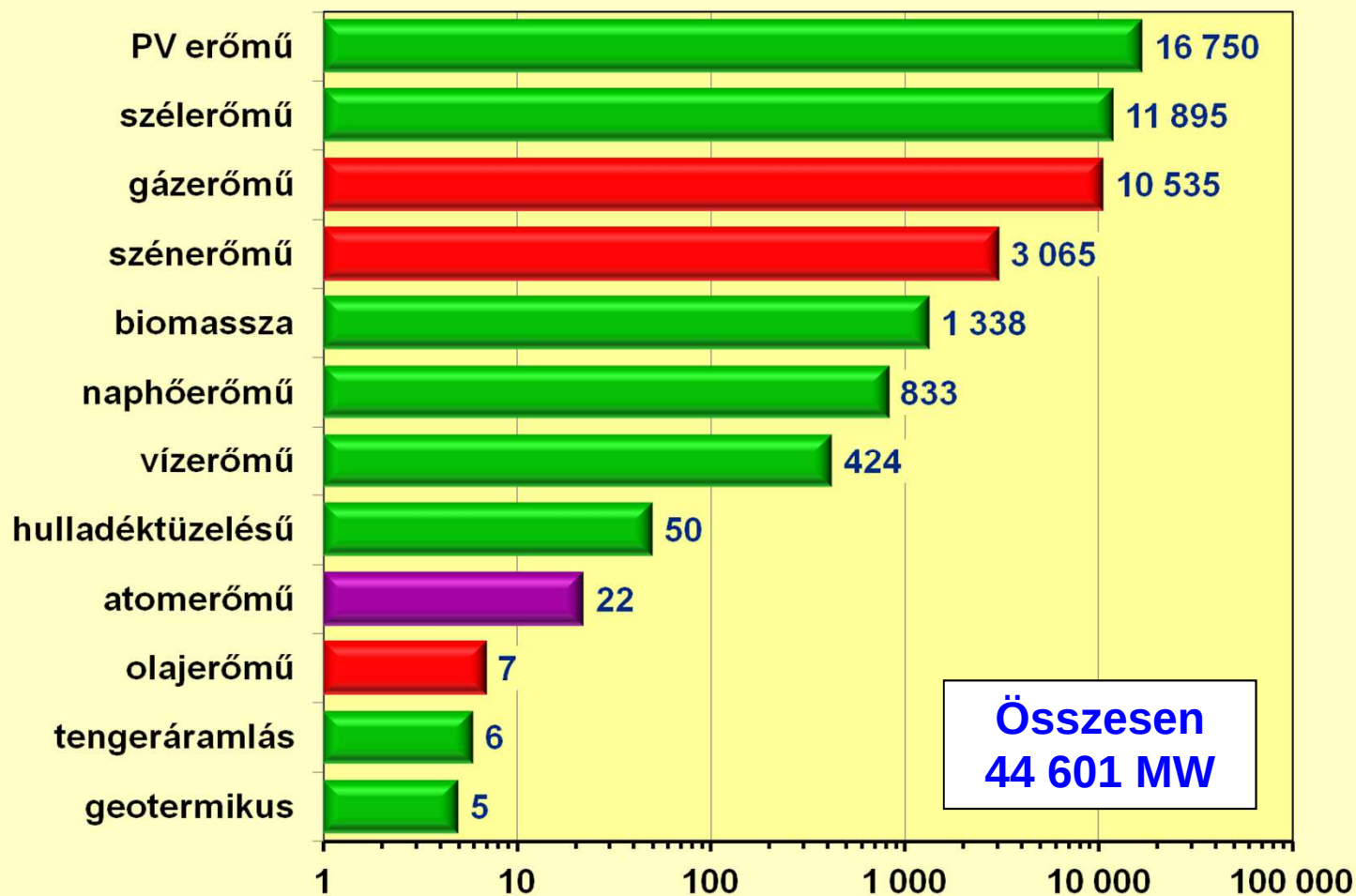
11a. JÖVŐKÉP – helyzet a mai napon, 16 órakor



IMPORT: ≈ 40 % !!!???

11b. JÖVŐKÉP – a 2012. év tükrében

Új erőművek üzembe lépése 2012-ben az EU-27-ben



Németország !

Nyertesek:
MEGÚJULÓK

11c. JÖVŐKÉP – jelen tükrében

1. Gazdasági növekedés az EU-ban: pang (1-2 %/év)
2. Európa (ENTSO-E)
 - Beépített teljesítmény: 950 000 MW
 - Csúcsterhelés: $\approx 550\,000$ MW - **van tartalék!**
3. Új erőművek üzembe helyezése 2012-ben: 44 600 MW
4. Régi erőművek leállítása: kb. 25 000 MW (széntüzelésű és atomerőmű)
5. Szénárak: 10 – 12 EUR/MWh – de: CO₂ (3-10 €/t: CCS ??)
6. Földgázárak: 25-27 EUR/MWh (7,5 Ft/kWh) – palagáz ???
7. Villamosenergia árak: 40 – 50 EUR/MWh (12-14 Ft/kWh)
 - A fogyasztók örülnek
 - Az erőmű befektetők kívárnak ???
8. A megújulók beruházási költsége csökken!!!
9. Atomerőművek: Európában bizonytalanság, máshol épülnek
10. Energiahatékonysági erőfeszítések – csökkenő igények

11d. JÖVŐKÉP A MAI HALLGATÓKNAK - értéklánc

Eszközei:

- (1) Innováció, vállalkozások, munkahely
- (2) Korszerű képzés - innováció
- (3) Szociális kiadások fedezése - élőmunka

1. Oktatás

2. Kutatás

3. Innováció

4. Tervezés

5. Alkatrész gyártás

6. Berendezés gyárt.

7. Szakértés

8. Engedélyezés

9. Beszerzés

10. Finanszírozás

11. Logisztika

12. Építés

13. Szerelés

14. Üzembehelyezés

15. Üzemeltetés

16. Kereskedelem

17. Karbantartás

18. Menedzsment

FORRÁSANYAGOK

- [1] <http://www.aircav.com/histturb.html>
- [2] http://web.mit.edu/aeroastro/labs/gtl/early_GT_history.html
- [3] Korényi–Tolnai: Az áramlás- és hőtechnika nagyjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007.
- [4] Lilley-Ruecker-Lachner-Lindvall-Rebhan: Low Load Operation Concept for Alstom's GT26 Gas Turbine, 2007
- [5] Pezzella: Presentation to EMFESZ. KA 26 flexibility., 2008.
- [6] Matta-Mercer-Tuthill: Power Systems for the 21st Century – „H” Gas Turbine Combined Cycles
- [7] R. Fischer-Ratliff-W. Fischer: SGT5-8000H-Product validation at Irsching-4 Test Center, 2008
- [8] Ratliff-Garbett- Fischer: The New Siemens Gas Turbine SGT5-8000H for More Customer Benefit, 2007
- [9] Taud-Kreyenberg-Thun: Die Evolution der Gasturbine SGT5-4000F; BWK, Bd.59 (2007) Nr.11
- [10] Emberger-Dr. Martin: SCC5-4000F single Shaft SST5-4000F: A single shaft concept for cold water cooling conditions, Siemens AG, 2005
- [11] Ishikawa-Terauchi-Komori-Yasuraoka: Development of High Efficiency Gas Turbine Combined Cycle Power Plant
- [12] Alstom, GE, MHI és SAG honlapjai.



Köszönöm megtisztelő figyelmüket!

korenyi@energia.bme.hu

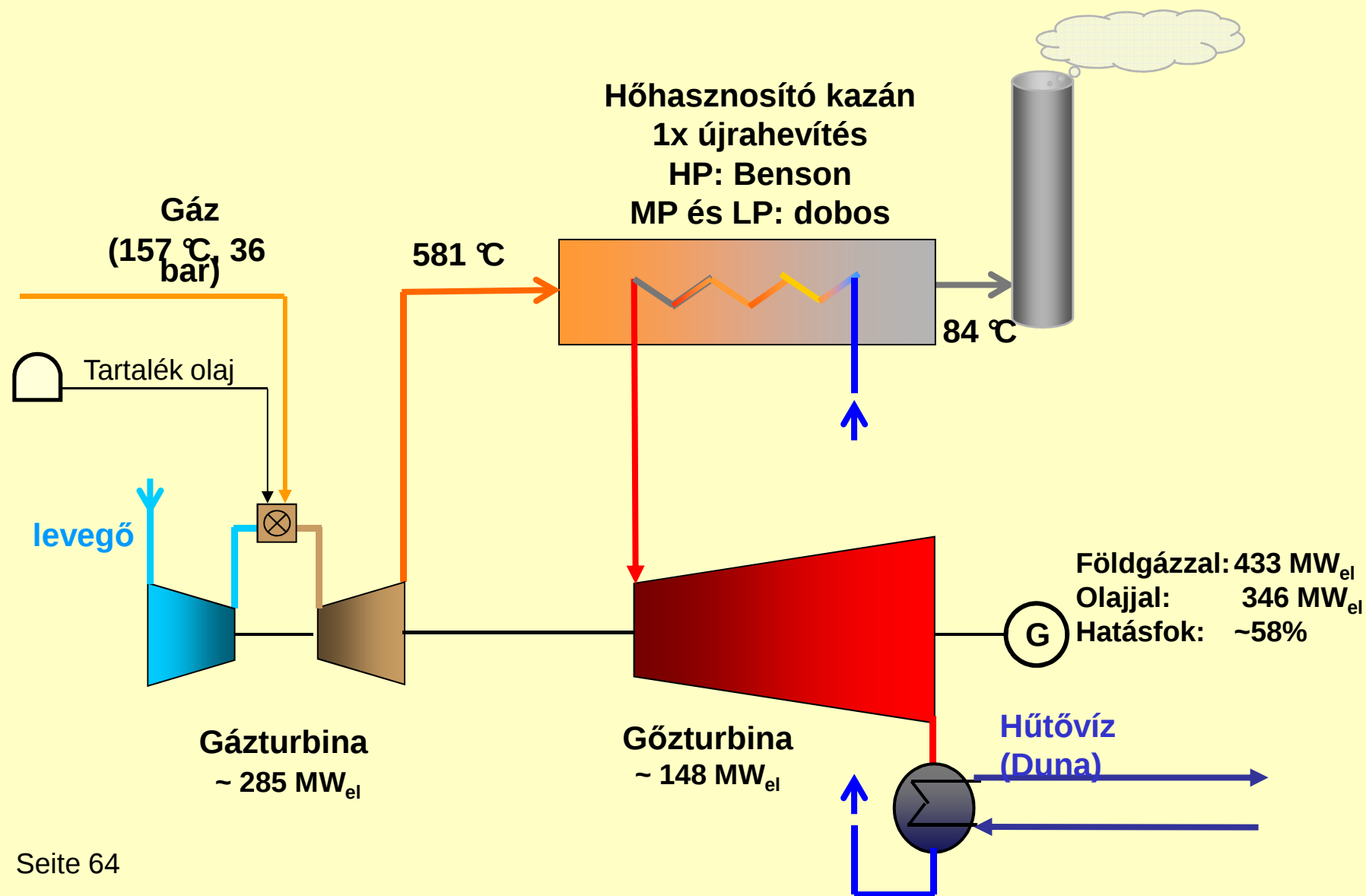
HÁTTÉR-ANYAG

korenyi.zoltan.2@t-online.hu

1. Gönyői Erőmű építkezése - légi felvétel: 2008. okt. 08.



2. A Gönyői Erőmű működési elve



3. Gönyői erőmű látványterve



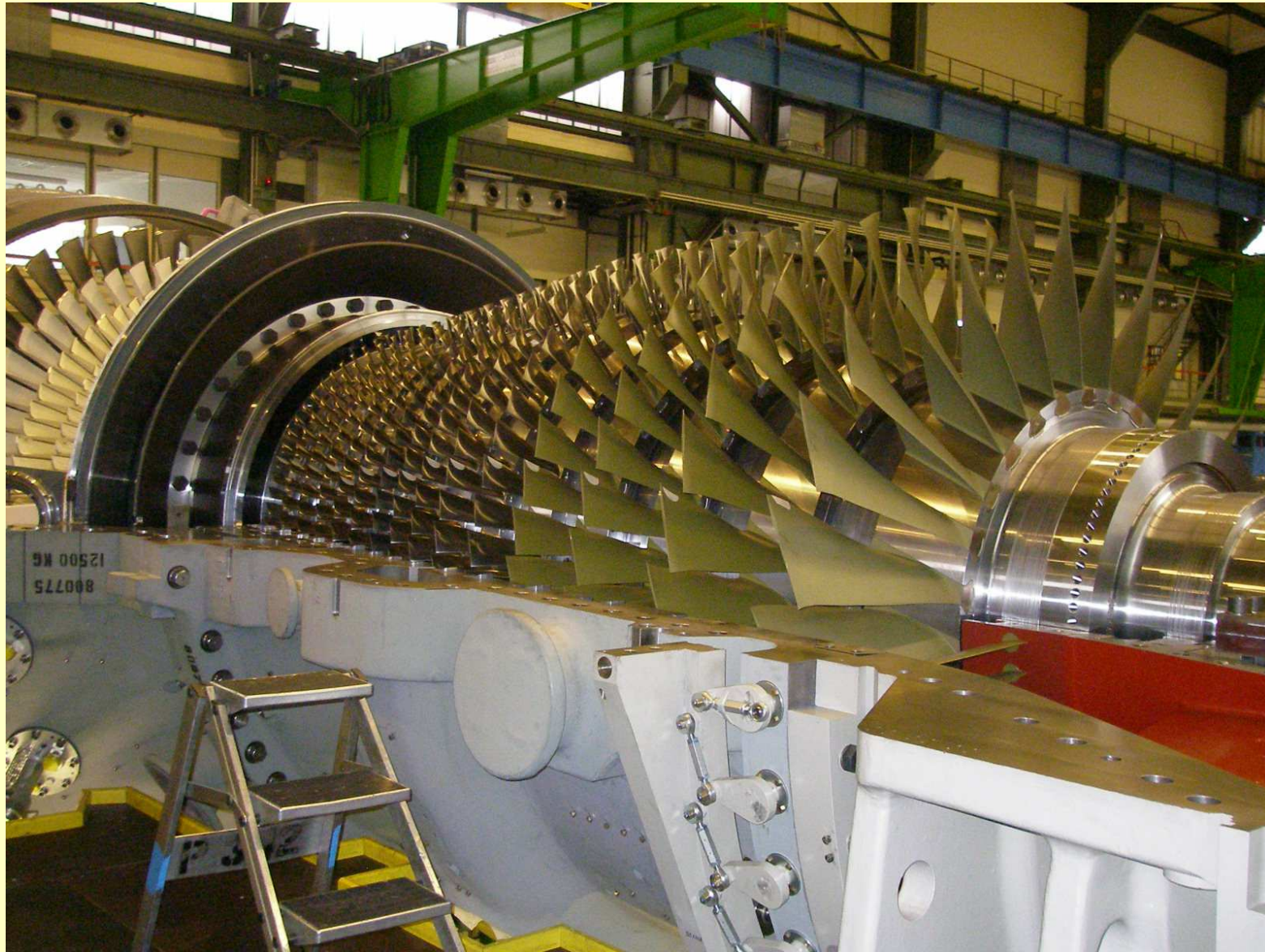
3a. Csúcshatásfokú, Kombinált Ciklusú Gönyői Erőmű (433 MW)



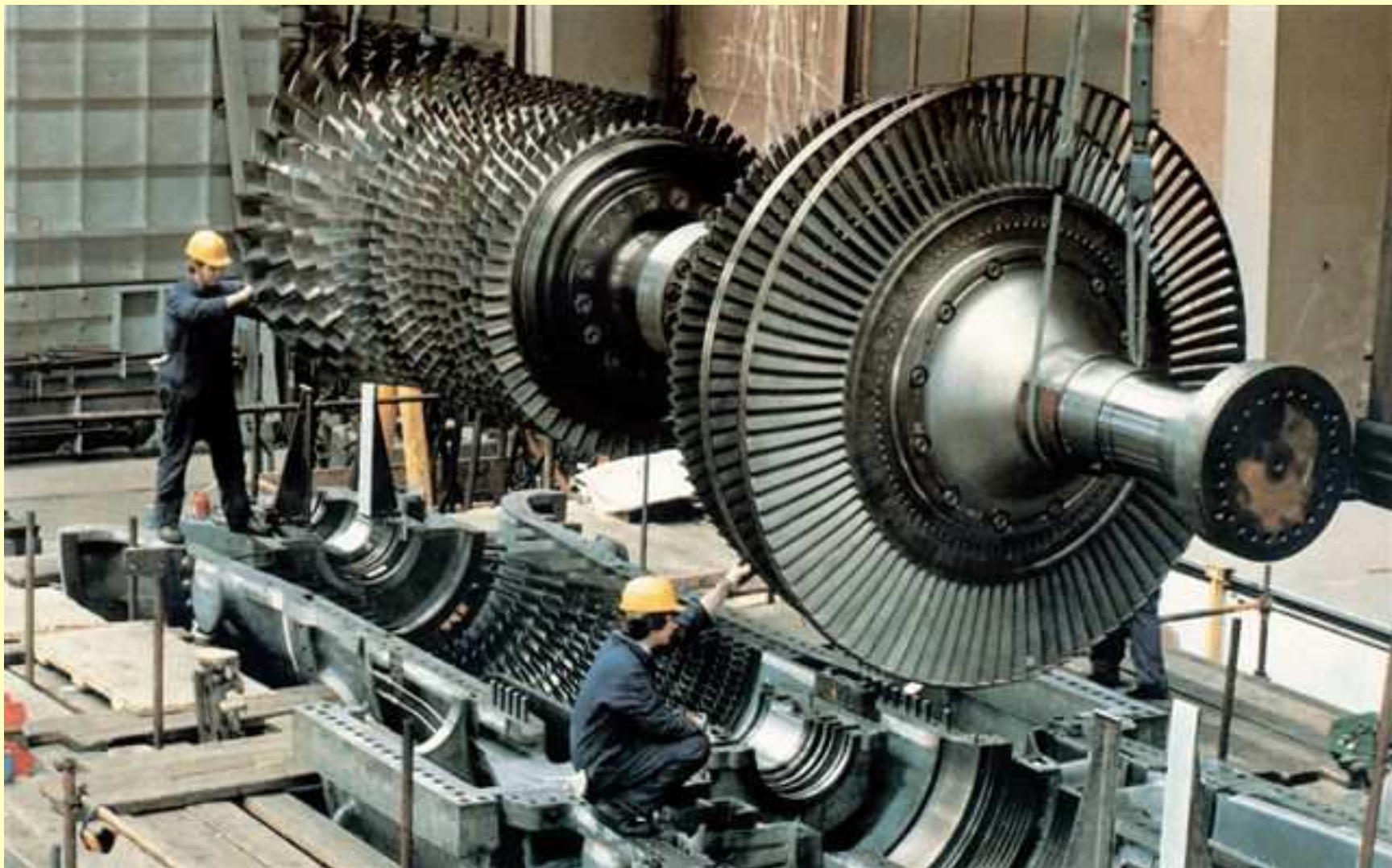
4. A Gönyői Erőmű erőmű fő jellemzői

	Jellemzők	Mértékegység	Érték
1.	Bruttó névleges villamos teljesítmény	MW	433
2.	Nettó névleges villamos teljesítmény	MW	425
3.	Gázturbina teljesítménye	MW	285
4.	Gőzturbina teljesítménye	MW	148
5.	Gázfogyasztás	m ³ / h	75 000
6.	Olajfogyasztás	kg/s	csak véstartalék
7.	Nettó hatásfok	%	> 58
8.	Hűtővíz a Dunából	m ³ / s	8,5
9.	Teljes kezelői létszám	fő	40
10.	Beruházási költség	millió EUR	400
11.	Üzembe helyezés	év	2011

5. A Gönyői Erőmű gázturbinája a szerelő csarnokban – 2009. május.



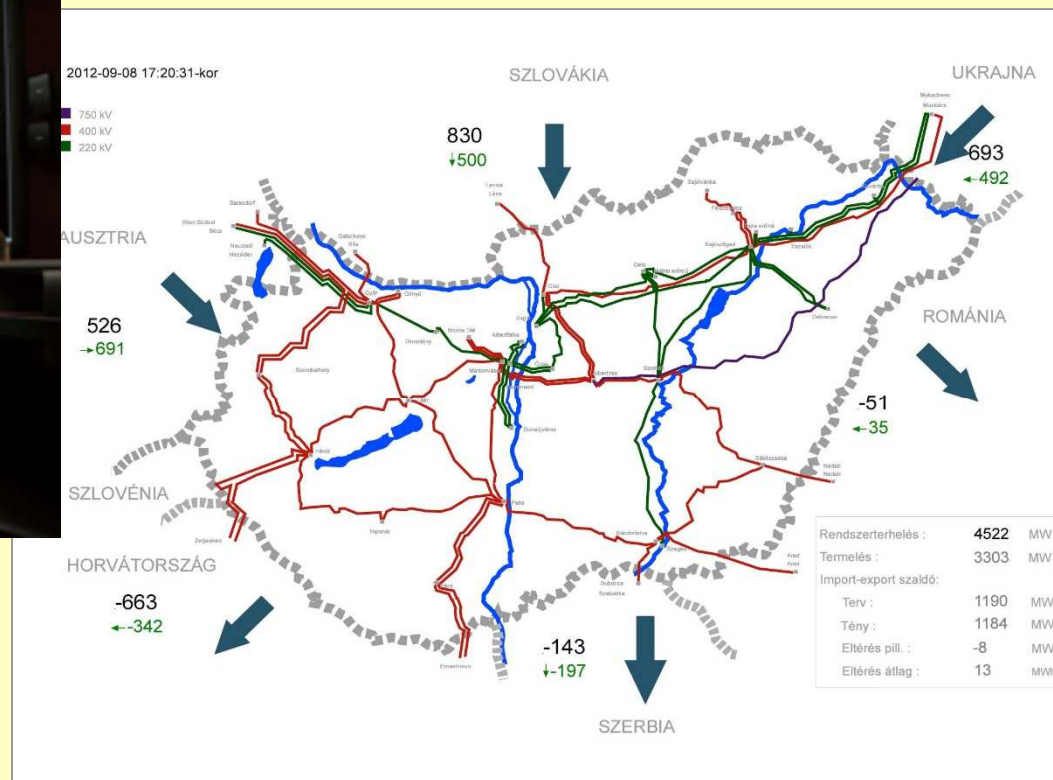
5a. Egy gázturbina forgó része szerelés közben



6. MAVÍR ZRt. – felső szintű rendszerirányítás



MAVÍR
Országos Diszpécser Szolgálat (ODSZ)



Középső szintű rendszerirányítás

A 6 elosztói engedélyes területi elven, 120 kV alatti szinten irányít.

Körzeti Diszpécser Szolgálat (KDSZ)

70

7a. Erőművek (20 MW – 500 MW)

GÁZTÜZELÉSŰ ERŐMŰVEK



**SZÉNTÜZELÉSŰ
ERŐMŰVEK**



HULLADÉKÉGETŐ ERŐMŰVEK



GÁZMOTOROK

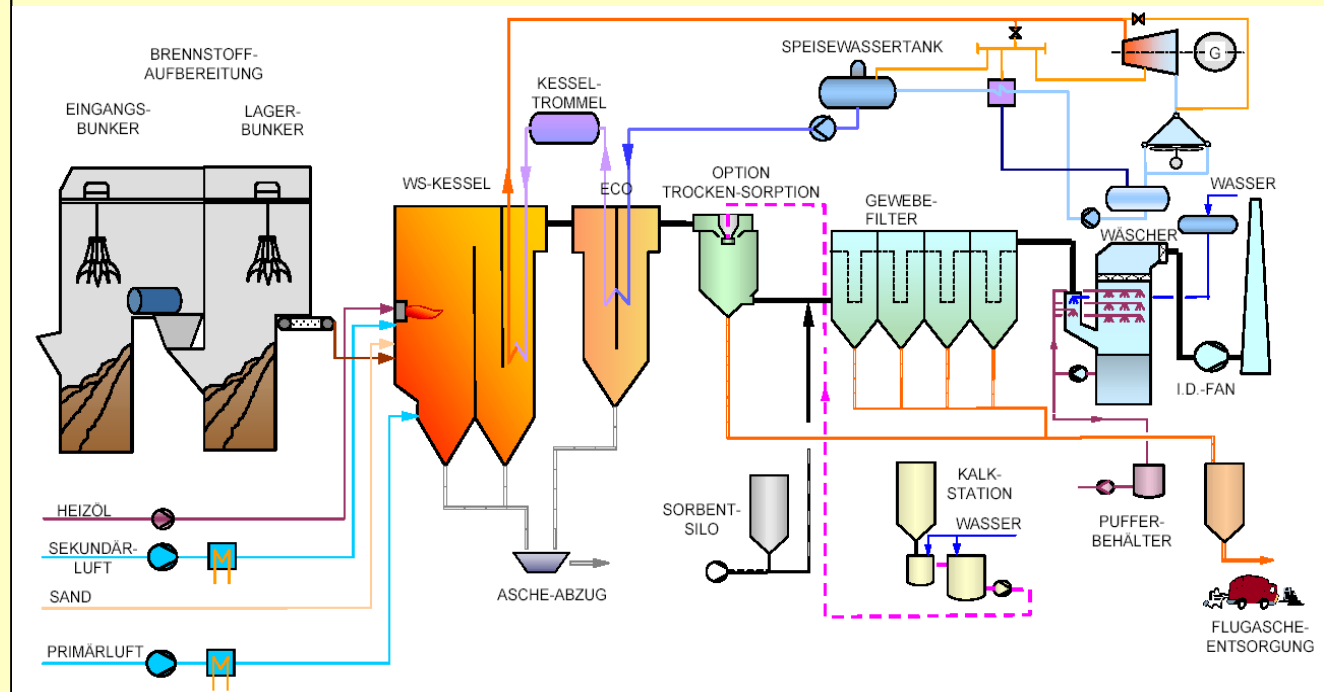


7b. Szél- és biomassza erőmű

SZÉLERŐMŰVEK



BIOMASSZA ERŐMŰ – 20 MW_{el}



Erősen időjárás függő !!!

7c. Kiserőművek (100- 1000 kW)

BIOMASSZA ERŐMŰVEK



Biomassza: silókukorica
+ trágyalé

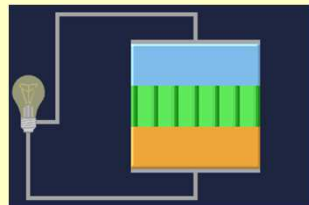
Organic Rankine Cycle (ORC) ERŐMŰ



ORC
berendezés

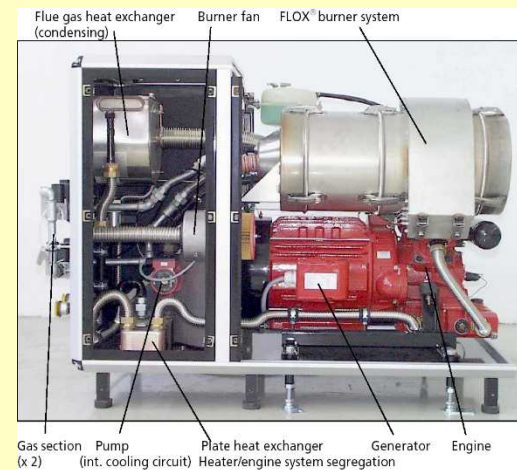
7d. Feljövőben lévő erőművek

TÜZELŐANYAG CELLA



PEM: Polymer-Elektrolyt-Membran

STIRLING MOTOR

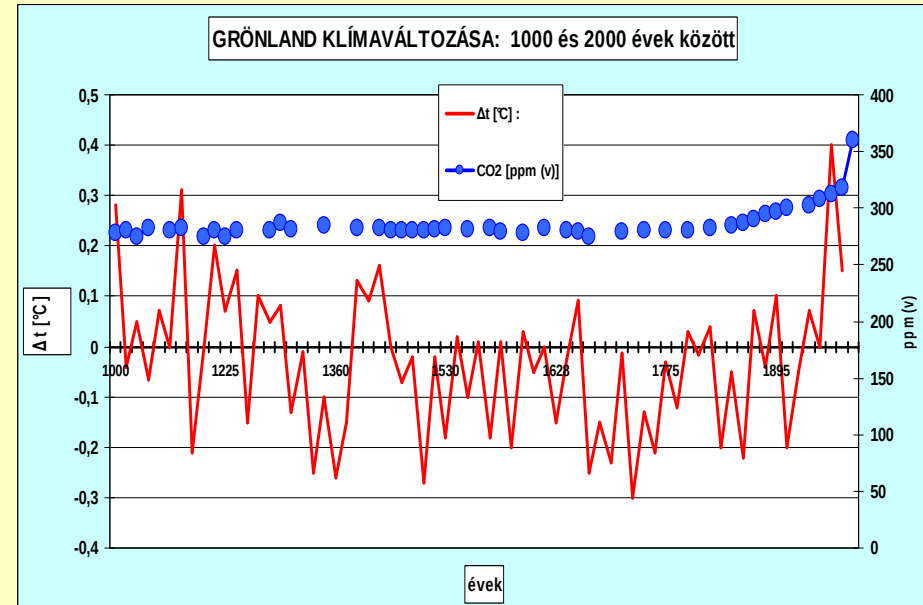
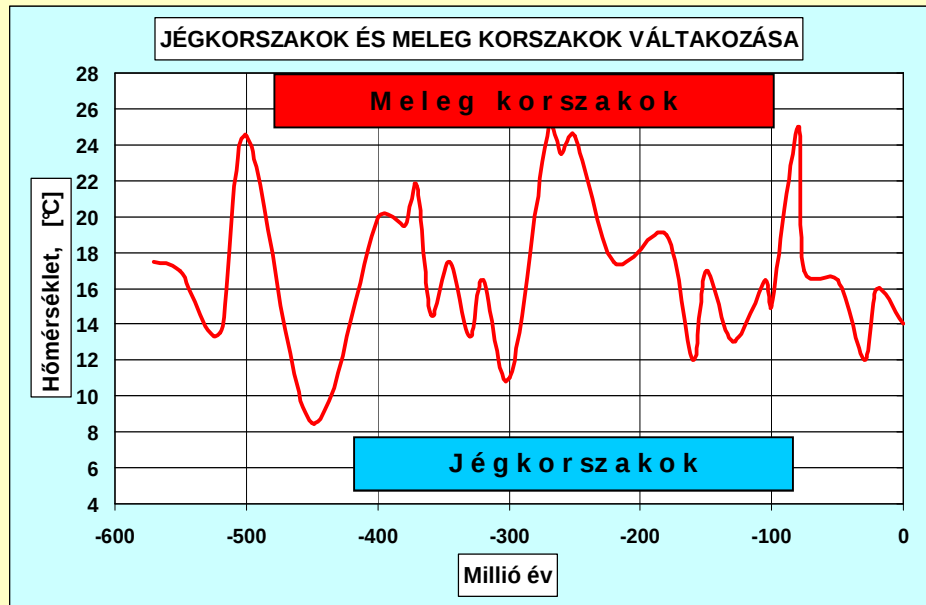


NAPERŐMŰ



Erősen időjárás függő !!!

7e. Mitől melegszik a Földünk? – CO₂-től?



- (1) A klímaváltozás fokmérője:
- (2) Atmoszféránk hőmérséklete nő:
- (3) Mi az oka a hőmérsékletnövekedésnek?:
- (4) A paleoklímatológusok vizsgálata:
- (5) Visszatekintés millió évekre:
- (6) Kulcskérdés:

a hőmérsékletváltozás
vita nincs
tényleg csak a CO₂ az oka? - vitáznak rajta
kövek, gleccser - klímarekonstrukció
ma egy jégkorszak meleg szakaszában élünk
Földünk energia mérlege

7f. CO₂ mennyiségek a földön

I. Statikus CO₂ mennyiségek

FÖLDÖNK CO ₂ KÉSZLETEI, mrd. tonna			
1.	Óceánokban	37 000	93,08 %
2.	Talajban	1400	3,52 %
3.	Légkörünkben	750	1,89 %
4.	Vegetációban	600	1,51 %
	Összesen:	39 750	100 %

II. Éves CO₂ tömegáramok

		Kibcsátók, mrd. t/a	Nyelők, mrd. t/a	Egyenleg
(1)	Óceánok	96	98,5	- 2,5
(2)	Vegetáció	50	110	- 60
(3)	Talaj	?	?	?
(4)	Emberi tevékenység	25	1	+ 24

???

76

7g. Magas hőmérsékletű napkollektorok



7h. Fotovillamos hasznosítás



Debreceni Egyetem – 10 kW

7i. Szélerőművek



KULCS: 600 kW
2001. május 23.



MOSONSZOLNOK: 2×600 kW
2002. december 19.

7j. Vízierőművek



Kariba gát



Geisling (bajor) – 19 MW

7k. Hulladékégető erőmű



Mannheimi hulladékégető erőmű – 380 e t/év

7I. Megújuló technológiák beruházási költsége-2004

	Erőműfajta	Teljesít- mény MW_{el}	Fajl. beruh. eFt / kW_{el}	Relatív beruh. ktsz.
1.	Kombinált ciklusú gázerőmű	50-400	200 - 150	1,0
2.	Széntüzelésű erőmű	400-600	280 - 320	1,7
3.	Atomerőmű	1600	500	2,9
4.	Vízerőmű	1 -2	450	2,6
5.	Szélpark	25	300 - 350	1,9
6.	Biomassza – fatüzelésű erőmű	20	600	3,4
7.	Biomassza – kukorica, trágyalé + gázmotor	0,5	1300	7,4
8.	Szeméttüzelésű erőmű (2 blokk)	25	1500	8,5
9.	Geotermikus erőmű (ORC), 4 db	1,0	750	4,3
10.	Fotovillamos erőmű	0,01	2200	12,5

7m. Megújuló technológiák helyigénye

Globális értékelés: az előállítás teljes láncolatának a figyelembe vétele.
Bányafeltárástól, a létesítmény lebontásáig

JELLEMZŐ HELYIGÉNY, $\text{m}^2 / \text{MW}_{\text{el}}$			
	Erőmű fajtája	ERŐMŰ helyigénye	Globális: teljes techn. láncolat
1.	Kombinált ciklusú erőmű - földgáz	150	5 000
2.	Gőzkörfolyamatú erőmű – fekete szén	250	30 000
3.	Atomerőmű	280	20 000
4.	Szélpark	2000	50 000
5.	Biomassza, fatüzeléssel	300	3 millió
6.	Biomassza: silókukorica + gázmotor	5000	2 millió
7.	Geotermikus, ORC	1300	10 000

7n. Megújuló technológiák energetikai hozama

1. Kérdés: kell-e fosszilis tüzelőanyag a megújuló alapú villamos-energia termeléshez?

2. Válasz: igen. Miért?:

- Külső energiát igényel: bányászás, acélgyártás, szállítás, építés, karbantartás
- Időjárásfüggő erőművek (szél, nap): tartalék erőmű szüks. (dupla beruházás!)

3. Energiahozam tényező (EHT) : életében hányszor termeli meg az erőmű a globálisan felhasznált idegen energiát

	Erőmű	Csúcskihasználás	EHT
1.	Széntüzelésű erőmű	6000 h/év	120
2.	Gázturbinás erőmű	6000 h/év	130
3.	Atomerőmű	6000 h/év	100
4.	Szélerőmű	2000 h/év	7
5.	Napelembes erőmű	1000 h/év	5

8. EGY SZÉLERŐMŰ ZAJVISZONYAI

